

არჩილ კობტაშვილი

ვდექტრული სადგურების და ქვესადგურების
ქადოვანი დანადგარები, აპარატები,
საკომუტაციო სქემები და ჩაუიებები



საქართველოს სახადმნიფო ვდექტროსისტემა

განხილულია თანამედროვე ევროპული და ამერიკული წარმოების აპარატურა, ელექტრული სადგურებისა და ქვესადგურების ძირითადი მოწყობილობები, ასევე მოცემულია ინფორმაცია საბჭოთა წარმოების აპარატურის შესახებ.

განკუთვნილია ელექტროენერგეტიკის მიმართულების ბაკალავრიატისა და მაგისტრატურის სტუდენტების და ამ დარგში მომუშავე ინჟინრებისა და სპეციალისტებისათვის.

რეცენზენტები:

1. სრული პროფესორი მ. რუხვაძე
2. საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემის რეჟიმებისა და ანალიზის სამსახურის უფროსი ბ. კვაჭაძე

შინაარსი

ავტორისგან.....	7
შესავალი	8
თავი I.....	10
ელექტრული სადგურები.....	10
1.1. ზოგადი ცნობები.....	10
1.2.1 ჰიდროელექტროსადგურები (ჰეს)	10
მაგალითი 1.1	13
1.2.2 ჰიდროტურბინები	13
1.3. ორგანულ საწვავზე მომუშავე ელექტრული სადგურები.....	21
1.3.1. კონდენსაციური თბოელექტროსადგურები	21
1.3.2. თბოფიკაციური თბოელექტროსადგურები	24
1.3.3 ორთქლის ტურბინები	25
1.4.1 აირტურბინული ელექტრული სადგურები	26
1.4.2 აირტურბინები.....	28
1.4. კომბინირებული ელექტრული სადგურები	29
1.5 ატომური ელექტრული სადგურები (აეს)	30
მაგალითი 1.2	33
1.6. არატრადიციული ენერგიის წყაროები და ელსადგურები.....	34
1.6.1. მზის ელექტრული სადგურები	34
1.6.2 ქარის ელექტრული სადგურები	37
თავი II.....	40
სინქრონული გენერატორები და კომპენსატორები.....	40
2.1 ზოგადი ცნობები.....	40
2.2. ტურბოგენერატორები	43
2.3. ჰიდროგენერატორები	46
მაგალითი 2.1	50
2.4 სინქრონული გენერატორების ძირითადი პარამეტრები.....	50
2.5. სინქრონული გენერატორების გაცივების სისტემები.....	52
2.6. სინქრონული კომპენსატორები.....	54
2.7. გენერატორების ველის ქრობა.....	57
2.8 გენერატორების ჩართვა პარალელურ მუშაობაზე.....	60
მაგალითი 2.2	66
2.9. გენერატორების აგზნების სისტემები	66
მაგალითი 2.3.	72
თავი III.....	73
ძალოვანი ტრანსფორმატორები და ავტოტრანსფორმატორები	73
3.1 ზოგადი ცნობები.....	73
3.2 მოქმედების პრინციპი.....	74
3.3 ძალოვანი ტრანსფორმატორების კონსტრუქციები	76

3.6. ტრანსფორმატორის გრაგნილების შეერთების სქემები და ჯგუფები.....	80
3.6.1. ტრანსფორმატორის გრაგნილების შეერთების სქემები.	80
3.6.2. ტრანსფორმატორის გრაგნილების შეერთების ჯგუფები.....	81
3.7. ტრანსფორმატორების გაცივების სისტემები და აღნიშვნები	84
3.7.1. ტრანსფორმატორების გაცივების სისტემები	84
3.7.2 ტრანსფორმატორების პირობითი აღნიშვნები.	86
3.8. ავტოტრანსფორმატორები	86
3.8.1 კონსტრუქციები, თავისებურებები და ძირითადი პარამეტრები.....	86
3.8.2. ავტოტრანსფორმატორების მუშაობის რეჟიმები.	88
მაგალითი 3.1.....	89
3.9 ტრანსფორმატორთა პარალელური მუშაობა.....	89
3.10. ტრანსფორმატორების ძაბვის რეგულირება.....	90
3.10.1. ძაბვის რეგულირების პრინციპი	90
3.10.2. რეაქტორიანი PПН –ის სქემა.....	91
3.10.2. რეზისტორებიანი გადამრთველი მონწყობილობები	92
3.10.3. ვაკუუმურ კამერაში მოთავსებული გადამრთველი მონწყობილობა	93
3.11. ფაზის დამცველი ტრანსფორმატორი	97
მაგალითი 3.2.....	100
3.12. ტრანსფორმატორებისა და ავტოტრანსფორმატორების პარამეტრები და საანგარიშო. სქემები	103
მაგალითი 3.3.....	106
თავი IV	107
მოკლე შერთვები	107
4.1 ზოგადი ცნობები	107
4.2 სამფაზა მოკლე შერთვა	108
4.3 სამფაზა მშ დენების გაანგარიშება.....	110
მაგალითი 4.1. სამფაზა მშ დენების გაანგარიშება.....	119
თავი V	143
გამტარები და იზოლატორები	143
5.1 გამტარები	143
5.1.1 არაიზოლირებული მყარი გამტარები.....	143
5.1.2 არაიზოლირებული მოქნილი გამტარები.....	146
5.1.3. ფაზაეკრანირებული გამტარები	150
5.2 იზოლატორები	153
5.2.1. ზოგადი ცნობები	153
5.2.2. სახაზო იზოლატორები	154
5.2.3. ქვესადგურების სააპარტო იზოლატორები.....	160
5.3. ელექტრული აპარატურის შერჩევა	167
5.4. ელექტრული აპარატების და გამტარების გახურება ნორმალურ რეჟიმში.....	168
მაგალითი 5.1.....	171

მაგალითი 5.2	190
5.5. მშ დენების თერმული მოქმედება	172
5.5.1 მშ დენის თბური იმპულსის განსაზღვრის მეთოდები	176
5.5.2. მშ დენის ელექტროდინამიკური მოქმედება	177
მაგალითი 5.3.	193
5.6. დრეკადი სადენების შემოწმება გვირგვინის ანთებაზე	191
მაგალითი 5.4	193
5.7. ძალოვანი კაბელები	195
თავი VI.....	200
მაღალი ძაბვის აპარატები	200
6.1 მაღალი ძაბვის აპარატების კლასიფიკაცია	200
6.2 მაღალი ძაბვის ამომრთველები	201
6.2.1 ზოგადი ცნობები.....	201
6.2.3 ამომრთველების ძირითადი პარამეტრები	207
6.2.4 ზეთიანი ამომრთველები	207
6.2.5 საჰაერო ამომრთველები	212
6.2.6 ელევგაზური ამომრთველები.....	217
6.2.7 ვაკუუმიური ამომრთველები	228
6.3 გამთიშველები.....	233
6.4 რეაქტორები	240
6.4.1 მოკლე შერთვის დენშემზღუდი (მშდშ) რეაქტორი	240
6.4.2 მაშენტირებელი რეაქტორები	245
6.4.3 რკალმქრობი რეაქტორები	247
6.5 მზომი ტრანსფორმატორები.....	248
6.5.1 დენის ტრანსფორმატორები.....	249
6.5.2. ძაბვის ტრანსფორმატორები	260
6.5.3. მაგნიტურ-ოპტიკური დენის ტრანსფორმატორი (MOCT).....	266
6.5.4 ელექტრულ-ოპტიკური ძაბვის ტრანსფორმატორი (EOVT).....	268
6.7 მუდმივი დენის დამხმარე მოწყობილობები (საკუმულატორო ბატარეა)	270
თავი VII	277
ელექტრული სადგურებისა და ქვესადგურების მთავარი სქემები	277
7.1 ზოგადი ცნობები.....	277
7.2 სტანდარტული შესრულების სქემები	278
7.3 განსაკუთრებული შესრულების სქემები.....	286
7.4 ღია გამანაწილებელი მოწყობილობები (დგმ).....	292
7.5 ელევგაზური მოდულური გამანაწილებელი მოწყობილობები.....	305
7.6 კომპლექტური გამანაწილებელი მოწყობილობები	310
7.7 ქვესადგურების ტიპები	313
7.8 ელექტრული სადგურების მთავარი სქემები	316
7.9. საკუთარი მოხმარების სისტემები.....	324

7.10 დამამინებელი მოწყობილობები.....	334
მაგალითი 7.1.....	357
7.11 ნეიტრალის მუშაობის რეჟიმები	341
მაგალითი 7.2.....	357
7.12 რეაქტიული ენერგიის რეგულირების სტატიკური მოწყობილობები.....	348
თავი VIII.....	351
ქვესადგურების დაცვა გადაძაბვებისგან	351
8.1 ზოგადი ცნობები.....	351
8.2.1 ელვის პირდაპირი დარტყმისაგან დაცვა.....	353
8.2.2 ღეროვანი მესამრიდის დაცვის ზონა	353
მაგალითი 8.1.....	357
8.2.3 გვარლური მესამრიდის დაცვის ზონები	358
8.3. გადაძაბვისგან დამცავი მოწყობილობები	360
8.3.1 ზოგადი ცნობები	360
8.3.2 მილისებრი განმმუხტველები	360
8.3.3 ვენტილური განმმუხტველი	364
8.3.4 გადაძაბვის არახაზოვანი შემზღუდველები.....	369
თავი IX.....	380
მუდმივი დენით გადაცემა და მუდმივი დენის ჩანართი	380
9.1 ზოგადი ცნობები.....	380
9.2 მუდმივი დენის ჩანართების კლასიფიკაცია და ძირითადი ნაწილები.....	382
9.3 მუდმივი დენის ჩანართის მოქმედების ანალიზი	387
მაგალითი 9.1.....	407
გამოყენებული ლიტერატურა	415

აპროგნოზი

წიგნი შედგენილია იმ სალექციო მასალების საფუძველზე, რომელიც საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტსა და საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემის სწავლება-გადამზადების ცენტრში იკითხება კურსებში „ელექტრული სადგურების და ქვესადგურების ელექტრული ნაწილი“, „ელექტრული სადგურების და ქვესადგურების ძალოვანი დანადგარები და აპარატურა“ და „ელექტრული სადგურების და ქვესადგურების საკომუტაციო სქემები და რეჟიმები“. იგი ემყარება პედაგოგიურ და სტუდენტებთან უშუალო ურთიერთობის 9 წლიან გამოცდილებას. წიგნში გათვალისწინებულია საქართველოს ელექტროენერგეტიკის თანამედროვე მოთხოვნები და სტუდენტების სურვილები.

აქ განხილულია თანამედროვე ევროპული და ამერიკული წარმოების აპარატურა, ასევე მოცემულია ინფორმაცია საბჭოთა წარმოების აპარატურის შესახებ. ამ უკანასკნელის მიზეზი არის ის, რომ საქართველოს ენერგოსისტემა საბჭოთა სისტემის ნაწილი იყო და აქ გამოყენებული აპარატურა, საბჭოთა წარმოებისა და ნორმების შესაბამისი, რომელსაც თანდათანობით ანაცვლებს სტანდარტებით ახლო მყოფი ევროპული აპარატურა.

ასევე განხილულია ელექტრული სადგურებისა და ქვესადგურების ძირითადი ტიპები და მოწყობილობა-დანადგარები: სინქრონული გენერატორები და კომპენსატორები, ძალოვანი ტრანსფორმატორები და ავტოტრანსფორმატორები, გამტარები, კაბელები, იზოლატორები, საკომუტაციო და დამცავი აპარატურა, რეაქტიული სიმძლავრის რეგულირების სტატიკური ვარ მოწყობილობები, მზომი ტრანსფორმატორები. მოყვანილია მოკლე პერთვის დენების გაანგარიშების მეთოდიკა, განხილულია ამ დენების ელექტროდინამიკური და თბური მოქმედება, მოცემულია დენგამტარი ნაწილების და ელექტრული აპარატურის პერჩევის მეთოდიკა. დიდი ყურადღება აქვს დათმობილი ელექტრული სადგურების და ქვესადგურების სქემების საიმედოობისა და ეკონომიურობის ანალიზს. განხილულია ქვესადგურების დამინების სისტემის და მცხდაცვის ზონების გაანგარიშების პრინციპები.

წიგნში მოყვანილია ღია და მოდულური გამანაწილებელი მოწყობილობების ტიპური კონსტრუქციები და შესაბამისი ცალხაზოვანი სქემები.

განსაკუთრებული ყურადღება აქვს დათმობილი მუდმივი დენის ჩანართს, ვინაიდან საქართველოსა და თურქეთის ენერგოსისტემები მნიშვნელოვანი დადგმული სიმძლავრის მუდმივი დენის ჩანართებით იქნებიან დაკავშირებულნი.

ყოველი თავის შემდეგ, თეორიული მასალის უკეთ ათვისების მიზნით, მოცემულია პრაქტიკული გაანგარიშებების მაგალითები.

ავტორი მადლობას უხდის უფროს მეგობარს და მასწავლებელს - ბ-ნ მ. რუხვაძეს წიგნის შედგენისას გაწეული კონსულაციებისა და საჭირო რჩევებისთვის, ბ-ნ შ. ნაჭყებიას გაწეული ტექნიკური დახმარებისთვის, კოლეგებს - ნ. გვარამაძესა და გ. არზიანს რჩევებისა და შენიშვნებისთვის.

ავტორი მადლიერებით მიიღებს შენიშვნებსა და საჭირო წინადადებებს.

შესავალი

ელექტროენერგეტიკული სისტემა შედგება ენერგიის წარმოების, გადაცემა-განაწილების და მოხმარების ობიექტებისგან. ელექტროენერგიის წარმოება ხდება *ელექტრულ სადგურებში*, სადაც *სინქრონული გენერატორები* პირველადი რესურსის ენერგიას გარდაქმნიან 50 ჰერცი სიხშირის *სამფაზა ცვლადი დენის* ელექტრულ ენერგიად. პრაქტიკულად მთლიანი ელექტრული სისტემა სამფაზა ცვლადი დენის სისტემას წარმოადგენს.

ელექტროენერგიის მომხმარებლები სხვადასხვა სახისაა: მრეწველობაში, ტრანსპორტში, მშენებლობასა და საყოფაცხოვრებო ტექნიკაში გამოყენებული ძრავები; მეტალურგიული რკალური, კულინარული და გამათბობელი ლუმენები; განათება; ციფრული მოწყობილობები და ა.შ. ისინი ელექტრულ ენერგიას გარდაქმნიან მექანიკურ, თბურ, სინათლის ან რაიმე სხვა სახის ენერგიად.

ელექტროენერგიის წარმოებისა და მოხმარების ობიექტების დაკავშირება ხდება *ელექტრული ქსელის* საშუალებით, რომელიც შედგება *ქვესადგურებისა* და *ელექტროგადაცემის ხაზებისაგან*.

ელექტროენერგიის გადაცემა მიზანშეწონილია მაღალი ძაბვით, რადგან ამ შემთხვევაში მცირდება გადაცემაზე დანაკარგები. თუმცაღა გენერატორების მიერ ვერ ხერხდება გადასაცემი ენერგიის გენერირება მაღალი ძაბვით, იზოლაციის შეზღუდვების გამო. ამიტომ ელსადგურში განლაგებულია *ამწვეი ქვესადგური*, რომელიც საგენერატორო ძაბვას ამაღლებს გადასაცემი ძაბვის დონემდე. აღსანიშნავია, რომ მოხმარების პუნქტებთან, უსაფრთხოების პირობებიდან გამომდინარე, საჭიროა ძაბვის დაწევა და ამგვარად განაწილება. ამასთან, უშუალოდ მომხმარებლებისათვის მისაწოდებლად ხდება ენერგიის გარდაქმნა კიდევ უფრო დაბალ ძაბვაზე. ამრიგად, გვაქვს ძაბვის *დამწვეი ქვესადგურები*. მართალია, რაც უფრო მაღალია გადასაცემი ძაბვა, მით ნაკლებია დანაკარგები, მაგრამ მით მეტი კაპიტალდაბანდებებია საჭირო და ძვირია ექსპლუატაცია. ეს იმიტომ, რომ იზრდება მაღალ ძაბვებზე გამტარებს შორის მანძილები და იზოლაციის გაბარიტები; რთულდება ძალოვანი, დამცავი და მზომი აპარატურა და ა.შ. ამიტომ გადასაცემი ძაბვის დონის დადგენა ხდება ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზის საფუძველზე. ამრიგად, ენერგოსისტემაში გვაქვს ორი ან მეტი გადასაცემი ძაბვა.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, ქვესადგური შეიძლება იყოს (ა) *ამწვეი*, სადაც ხდება საგენერატორო ძაბვის ამაღლება გადასაცემი ძაბვის დონემდე, (ბ) *სატრანზიტო*, სადაც ხდება ელექტროენერგიის ტრანზიტისა და განაწილების მიზნით სხვადასხვა ძაბვის ქსელების ერთმანეთთან დაკავშირება და (გ) *გამანაწილებელი* (სადისტრიბუციო), რომელიც განლაგებულია ქალაქის და სამრეწველო ობიექტების სიახლოვეს, სადაც ხდება ძაბვის დაწევა მომხმარებლებისათვის მისაღებ დონეზე და მათთვის განაწილება. ქვესადგურში განთავსებული ძირითადი მოწყობილობაა *ძალოვანი ტრანსფორმატორი*, რომელიც ახდენს მასში შესული ენერგიის ძაბვის აწევას ან დაწევას, რისი მიხედვითაც მათ პირობითად ამწვეი ან დამწვეი ტრანსფორმატორები ჰქვია. აქვეა განლაგებული *საკომუტაციო მოწყობილობები*, რომელთა დანიშნულებაა ქვესადგურში შემავალი ხაზისა თუ აქ არსებული მოწყობილობების ნორმალური ან ავარიული ჩართვა-გამორთვა ან განმხოლოება; *მზომი მოწყობილობები*, რომლებიც იძლევიან ინფორმაციას ქვესადგურის ხაზების და ძალოვანი ტრანსფორმატორების ძაბვებისა და დენების

შესახებ, ასეთებია დენისა და ძაბვის ტრანსფორმატორები და ოპტიკური გადამწოდები; აქვეა გადამეტაბებისა და ავარიული დენებისაგან დამცავი აპარატურა - მეხამრიდები, გადაძაბვის შემზღუდველები და დენშემზღუდი და შენტური რეაქტორები.

აღსანიშნავია, რომ ელექტროენერგიის წარმოება, გადაცემა და მოხმარება (დანაკარგების ჩათვლით) დროში თანხვდენილი პროცესია. ანუ დროის ნებისმიერ მომენტში წარმოებული, გადაცემული და მოხმარებული სიმძლავრეები ერთმანეთის ტოლია და განპირობებულია მომხმარებლების დატვირთვით. ეს უკანასკნელი კი დროში განუწყვეტლად იცვლება, ზოგიერთი მათგანის, მაგალითად, რკალური ღუმლების დატვირთვა თითქმის მყისიერად იცვლება დიდ ფარგლებში, დროში ასევე საკმაოდ მკვეთრად იცვლება ელექტროტრანსპორტის ძრავების დატვირთვა. მცირე სიმძლავრის საყოფაცხოვრებო და საოფისე დატვირთვების მოხმარებაც იცვლება ინტენსიურად. ამრიგად, ელექტრული სადგურები და ქვესადგურები ისე უნდა იყოს მოწყობილი, რომ დროის ნებისმიერ შუალედში, მინიმალური დაყოვნებით უზრუნველყონ დატვირთვების ცვლილების კომპენსირება, ელექტროენერგიის ხარისხის ნორმიდან გადახრის გარეშე, რაც გულისხმობს (ა) ძაბვის ცვლილების სიჩქარეს $\pm 1\%/წმ$ ფარგლებში, (ბ) მისი სიდიდის ნომინალურიდან გადახრას $\pm 5\%$ ფარგლებში, (გ) სიხშირის გადახრას ნომინალურიდან $\pm 0.2\%$ ფარგლებში, (დ) სინუსოიდურობის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტს $2.5 \div 3\%$ ფარგლებში. ამ პირობების უზრუნველსაყოფად ელსადგურების გენერატორები უნდა იყვნენ ალჭურვილნი პირველადი ენერგორესურსის ხარჯისა და ძაბვის სწრაფმოქმედი რეგულატორებით; ქვესადგურების ტრანსფორმატორებს უნდა გააჩნდეთ დატვირთვის ქვეშ ძაბვის ავტომატური რეგულირების მოწყობილობები, ქვესადგურში ასევე შეიძლება იყოს რეაქტიული ენერგიის (რომელიც განსაზღვრავს ძაბვის დონეს) წარმომქმნელი (კონდენსატორთა ბატარეები), შთანთქმელი (რეაქტორები) და მარეგულირებელი (სინქრონული კომპენსატორები და ტირისტორული სტატიკური დანადგარები) მოწყობილობები.

მიუხედავად იმისა, რომ ზოგადად ელექტროსისტემაში ენერგიის წარმოება, გადაცემა, მოხმარება ხდება ცვლადი დენით, რიგ შემთხვევებში მოსახერხებელია ენერგიის გადაცემა მუდმივი დენით ან ორი სისტემის ერთმანეთთან დაკავშირება მუდმივი დენის ჩანართის საშუალებით. ამიტომ თანამედროვე ელექტრულ სისტემებში გვაქვს გარდამსახი ქვესადგურები, რომლებიც ცვლად დენს გარდაქმნიან მუდმივ დენად და პირიქით. ეს ქვესადგურები საკმაოდ რთული ტექნოლოგიის ბაზაზეა შექმნილი და მათ ძირითად მოწყობილობებს წარმოადგენენ ძალოვანი ტირისტორული გამმართველები და ინვერტორები. მუდმივი დენის ჩანართები ასევე ალჭურვილნი არიან სპეციალური დენის გამაგლუვებელი რეაქტორებით, რეაქტიული ენერგიის წყაროებით, მუდმივი და ცვლადი დენის ფილტრებით და ა.შ.

ამრიგად, თანამედროვე ენერგოსისტემა შედგება სამუაზა ცვლადი დენისა და მუდმივი დენის მოწყობილობებისგან, რომელშიც განუწყვეტლად იცვლება დატვირთვა და ამ დატვირთვის საპასუხოდ იცვლება ელსადგურების როგორც აქტიური, ისე რეაქტიული სიმძლავრის გენერაცია და ქვესადგურებზე ტრანსფორმატორების ძაბვის რეგულატორების საფეხურები, იმგვარად, რომ შენარჩუნებულ იქნას ელექტროენერგიის ხარისხი მისაღებ დონეზე.

თავი I

ელექტრიკი სადგურები

1.1. ზოგადი ცნობები

ელექტრული სადგური წარმოადგენს სამრეწველო საწარმოს, რომელიც პირველადი რესურსის ენერგიის გარდაქმნის ხარჯზე აწარმოებს ელექტროენერგიას, ხოლო ზოგ შემთხვევაში - თბოენერგიასაც. თბო და ატომური ელექტრული სადგურები, შესაბამისად, ორგანულ და ბირთვულ საწვავზე მუშაობენ. ამ ენერგეტიკული რესურსების მარაგი თანდათან იწურება და ღირებულება მატულობს. ამ მხრივ, დიდი უპირატესობა აქვთ ჰიდროელექტროსადგურებს, რომლებიც მდინარეების განახლებად ჰიდროენერგეტიკულ რესურსს იყენებენ. ასევე ცნობილია ელექტროენერგიის მიღების ხერხები, სხვა განახლებადი ენერგიის წყაროებიდან, როგორებიცაა: მზე, ქარი, ზღვის მიქცევა-მოქცევა, ზღვის და ოკეანის ტალღები, გეოთერმული წყლები, მსოფლიო ოკეანის დინებები და ა.შ.

თითქმის ყველა ტიპის ელსადგურზე ხდება პირველადი ენერგიის გარდაქმნა მექანიკურ ენერგიად. ამ ენერგიას მოძრაობაში მოყავს ე.წ. „პირველადი ამძრავი“ – ტურბინა. ტურბინა თავის მხრივ აბრუნებს გენერატორს, რომელიც ტურბინის მექანიკურ ენერგიას გარდაქმნის ელექტრულ ენერგიად. გენერატორად ჩვეულებრივ გამოიყენება სამფაზა სინქრონული მანქანები. მათ მიერ გენერირებული სიმძლავრის ძაბვა ჩვეულებრივ არ აღემატება 30 კვ-ს. ასეთი ძაბვით ელექტროენერგიის გადაცემა გამოიწვევს დიდ დანაკარგებს. ამიტომ ელექტრულ სადგურებში დამონტაჟებულია ამწევი ტრანსფორმატორები, რომლებიც გადასაცემი ენერგიის ძაბვას ამაღლებენ 110÷1150 კვ-მდე.

1.2.1 ჰიდროელექტროსადგურები (ჰეს)

ჰესზე ელექტროენერგია მიიღება წყლის ნაკადის მექანიკური ენერგიის გარდაქმნის ხარჯზე. ამ ტიპის სადგურზე (ნახ. 1.1.) პირველად ამძრავს წარმოადგენს ჰიდროტურბინები, რომლებსაც მოძრაობაში მოჰყავთ ჰიდროგენერატორები. ჰიდროგენერატორის მიერ განვითარებული სიმძლავრე პროპორციულია დანწევისა (წყლის ვარდნის სიმაღლის) და წყლის ხარჯის ანუ:

$$P = \eta \cdot g \cdot H \cdot Q \quad (\text{კვტ}) \quad (1.1)$$

სადაც

η = ჰესის ჯამური მარგი ქმედების კოეფიციენტი [მქკ]

g = თავისუფალი ვარდნის აჩქარება (9.81 მ/წმ²)

H = დანწევა (მ)

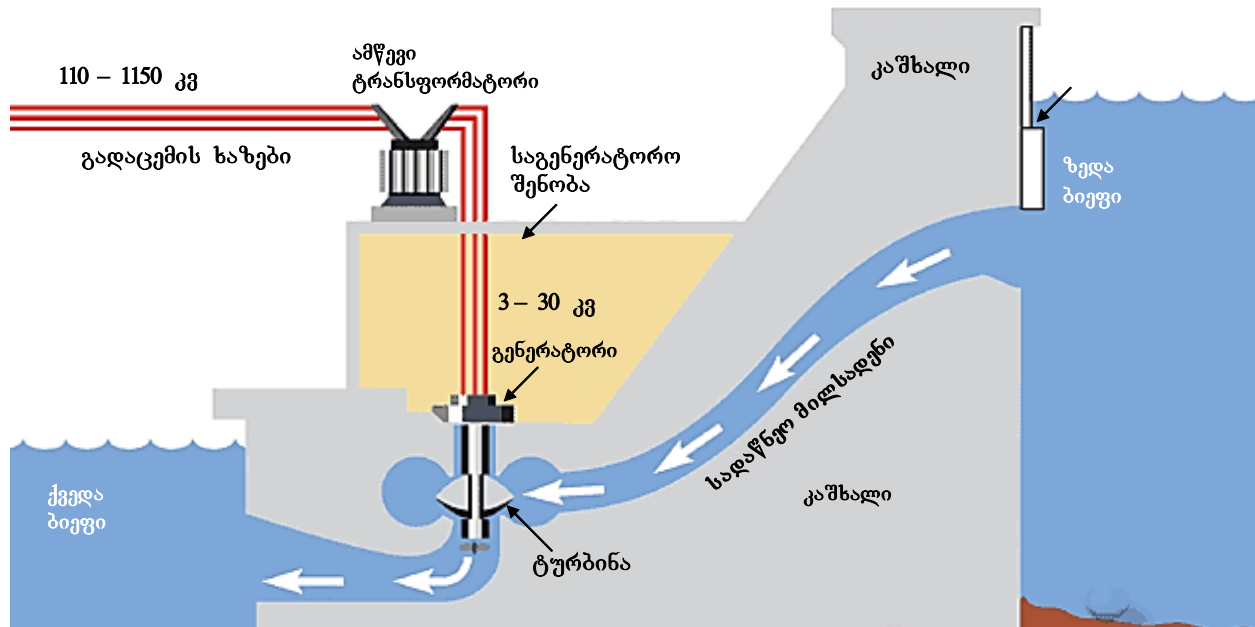
Q = წყლის ხარჯი (მ³/წმ)

ჰესებზე, როგორც წესი, წყლის დანწევა იქმნება კაშხლის საშუალებით. კაშხალი წარმოადგენს სადგურის ყველაზე უფრო საპასუხისმგებლო და მნიშვნელოვან მოწყობილობას. მას შეიძლება ჰქონდეს რკინა-ბეტონის ან ბეტონის თაღოვანი შესრულება ან შეიძლება აგებული იყოს მიწისა ან ქვანაყარისაგან. კაშხალი გადაკეტავს მდინარის კალაპოტს და ქმნის წყალსაცავს,

რომელშიც გროვდება წყალი. კაშხლის წინ და მის შემდეგ წარმოიქმნება წყლის დონეთა სხვაობა, რაც განაპირობებს ჰიდროელექტროსადგურის საჭირო დანწევას. კაშხლის მიერ დაგროვებული წყალი საჭიროებისამებრ იხარჯება ელექტროენერგიის მისაღებად.

წყლის დონეს კაშხლის ზემოთ ეწოდება *ზედა ბიეფი*, ხოლო კაშხლის ქვემოთ - *ქვედა ბიეფი*. ზედა და ქვედა ბიეფების სიმაღლეთა სხვაობას ეწოდება *დანწევა*.

ჰიდროკვანძის შემადგენლობაში შედიან: კაშხალი, სადგურის შენობა, წყალგადამგდები, სანაოსნო ფარები, თევზგამტარი აღჭურვილობები და ა.შ.



ნახ. 1.1. ჰესის პრინციპული სქემა

სადგურის (საგენერატორო) შენობაში განლაგებულია გენერატორები და ტურბინები - შესაბამისი დამხმარე მოწყობილობებით - ზეთსაწნეო დანადგარი, ამწეები და ა.შ. აქვეა განლაგებული სადგურის მართვის სისტემა და მორიგე პერსონალი.

იმის მიხედვით, თუ როგორია ადგილობრივი რელიეფი და მდინარის სიჩქარე, შეიძლება გამოყენებულ იქნას ჰესის *დერივაციული* ან *კაშხალჩაშენებელი* შესრულება.

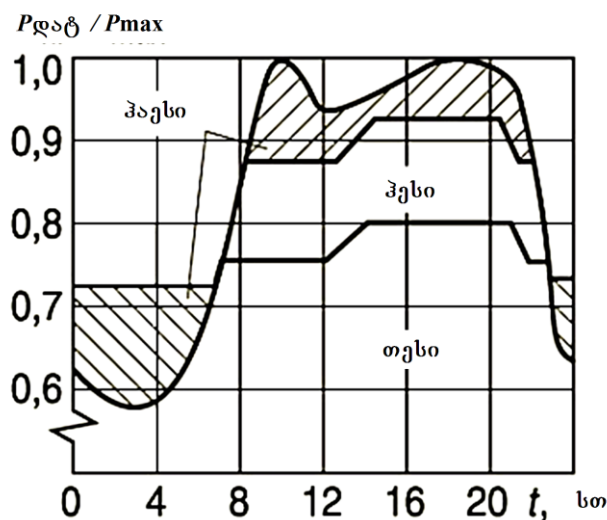
კაშხალჩაშენებელი შესრულება, ჩვეულებრივ, აქვთ ბარის ნელ მდინარეზე აგებულ ჰესებს, სადაც კაშხალი და საგენერატორო შენობა უშუალო სიახლოვეში არიან.

დერივაციული სადგურები, ჩვეულებრივ, მთის ჩქარ მდინარეებზე შენდება. ამ შემთხვევაში კაშხალი და საგენერატორო შენობა ერთმანეთისაგან დიდ მანძილზეა დაშორებული. მდინარის შერჩეულ კვეთში აგებული კაშხალი ქმნის წყალსაცავს, სადაც მდინარის წყალუხვობის პერიოდში გროვდება წყლის მარაგი, რომელიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას ენერგიის გამოსამუშავებლად წყალმცირობის პერიოდში. წყალსაცავიდან წყალი მიეწოდება სადერივაციო სისტემას. იგი წარმოადგენს ხელოვნურ წყალგამტარს, გვირაბს, მილსადენს ან არხს, რომელსაც შეიძლება ჰქონდეს ბეტონის ან რკინაბეტონის შესრულება. სადერივაციო სისტემიდან წყალი სადაწნო მილსადენებით მიეწოდება ჰიდროელექტროსადგურის ტურბინებს.

ჰესების მშენებლობის დროს, ენერგეტიკულთან ერთად, სამეურნეო ამოცანებიც წყდება. შექმნილ წყალსაცავს იყენებენ მიწების მოსარწყავად, დიდი ქალაქების სასმელი წყლით მოსამარაგებლად, ნაოსნობის განსავითარებლად და სხვ. ჰესების მარგი ქმედების კოეფიციენტი შეადგენს 86-92%. მათზე ელექტროენერგიის მიღების ტექნოლოგია ძალიან მარტივია და, მცირე

საექსპლუატაციო ხარჯების გამო, ელექტროენერგიის თვითღირებულება, თბოელექტროსადგურებთან შედარებით, რამდენჯერმე ნაკლებია.

ჰესების ნაირსახეობას წარმოადგენენ *ჰიდრომაკუმულირებელი* ელექტროსადგურები. მათ ორი სხვადასხვა სიმაღლეზე განლაგებული ზედა და ქვედა წყალსაცავები აქვთ. ჰიდროსაკუმულაციო ელექტრულ სადგურებზე შებრუნებად აგრეგატებს აყენებენ. გენერატორს შეუძლია იმუშაოს როგორც გენერატორულ, ასევე ძრავულ რეჟიმში, ხოლო ტურბინას ტუმბოს რეჟიმშიც შეუძლია მუშაობა: ენერგოსისტემის მინიმალური დატვირთვის დროს გენერატორები გადაჰყავთ ძრავულ რეჟიმში, ხოლო ტურბინები – ტუმბოს რეჟიმში და წყალს ქვედა წყალსაცავიდან, სისტემიდან მიღებული ელექტროენერგიის ხარჯზე, ატუმბავენ ზედა წყალსაცავში. მაქსიმალური დატვირთვის დროს, როდესაც სისტემაში ჩნდება სიმძლავრის დეფიციტი, ზედა წყალსაცავში დაგროვებული წყლის ხარჯზე ჰიდროსაკუმულაციო ელექტრული სადგური გამოიმუშავებს ელექტროენერგიას, გადასცემს მას ელექტროსისტემას და ფარავს დატვირთვის სადღეღამისო გრაფიკის პიკებს. ამრიგად, ჰიდროსაკუმულაციო სადგურების გამოყენება ენერგოსისტემის დატვირთვის გრაფიკის გათანაბრების საშუალებას იძლევა, რაც აუმჯობესებს ატომური და თბოსადგურების ტექნიკურ და ეკონომიკურ მაჩვენებლებს. სხვადასხვა ტიპის სადგურების მიერ დღეღამური დატვირთვის დაფარვის გრაფიკის მაგალითი მოცემულია შემდეგ ნახ-ზე.



ნახ. 1.2.

დღეღამური დატვირთვის დაფარვა სადგურების მიერ

აღსანიშნავია რომ ჰესების მშენებლობის ადგილი განპირობებულია ბუნებრივი პირობებით და, ძირითადად, ისინი დიდი მანძილით არიან დაცილებულები მოხმარების ცენტრებიდან. ამიტომ ჰესებზე გამოიმუშავებული ელექტროენერგია გადაიცემა მაღალი ძაბვით. ამ ტიპის სადგურებს, სხვა სადგურებთან შედარებით, გააჩნიათ მთელი რიგი უპირატესობებისა:

- მარგი ქმედების კოეფიციენტის მაღალი სიდიდე: $0.86 \div 0.92$ ($86 \div 92\%$);
- ელექტროენერგიის მიღების ტექნოლოგიის სიმარტივე;
- საჭირო მომსახურე პერსონალის სიმცირე;
- სრული ავტომატიზაციის შესაძლებლობა;

- მაღალი მანევრულობა, რამდენიმე წამში როგორც სრული ტვირთის აღების, ასევე მოხსნის უნარი; გამორთული მდგომარეობიდან სისტემასთან პარალელში ჩართვის შესაძლებლობა რამდენიმე წუთში, სისტემიდან უეცარი გამორთვის ამტანუნარიანობა.
 - მცირე საექსპლუატაციო ხარჯები, შესაბამისად ელექტროენერგიის დაბალი თვითღირებულება. იგი თბოელექტროსადგურებთან შედარებით რამდენჯერმე ნაკლებია;
 - გამონაბოლქვისა და CO₂-ის ჰაერში გამოტყორცნის არ არსებობა, ვინაიდან მისი მოქმედების შედეგად არ ხდება საწვავის დაწვა;
 - არა მხოლოდ ენერგეტიკული, არამედ წყალმომარაგების პრობლემების გადაწყვეტის შესაძლებლობა.
- ამავე დროს, ჰესებს გააჩნიათ გარკვეული ნაკლოვანებებიც:
- მშენებლობას სჭირდება დაახლოებით 4 წელი;
 - წყალსაცავის შესაქმნელად შეიძლება საჭირო გახდეს დიდი ტერიტორიების დატბორვა და/ან მოსახლეობის გადასახლება;
 - უარესდება კლიმატური პირობები, მიმდებარე რეგიონებში ტენიანობა და ნესტიანობა მკვეთრად მატულობს;
 - ფერხდება იმ მდინარის გასწვრივ თევზის მოძრაობა და გამრავლება, სადაც კაშხალია ჩადგმული.

მაგალითი 1.1

ვიპოვოთ ჰესის მქვ თუ მისი დადგმული სიმძლავრეა 100 მგვტ, დაწნევაა $H = 142$ მ, ხოლო წყლის ხარჯია, $Q = 78$ მ³/წმ.

ამოხსნა

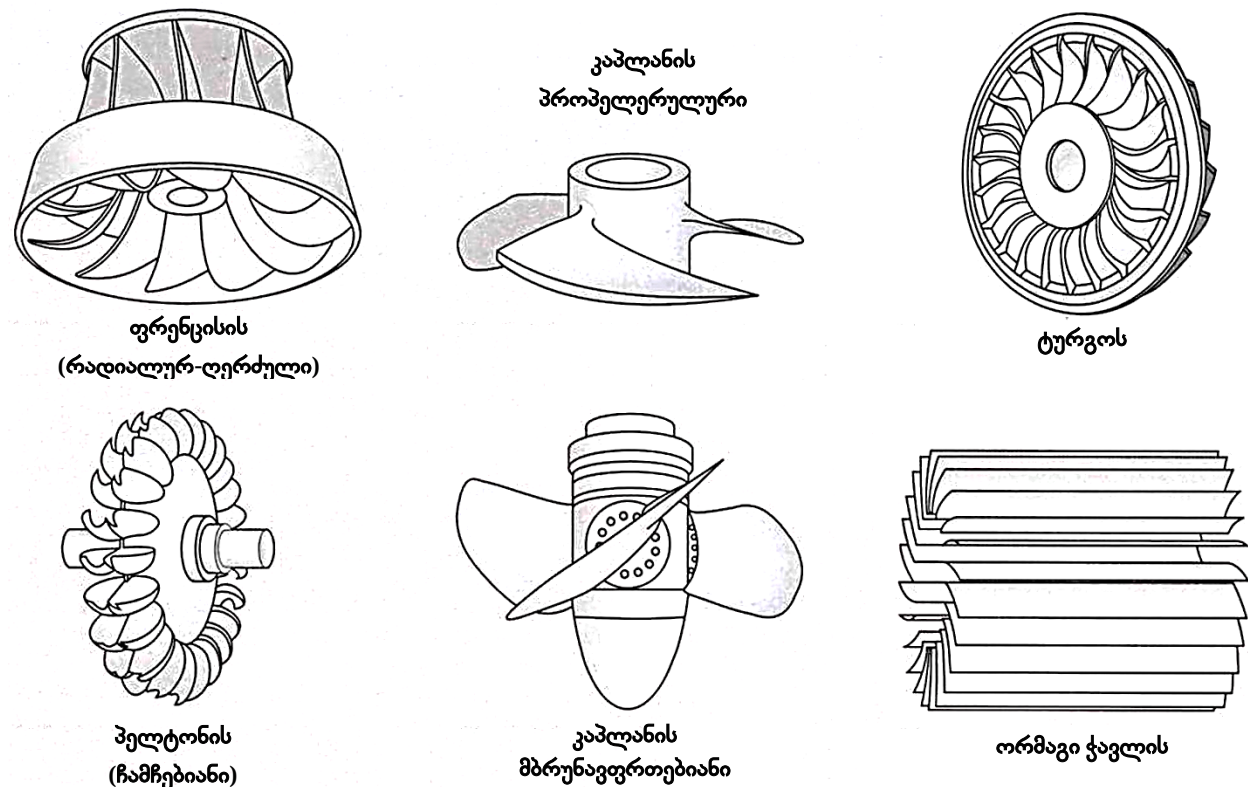
(1.1) გამოსახულებიდან გვექნება

$$\eta = \frac{P(\text{კვტ})}{g(\text{მ/წმ}^2) \times H(\text{მ}) \times Q(\text{მ}^3/\text{წმ})} = \frac{100000}{9.81 \times 142 \times 78} = 0.92 = 92\%$$

1.2.2 ჰიდროტურბინები

ზოგადი ცნობები. ჰიდროელექტროსადგურებში პირველად ამძრავებს წარმოადგენენ ჰიდროტურბინები. ტურბინა და ჰიდროგენერატორი ერთ ღერძზე არიან განლაგებულნი და ეს ორი მოწყობილობა ერთად ქმნის ჰიდროაგრეგატს. სწორედ ტურბინა ართმევს წყალს მექანიკურ ენერგიას, რომელიც შემდეგ გენერატორების მიერ გარდაიქმნება ელექტრულ ენერგიად. ელსადგურის ჯამური წყლის ხარჯისა და დაწნევის მიხედვით ხდება ტურბინების ტიპის, ბრუნთა რიცხვისა და რაოდენობის დადგენაც. რაც, თავის მხრივ, განსაზღვრავს გენერატორის ბრუნთა რიცხვს, რაოდენობას, გაბარიტებს და განლაგებას.

ტურბინების დაყოფა შეიძლება იმპულსურ [აქტიურ] და რეაქციულ [რეაქტიულ] ტურბინებად. თუ ტურბინის მუშა თვალში მხოლოდ კინეტიკური ენერგიის მქონე წყალი შედის და მისი დაწნევის ანუ პოტენციური ენერგია ნულის ტოლია, მაშინ ასეთ ტურბინას ეწოდება იმპულსური; ხოლო თუ მუშა თვალში მოხვედრილ წყალს გააჩნია ერთდროულად როგორც კინეტიკური, ასევე პოტენციური ენერგია, მაშინ ასეთ ტურბინას ეწოდება რეაქციული. ამგვარად, იმპულსურ ტურბინას უხდება წყლისთვის მხოლოდ კინეტიკური ენერგიის ართმევა, ხოლო რეაქციულს - კინეტიკურისა და პოტენციურისაც. ამასთან, ტურბინებს (და მასთან მთელ აგრეგატს) შეიძლება ჰქონდეთ ლილვის ჰორიზონტალური ან ვერტიკალური განლაგება.



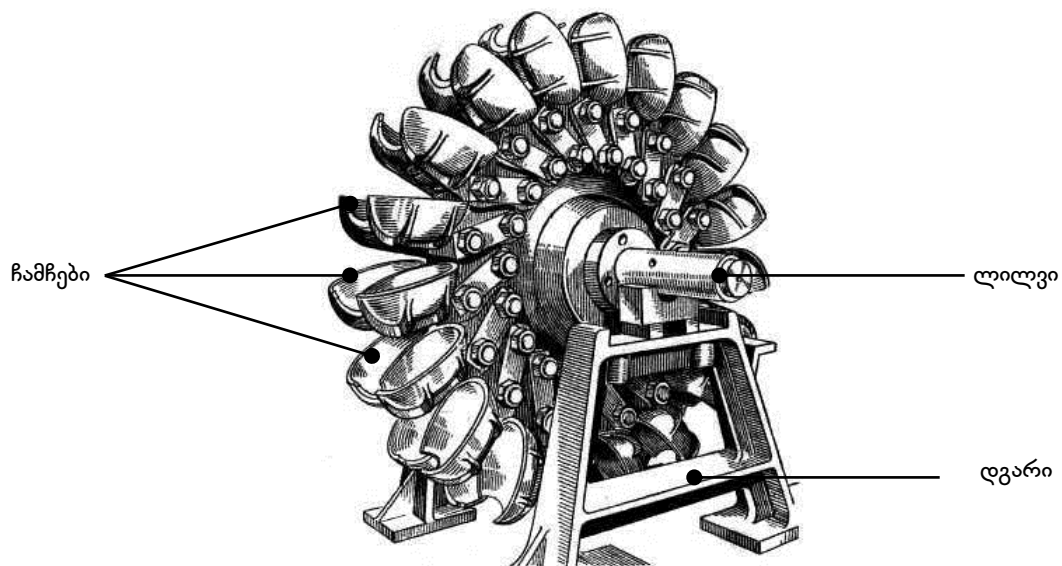
ნახ. 1.3. სხვადასხვა ტიპის ტურბინების მუშა თვლები

დღეისათვის გავრცელებულია შემდეგი ტიპის ჰიდროტურბინები (ნახ. 1.3):

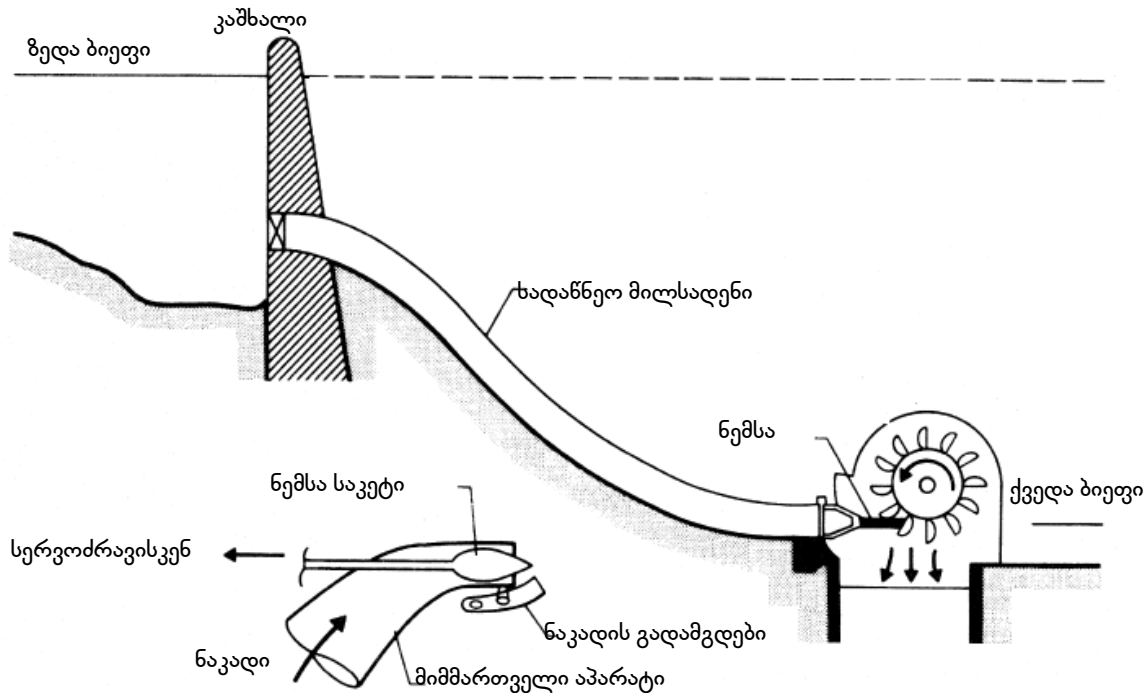
- პელტონის თვალი [ჩამჩებიანი ტურბინა];
- ორმაგჭავლიანი აქტიური ტურბინა;
- ტურგოს (დახრილჭავლიანი) ტურბინა;
- ფრენცისის [რადიალურ ღერძული] ტურბინა;
- კაპლანის [პროპელერული, მბრუნავფრთიანი, დიაგონალური] ტურბინა;
- კაფსულური ტურბინა;

იმპულსური [აქტიური] ტურბინები. პელტონის თვალი [ჩამჩებიანი ტურბინა] აქტიური ტურბინებიდან ყველაზე მეტადაა გავრცელებულია. ნახ. 1.4-ზე მოცემულია ამგვარი ტურბინის სქემა. ტურბინა ძირითადად შედგება მიმმართველი აპარატისა და მუშა თვლისაგან.

მიმმართველ აპარატს, რომელიც წყალს აძლევს საჭირო მიმართულებას, უფრო ხშირად საჭმენს უწოდებენ. იგი შეიცავს ნემსას (ნახ. 1.5), რომლის გადაადგილება იწვევს წყლის ხარჭისა და, შესაბამისად, ტურბინის მომენტის ცვლილებას. მილისებური ფორმის საჭმენი (ნახ. 1.5) ტურბინის სიახლოვეს ვიწროვდება და ქმნის თავისებურ წაგრძელებულ კონუსს. ამიტომ ნემსას გარე ზედაპირი პრაქტიკულად იმეორებს ამ კონუსის შიგა ზედაპირს. ნემსას უკანა მხარეც თითქმის კონუსის ფორმისაა. სხვა სიტყვებით, ნემსა წარმოადგენს ორი კონუსის შეერთებით მიღებულ ფიგურას, რომელთა შეერთების წრე მოგლუვებულია. ეს, ერთი მხრივ, აადვილებს წყლის ძლიერ ნაკადში მის წინ და უკან გადაადგილებას და, მეორე მხრივ, აღნიშნული საჭმენის კონუსთან სრულად მიბჯენის შემთხვევაში იძლევა საშუალებას სრულად მოხდეს მუშა თვლისკენ მიწოდებული წყლის შეწყვეტა. ტურბინის მუშა თვალი შედგება წრეზე თანაბრად განლაგებული ჩამჩებისაგან. თითოეული ჩამჩა შედგება ორი ერთნაირი ნახევარჩამჩისგან; ისინი ერთმანეთთან ისეა შეერთებული, რომ შეერთების ადგილი ჩამჩის სიმეტრიის ღერძს წარმოქმნის, რომელიც თავისებური დანის ფუნქციას ასრულებს. საჭმენიდან გამოსული მრგვალი კვეთის ჭავლი აღნიშნულ დანაზე მოხვედრის შემდეგ ორ თანაბარ ნაწილად იყოფა და ამის შემდეგ გარს შემოედინება ჩამჩის ნახევრებს (ნახ. 1.4). მაქსიმალური ეფექტით ჭავლის შესვლისთვის, ჩამჩების გარე ნაწილი ამოჭრილია. შეონბაში წყლის შესვლის ასარიდებლად, ტურბინის მუშა თვალი გარსაცმშია მოქცეული. როგორც ყველა მანქანას, მასაც აქვს მბრუნავი ლილვი და საკისრები.



ნახ. 1.4
პელტონის თვალი - საერთო ხედი



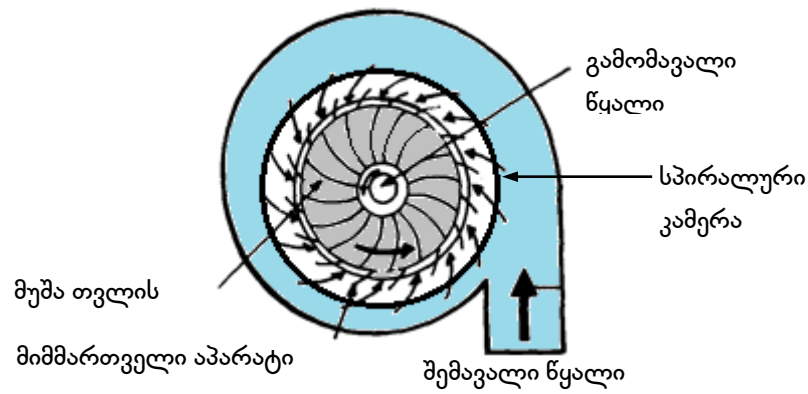
ნახ. 1.5
პელტონის თვალი და ნემსა

შედარებით ნაკლებადაა გავრცელებული აქტიური ორმაგ ჭავლიანი ტურბინა (ნახ. 1.3). მართალია, მისი მქვ საკმაოდ მაღალია და კონსტრუქცია მარტივი, მაგრამ იგი შეიძლება მხოლოდ მცირე სიმძლავრისა და მზადდეს. ამ ტურბინის თავისებურება ისაა, რომ მიმმართველი აპარატიდან გამოსული წყალი შედის მუშა თვლის ფრთებზე და მოძრაობს პერიფერიიდან ცენტრისკენ, ხოლო შემდეგ, მუშა თვლის შიგნით თავისუფალ არეში, ხელმეორედ შედის მუშა თვლის ფრთებში და მოძრაობს ცენტრიდან პერიფერიისკენ. ე.ი წყალი ორჯერ გადაკვეთს ფრთებს, რის გამოც მას ორმაგი ჭავლის ტურბინა ეწოდება.

ტურგოს (დახრილ ჭავლიანი) ტურბინა (ნახ. 1.3) აგრეთვე შედარებით ნაკლებადაა გავრცელებული. აქ მიმმართველია აპარატი ისეთივე საქმენია, როგორიც აქვს ჩამჩიან ტურბინას, მაგრამ იგი გარკვეული კუთხით დახრილია მუშა ფრთის ბრუნვის სიბრტყის მიმართ. ტურბინის მუშა თვალი შედგება ჩამჩის მაგვარი ფრთებისგან, რომლებიც დამაგრებულია თვლის შუა და გარე ფერსოებზე.

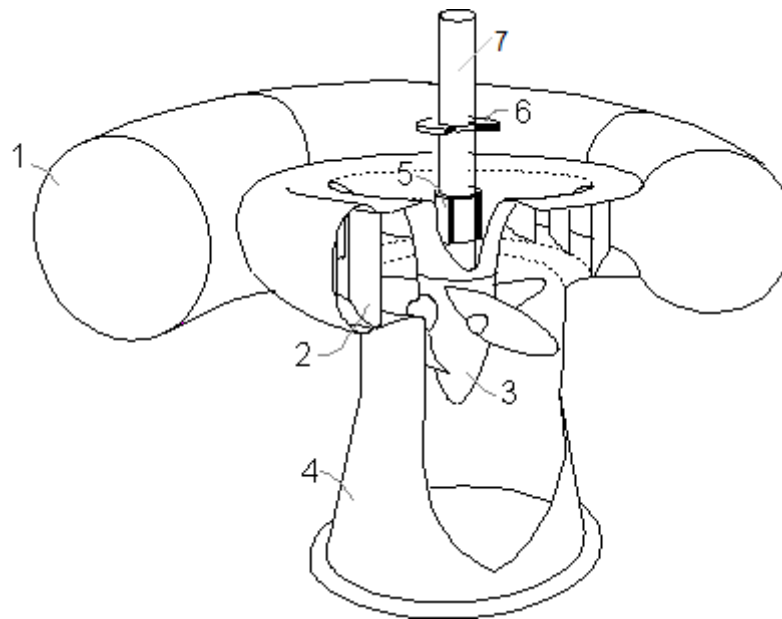
რეაქციული [რეაქტიული] ტურბინები. რეაქციული ტურბინის ძირითადი ნაწილებია: სპირალური კამერა, მიმმართველი აპარატი, მუშა თვალი და გამწოვი მილი.

სპირალური კამერა წარმოადგენს თავისებურ, ნიჟარის მსგავს წრიულ მილს (ნახ. 1.6 და 1.7), რომელიც ტურბინის მიმმართველი აპარატისა და მუშა თვლის გარშემო ქმნის ყულფს და რომლის კვეთიც თანდათან მცირდება. მისი დანიშნულებაა ზედა ბიეფიდან წნევით შემოსული წყლის მაქსიმალური ეფექტით განაწილება მიმმართველი აპარატისთვის, რომელიც მის შიგნით არის მოქცეული.



ნახ. 1.6

რეაქტიული ტურბინების სპირალური კამერა და მუშა თვალი (ზედხედი)



ნახ. 1.7. ტურბინის ნაწილები (საერთო ხედი)

1 - სპირალური კამერა; 2 - მიმართველი აპარატის ფრთები; 3 - ტურბინის მუშა თვალი;
4 - გამწოვი მილი; 5 და 6 - საკისრები; 7 - ლილვი

მიმართველი აპარატის დანიშნულებაა ტურბინის მუშა თვალში გარკვეული მიმართულებით შეიყვანოს საჭირო რაოდენობის წყალი. იგი შედგება წრის ირგვლივ განლაგებული ნიჩბებისგან. ნიჩბებს გარშემოღებული ფორმა აქვთ და შეუძლიათ თავიანთი ღერძის გარშემო შემობრუნება, რაც წყლის ხარჯის ცვლილების საშუალებას იძლევა (ტურბინის სიჩქარის რეგულირების მიზნით).

წყალი მიმართველი აპარატიდან შედის ტურბინის მუშა თვალში, რომელიც წყალს აართმევს ენერგიას. მუშა თვლიდან წყალი გადადის გამწოვ მილში. აქედან კი შემცირებული სიჩქარით წყალი ჩადის ქვედა ბიეფში.

გამწოვი მილი ძლიერ ზრდის რეაქტიული ტურბინის ეფექტურობას და მის აუცილებელ ნაწილს წარმოადგენს.

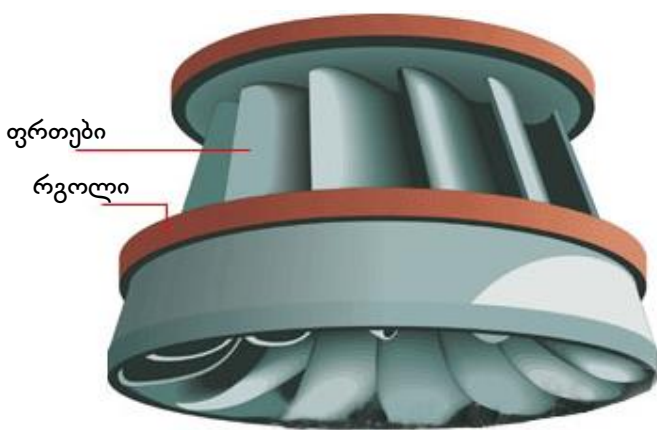
ამჟამად გავრცელებულია ყველაზე ეფექტური რეაქციული ჰიდროტურბინები:

1. ფრენცისის [რადიალურ ღერძული];
2. კაპლანის პროპელერული;
3. კაპლანის მბრუნავფრთიანი;
4. კაპლანის დიაგონალური.

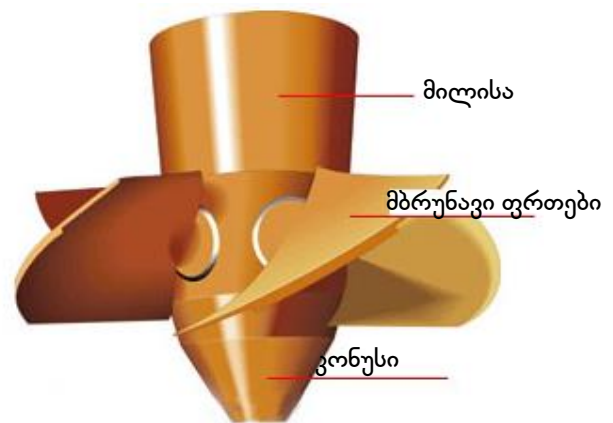
ფრენცისის [რადიალურ-ღერძულ] ტურბინას, სხვა რეაქციულ ჰიდროტურბინებთან შედარებით, აქვს რთული მოხაზულობის მრავალი ფრთა. ისინი ხისტადაა დამაგრებული მუშა თვლის რგოლებზე. შიგა რგოლი მზადდება მილთან ერთად, რომლითაც მუშა თვალი უერთდება ტურბინის ლილვს (ნახ. 1.8)

კაპლანის პროპელერულ ტურბინას (ნახ. 1.8) აქვს ისეთივე მიმმართველი აპარატი, როგორც ფრენცისის ტურბინას. მისი მუშა თვალი შედგება მილისისგან, რომელზეც გარკვეული კუთხით ხისტადაა დამაგრებული რამდენიმე ფრთა. მუშა თვალში წყალი შედის და გამოდის ღერძის მიმართულებით, შემდეგ იგი გაივლის გამწვან მილში, საიდანაც მცირე სიჩქარით ჩაედინება ქვედა ბიეფში. ტურბინის ლილვთან მუშა თვალი შეერთებულია თავისი მილისით.

კაპლანის მბრუნავფრთიანი ტურბინა (ნახ. 1.8) პროპელერული ტურბინისგან მხოლოდ იმით განსხვავდება, რომ სხვადასხვა რეჟიმში მისი ფრთები განსხვავებული კუთხით ბრუნდება. ეს ბრდის წყლის ენერგიის გამოყენების ეფექტურობას. ფრთების მოსაბრუნებლად, მუშა თვლის მილისაში მოთავსებულია მექანიზმი, რომლის საშუალებით ხდება ფრთების მობრუნება. იგი მიმმართველი აპარატის ნიჩბების გადაადგილების მექანიზმთან იმგვარადაა დაკავშირებული, რომ ნიჩბების გარკვეულ სიდიდეზე გაღება იწვევს მუშა თვლის მოტრიალებას ისეთი კუთხით, რომელიც წყლის ენერგიის მაქსიმალური ეფექტურობით გამოყენებას შეესაბამება.



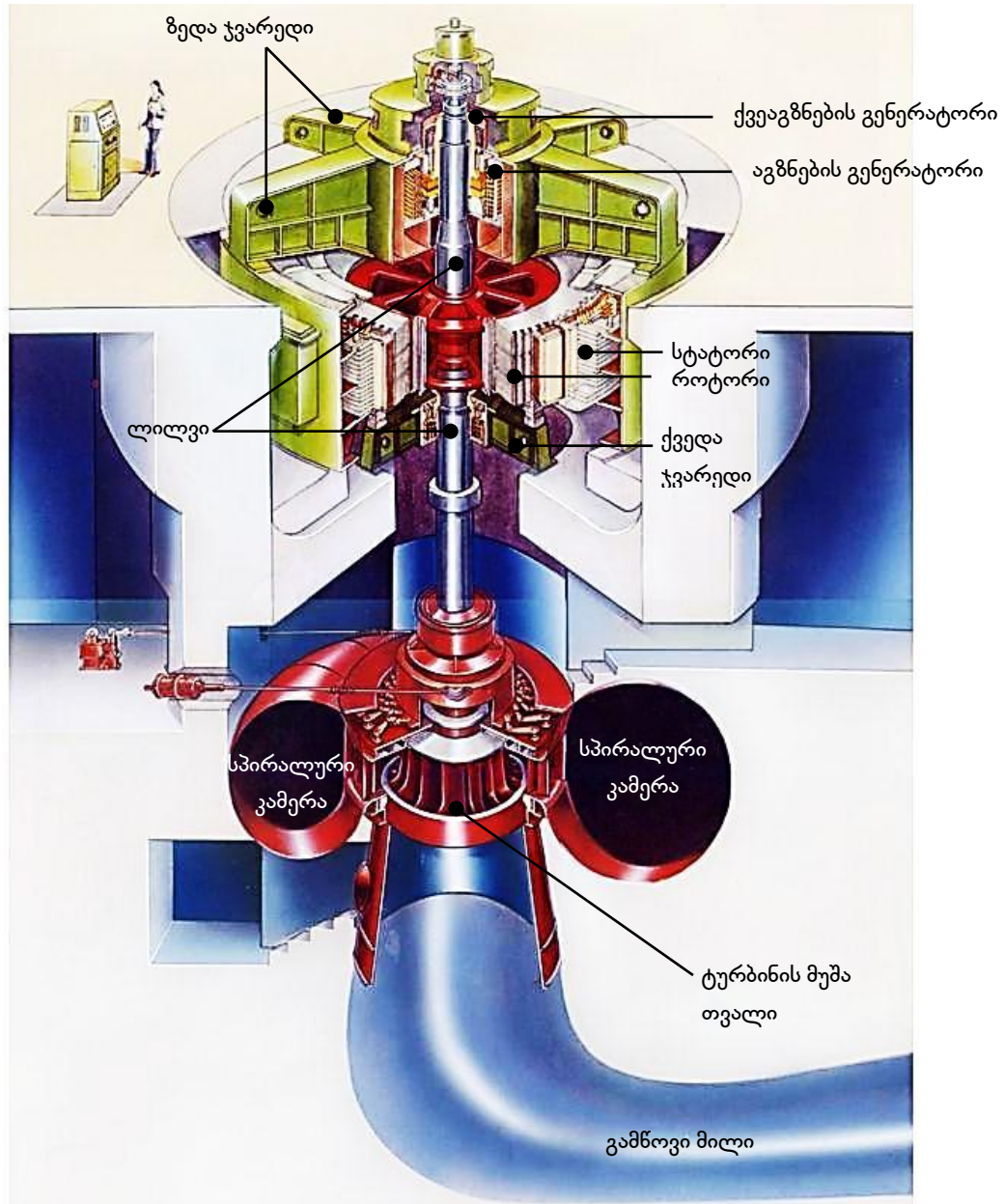
ფრენცისის მუშა თვალი



კაპლანის მუშა თვალი

ნახ. 1.8
რეაქციული ტურბინების მუშა თვლები

კაპლანის დიაგონალური ტურბინა შედარებით ახალი გავრცელებულია. იგი წარმოადგენს კაპლანის ტურბინის ახალ სისტემას. მას გააჩნია დახრილი, კონუსური მიმართველი აპარატი, რომელიც ამცირებს გაბარიტებს. ტურბინის მუშა თვალს აქვს დახრილად განლაგებული ფრთები. მათ შეუძლიათ ღერძის გარშემო მოტრიალება. დანარჩენი ნაწილები ჩვეულებრივი კაპლანის ტურბინის მსგავსია.

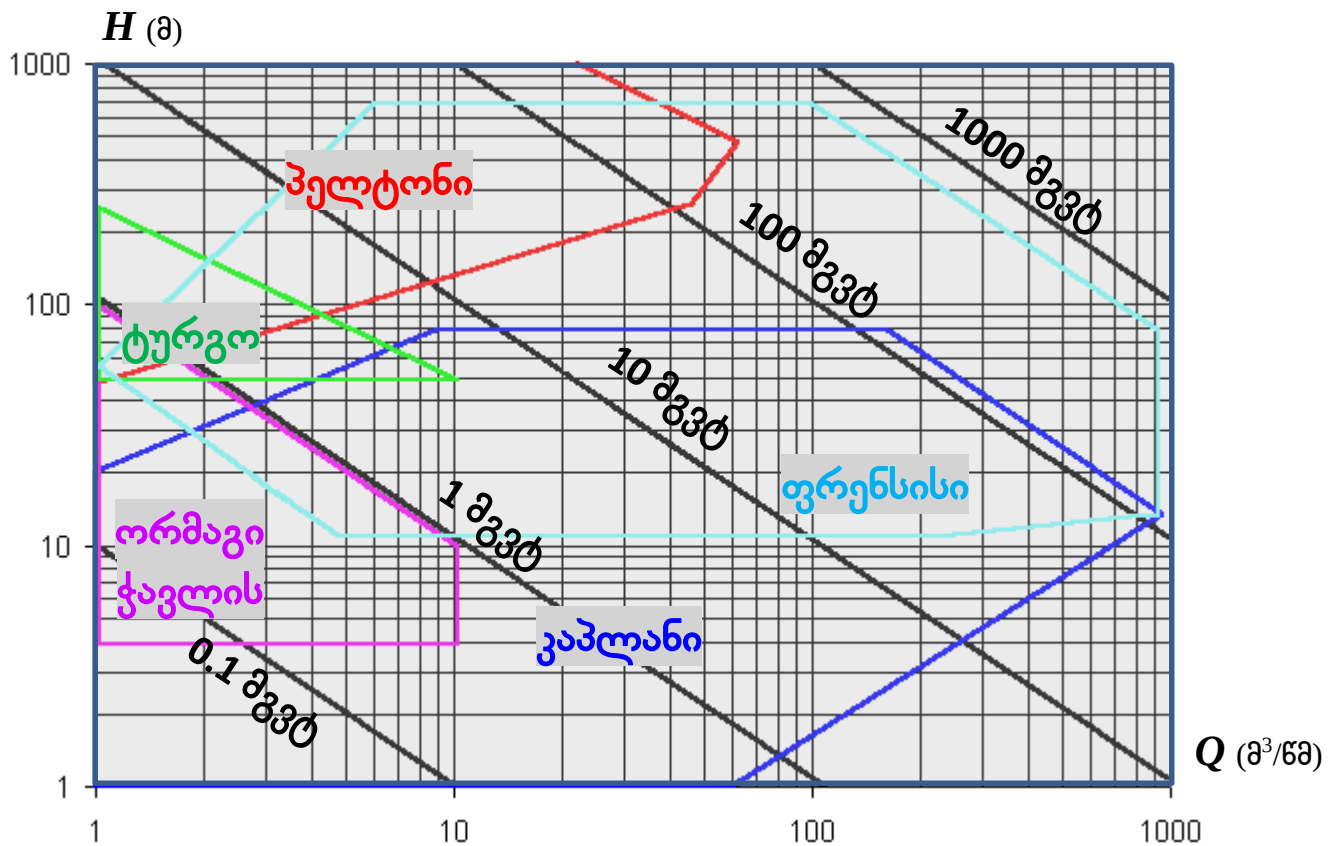


ნახ. 1.9

ჰიდროაგრეგატის ტურბინა-გენერატორი კონცეპტუალური ხედი და ელემენტები

კაფსულური ტურბინები. 10 მ და უფრო მცირე დანწევებზე გამოიყენება კაფსულური ტურბინები. მათი ძირითადი თავისებურება ისაა, რომ ჰიდროაგრეგატის „ტურბინა-გენერატორი“ ლილვი ჰორიზონტალური განლაგებისაა (ნახ. 1.10). ტურბინის მუშა თვალი, ჩვეულებრივ, მოსაბრუნებელფრთიანი კაპლანის ტიპისაა. რაც შეეხება გენერატორს, იგი მოთავსებულია გარშემოღინებული ფორმის, ჰორიზონტალრად ორიენტაცირებული წვეთის მსგავს კაფსულაში, რათა მასში წყალმა არ შეაღწიოს. კაფსულა პრაქტიკულად განლაგებულია უშუალოდ სადანწეო მილსადენში, ამ უკანასკნელის შევიწროვებად, ძაბრისებურ ბოლოში. მილსადენის ამდაგვარი შესრულების გამო, მას შემდეგ რაც წყალი გარშემოედინება კაფსულას, მისი წნევა იზრდება და წყალი მაქსიმალური ეფექტით ხვდება ტურბინის მუშა თვლის ფრთებზე.

ნახ. 1.10
კატსულური ჰიდროაგრეგატი



ნახ. 1.11
ჰიდროტურბინების ტიპების გამოყენების არეალები,
სიმძლავრის, დაწნევისა და ხარჯის მიხედვით

1.3. ორგანულ საწვავზე მომუშავე ელექტრული სადგურები

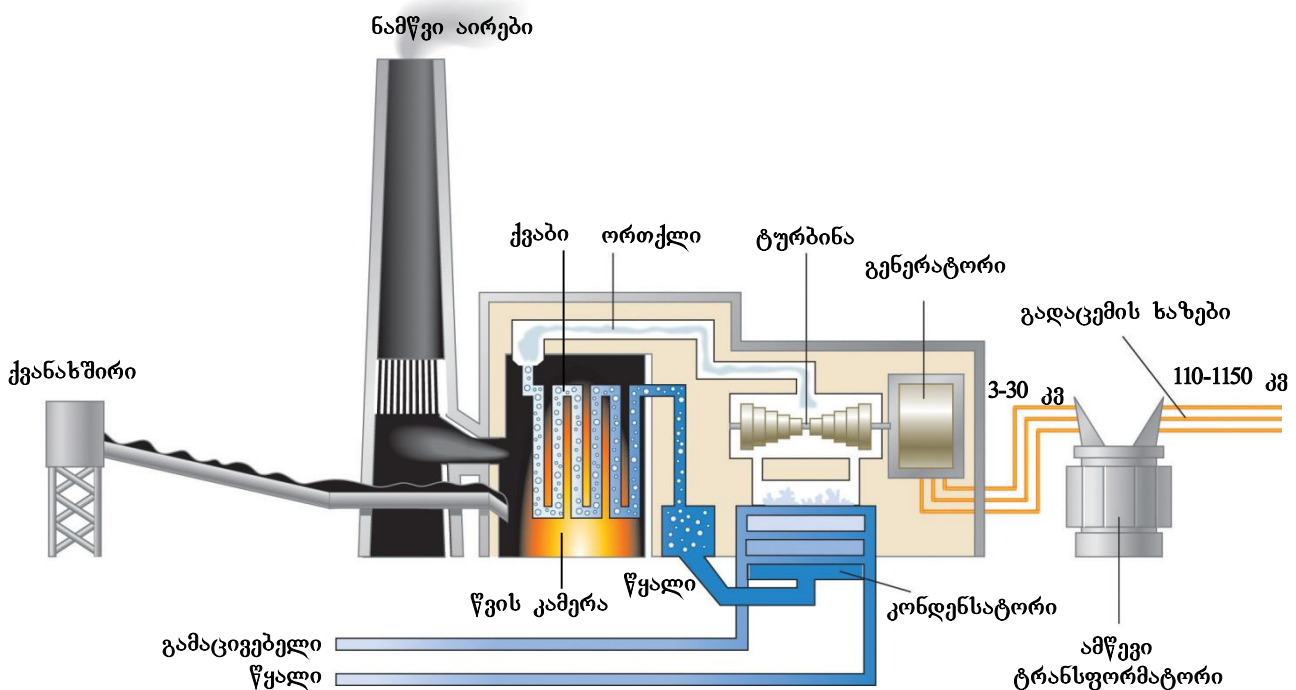
1.3.1. კონდენსაციური თბოელექტროსადგურები

თბოელექტროსადგურებზე (ნახ. 1.12) ხდება სათბობის დაწვა. შედეგად, ამ სათბობის ქიმიური ენერგია ჯერ წვის კამერაში გარდაიქმნება სითბურ ენერგიად, შემდეგ საქვებში ეს ენერგია გარდაიქმნება წყლის ორთქლის შინაგან ენერგიად. ორთქლის ენერგიას მოძრაობაში მოჰყავს ტურბოაგრევატი - ორთქლის ტურბინა და მასთან დაკავშირებული გენერატორი, ანუ ორთქლის თბური ენერგია გარდაიქმნება ბრუნვის მექანიკურ ენერგიად. და ბოლოს, ბრუნვის მექანიკურ ენერგიას გენერატორი გარდაქმნის ელექტრულ ენერგიად.

თავისი დასახელება „კონდენსაციური“ ამ სადგურებმა მიიღეს იმის გამო, რომ მუშა ციკლში მთელი ნამუშევარი ორთქლი კონდენსირდება (წყლად გარდაიქმნება) ტურბინის კონდენსატორებში და შემდეგ კვლავ ბრუნდება ქვაბში მკვებავი წყლის სახით. კეს-ის ტურბინას ეწოდება კონდენსაციური.

თუკი კეს-ები მოიხმარენ მყარ საწვავს, ქვანახშირს ან ტორფს, რომელთა ტრანსპორტირება დიდ მანძილებზე მიზანშეუწონელია, მაშინ ისინი შენდებიან სათბობის მოპოვების ცენტრებთან ახლოს. კეს-ების მშენებლობა, რომლებიც მუშაობენ შედარებით ადვილად ტრანსპორტირებად გაზსა და მაზუთზე, არ არის დამოკიდებული სათბობის მოპოვების მდებარეობაზე. იგი განისაზღვრება წყლის წყაროს არსებობით და სხვა ტექნიკურ-ეკონომიკური მოსაზრებებით. ამრიგად, კეს-ები მომხმარებლებისგან ძირითადად დიდ მანძილზე არიან აშენებულნი, ეს განაპირობებს ელექტრული ენერგიის გადაცემას მაღალ და ზემოდალ ძაბვებზე და კეს-ების ბლოკური პრინციპით აგებას. ერთ ენერგობლოკში მოქცეულია: ქვაბი, ტურბინა, გენერატორი და ამწევი ტრანსფორმატორი. მთლიანად სადგური რამდენიმე ასეთი ენერგობლოკისაგან შედგება. კეს-ების ბლოკური პრინციპით აგებას ბევრი უპირატესობაც აქვს. კერძოდ, მცირდება სამშენებლო და სამონტაჟო სამუშაოების მოცულობა, ჩქარდება სადგურის ექსპლუატაციაში შეყვანა, იოლდება სადგურის გაფართოვება ახალი ენერგობლოკების აგების გზით და სხვა.

კეს-ის ტექნოლოგიური სქემა შედგება რამდენიმე სისტემისგან: საწვავის მიწოდების; საწვავის მომზადების; ძირითადი ორთქლის, ორთქლგენერატორისა და ქვაბის; მაცივრულირებელი წყალმომარაგების; წყლის მომზადების; წილის (უნვადი მასის) დაჭერისა და მოცილების; და ბოლოს, სადგურის ელექტრული ნაწილისაგან.



ნახ. 1.12

ქვანახშირზე მუშავე კეს-ის პრინციპული სქემა

საწვავის მომზადება და მიწოდება. ამ სისტემის თავისებურებები დამოკიდებულია კეს-ში გამოყენებული საწვავის ტიპზე. იგი ყველაზე უფრო მარტივია გაზზე მუშავე სადგურისათვის. გაზის მიწოდება ხდება წნევის ქვეშ, მისი მოპოვების ან შენახვის პუნქტიდან, სადგურის გაზგამანაწილებელი პუნქტისკენ. ამ პუნქტის ფუნქციებია, ძირითადად, სადგურის მილსადენებში წნევის რეგულირება. გაზის მიწოდება დანვისათვის ხდება ქვაბების საცეცხლეებში. გაზგანაწილების სისტემაში არანაირი მძლავრი საკუთარი მოხმარების მექანიზმები არ არსებობს.

გაცილებით რთულია სანვავის მიწოდების სისტემა მყარ სანვავზე (ქვანახშირი და ტორფი) მომუშავე კეს-ებისთვის. ამ შემთხვევაში ენყოფა გადმომტვირთი მოწყობილობა, გამდნობი სათბურებითა და ვაგონ-მცლელებით, ასევე სანვავის სანყოფი. სანყოფი ალჭურვილია მძლავრი ამწე-გადამტვირთით. ლენტისებრი ტრანსპორტერების დახმარებით, გადმომტვირთი მოწყობილობებიდან ან სანყოფიდან სანვავი მიეწოდება სანვავის მომზადების სისტემას.

მყარი სანვავი, ჩვეულებრივ, თანამედროვე საქვამეზებში იწვება მტვრისებრ მდგომარეობაში. ამიტომ სადგურებში არსებობს მტვრად ქცევის მოწყობილობები. მათ შემადგენლობაში შედის მჩეხავები – სანვავის წინასწარი მომზადებისთვის, მაგნიტური განმაცალკეველები - შემთხვევით მოხვედრილი ლითონის ჩანართების მოსაცილებლად და წისქვილები სანვავის დასაფქვავად. ამ მოწყობილობებში მომზადებული სანვავი, წისქვილის ვენტილატორებით მიეწოდება ქვამეზების ბუნკერებს, ხოლო შემდეგ – ფქვილის მიმწოდებლებით - საცეცხლეებს. ასევე შეიძლება გამოყენებულ იქნას სანვავის მომზადების ცენტრალური სისტემა სადგურის მტვრის სანარმოზე, საიდანაც კომპრესორების საშუალებით მისი მიწოდება ხდება ქვამეზებისთვის.

მაშუთის კეს-ების სანვავი მეურნეობის სირთულე, ზემოთ აღწერილებს შორის შუალედურ ადგილს იკავებს. ამ შემთხვევაში ხდება სადგურის ალჭურვა გადმომტვირთი ესტაკადითა და მაშუთის სანყოფით. მაშუთის მიწოდება საცეცხლისათვის ხორციელდება სპეციალური მაშუთის ტუმბოების საშუალებით.

მყარ სანვავზე მომუშავე სადგურებიდან სპეციალური მოწყობილობებით ხდება წვის პროდუქტების მოცილება - შლაკის ან წიდის სახით. თხევად და აირად სანვავზე მომუშავე სადგურებს აღნიშნული საჭიროება არ გააჩნიათ.

ელექტროენერგიის წარმოება კეს-ში. საცეცხლეში მიწოდების შემდეგ ხდება სანვავის დაწვა, რასაც თან სდევს დიდი რაოდენობის სითბოს გამოყოფა. აღნიშნული სითბო ქვამეზების გახურების ზედაპირიდან გადაეცემა ქვამეზის შიგნით მიღებში გამდინარე წყალს და მას განსაზღვრულ ტემპერატურაზე ორთქლად გარდაქმნის. ეს ორთქლი 400-600°C ტემპერატურითა და 30-220 ატმოსფერო წნევით, ორთქლსადენის გავლით, მიეწოდება ტურბინას, აბრუნებს მას და მასზე მიერთებულ გენერატორსაც, რის შედეგადაც გენერატორი გამოიმუშავებს ელექტროენერგიას. აღსანიშნავია, რომ ტურბინის ორთქლის მიერ შესრულებული მუშაობა პროპორციულია ტურბინაში შემავალი და მისგან გამომავალი წნევების სხვაობებისა და ტემპერატურების სხვაობებისა:

$$A = k(t_2 - t_1)(p_2 - p_1) \quad (2.2)$$

სადაც

t_1 და p_1 = ორთქლის ტემპერატურა და წნევაა ტურბინის შესავალთან;

t_2 და p_2 = ორთქლის ტემპერატურა და წნევაა ტურბინის გამოსავალთან;

k = პროპორციულობის კოეფიციენტი.

წნევათა სხვაობის გასაზრდელად, ტურბინაში შემავალი ორთქლის წნევის გაზრდის გარდა, მიმართავენ ტურბინიდან გამომავალი ორთქლის წნევის შემცირებას. ე.ი. ტურბინიდან გამომავალ ორთქლს, გაფართოების ბოლო საფეხურზე გააჩნია ატმოსფერულზე გაცილებით ნაკლები - 0.03-0.04 ატმოსფერო წნევა. ნამუშევარი ორთქლი, რომელსაც ჯერ კიდევ გააჩნია თბური ენერგიის გარკვეული მარაგი, გაედინება კონდენსატორის მილებში.

კონდენსატორი წარმოადგენს ცილინდრს, რომლის შიგნით ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში განლაგებულია ცივი წყლის მილები. ნამუშევარი ორთქლი გადის ამ მილებში და გადასცემს სითბოს. ამის შედეგად ორთქლი ცივდება და დისტილირებულ წყლად (კონდენსატად) გარდაიქმნება. იგი მკვებავი ტუმბოს საშუალებით მიემართება საქვებში, სადაც კვლავ ორთქლად გარდაიქმნება.

ამრიგად, კეს-ებზე მკვებავი წყლის, ორთქლისა და კონდენსატის ცირკულაცია ჩაკეტილი ციკლით წარმოებს. კონდენსატორის მილებში ცირკულირებულ გამაცივებელ წყალს მდინარეებიდან, ტბებიდან და წყალსაცავებიდან იღებენ და მაცივრებელი ტუმბოს საშუალებით აწვდიან კონდენსატორს. კონდენსატორიდან გამომავალი წყლის ტემპერატურა დაახლოებით 25°C -ია. ასეთი ტემპერატურის წყლის გამოყენება სამრეწველო ან საყოფაცხოვრებო მიზნებისათვის შეუძლებელია, ამიტომ იგი უკან ბრუნდება წყლის ბუნებრივ წყაროში. თუკი სადგურის სიახლოვეს ბუნებრივი წყარო არ არსებობს, მაშინ გაცივებისათვის გამოიყენებენ ხელოვნურ გამაცივებლებს - კომპ-გამაცივებლების ან მაშხეფებელი აუზების სახით. ვინაიდან კონდენსატორში ადგილი აქვს სითბოს დიდ დანაკარგებს, ამიტომ თანამედროვე კეს-ების მქვ 0.42 -ს (42%) არ აღემატება.

კეს-ებს გააჩნია შემდეგი უპირატესობები:

- მშენებლობისთვის საჭიროა დაახლოებით 1 წელი;
- შეიძლება აშენდეს თითქმის ნებისმიერ ადგილზე, არ საჭიროებს განსაკუთრებით დიდი ფართობების ათვისებას;

კეს-ებს აქვთ შემდეგი ნაკლოვანებები:

- კეს-ების მარგი ქმედების კოეფიციენტი შეადგენს მხოლოდ $0.38 \div 0.42$ ($38 \div 42\%$).
- მათზე ელექტროენერგიის მიღების ტექნოლოგია საკმაოდ რთულია;
- მანევრირების უნარი პრაქტიკულად არ აქვს, რეკომენდებულია ძირითადად ბაზისურ რეჟიმში, უცვლელ დატვირთვაზე მუშაობა, “ვერ იტანს” დატვირთვების დიდ ფარგლებში სწრაფ ცვლილებას და ხშირ ჩართვა-გამორთვას.

• დიდი საექსპლუატაციო ხარჯების გამო ელექტროენერგიის თვითღირებულება ჰესებთან შედარებით რამდენჯერმე დიდია;

• საგრძნობ უარყოფით გავლენას ახდენენ გარემოზე და აბინძურებენ მას. კერძოდ, მოიხმარენ დიდ რაოდენობის უანგბადს, გამოჰყოფენ სითბოს დიდ რაოდენობას და წვის სხვა მავნე პროდუქტებს (აზოტი, გოგირდი, ნახშირბადის უანგი, ნახშირორჟანგი და სხვ.).

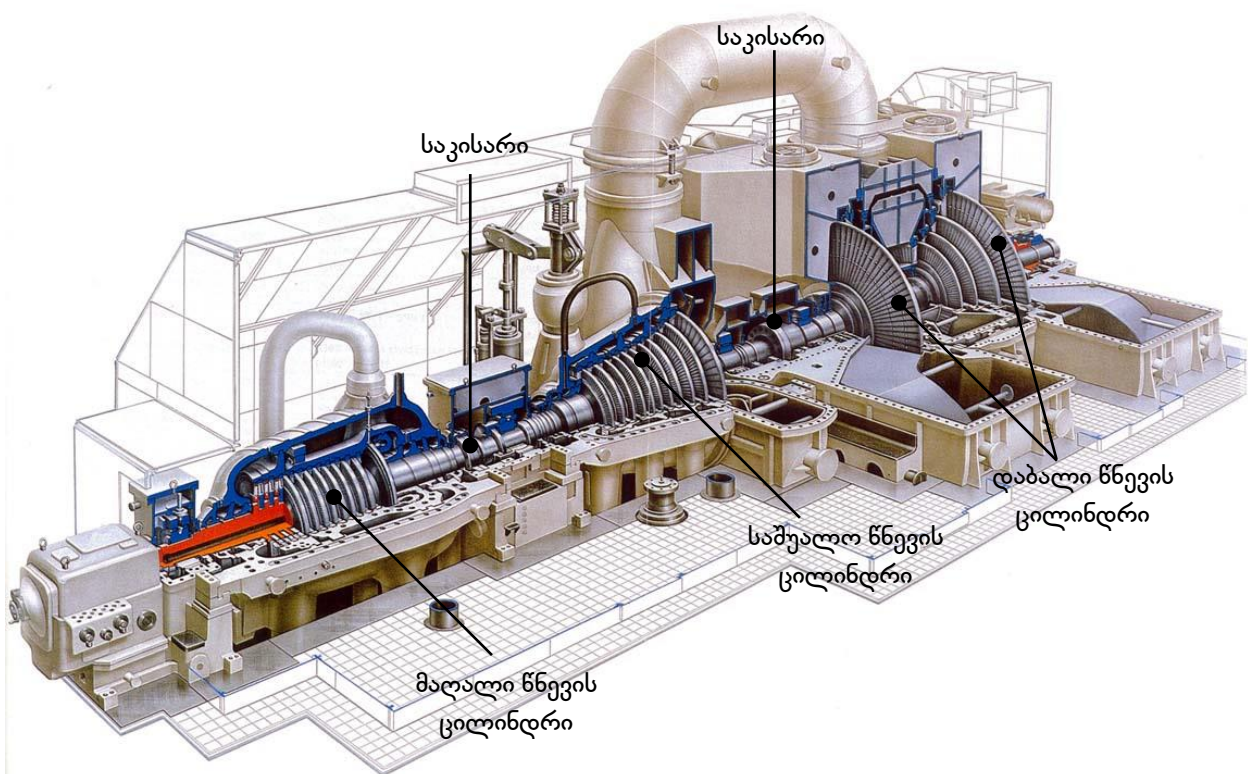
1.3.2. თბოფიკაციური თბოელექტროსადგურები

თბოფიკაციური ელექტრული სადგურები ანუ *თბოელექტროცენტრალები* განკუთვნილნი არიან სამრეწველო საწარმოებისა და ქალაქების ცხელი წყლით, სითბოთი და ელექტრული ენერგიით მოსამარაგებლად. ელექტროენერგიისა და სითბოს ასეთი კომბინირებული გამომუშავების შედეგად ხორციელდება საწვავის საგრძნობი ეკონომია. თეცების კომბინირებული მარგი ქმედების კოეფიციენტი (ელექტრული და თბური) შეადგენს $0.7 \div 0.8$ ($70 \div 80\%$). ისინი აიგებიან ელექტროენერგიისა და სითბოს მომხმარებლის ახლოს, კერძოდ, ქალაქებში, რაც განაპირობებს გამომუშავებული ელექტროენერგიის გაცემას უშუალოდ გენერატორულ ძაბვაზე.

ჭარბი ელექტრული ენერგია კი გაიცემა სისტემაში ამალღებული ძაბვით. ისევე როგორც კეს-ები, თეც-ები საგრძნობ ზეგავლენას ახდენენ გარემოზე. თეც-ის ძირითადი განსხვავება კეს-ისგან ისაა, რომ მას კონდენსატორი არ გააჩნია. კონდენსატორის ფუნქციას ასრულებს თბომცვლელი, რომელშიც ტურბინიდან გამოსული ნამუშევარი ორთქლის სითბო გადაეცემა თბური მომხმარებლის მომარაგების ქსელს (მუშა ციკლის და თბური მომხმარებლის სისტემების წყლები ერთმანეთს არ ერევა). მას შემდეგ კი, რაც ორთქლი მომხმარებელს გადასცემს სითბოს, ცივდება, კარგავს პარამეტრებს და შემცირებული წნევითა და ტემპერატურით, კონდენსატის სახით, მკვებავი ტუმბოთი მიემართება ორთქლის ქვებისკენ. თბურ ნაწილში სადგურის ენერგობლოკები ერთმანეთთან განივი კავშირებით არ არიან დაკავშირებული, რაც უფრო მკაფიოს ხდის სადგურის თბურ ნაწილს და აიოლებს მის აგებასა და ექსპლუატაციას.

1.3.3 ორთქლის ტურბინები

კონდენსაციურ, თბოფიკაციურ და ატომურ ელექტრულ სადგურებში პირველად ამძრავს წარმოადგენს ორთქლის ტურბინა (ნახ. 1.13). მისი დანიშნულებაა მაღალი პარამეტრების ორთქლის პოტენციური ენერგია გარდაქმნას კინეტიკურ ენერგიად, რომელსაც გენერატორი შემდგომ გარდაქმნის ელექტრულ ენერგიად.



ნახ. 1.13

ორთქლის ტურბინა. საერთო ხედი

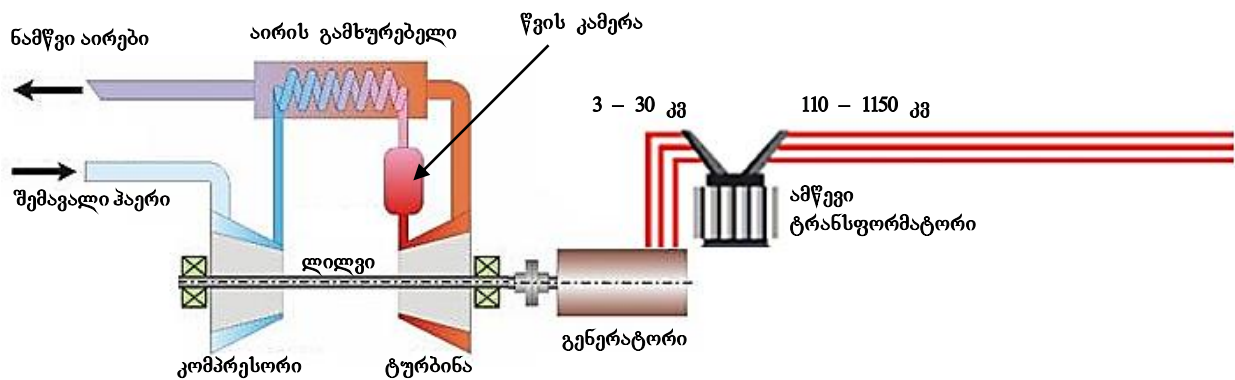
ორთქლის ტურბინის გაბარიტები და შესრულება დამოკიდებულია მის სიმძლავრესა და ტექნოლოგიაზე. ამ აგრეგატის მუშა თვალი წარმოადგენს ჰორიზონტალურად განლაგებული

ცილინდრების ერთობლიობას. თითოეული ცილინდრი შედგება ღერძის ირგვლივ განლაგებული მრავალი ნიჩბისგან შემდგარი „კაბის მსგავსი“ რამდენიმე რგოლისგან. ორთქლის მიწოდება ტურბინის ნიჩბებზე ხდება სარქველების სისტემით, რომელსაც საქმენს უწოდებენ. სტანდარტული შესრულების შემთხვევაში, ორთქლის ტურბინა შედგება სამი - მაღალი, საშუალო და დაბალი წნევის ცილინდრებისაგან. ეს ცილინდრები, თავის მხრივ შეიძლება შედგებოდეს ერთი ან ორი სექციისაგან. ქვაბში ან ორთქლწარმოქმნელში მიღებული მაღალი პარამეტრების ორთქლი თავდაპირველად მიეწოდება მაღალი წნევის ცილინდრს, რომელიც სხვა ცილინდრებთან შედარებით მცირე ზომისაა. ამის შემდეგ ნამუშევარი ორთქლი გადადის საშუალო წნევის ცილინდრში, რომელიც ზომით აღემატება დაბალი წნევის ცილინდრს. ხოლო შემდეგ - ორთქლი გადადის დაბალი წნევის ცილინდრში, რომლის ზომებიც ცილინდრებს შორის ყველაზე დიდია. ცილინდრების ზომების ამდაგვარი შეხამება გამოწვეულია იმით, რომ რაც უფრო მაღალია ორთქლის პარამეტრები, მით უფრო კომპაქტური და აეროდინამიკური ფორმის უნდა იყოს ცილინდრის ნიჩბები, რათა გამოირიცხოს მისი დაზიანება; მეორე მხრივ, რაც უფრო მცირეა ორთქლის პარამეტრები, მით უფრო დიდი გაბარიტისა და რაოდენობის ნიჩბებია საჭირო მისთვის ენერგიის ასართმევად. სხვადასხვა წნევის ცილინდრების ლილვები ერთმანეთთან ხისტად არიან გადაბმულები და გადაბმის ადგილებზე ტურბინის უძრავ ნაწილთან საკისრებით არიან დაკავშირებულნი. ტურბინის თავში, მაღალი წნევის ცილინდრის სიახლოვეს ასევე განლაგებულია დამჭერი საკისარი. ტურბინის და (გენერატორის) ყველა საკისარი, მაღალი ბრუნთა რიცხვის გამო ავტომატურ რეჟიმში ინტენსიურად იზეთება. ორთქლის აგრეგატი, მაღალი პარამეტრების ორთქლის ზემოქმედებისა და მაღალი ნომინალური ბრუნთა რიცხვით მუშაობის გამო, განიცდის ინტენსიურ თბურ და მექანიკურ ზემოქმედებას. ამიტომ მისი მუშაობის ხანგრძლივობა არ აღემატება 25 წელიწადს.

1.4.1 აირტურბინული ელექტროსადგურები

თანამედროვე პირობებში სულ უფრო და უფრო დიდი გავრცელება პოვის აირტურბინულმა ელექტრულმა სადგურებმა (ნახ. 1.14). კონსტრუქციული შესრულებითა და ენერგიის გარდაქმნის პრინციპით აირტურბინები ორთქლტურბინების მსგავსია. ოღონდ აქ მუშა სხეულს წარმოადგენს ნამწვი აირის, ჰაერის და შეფრქვეული წყლის ნარევი - მაღალ წნევასა და ტემპერატურაზე. თანამედროვე აირტურბინები ძირითადად აირად და თხევად საწვავზე მუშაობენ, თუმცა არსებობს მათი ტიპები, რომლებიც მყარ საწვავს გამოიყენებენ.

აირტურბინული ელსადგური მისი ტურბინის ამუშავებამდე საჭიროებს კომპრესორის ამუშავებას, რომელსაც ენერგია უნდა მიეწოდოს ქსელიდან. ამის შემდეგ, ხდება კომპრესორის მიერ დაჭირხნული ჰაერის გახურება, რომელსაც წვის კამერაში ერევა საწვავის დანვის შედეგად მიღებული ნამწვი აირის მასები და შეფრქვეული წყლის ნარევი. მიღებული ნარევი შედის აირტურბინაში, აბრუნებს მას, რომელიც თავის მხრივ, აბრუნებს გენერატორს. ჩვეულებრივ, გენერატორი, ტურბინა და კომპრესორი ერთ ლილვზეა დამაგრებული. გენერატორის მიერ განვითარებული სიმძლავრის ძაბვის ამალღება ხდება ამწვეი ტრანსფორმატორის საშუალებით და გადაეცემა ქსელს.



ნახ. 1.14. აირტურბინული ელსადგურის პრინციპული სქემა

აირტურბინებს გააჩნია შემდეგი ღირსებები:

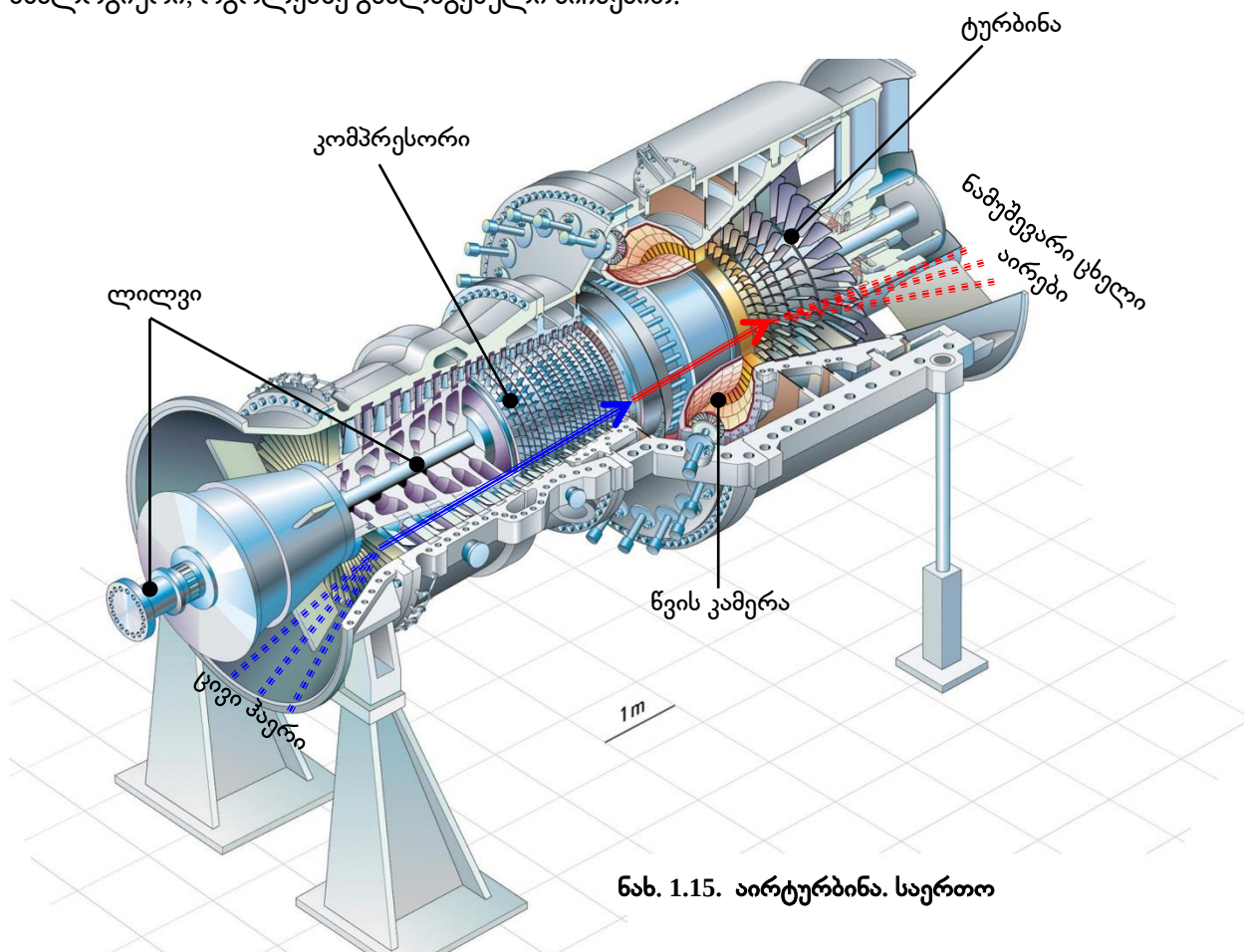
- ორთქლის ტურბინიან სადგურებთან (კეს) შედარებით მარტივი შესრულება აქვთ, რადგან არ აქვს ქვაბი და მასთან დაკავშირებული დამატებითი მოწყობილობები;
- იგივე სიმძლავრის კეს-ის ბლოკთან შედარებით იკავებს ბევრად ნაკლებ ადგილს (ფართს);
- მშენებლობისა და ექსპლუატაციის ხარჯები გაცილებით ნაკლებია იგივე სიმძლავრის კეს-თან შედარებით;
- (თუ დასჭირდება!!!) იგივე სიმძლავრის კეს-თან შედარებით სჭირდება ბევრად ნაკლები წყალი;
- რემონტის ხარჯები შედარებით მცირეა;
- უშუალოდ აირის ტურბინა ორთქლის ტურბინასთან შედარებით არის კონსტრუქციულად მარტივი;
- ცივი მდგომარეობიდან ხდება სწრაფად გაშვება, თითქმის პესივით მაღალმანევრულია;
- უქმი სვლის დანაკარგები არ გააჩნია. აღნიშნული დანაკარგები გააჩნია კეს-ებს, რადგან ხანდახან ქვაბი მაშინაც არის მუშაობაში, როცა ტურბინა არ კვებავს ტვირთს. ეს კი ხდება კეს-ის ორთქლის ტურბინის ცივი მდგომარეობიდან “გაშვების” სირთულის გამო (სჭირდება 6-8 საათი);

აირტურბინების ნაკლოვანებებია:

- აირტურბინული აგრეგატის გაშვებისას შეიძლება წარმოიქმნას პრობლემები. ეს იმიტომ, რომ ტურბინის ამუშავებამდე კომპრესორი უნდა იქნას გაშვებული, რომელსაც ენერგია უნდა მიეწოდოს გარე ენერგიის წყაროდან. თუმცა აგრეგატის გაშვების შემდეგ გარე წყაროდან სიმძლავრე აღარაა საჭირო, რადგან აირტურბინა თვითონ აწვდის საჭირო ენერგიას კომპრესორს;
- ჯამური მქვ (მარგი ქმედების კოეფიციენტი) დაახლოებით 20 %-ით ნაკლებია იგივე სიმძლავრის კეს-თან შედარებით, რადგან ტურბინის მიერ განვითარებული სიმძლავრის მეტი ნაწილი იხარჯება კომპრესორის აძვრაზე.
- ამასთან, აირტურბინის წვის კამერიდან გამომავალ გაზებს გააჩნიათ საკმაოდ მაღალი ტემპერატურა (დაახლოებით 1200 – 1600 °C), რაც ამ ტიპის ტურბინების სიცოცხლისუნარიანობას მნიშვნელოვნად ამცირებს.

1.4.2 აირტურბინები

აირტურბინა (ნახ. 1.15) შედგება სამი ძირითადი ნაწილისაგან, ესენია: კომპრესორი, საცეცხლე კამერები და ტურბინა. კომპრესორს და აირტურბინას ზოგადად ორთქლტურბინის მსგავსი შესრულება აქვთ, ანალოგიური, რგოლებზე განლაგებული მუშა ნიჩბებით. კომპრესორის დანიშნულებაა ჰაერის დაჭირხვნა (მისი შეკუმშვა), ანუ მისი წნევის გაზრდა. სინქრონული გენერატორი, ჩვეულებრივ, კომპრესორის მხარესაა განლაგებული და ამ მხრიდან „ისრუტავს“ იგი ატმოსფერული წნევის მქონე ჰაერს. შესავალი ჰაერის ნაკადის რეგულირება ხდება კომპრესორის გარსაცმის ფუძის ირგვლივ განლაგებული მოსაბრუნებელი ფრთებით. ვინაიდან კომპრესორმა უნდა გაზარდოს ჰაერის წნევა, შესასვლელიდან გამოსასვლელისკენ მისი მუშა თვლისა (მუშა თვლის რგოლების) და გარსაცმის დიამეტრი თანდათან მცირდება. ამის შემდეგ, შეკუმშული ჰაერი ხდება კომპრესორისა და ტურბინის დამაკავშირებელი ლილვის ირგვლივ განლაგებული წვის კამერაში. ამ უკანასკნელებში ხდება საწვავის (გაზი, მაზუთი ან გაზადქცეული ნახშირი) დაწვა და მაღალი ტემპერატურის მქონე ნამწვი აირის მიღება. ეს მაღალი ტემპერატურის მქონე ნამწვი აირი ერევა კომპრესორიდან გამომავალ მაღალი წნევის მქონე ჰაერს, ანუ მიიღება მაღალი წნევისა და ტემპერატურის მქონე აირების ნარევი, რომელიც შედის აირტურბინაში. აირტურბინას, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, თითქმის ორთქლტურბინის მსგავსი შესრულება აქვს, ანალოგიური, რგოლებზე განლაგებული ნიჩბებით.



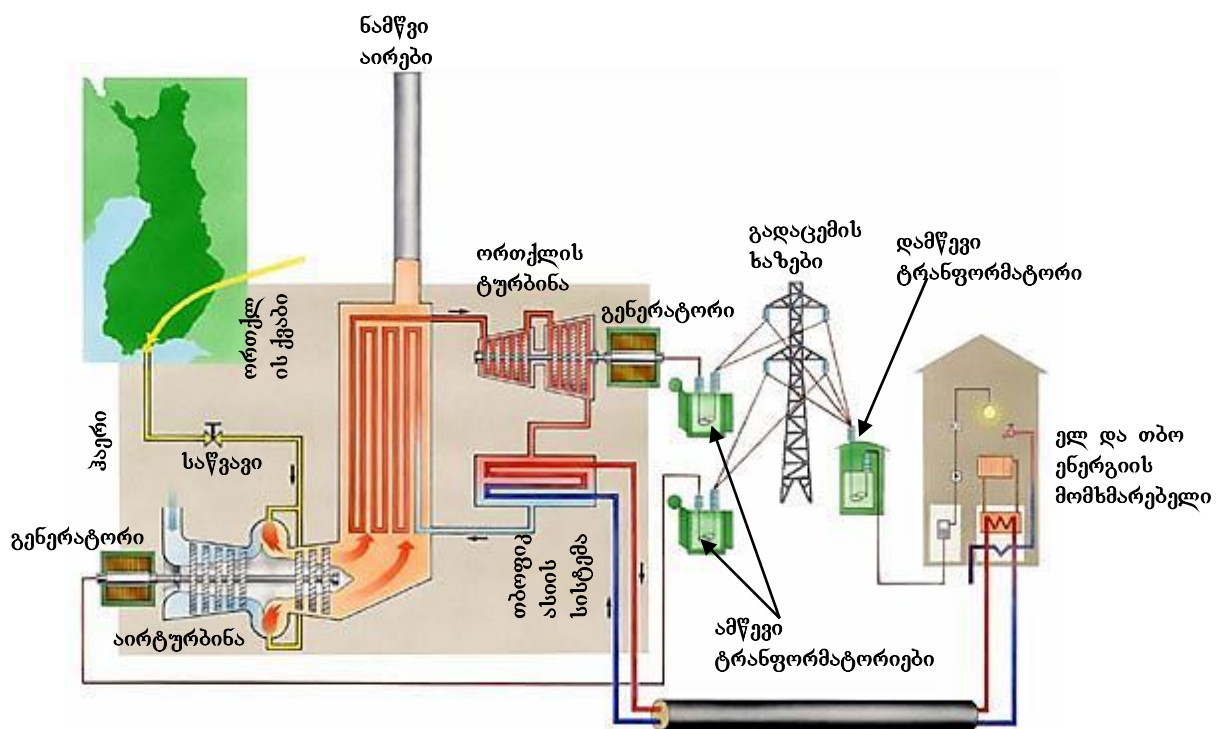
ნახ. 1.15. აირტურბინა. საერთო

ვინაიდან ტურბინამ უნდა აართვას მასში შემავალ აირების ნარევის ენერგია, ანუ წნევა და ტემპერატურა, ბუნებრივია, ეს პარამეტრები მის გასწვრივ შემცირდებიან. შესაბამისად, განსხვავებით კომპრესორისგან, ტურბინის მუშა თვლისა (და მისი რგოლების) დიამეტრი

შესასვლელიდან გამოსასვლელისკენ იზრდება. ტურბინა ითვისებს მაღალი პარამეტრების აირის ტემპერატურისა და წნევის დიდ ნაწილს, რომელსაც გარდაქმნის ბრუნვის მექანიკურ ენერგიად და ლილვის საშუალებით გადასცემს სინქრონულ გენერატორს. ამის მიუხედავად ტურბინიდან გამომავალ აირებს, რომლებიც ატმოსფეროში გაიტყორცნება, ჯერ გააჩნიათ მნიშვნელოვანი ტემპერატურა, რაც უშუალოდ ენერგიის დანაკარგად შეიძლება ჩაითვალოს.

1.4. კომბინირებული თბოელექტროსადგურები

კომბინირებული თბოელექტროსადგური წარმოადგენს აირტურბინული და ორთქლტურბინული სადგურის ერთობლიობას (ნახ. 1.16), სადაც აირტურბინიდან გამომავალი მაღალი პარამეტრების ნამწვი აირები ადუღებამდე აცხელებენ წყალს, რომელიც აბრუნებს ორთქლის ტურბინას.



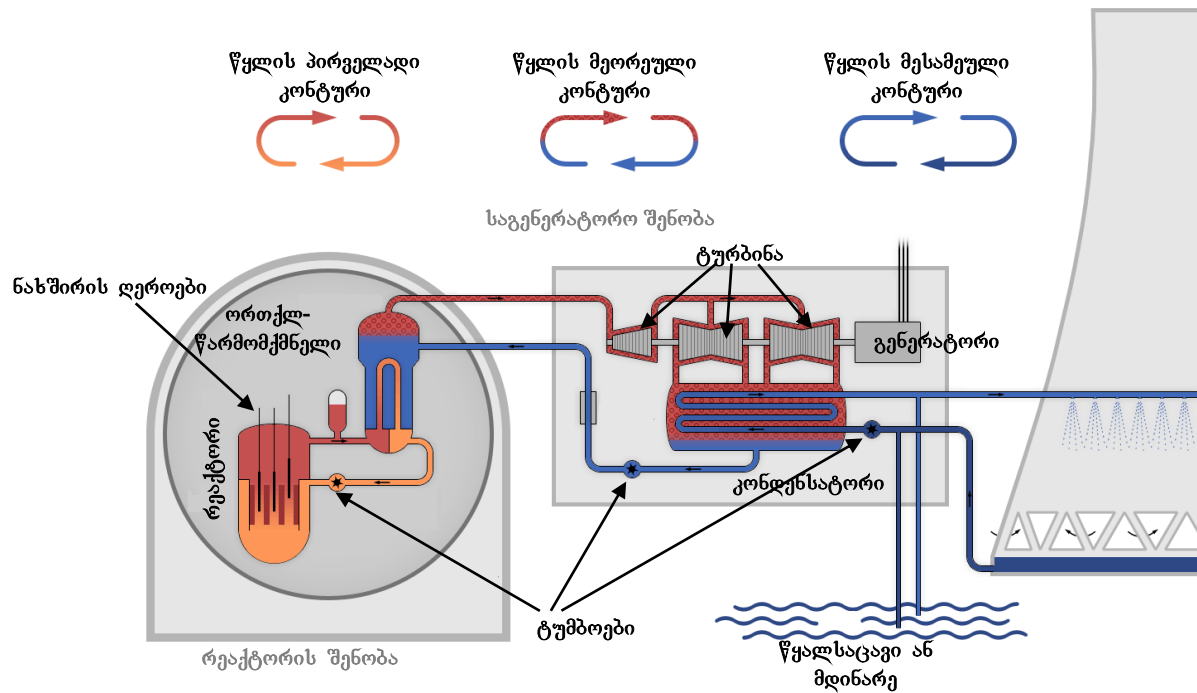
ნახ. 1.16

ორთქლ-აირტურბინული ელსადგურის პრინციპული სქემა

აღნიშნული ელექტროსადგურის მუშაობის ზოგადი პრინციპი შემდეგში მდგომარეობს: კომპრესორისა (ნახაზზე ნაჩვენები არაა) და აირტურბინის ამოქმედების შედეგად, საცეცხლეში წნევით მიეწოდება ჰაერი და თხევადი ან აირადი საწვავი. ეს ნარევი შედის აირულ ტურბინაში და აბრუნებს მას და გენერატორს. გენერატორი ამწევი ტრანსფორმატორის საშუალებით ქსელში გასცემს სიმძლავრეს. აირტურბინიდან გამომავალი მაღალი $1200 - 1600^{\circ}\text{C}$ სითბოს მქონე ნამწვი აირი პირდაპირ გარემოში კი არ ხვდება, არამედ შედის ორთქლის ტურბინის ქვაბში, აორთქლებს წყალს და მხოლოდ ამის შემდეგ გადის გარემოში. მისი ტემპერატურა უკვე $200 - 300^{\circ}\text{C}$ -ს აღარ აღემატება. ამრიგად, დაახლოებით $900 - 1300^{\circ}\text{C}$ სითბოს შესაბამისი ენერგია სასარგებლოდ იქნა გამოყენებული. ამასთან, ორთქლის ტურბინა აბრუნებს საკუთარ გენერატორს, რომელიც ასევე ამწევი ტრანსფორმატორის საშუალებით ქსელში გასცემს ელექტროენერგიას. სადგურს არ გააჩნია კონდენსატორი, მის მაგივრობას წევს თბოფიკაციის სისტემა, რომლის საშუალებით ორთქლის ტურბინიდან გამომავალი ნამუშევარი ორთქლი მიეწოდება მომხმარებელს, ანუ სითბოს გამოყენება ამჯერადაც სასარგებლოდ ხდება და მომხმარებლებიდან შემომავალი უკვე გაცივებული წყალი მიემართება ორთქლის ტურბინისკენ. აღნიშნული სადგურის სრულმა (ელექტრული + თბური) მქ-მა შეიძლება 85 % -ს მიაღწიოს.

1.5 ატომური ელექტრული სადგურები (აეს)

ატომური ელექტრული სადგური ბირთვული რეაქციის შედეგად გამოყოფილი სითბოს ხარჯზე აწარმოებს ელექტრულ ენერგიას. ატომური სადგური იგივე თბოელექტროსადგურია, იმ განსხვავებით, რომ აქ ქვაბი შეცვლილია ბირთვული რეაქტორით. რეაქტორში მოთავსებულია ბირთვული საწვავი და ნახშირის (გრაფიტის) ღეროები. ამრიგად, ატომური სადგური შედგება სინქრონული გენერატორისგან, ორთქლის ტურბინისა და კონდენსატორისგან. აქაც, მსგავსად კეს-ებისა, მქ დაახლოებით 40%-ია და მის აშენებასაც ცდილობენ წყალსაცავების სიახლოვეს.



ნახ. 1.17

აეს-ის პრინციპული სქემა

რეაქტორში სითბოს მიღება ხდება ბირთვული საწვავის ნეიტრონებით ბომბარდირების შედეგად. ამას მოჰყვება ბირთვული საწვავის ატომების ორად გახლეჩა. გახლეჩის შედეგად, გარდა ახალი ატომებისა, ხდება თავისუფალი 2 ან 3 ნეიტრონის წარმოქმნაც, რომლების იწყებენ მაღალი სიჩქარით მოძრაობას. ისინი, თავის მხრივ, ეჯახებიან სხვა ატომებს და ხლენ მათ და ა. შ. ამრიგად, ადგილი აქვს ჯაჭვურ რეაქციას. აღსანიშნავია, რომ გახლეჩის შედეგად მიღებული ატომების მასათა ჯამი გახლეჩამდელი ატომის მასაზე ნაკლებია. მიღებული მასათა დანაკარგი, აინშტაინის ფორმულის

$$E = mc^2 \quad (1.2)$$

თანახმად, ენერგიის პროპორციულია.

ამ ფორმულაში:

E = გამოყოფილი ენერგია (ჯ)

m = მასის დანაკარგი (კგ)

c = სინათლის სიჩქარე = $3 \cdot 10^8$ (მ/წმ)

ბირთვული რეაქციის შედეგად ენერგიის უზარმაზარი რაოდენობა გამოიყოფა, რადგან ამ ფორმულის თანახმად, მხოლოდ 1 გრამი მასის დანაკარგი წარმოქმნის $9 \cdot 10^{13}$ ჯოულ ენერგიას, რაც 3 000 ტონა ნახშირის დანვის ეკვივალენტურია.

ელექტროენერგიის მიღება შემდეგნაირად მიმდინარეობს: რეაქტორში, სადაც ხდება ნეიტრონებით ურანიუმის ან სხვა ბირთვული საწვავის დაბომბვა, წარმოიქმნება სითბოს დიდი რაოდენობა, რომელიც გადაეცემა წყალს. მიუხედავად სითბოს დიდი რაოდენობისა, აღნიშნული წყალი აორთქლებას ვერ ახერხებს, რადგან დიდი წნევის ქვეშაა მოქცეული. აღნიშნული წყალი

მიემართება ორთქლწარმომქმნელისკენ ან თბომცვლელისკენ. აქ არსებულ მიღებაში ხდება ტურბინის მუშა წყლის გასვლა და მისი აორთქლება. ამ მიღებას კი გარშემოედინება რეაქტორის წყალი. ამრიგად, რეაქტორის „თბოცვლის“ სისტემის და ტურბინის „მუშა“ სისტემის წყლები ერთმანეთს არ ერევა. ორთქლწარმომქმნელიდან გამოსული სითბოდაკარგული „თბოცვლის“ სისტემის წყალი კვლავ უბრუნდება ბირთვულ რეაქტორს. ორთქლწარმომქმნელიდან გამოსული მაღალი პარამეტრების - წნევისა და ტემპერატურის - მქონე „მუშა“ სისტემის ორთქლი შედის ტურბინაში. იგი აბრუნებს ტურბინასა და მასთან მიერთებულ სინქრონულ გენერატორს. გენერატორი გამოიმუშავებს ელექტროენერგიას, რომელიც ძაბვის აწევის შემდეგ მიეწოდება ელექტრულ სისტემაში. ტურბინიდან გამოსული ორთქლისათვის სითბოს ართმევა ხდება კონდენსატორში, მსგავსად კეს-ებისა, და კვლავ უბრუნდება ორთქლწარმომქმნელს ასაორთქლებლად. ამრიგად აეს-ში გვაქვს წყლის სამი დამოუკიდებელი სისტემა: რეაქტორის - თბოცვლის წყლის სისტემა, ტურბინის - მუშა წყლის სისტემა და კონდენსატორში გამავალი გამაცივებელი წყლის სისტემა. რეაქტორის წყალი რადიაციულია, ამით არის გამოწვეული ძირითადად ტურბინისა და რეაქტორის წყლის სისტემების იზოლირება. რეაქციის რეგულირება ხდება ბირთვულ რეაქტორში ნახშირის ღერების ჩაშვება-ამოღებით. ნახშირის ღერებს გააჩნიათ ნეიტრონების აბსორბციის (შთანთქმის) უნარი. ამიტომ ამ ღერების რეაქტორში ბოლომდე ჩაშვების შემდეგ მოხდება რეაქციის შეწყვეტა. ამ პროცესს სჭირდება სულ რაღაც 2 წამი. უსაფრთხოების მიზნით, თანამედროვე გენერატორები მოქცეულია დაახლოებით 2 მეტრი სისქის რკინა-ბეტონის თაღში, რაც უზრუნველყოფს რეაქტორის დაცვას გარემოდან შესაძლო დაზიანებებისგან. ეს თაღი დაფარულია 1 მეტრი სისქის ტყვიის ფენით, რომელიც უზრუნველყოფს გარემოს დაცვას შესაძლო რადიაციისგან. რეაქტორს გააჩნია მრავალი ტექნოლოგიური დაცვა. საიმედო სადგურების უმეტესობის უკანასკნელი დაცვა უზრუნველყოფს რეაქტორის ჩავარდნას წინასწარ მომზადებულ 80 მეტრი სიღრმის ორმოში და ამითი გარემოს რადიაციისგან დაცვის პრევენციას.

დღეს შემდეგი ტიპის ბირთვული რეაქტორებია გავრცელებული:

1. **წნევის ქვეშე მყოფი წყლის რეაქტორი**, რომელიც ზემოთ იქნა განხილული. აქ რეაქტორის წყალი არ დუღდება, რადგან იგი მაღალი წნევის ქვეშაა მოთავსებული;
2. **მდულარე წყლიანი რეაქტორი**. აქ პირდაპირ რეაქტორში დუღდება წყალი, გარდაიქმნება მაღალი პარამეტრების ორთქლად, ეს წყალი პირდაპირ შედის ტურბინაში და ასრულებს მუშაობას. ამ შემთხვევაში საჭირო აღარ არის ორთქლწარმომქმნელი ან თბომცვლელი, მაგრამ მუშა წყალი რადიაციულია;
3. **მაღალი ტემპერატურის აირიან რეაქტორში** თბოცვლის სისტემისათვის გამოყენებულია არა წყალი, არამედ ინერტული აირი – ჰელიუმი ან ნახშირორჟანგი. ამ რეაქტორშიც, მსგავსად წნევის ქვეშე მყოფი წყლის რეაქტორისა, გამოყენებულია ორთქლგენერატორი.
4. **სწრაფ ნეიტრონებზე მომუშავე რეაქტორის** ცენტრში მოთავსებულია გახლეჩვის უნარის მქონე პლუტონიუმი ^{239}Pu . იგი გარშემორტყმულია საფარით, რომელიც შედგება არაგახლეჩადი ურანიუმი ^{238}U -ისგან შემდგარი ნარევისგან. აქ ნახშირის ღეროები არ არის გამოყენებული; შედეგად ^{239}Pu -ისგან გენერირებული მაღალსიჩქარიანი ნეიტრონები ბომბავენ არაგახლეჩადი ^{238}U -ის ატომებს, რომლებიც იჭერენ აღნიშნულ ნეიტრონებს და თვითონ გარდაიქმნებიან ^{239}Pu -ად. ამრიგად, ხდება როგორც სითბოს, ასევე ბირთვული საწვავის მიღებაც.

ატომურ ელექტრულ სადგურებს გააჩნია შემდეგი ღირსებები:

- საწარმოო პროცესისათვის საჭიროა უმნიშვნელო რაოდენობის ბირთვული საწვავი;
- ამრიგად, არაა საჭირო საწვავის დიდი რაოდენობის ტრანსპორტირება და მისი შესანახი დიდი სათავსების გამართვა;
- მისი აშენება შეიძლება თითქმის ნებისმიერ სასურველ ადგილზე;
- არ ხდება ატმოსფეროს კვამლით, ჭვარტლითა და ნახშირორჟანგით დაბინძურება.

ატომური ელექტრული სადგურების ნაკლოვანებებია:

- თანამედროვე აეს-ების ყველაზე ნაკლებად მძლავრი ბლოკები 1000 მგვტ-ია. ამავდროულად მათი მუშაობა ეკონომიკურად გამართლებულია დადგმული სიმძლავრის სიახლოვეს. ამიტომ მათი ავარიული გამორთვა შედარებით პატარა ენერგოსისტემაში გამოიწვევს ამ სისტემის ჩაქრობას;
- მაღალი უსაფრთხოების ზომების მიუხედავად, მაინც ქმნის რადიაციული დაბინძურების რისკს;
- კეს-ის მსგავსად, აეს-შიც სითბოს დიდი ნაწილი იკარგება კონდენსატორში.

მაგალითი 1.2

ატომურმა სადგურმა წლის განმავლობაში გამოიმუშავა 1 მლრდ კვტ სთ ელ ენერგია. მისი მქც-ია 0.25 (25%). ვიპოვოთ ამ სადგურის მიერ დახარჯული ბირთვული საწვავის მასა.

ამოხსნა

ვინაიდან, მქც წარმოადგენს სასარგებლო (ამ შემთხვევაში ელექტრო) ენერგიის W შეფარდებას სრულ ენერგიასთან E , ანუ

$$\eta = \frac{W}{E}$$

მაშასადამე

$$E = \frac{W}{\eta} = \frac{1}{0.25} = 4 \text{ მლრდ კვტ სთ}$$

(1.2) გამოსახულებიდან

$$m(\text{კგ}) = \frac{E(\text{ჯ})}{c^2 (\text{მ}^2/\text{წმ})}$$

ვინაიდან $4 \text{ მლრდ კვტ სთ} = 4 \times 10^{12} \text{ ვტ} \cdot \text{სთ} = 3600 \times 4 \times 10^{12} \text{ ვტ} \cdot \text{წმ} = 1.44 \times 10^{16} \text{ ვტ} \cdot \text{წმ}$ და სინათლის სიჩქარე $c = 3 \times 10^8 \text{ მ/წმ}$, გვექნება:

$$m = \frac{1.44 \times 10^{16}}{(3 \times 10^8)^2} = 0.16 \text{ კგ} = 160 \text{ გ}$$

1.6. არატრადიციული ენერგიის წყაროები და ელსადგურები

დედამიწაზე განახლებადი ენერგიის პოტენციალი და მოხმარება დაახლოებით ასეთია:

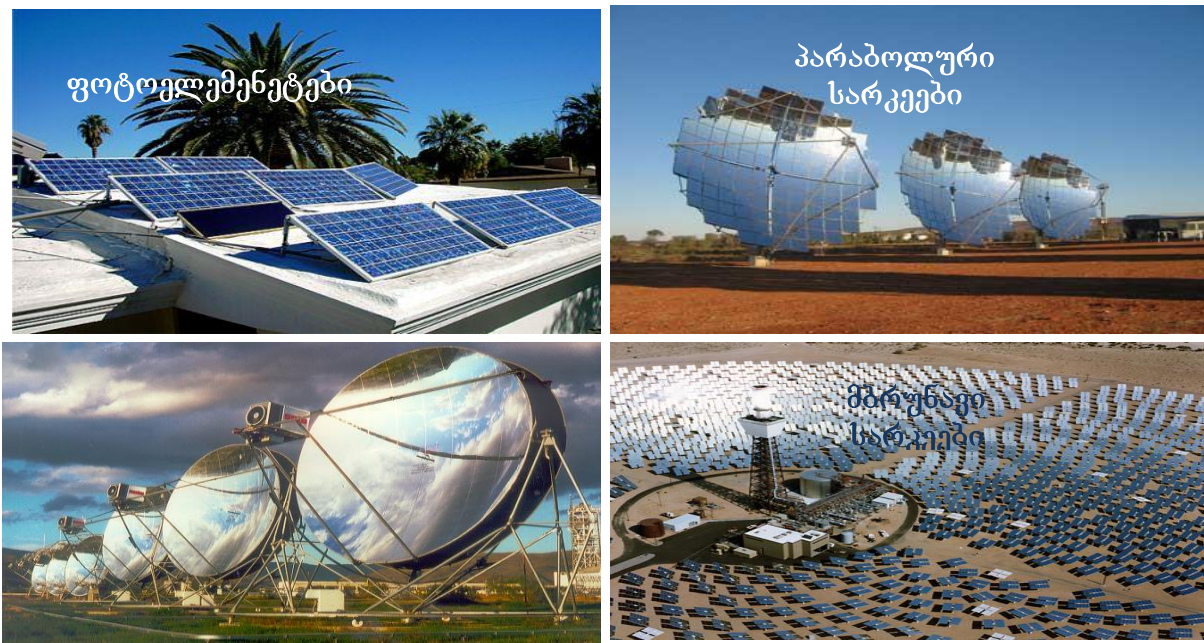
- მზის ენერგია - 86 000 ტვტ [ტერა ვატი]
- ქარის ენერგია - 870 ტვტ
- წყლის ენერგია - 7.2 ტვტ
- დედამიწის ჯამური დატვირთვა 15 ტვტ.

უნდა აღინიშნოს, რომ განვითარებული ქვეყნების დიდ ნაწილში წყლის ენერგეტიკა სრულადაა ათვისებული. მოსახლეობის ზრდისა და მზარდი მოხმარების გამო ხდება ორგანულ საწვავზე მომუშავე სადგურების მშენებლობა. თუმცა, ბოლო წლებში აღნიშნული სადგურების მშენებლობა მიზანშეწონელი გახდა, ერთი მხრივ, ამ სახის სათბობზე ფასის განუხრელი ზრდის, ხოლო, მეორე მხრივ, გლობალური დათბობის პრობლემის გამო. ამიტომ რჩება ორი ალტერნატივა: ატომური სადგურების მშენებლობა ან ენერგეტიკის არატრადიციულ და ეკოლოგიურად სუფთა წყაროებზე დაფუძნებული ტექნოლოგიების სრულყოფა და მათი რეალიზაცია.

1.6.1. მზის ელექტრული სადგურები

არსებული მზის ელექტროსადგურების (მეს) მრავალი ნაირსახეობიდან შეიძლება გამოვყოთ ორი ძირითადი ტიპი:

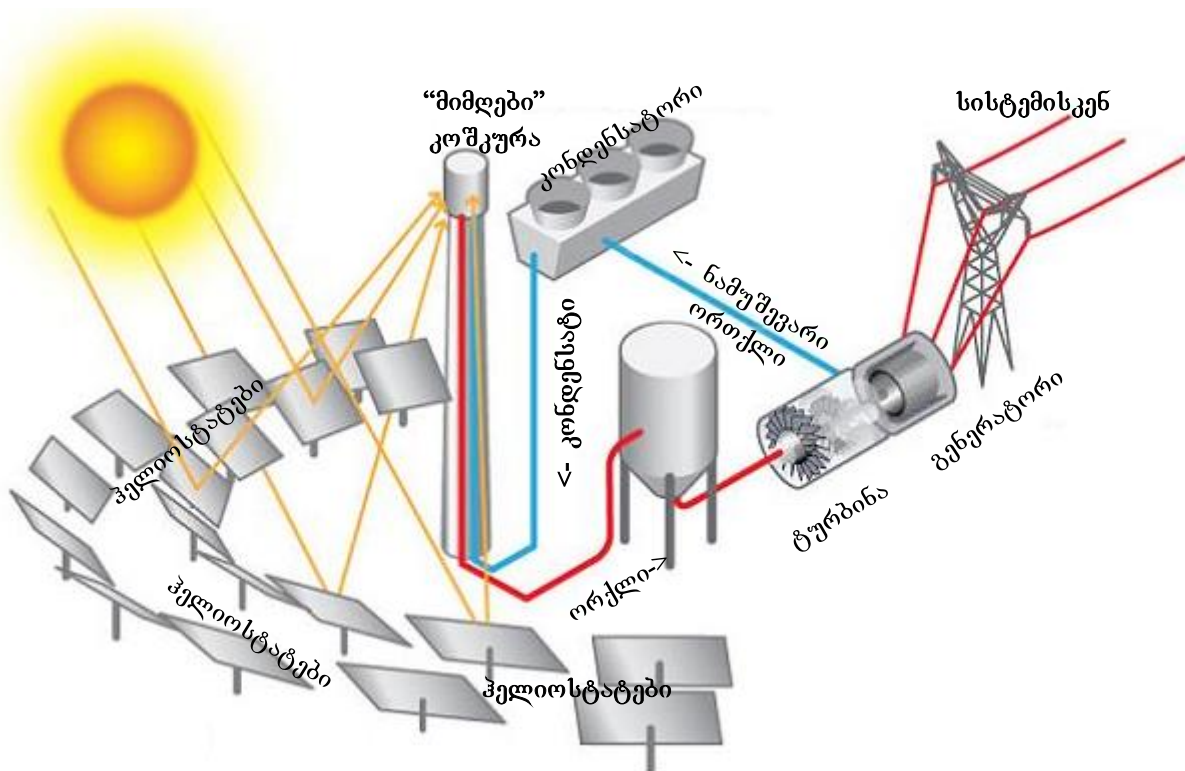
1. ფოტოელემენტებზე (ფოტოვოლტური ტიპის) მომუშავე ელექტრული სადგურები ანუ სადგურები, რომლებიც უშუალოდ გარდაქმნიან სხივურ ენერგიას ელექტრულ ენერგიად;
2. სადგურები, რომლებიც სხივურ ენერგიას ჯერ გარდაქმნიან ორთქლის სითბურ ენერგიად, რომელიც აბრუნებს ორთქლის ტურბინას, რომელიც, თავის მხრივ, აბრუნებს სინქრონულ გენერატორს. ანუ ასეთ სადგურს მზის კესი შეგვიძლია ვუწოდოთ.



ნახ. 1.18. მზის ელექტრული სადგურები

ფოტოელემენტებზე მომუშავე მზის ელექტროსადგურების (ნახ. 1.18-ა) მუშაობა შემდეგ პრინციპზეა დამყარებული: მზის ბატარეა შედგება სილიკონური ნახევარგამტარის ორი - P და N - ფენისგან. ეს ფენები დაფარულია არეკვლის საწინააღმდეგო ფენით. ნახევარგამტარის N ფენაში სილიციუმის ყოველი მეათასე ატომი ჩანაცვლებულია ფოსფორის ატომით. ამით მიიღწევა თავისუფალი უარყოფითი მუხტების ანუ ელექტრონების წარმოქმნა. ძირითად ანუ P ფენაში სილიციუმის ყოველი მემილიონე ატომი ჩანაცვლებულია ბორის ატომით, რაც ქმნის თავისუფალ დადებით მუხტებს „ხვრელებს“. როდესაც ორი P და N ფენა მჭიდროდ ეხება ერთმანეთს, როგორც ეს ხდება ფოტოელემენტებში, დადებითად დამუხტული "ხვრელები" და უარყოფითად დამუხტული "ელექტრონები" იზიდავენ ერთმანეთს. ისინი გადაადგილდებიან მეზობელი ფენისკენ და კვეთენ სასაზღვრო ე.წ P-N გადასასვლელს. დადებითი და უარყოფითი მუხტების გადაადგილება P-N გადასასვლელის გასწვრივ იწვევს ძლიერი ელექტრული ველის წარმოქმნას. როდესაც მზის სხივების (ფოტონური) ნაკადი ეცემა ამ ველს, ხდება დიდი რაოდენობით ელექტრონების და ხვრელების გამოყოფა, შესაბამისად, წარმოიქმნება მუდმივი ემძ და P და N ფენებთან მიერთებულ დატვირთვაში გაივლის მუდმივი დენი. შენობა, რომელზეც ეს პანელებია დამონტაჟებული, აუცილებლად აღჭურვილი უნდა იყოს სააკუმულატორო ბატარეებით. ეს ბატარეები დღისით დაიმუხტება პანელებიდან მიღებული ენერგიის ნაჭარბით, ხოლო ღამით უზრუნველყოფს ენერგიით შენობის მომარაგებას. ამ სადგურის მუშაობა შეიძლება საკმაოდ მომგებიანი იყოს ელსისტემასთან პარალელში. დღისით ჭარბ ენერგიას მიაწვდის სისტემას, ხოლო ღამით ენერგიის დეფიციტს შეავსებს სისტემის ხარჯზე. ამ ტიპის მზის სადგურებმა მხოლოდ ლოკალური გამოყენება პოვნეს, რადგან მათი მშენებლობა იგივე ერთეული დადგმული სიმძლავრის ჰიდრო ან თბო ელექტროსადგურთან შედარებით დაახლოებით 3-4-ჯერ ძვირი ჯდება, ხოლო ჯერჯერობით მქვ 20 %-ს არ აღემატება.

ფოტოელემენტებზე მომუშავე მეს-თან შედარებით ბევრად იაფი და ეფექტურია ორთქლტურბინიანი მეს-ები (ნახ. 1.19). ასეთი სადგურის ტურბინისთვის საჭირო პარამეტრების ორთქლის წარმოქმნის უზრუნველსაყოფად სპეციალური სარკეებიდან არეკვლილი სხივები ერთ “მიმღებ” წერტილში ფოკუსირდება. ეს წერტილი პირდაპირ ეხება ორთქლის ქვაბს გარედან და ადუღებს ორთქლს. ორთქლის მაგივრად, მუშა სხეულად შეიძლება გამოყენებულ იქნას ზეთიც. ზემოაღნიშნული სარკეების მობრუნების კუთხე, მეს-ის ცენტრალური კომპიუტერის მეშვეობით, მუდმივად იცვლება წლის კონკრეტული თარიღის, დღის კონკრეტული საათისა და წუთის მიხედვით, ისე, რომ მათ მიერ მაქსიმალურად მეტი სითბოს ფოკუსირება მოხდეს ორთქლის ქვაბის გასაცხელებლად. ასევე ავტომატურად ხდება მტვრისაგან სარკეების გაწმენდა. ორთქლის ტურბინასთან მიერთებულია გენერატორი, რომელიც შესაბამისი საკომუტაციო მოწყობილობებისა და ამწვეი ტრანსფორმატორის საშუალებით ქსელში გასცემს ელექტროენერგიას. ორთქლის მიღების სქემა კი ისეთივეა, როგორც ჩვეულებრივ კეს-ებზე. ტურბინიდან გამოსული ნამუშევარი ორთქლი ცივდება კონდენსატორში, რაც ხდება ახლომდებარე მდინარის, წყალსაცავის ხარჯზე ან სპეციალური გამაცივებელი კომპიუტერების წყალობით. ასეთი სადგურების სიმძლავრე დაახლოებით 50 მგვტ-ია, მისი მშენებლობის ხარჯები თითქმის იგივე სიმძლავრის ჰესის ან კეს-ის თანაზომადია.



ნახ. 1.19. შზის კესი

მეს-ის ერთ-ერთი ყველაზე უფრო გახმაურებული პერსპექტიული პროექტია *ე.წ. შზის კოშკურა* (ნახ. 1.20), რომლის ირგვლივ დაახლოებით 2.5 კმ რადიუსზე განლაგებულია ორგანული მინით გადახურული სათბური, სადაც სოფლის მეურნეობის პროდუქტები მოჰყავთ. რაც შეეხება ელექტრულ ენერგიას, მისი მიღება ამ ტიპის სადგურზე შემდეგნაირად მოხდება: წრიული ტიპის სათბურში გამობარი ჰაერის დიდი მასები ბუნებრივად დაიწყებენ მოძრაობას ამ სათბურის ცენტრში განლაგებული კოშკურასკენ, რომელთაც გზაზე, კოშკურას მისადგომებთან, ქარის ტურბინები დახვდება. ეს ტურბინები მათთან მიერთებულ გენერატორებთან ერთად მოდიან ბრუნვით მოძრაობაში და ენერგიის დიდ ნაწილს აართმევენ ამ ჰაერის მასებს. ამის შემდეგ ნამუშევარი ჰაერი მოხვდება სივრცეში. შედეგად ახალი, ცივი ჰაერის მასები კი შევა ზემოაღნიშნული წრიული ფორმის სათბურის პერიფერიული ნაწილებიდან და ა. შ.



ნახ. 1.20. შზის კოშკურა

1.6.2 ქარის ელექტროსადგურები

ზოგადი ცნობები. დღეისთვის მსოფლიოში ქარის ელექტროსადგურების დადგმული სიმძლავრე 283 გვტ-ია (2012 წელი), ხოლო ენერგიის გენერაცია 460 ტვტ-სთ, რაც მსოფლიოს მოხმარების დაახლოებით 3.5%-ია. 2018 წლისთვის ვარაუდობენ რომ ეს რიცხვი 8%-მდე გაიზრდება. ზოგიერთ ქვეყანაში ამ ტიპის ენერგეტიკამ მართლაც დიდი წილი შეადგინა: დანია 28%, ესპანეთი 16%, ირლანდია და პორტუგალია 14%, გერმანია 8%.



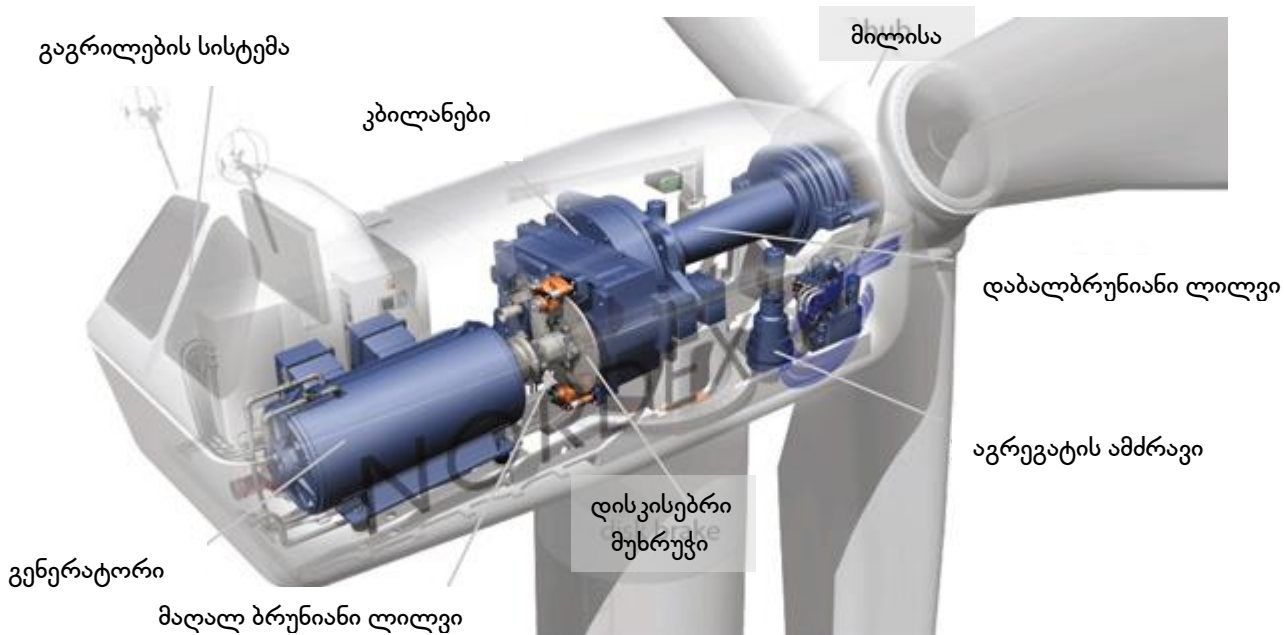
ნახ. 1.21. ქარის ფერმები

ქარის ენერგიის გარდაქმნისათვის გამოიყენება ქარის ტურბინები, რომლებიც აბრუნებენ სინქრონულ ან ასინქრონულ გენერატორებს. 21-ე საუკუნის დასაწყისამდე გამოიყენებოდა ჩქარბრუნიანი ქარის ტურბინები. მათი გავლენა გარემოზე მნიშვნელოვანწილად უარყოფითი იყო. მიუხედავად იმისა, რომ ბუნებაში მავნე გავლენა არ გამოყოფდა, ანადგურებდა ფრინველებს და ხმაურით დისკომფორტს უქმნიდა დასახლებულ პუნქტებს.

სტანდარტული ქარის ელსადგურები (ნახ. 1.22). ამჟამად უკვე შემუშავებულია ე.წ ნელბრუნიანი ქარის ტურბინები, რომლებიც სპეციალური რედუქტორებით არიან მიერთებულნი სინქრონულ ან ასინქრონულ გენერატორებთან. ქარის აგრეგატი „ტურბინა-გენერატორი“ განლაგებულია დაახლოებით 120 მ სიმაღლის კოშკურაზე, ტურბინის რადიუსი დაახლოებით 40 მ-ია. მუშა თვლის ფრთების რაოდენობა, ჩვეულებრივ, უდრის 3-ს. ტურბინის ნომინალური ბრუნთა რიცხვი, ჩვეულებრივ, 50-60 ბრ/წთ-ია, მაშინ, როდესაც მისი ქარის გენერატორის ბრუნთა რიცხვია 1500-3000 ბრ/წთ. სწორედ ამიტომ არის განლაგებული ქარის აგრეგატში კბილანური რედუქტორი, რომელიც მუშა თვლის „ნელ“, ბრუნთა რიცხვს გარდაქმნის გენერატორის „სწრაფ“ ბრუნთა რიცხვად. აგრეგატს აქვს უნარი, ქარის სიჩქარისა და მისი მიმართულების შესაბამისად, მაქსიმალური მქკ-ს განვითარებისთვის, მობრუნდეს კოშკურის ღერძის გარშემო 360°-ით და მოაბრუნოს თავისი ფრთებიც, მსგავსად კაპლანის მბრუნავფრთებიანი ტურბინისა.

თითოეული ასეთი ქარის აგრეგატის დადგმული სიმძლავრე 3 – 5 მგვტ-ია. რამდენიმე ათეული ქარის გენერატორი უკავშირდება ერთ გარდამქმნელ ცენტრს, რომელიც მათ მიერ გამოშვებულ სიმძლავრეს გამართავს და მერე ისევ ცვლად სიმძლავრედ გარდაქმნის. ამ გზით აწვდის სიმძლავრეს სისტემას, რათა მინიმალური იყოს ქარის ცვალებადობის შედეგად შესაძლო შემფოთებების გავლენა სისტემის მუშაობის რეჟიმზე. ზემოთ აღნიშნულ მუდმივი დენის ჩანართს სჭირდება რეაქტიული ენერგია, რაც სისტემის მუშაობისთვის შეიძლება არასასურველი იყოს.

ქარის ელსადგურს, რომელშიც რამდენიმე ათეული აგრეგატია გაერთიანებული, მეტსახელად „ქარის ფერმას“ უწოდებენ.



ნახ. 1.22

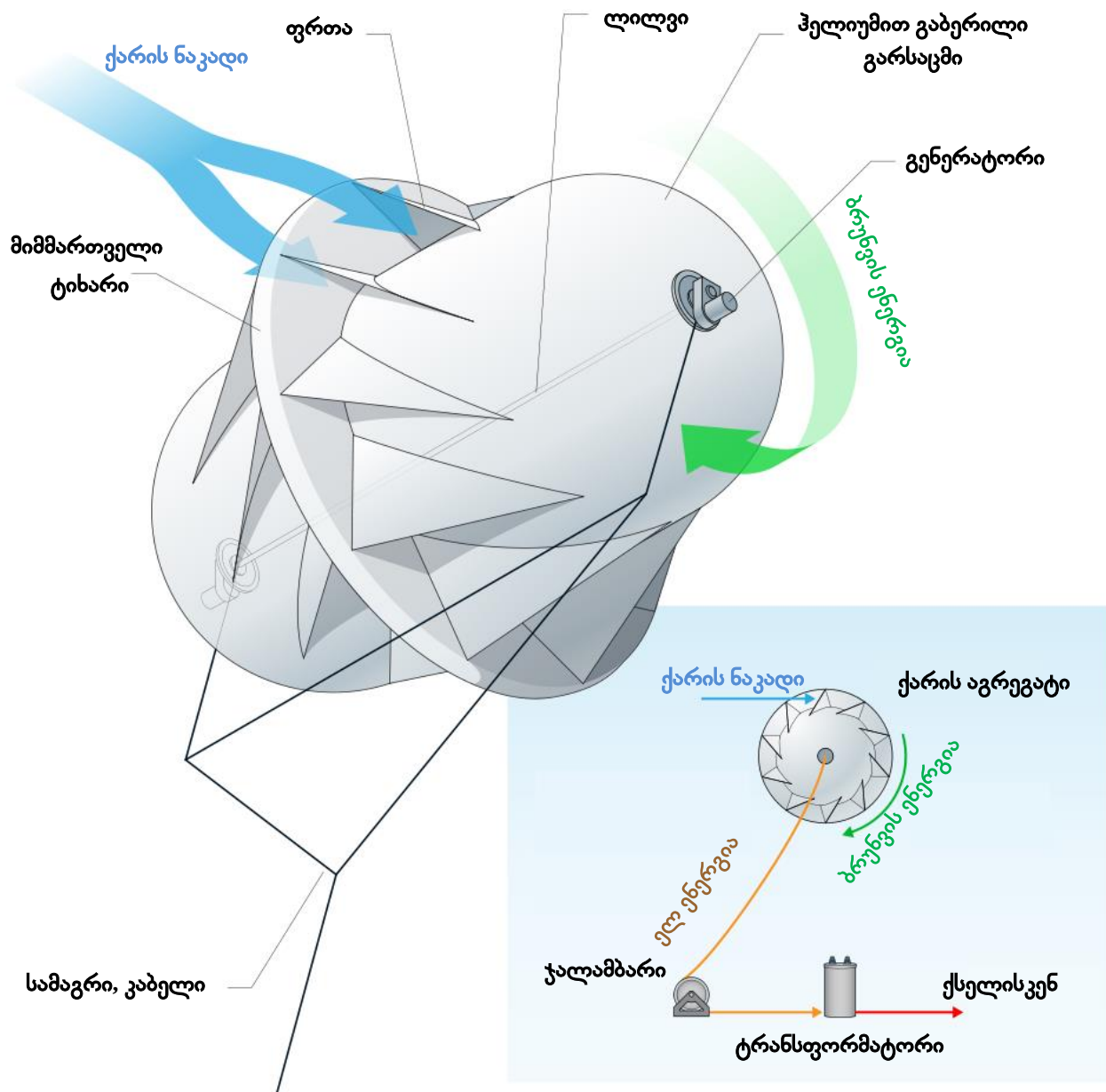
ქარის ტურბინის კონსტრუქციული ნაწილები

აეროსტატი - ქარის ტურბინა (ნახ. 1.23) კონცეპტუალურ ქარის აგრეგატს წარმოადგენს. მისი მბრუნავი კორპუსი, რომელზეც გარედან ფრთებია დამაგრებული, გავსებულია ჰელიუმით. ეს აირი ჰაერზე მსუბუქია, რაც საშუალებას აძლევს აგრეგატს ჰაერის მალალ ფენებში „იტივტივოს“ და იბრუნოს. ელექტროგენერატორს შებრუნებული შესრულება აქვს - მბრუნავ კორპუსზე დამაგრებულია აგზნების სისტემა, ხოლო უძრავ ლილვზე მოთავსებულია სამფაზა გრაგნილები. აგრეგატს ჰორიზონტალური განლაგება აქვს, მისი ღერძები დამაგრებულია სპეციალური ტროსების საშუალებით, რომელთა შიგნით კაბელებიც არის გატარებული. ამ კაბელებით ხდება ენერგიის „ჩამოტანა“ მიწაზე განლაგებულ ამწევ ტრანსფორმატორზე და ქსელისთვის გადაცემა.

ასეთი შესრულების ქარის აგრეგატის განსაკუთრებული უპირატესობაა ის, რომ მისი მუშაობის სიმაღლე არ არის შეზღუდული კოშკურის სიმაღლით, ვინაიდან მას კოშკურა საერთოდ არ გააჩნია. მიწიდან მისი დაშორების სიმაღლე რეგულირდება მიწაზე განლაგებული ჯალამბრის საშუალებით, რომლის ბრუნვით ჰაერში მყოფი ტროსის სიგრძე იზრდება ან მცირდება, შესაბამისად მცირდება ან იზრდება მიწიდან აგრეგატის დაშორების სიმაღლეც.

საჰაერო აგრეგატი ჩვეულებრივ, დიდ სიმაღლეებზე მუშაობს (ზედაპირიდან რამდენიმე კმ), სადაც, მართალია, ჰაერი შედარებით გაუხშობელია, მაგრამ აქ ქარის ნაკადები ხასიათდება მაღალი და სტაბილური სიჩქარით, რაც ქარის გაუხშობებას აკომპენსირებს.

ასეთი კონსტრუქციის ნაკლოვანებად შეიძლება ჩაითვალოს ელვის დროს მისი მოქმედების შესაძლო შეფერხება და თვითმფრინავის მარშრუტებიდან არიდების ღონისძიებების მიღების აუცილებლობა



ნახ. 1.23
ქარის გენერატორი - აეროსტატი

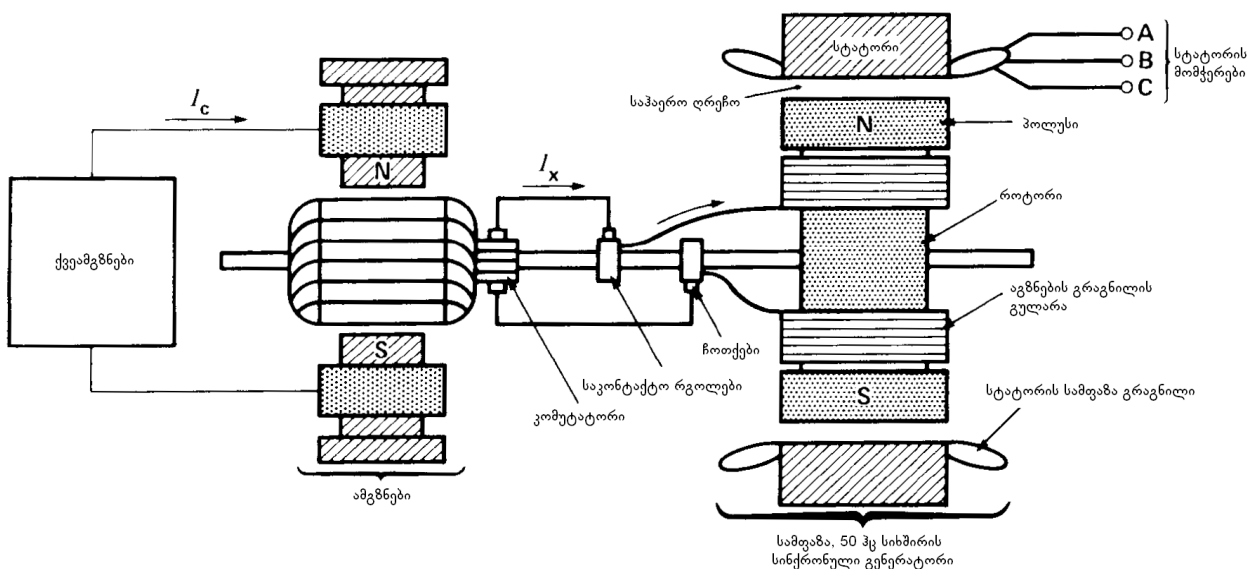
მზისა და ქარის არსებული სადგურების ძირითადი ნაკლოვანებაა მათი გენერაციის არასტაბილურობა, რომელიც შესაბამისად მზისა და ქარის ინტენსიურობაზეა დამოკიდებული. აღნიშნული პრობლემის გადაწყვეტის ერთერთი ყველაზე გონივრულ გამოსავლად შეიძლება გვესახებოდეს ამ ენერგიის წყაროებზე დაფუძნებული ელექტროსადგურების თანაზომადი სიმძლავრის ჰიდრომააკუმულირებელი სადგურების მშენებლობა. ზემოთგანხილულ მზისა და ქარის ელსადგურებზე ენერგიის სიჭარბისას - მზის სადგურების შემთხვევაში მზიანი დღის განმავლობაში, ხოლო ქარის სადგურების შემთხვევაში ძლიერი ქარიანი პერიოდში – ანუ მაშინ, როდესაც ენერგოსისტემაში იქნება ენერგიის დიდი ნაჭარბი, აღნიშნული ენერგიის ხარჯზე სისტემის ჰიდრომააკუმულირებელი სადგურების აგრეგატები იმუშავებენ ტუმბოს რეჟიმში და თავიანთი ქვედა ბიეფიდან ზედა ბიეფში ტუმბავენ წყალს, ხოლო ღამით ან უქარობის პერიოდში, მაშინ როცა სისტემაში ადგილი ექნება ენერგიის დეფიციტს, ჰიდრომააკუმულირებელი სადგურის აგრეგატები იმუშავებენ გენერატორების რეჟიმში და სისტემას მიაწვდიან ელექტროენერგიას.

თავი II

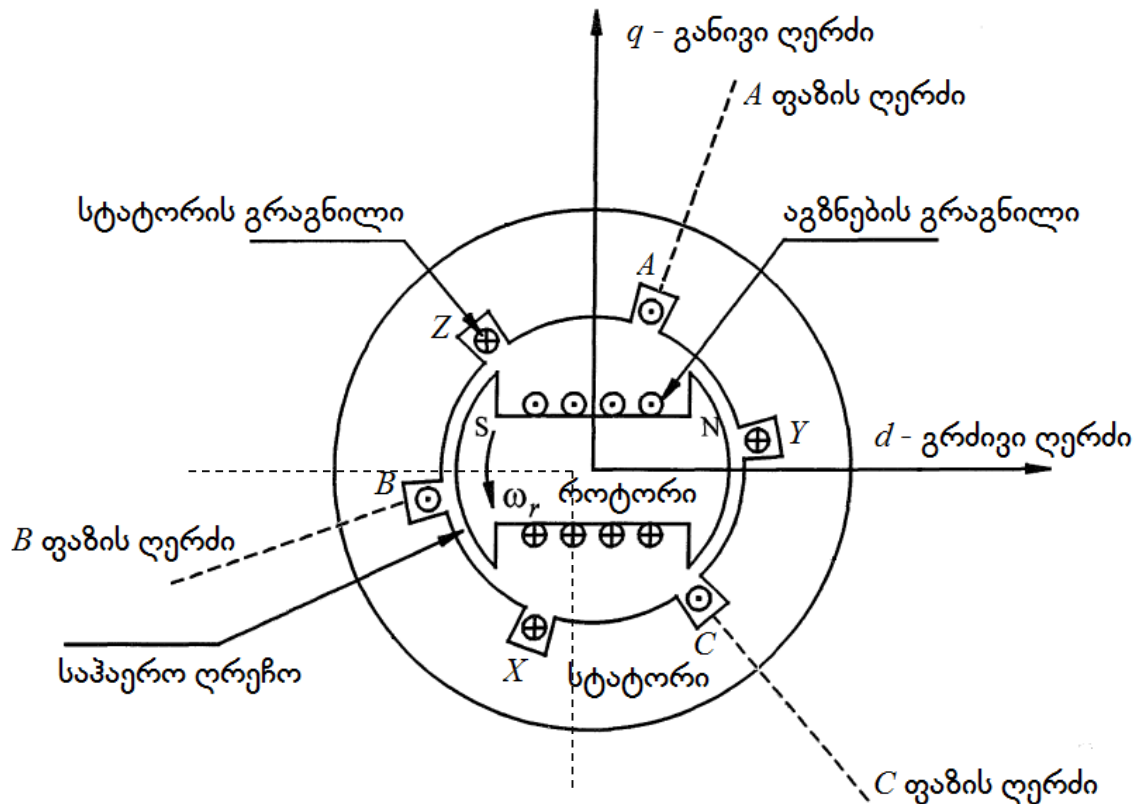
სინქრონული გენერატორები და კომპენსატორები

2.1 ზოგადი ცნობები

თანამედროვე ელექტრულ სადგურებზე ელექტრული ენერგიის მისაღებად გამოიყენება სამფაზა ცვლადი დენის სინქრონული გენერატორები (ნახ. 2.1). გენერატორი შედგება მოძრავი ნაწილისგან ანუ როტორისგან და უძრავი ნაწილისგან ანუ სტატორისგან. სტატორზეა განლაგებული სამფაზა ცვლადი დენის გრაგნილები. A, B და C ფაზის გრაგნილები ერთმანეთის მიმართ სივრცეში 120° -ით არიან დაძრულნი, იმგვარად, რომ მბრუნავი მაგნიტური ველის მიერ მათში დაინდუქცირდეს 120° -ით დაძრული ემძ-ები. როტორზე განლაგებულია მუდმივი დენის აგზნების გრაგნილი, რომლებიც საკონტაქტო რგოლების საშუალებით ღებულობენ კვებას და ქმნიან მუდმივ მაგნიტურ ველს. მუდმივი მაგნიტური ველის მქონე როტორის ბრუნვის შედეგად, სტატორის გრაგნილების ფაზებში ინდუქტირდება ცვლადი ემძ-ები და დენები. იმისათვის, რომ მიღებულ იქნას დამყარებული მომენტი, სტატორისა და როტორის მაგნიტური ველები უნდა ბრუნავდნენ თანაბარი სიჩქარით. ამგვარად, როტორი უნდა ბრუნავდეს ზუსტად სინქრონული სიჩქარით. სტატორის სამფაზა გრაგნილებიდან მიღებული ენერგია მიეწოდება სისტემასა და საბოლოო მომხმარებელს, ამწევი ტრანსფორმატორის, საკომუტაციო და გამანაწილებელი მონაცობილობებისა და ელექტროგადაცემის ხაზების გავლის შემდეგ.



ნახ. 2.1.
გენერატორის პრინციპული სქემა



ნახ. 2.2.

გენერატორის სქემატური დიაგრამა

ნახ. 2.2-ზე მოყვანილია სტატორის A ფაზის გამტარი. იგი როტორის ბრუნვის შედეგად თანმიმდევრულად მოექცევა ამ უკანასკნელის N პოლუსის, აგზნების გრაგნილების დადებითი პოლარობის ხეიების (⊙), S პოლუსის და აგზნების უარყოფითი პოლარობის ხეიების (⊕) გასწვრივ. სიმარტივისთვის დავუშვათ, გენერატორზე მიერთებულია სუფთა აქტიური დატვირთვა, რაც საშუალებას გვაძლევს ვთქვათ, რომ სტატორის A ფაზაში მაქსიმალური დადებითი დენის შესაბამისი ემძ ინდუქტირდება N პოლუსის გასწვრივ ყოფნისას, ანუ როცა $\omega_r t = \omega_s t = \theta = 0$ (ნახ. 2.2 და 2.3), მაშინ უარყოფითი მაქსიმალური დენის შესაბამისი ემძ დაინდუქტირდება, როდესაც A ფაზის გასწვრივ იქნება S პოლუსი, ანუ როცა $\theta = \pi$. ამასთან, სტატორის გამტარის დენი იქნება ნულის ტოლი, როდესაც როტორის ველი სტატორის გრაგნილისადმი მართობულად იქნება ორიენტირებული (ნახ. 2.3), ანუ როცა $\theta = \pi/2$ და $\theta = 3\pi/2$. ვინაიდან როტორი ასრულებს ბრუნვით მოძრაობას, სტატორში დაინდუქტირებული ემძ-ები და დენები სწორედ ამ კუთხის სინუსზე იქნება დამოკიდებული.

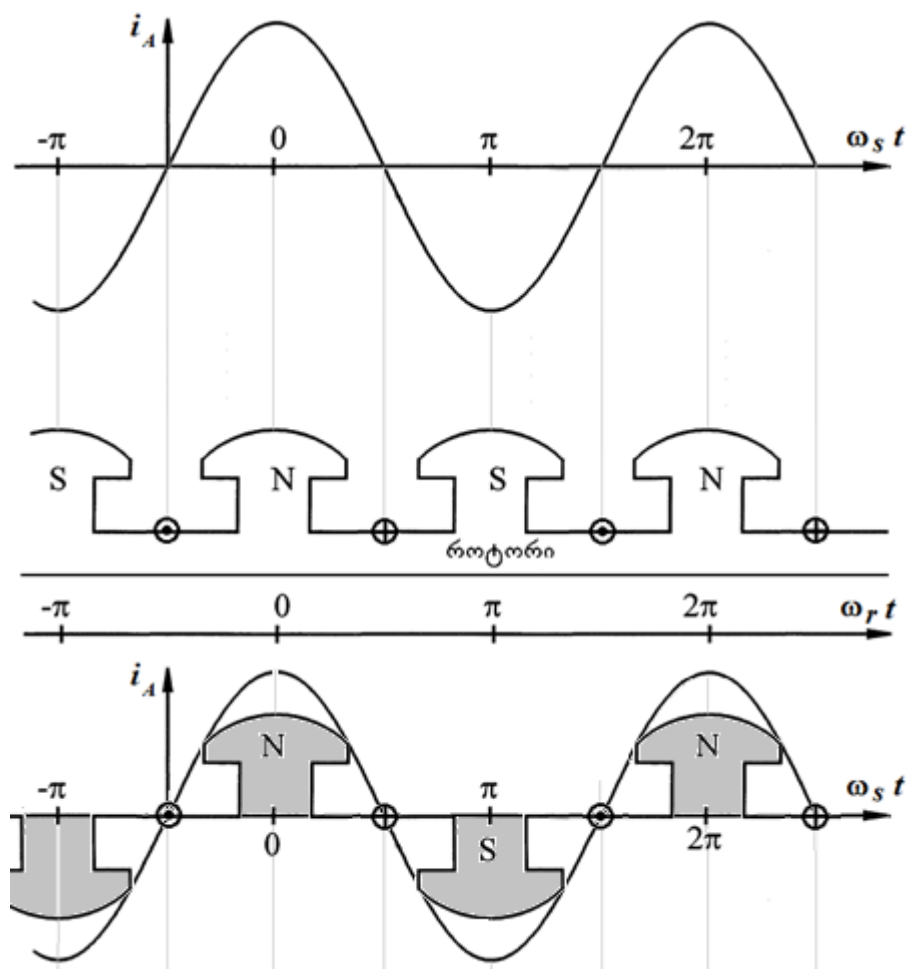
ამრიგად, სტატორის დენების მყისა მნიშვნელობებისათვის შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\begin{aligned} i_A &= I_m \cos \omega_s t \\ i_B &= I_m \cos(\omega_s t + 2\pi/3) \\ i_C &= I_m \cos(\omega_s t + 4\pi/3) \end{aligned} \quad (2.1)$$

სადაც

I_m = სტატორის დენის ამპლიტუდური მნიშვნელობაა,

$\omega_s = 2\pi f$ (რად/წმ) = სტატორის ველის კუთხური სიჩქარეა. ნორმალური დამყარებული მუშაობისას იგი როტორის კუთხური სიჩქარის ტოლია: $\omega_s = \omega_r$



ნახ. 2.3.

გენერატორის სქემატური დიაგრამა

სინქრონული გენერატორების ბრუნთა რიცხვს n (ბრ/წთ), წყვილპოლუსთა რიცხვსა p და სიხშირეს f (ჰც) შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება:

$$n = \frac{60f}{p} \quad (2.2)$$

გენერატორის სტატორის სამფაზა გრავილები შეერთებულია ვარსკვლავად, რაც განპირობებულია ორი მიზეზით:

1. ამ შემთხვევაში ფაზური ძაბვა ხაზურზე $\sqrt{3}$ -ჯერ ნაკლებია, რაც როტორის ღრმულების (კილოების) იზოლაციის შემცირების საშუალებას იძლევა. ეს, თავის მხრივ, ამ კილოების კვეთში გამტარის გაზრდისა და, შესაბამისად, მეტი დენისა და მეტი სიმძლავრის გამოტანას უზრუნველყოფს;

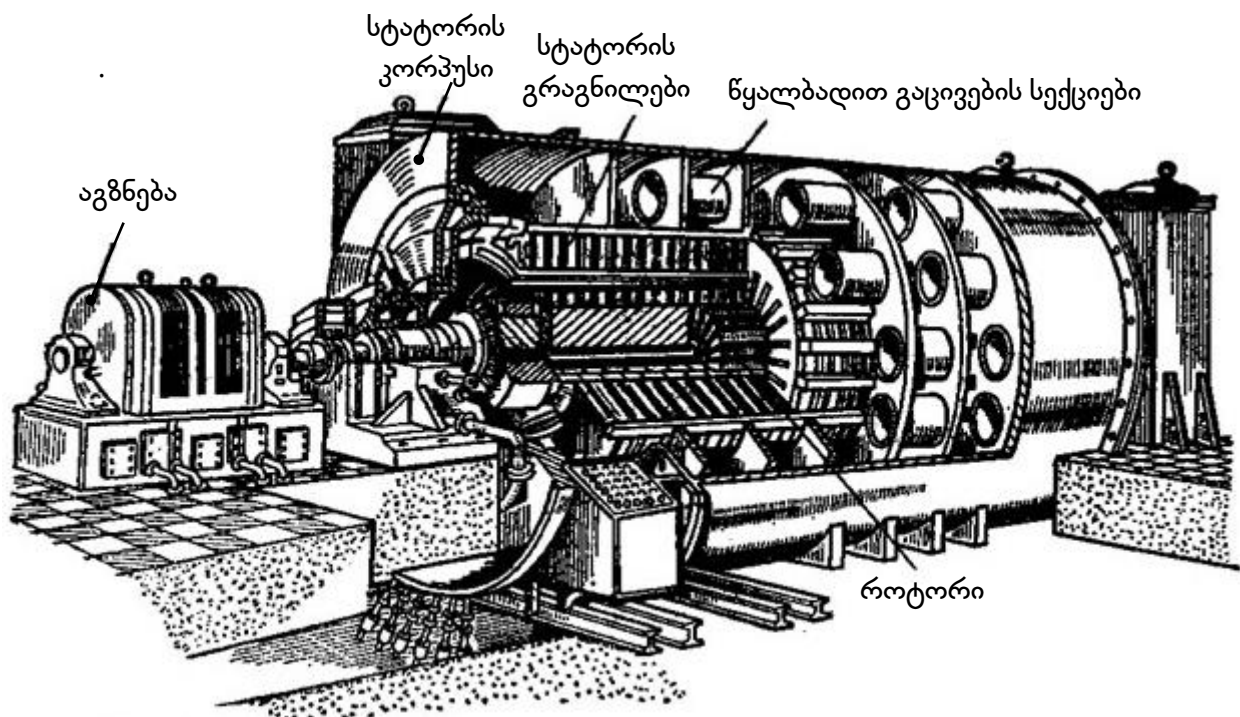
2. როდესაც სინქრონული გენერატორი დატვირთულია, ფაზებში დაინდუქტირებული ემძ-ები მახინჯდება და მათ აღარ აქვთ სინუსოიდალური ფორმა. ეს დამახინჯება, ძირითადად, ხდება ძაბვის მესამე რიგის ჰარმონიკის მიერ, რომლის სიხშირე ძირითად სიხშირეს აღემატება სამჯერ. ვარსკვლავა შეერთებისას ხაზებს შორის მესამე რიგის ჰარმონიკა არ წარმოიქმნება, რადგან მას შეკვრის გზა არ გააჩნია და ემძ-ებსაც ნებისმიერი დატვირთვის რეჟიმში სინუსოიდური სახე აქვთ,

სამკუთხედი შეერთებისას კი აღნიშნული ჰარმონიკის მიერ დაინდუქტირებული დენები იცირკულირებდნენ გენერატორში და გამოიწვევდნენ I^2R -ის ტოლ დანაკარგებს.

2.2. ტურბოგენერატორები

ტურბოგენერატორები (ნახ. 2.4) მოძრაობაში მოჰყავთ ორთქლის ან გაზის ტურბინებს, რომლებიც ატომურ ან თბოელექტროსადგურებზე არიან დაყენებული. აღნიშნული ტურბინების თავისებურებას წარმოადგენს სწრაფმავლობა. ცნობილია, რომ რაც უფრო მაღალია ტურბინის ბრუნვის სიხშირე, მით უფრო მცირეა მისი გაბარიტები და მაღალია მარგი ქმედების კოეფიციენტი. ამიტომ ცდილობენ, რომ ტურბოგენერატორები რაც შეიძლება სწრაფმავლები დაამზადონ. მაგრამ მათ სწრაფმავლობას გააჩნია გარკვეული ზღვარი, რომელიც განპირობებულია ელექტრული ქსელის ნომინალური სიხშირით და გენერატორის წყვილ პოლუსთა რიცხვით.

ვინაიდან თბოელექტროსადგურებზე ტურბოგენერატორები მუშაობენ ბრუნვის შესაძლო მაქსიმალური სიჩქარით, მათი წყვილ პოლუსთა რიცხვი ერთის ტოლია. ატომურ სადგურებზე რეაქტორები ორთქლს გამოიმუშავებენ შედარებით დაბალი ტემპერატურითა და წნევით. მათი ტურბოგენერატორების წყვილპოლუსთა რიცხვი ჩვეულებრივ ორის ტოლია.



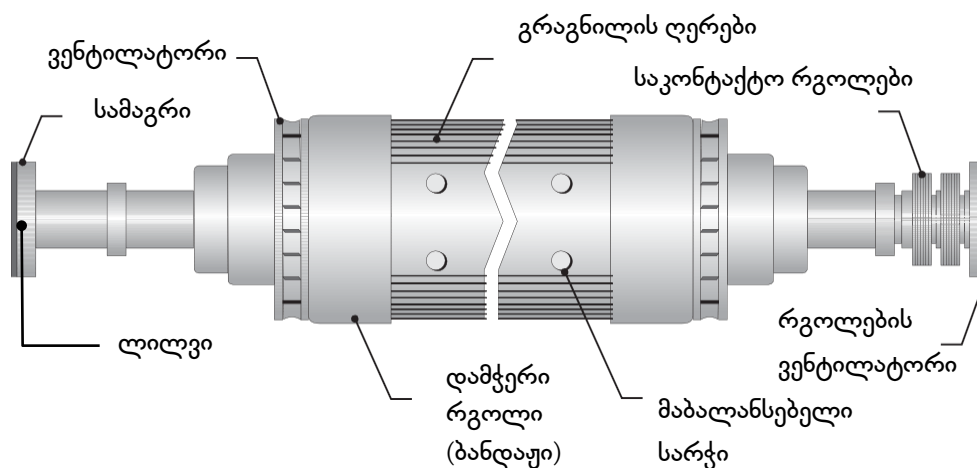
ნახ. 2.4

ტურბოგენერატორის საერთო ხედი

ტურბოგენერატორის როტორი დამაგრებულია სრიალის ორ საკისარზე, რომლებსაც აქვთ წნევის ქვეშ იძულებითი შეზღევა ტურბინის ზეთის სისტემიდან.

თბოგენერატორების სწრაფმავლობა განაპირობებს მათ კონსტრუქციულ თავისებურებებს. ეს გენერატორები მზადდებიან ჰორიზონტალური ლილვით. ტურბოგენერატორების როტორები (ნახ. 2.5) ბრუნვის მაღალი სიჩქარის გამო განიცდიან დიდ მექანიკურ დატვირთვას. ამიტომ მაღალი მექანიკური და მაგნიტური თვისებების მისაღებად ამზადებენ სპეციალური ფოლადის ერთი მოთლიანი ნაჭედისაგან. როტორი არაყხადპოლუსაა, ანუ იგი ფაქტიურად წარმოადგენს გრძელ ცილინდრს. ასეთი შესრულება უზრუნველყოფს მის აეროდინამიკურობას და ამცირებს დანაკარგებს ჰაერთან შეხებისას. ბრუნვის მაღალი სიხშირის დროს სათანადო მექანიკური სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად როტორის დიამეტრი თანამედროვე მასალებისათვის არ უნდა აღემატებოდეს 1.5 მ-ს. როტორის დიამეტრის შეზღუდვა განპირობებულია ცენტრიდანული ძალების მაღალი მნიშვნელობით, რომლებმაც შეიძლება როტორის მასალისათვის დასაშვებ სიდიდეს გადააჭარბონ. აღნიშნულის გამო, ტურბოგენერატორების სიმძლავრის გასაზრდელად ელექტრომანქანათმშენებლები იძულებული არიან გაზარდონ როტორის სიგრძე. მაგრამ როტორების სიგრძის გაზრდაც დასაშვებზე მეტად არ შეიძლება, ვინაიდან როტორის დიდი სიგრძის დროს სტატიკურმა ჩაღუნვამ შეიძლება დასაშვებ სიდიდეს გადააჭარბოს, რაც გენერატორის მუშაობის დროს იწვევს დიდ ვიბრაციებს. თანამედროვე მასალების პირობებში როტორის მაქსიმალურად დასაშვები აქტიური სიგრძე შეადგენს 9 მ.

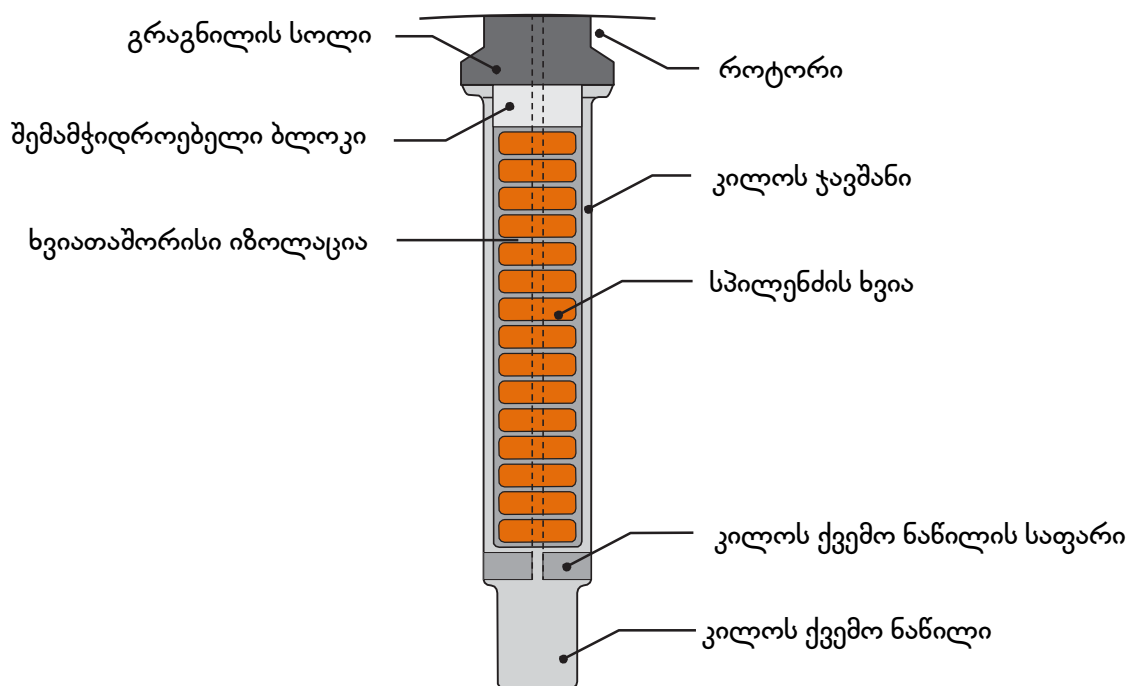
ზემოთ აღნიშნულიდან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ტურბოგენერატორების ზღვრული ზომები შეზღუდულია მეტალურგიის თანამედროვე შესაძლებლობებით. ამიტომ, ტურბოგენერატორის ზღვრული სიმძლავრეების გაზრდა შესაძლებელია მხოლოდ ელექტრომაგნიტური დატვირთვების და გაცივების ხერხების ინტენსიფიკაციის გზით.



ნახ. 2.5
ტურბოგენერატორი

როტორის აქტიურ ნაწილში, რომელშიც გადის ძირითადი მაგნიტური ნაკადი, გაკეთებულია ღრმულები (კილოები). მათში ალაგვებენ აგზნების გრავნილის კოჭებს. კილოში (ნახ. 2.6) ჩაწყობილი გრავნილის კოჭები მაგრდებიან არამაგნიტური დურალუმინის მტკიცე სოლებით. გრავნილების ღრმულური ნაწილები, რომლებიც კილოში არ დევს, მაგრდება არამაგნიტური ფოლადისაგან დამზადებული რგოლებით (არტახებით). რგოლი იცავს გრავნილის შუბლურ

ნაწილს ცენტრიდანული ძალების ზემოქმედებისაგან. რადგან რგოლებზე მოდის ყველაზე დიდი მექანიკური დატვირთვა, ამიტომ მათ ამზადებენ არამაგნიტური მალალი სიმტკიცის ფოლადისაგან. როტორის ორივე მხარეს, ლილვზე ამაგრებენ ვენტილატორებს, რაც უზრუნველყოფს მანქანის გამაცივებელი აირის ვენტილაციას.



ნახ. 2.6

ტურბოგენერატორის კილოების სქემატური კვეთა

როტორის გრაგნილის ღეროებს კრეფენ ცალკეული გამტარებისგან. ზედაპირული გაცივების მქონე ტურბოგენერატორებში გამტარებს აქვთ სხმული კვეთა, ხოლო წყლით ან წყალბადით უშუალო გაცივების მქონე ტურბოგენერატორებში – პროფილირებული კვეთა. ასეთი გამტარები ქმნიან სავენტილაციო არხებს, რომელშიც გაედინება სავენტილაციო გარემო. როტორის გრაგნილის იზოლაციისათვის იყენებენ მიკანიტს, ქარსს, სხვადასხვა ლაქებს და ეპოქსიდურ ფისებს.

ტურბოგენერატორის სტატორი შედგება კორპუსისა და გულარისგან. კორპუსი შედუღებულია რკინის ფურცლებისაგან. გულარი კი აიწყობა 0.5 მმ სისქის ელექტროტექნიკური ფოლადის იზოლირებული ფირფიტებისაგან. ფირფიტების შეერთების ადგილას ისინი დაცულია ფარების საშუალებით. ფირფიტებს აწყობენ პაკეტებად და პაკეტებს შორის ტოვებენ სავენტილაციო არხებს. გულარის კილოებში ალაგებენ სტატორის სამფაზა გრაგნილებს.

2.3. ჰიდროგენერატორები

ჰიდროგენერატორის ბრუნვის სიხშირეს განსაზღვრავს ჰიდროტურბინის ბრუნვის სიხშირე. ჰიდროტურბინის ბრუნვის სიხშირე, რომელიც მოცემული დაწნევისა და წყლის ხარჯისათვის განაპირობებს ტურბინის საუკეთესო ჰიდრავლიკურ და ეკონომიკურ მახასიათებლებს, განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$n_0 = k_h \frac{H^{1.25}}{P^{0.5}} \quad (2.3)$$

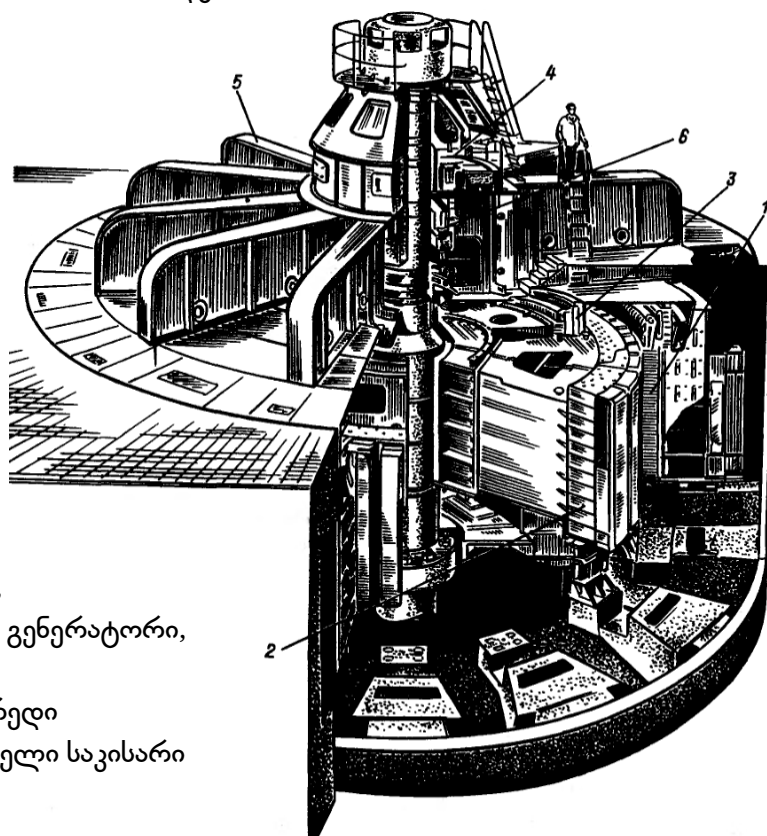
სადაც

k_h = სწრაფმავლობის კოეფიციენტი (ბრ/წთ) და იგი დამოკიდებულია ტურბინის ტიპზე;

H = დაწნევა (მ);

P = ტურბინის სიმძლავრე (კვტ).

იმის გამო, რომ სხვადასხვა ჰიდროელექტროსადგურებისათვის დაწნევა და წყლის ხარჯი ხასიათდება დიდი სხვადასხვაობით, ჰიდროგენერატორების ბრუნვის სიხშირე იცვლება დიდ დიაპაზონში, 50 დან 750 ბრ/წთ-მდე.



- 1- სტატორი,
- 2 - როტორი,
- 3 - დამხმარე გენერატორი,
- 4 - საქუსლე
- 5 - ზედა ჯვარელი
- 6 - მიმმართველი საკისარი

ნახ. 2.7.

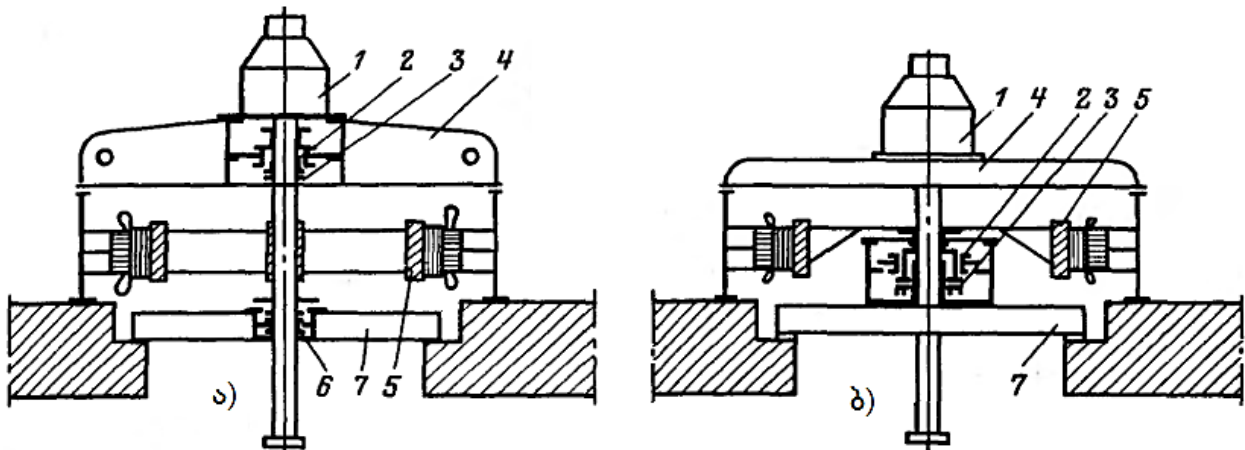
225 მგვტ სიმძლავრის 125 ბრ/წთ ბრუნვის სიხშირის საკიდი ტიპის ჰიდროგენერატორი

როგორც (2.3) ფორმულიდან ჩანს, ჰიდროგენერატორების ბრუნვის სიხშირე მით უფრო მცირეა, რაც უფრო დიდია სიმძლავრე და მცირეა დაწნევა. მომუშავე ჰიდროგენერატორების დიდი ნაწილი მიეკუთვნება ნელმავალ მანქანებს, ვინაიდან მათი ნომინალური ბრუნვის სიხშირე 50-125 ბრ/წთ ფარგლებშია. დაბალი ბრუნვის სიხშირის გამო ჰიდროგენერატორების ზომები და მასა დიდია. გარდა ამისა, მათ დიდი წყვიპოლუსთა რიცხვი აქვთ.

ლილვის განლაგების მიხედვით ჰიდროგენერატორები ორ ჯგუფად იყოფიან-ვერტიკალურად და ჰორიზონტალურად.

ვერტიკალურ ჰიდროგენერატორებს გააჩნიათ ერთი საყრდენი საკისარი (საქუსლე), რომელზეც მოდის მთელი აგრეგატის ტურბინა-გენერატორი სრული წონა. საქუსლეები განიცდიან დიდ დატვირთვებს, რომლებსაც განსაზღვრავს გენერატორის როტორის და ტურბინის მუშა თვლის სიმძიმის ძალა, ასევე წყლის რეაქციის ვერტიკალური მდგენელი. ამ დატვირთვებს საქუსლე გადასცემს ქვედა ან ზედა ჯვარედს, რომელშიც საქუსლეა განლაგებული. ამ განლაგების მიხედვით განისაზღვრება თუ რომელი ჯვარედია საყრდენი. რადიალურ (განივ) დატვირთვებს განიცდის ორი მიმმართველი საკისარი. სწორედ ისინი უზრუნველყოფენ როტორის ვერტიკალურ მდგომარეობაში განლაგებას. საქუსლეს განლაგების მიხედვით არსებობს ვერტიკალური ჰიდროგენერატორის ორ ტიპი – საკიდი (ნახ. 2.8 ა) და ქოლგური (ნახ. 2.8 ბ). საკიდი ტიპის გენერატორში საქუსლე განთავსებულია გენერატორის როტორის ზემოთ, ზედა საყრდენ ჯვარედში, ხოლო ქოლგური ტიპის ჰიდროგენერატორებში – როტორის ქვედა საყრდენ ჯვარედში. გენერატორის საკიდი შესრულება უზრუნველყოფს მანქანის უფრო მაღალ მექანიკურ მდგრადობას და უფრო ადვილ შეღწევადობას საქუსლესა და აგრეგატის სხვა ნაწილებთან. ქოლგური შესრულება საშუალებას იძლევა შემცირებულ იქნას აგრეგატის მასა და მისი სიმაღლე, შესაბამისად, ჰიდროსადგურის სამანქანო დარბაზის შენობის სიმაღლე. ისინი ძირითადად გამოიყენება ნელბრუნთან მანქანებზე, რომელთაც დიდი ზომის მუშა თვალი აქვთ და ადგილის ეკონომია ესაჭიროებათ.

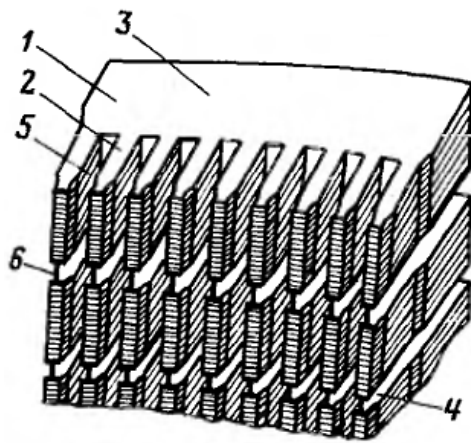
ჰიდროგენერატორების სტატორის კორპუსს აწყობენ ფურცლოვანი ფოლადისაგან. იმ შემთხვევაში თუ კორპუსის დიამეტრი 4 მეტრია, მაშინ სტატორიც და როტორიც ანაკრეფი სექციებისაგან მზადდება, რაც აიოლებს მათ ტრანსპორტირებას. ჰიდროგენერატორების გულარი, ტურბოგენერატორების გულარის მსგავსად, შედგება ცალკეული პაკეტებისაგან. ეს პაკეტები გამოყოფილია სავენტილაციო რადიალური არხებით.



ნახ. 2.8

ა) საკიდი ტიპი, ბ) ქოლგური ტიპი. 1 - ამგზნები, 2 - ზედა მიმმართველი საკისარი, 3 - საქუსლე, 4 - ზედა ჯვარედი, 5 - როტორი, 6 - ქვედა მიმმართველი საკისარი, 7 - ქვედა ჯვარედი.

მცირე სიმძლავრის ჰიდროგენერატორებზე გამოიყენება სტატორის გრაგნილის კოჭისებრი შესრულება, ხოლო დიდი სიმძლავრის ჰიდროგენერატორებზე - ღეროსებრი შესრულება. ამ შემთხვევაში გრაგნილი შედგება ცალკეული ელემენტარული გამტარებისაგან.

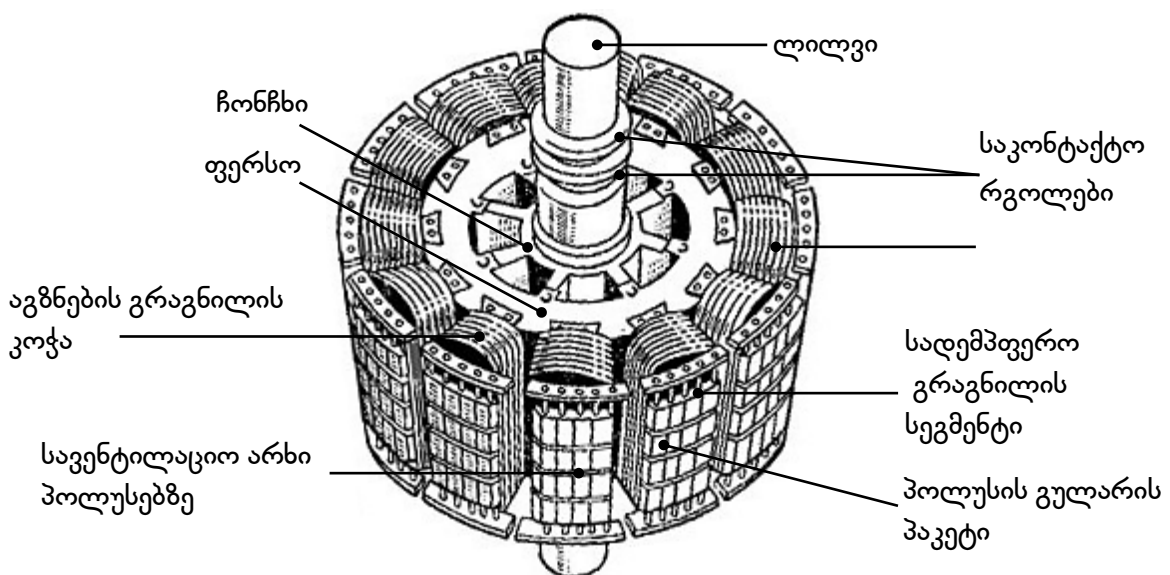


- 1 - სეგმენტი,
- 2 - სეგმენტის კბილი,
- 3 - სეგმენტის უკანა მხარე,
- 4 - რადიალური არხი,
- 5 - სტატორის კილო (ღრმული)
- 6 - განბჯენი

ნახ. 2.9.

სტატორის გულარის სეგმენტური პაკეტი

ჰიდროგენერატორს გააჩნია ცხადპოლუსა როტორი. იგი წარმოადგენს დიდი დიამეტრის თავისებურ ბორბალს (ნახ. 2.10), რომელიც შედგება შიგა ნაწილისგან - ჩონჩხისგან, რომელიც მილისას საშუალებით ჩამოცმულია ლილვზე და გარე ნაწილისგან - ფერსოსგან, რომელიც შედგება დაშტამპული სეგმენტებისგან.

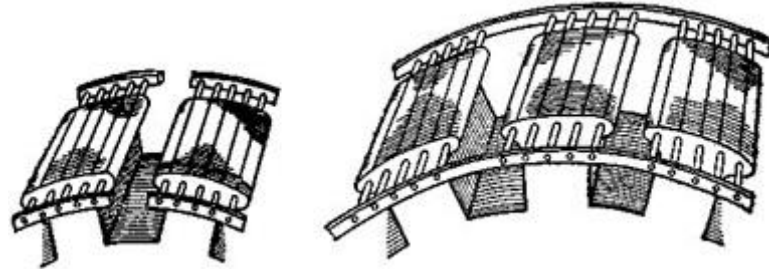


ნახ. 2.10.

ჰიდროგენერატორის როტორი – საერთო ხედი

ფერსოზე განლაგებულია პოლუსები და აგზნების გრაგნილები. რაც მცირეა ჰიდროგენერატორის ბრუნვის სიხშირე, მით მეტი მისი პოლუსების რიცხვი და გრაგნილის ხვედრია განსაზღვრული ფერსოზე. ამიტომ ნელმავალ ჰიდროგენერატორებს გააჩნიათ ბევრად დიდი დიამეტრი, ვიდრე სწრაფმავალს. ერთი და იგივე ბრუნთა რიცხვის შემთხვევაშიც გენერატორის სიმძლავრის გაზრდა იწვევს მისი როტორის დიამეტრის გაზრდას. როტორის პოლუსები შედგება ფურცლოვანი ფოლადის ფურცლებისგან აკრეფილი გულარისგან ან მასიური ნაჭედი ფოლადისგან. პოლუსებზე დახვეულია აგზნების გრაგნილები. ამ გრაგნილებს აქვთ სწორკუთხა შესრულება – როტორის ჰაერით გაცივების შემთხვევაში ან ღრუიანი (მილის მსგავსი) შესრულება

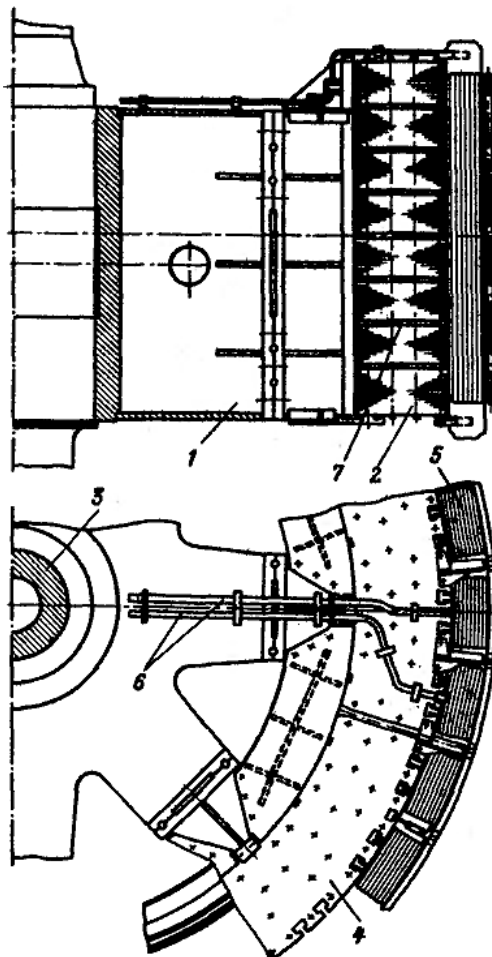
– როტორი წყლით უშუალო გაცევის შემთხვევაში. როტორების უმრავლესობას ასევე გააჩნია სადემპფერო (დამაწყნარებელი) გრაგნილი. ეს გრაგნილი განკუთვნილია დატვირთვების მყისიერი ცვლილებით გამოწვეული ნებისმიერი შემფოთების დროს აგრეგატის რხევების დასაწყნარებლად. სადემპფერო გრაგნილი შედგება სპილენძის ან ბრინჯაოს ღეროებისაგან, რომლებიც ჩალაგებულია როტორის პოლუსების დაბოლოებებზე ამოჭრილ ნახევრად დახურულ კილოებში (ღრმულებში). ამ ღეროების ტორსულ ნაწილებს აერთებენ ასევე სპილენძის ან ბრინჯაოს სეგმენტებით.



გრძივი სადემპფერო გრაგნილი

განივი სადემპფერო გრაგნილი

ნახ. 2.11



- 1 - ჩონჩხი,
- 2 - ფორსო,
- 3 - ლილვი,
- 4 - ფორსოს სეგმენტი,
- 5 - პოლუსი და აგზნების გრაგნილის ხვია,
- 6 - დენგამტარი, რომელიც აგზნების გრაგნილებს აერთებს საკონტაქტო რგოლებთან,
- 7 - სავენტილაციო რადიალური არხი.

ნახ. 2.12

ჰიდროგენერატორის როტორი – ჩხირისებრი ჩონჩხით

ჰიდროგენერატორების როტორის საკონტაქტო რგოლებს ამზადებენ სპილენძისგან. მძლავრი ჰიდროგენერატორების თითოეული რგოლი შედგება ორი ნახევარრგოლისგან.

მაგალითი 2.1

დავადგინოთ ჰიდროაგრეგატის წყვილპოლუსთა რიცხვი, თუ სწრაფმავლობის კოეფიციენტი $k_b = 500$ ბრ/წთ, დაწნევაა $H = 100$ მ; ტურბინის სიმძლავრე $P = 277$ მგვტ.

ამოხსნა

(2.3) გამოსახულებიდან

$$n_{\delta} (\text{ბრ/წთ}) = k_b (\text{ბრ/წთ}) \times \frac{H^{1.25} (\text{მ})}{P^{0.5} (\text{კვტ})} = 500 \times \frac{100^{1.25}}{277000^{0.5}} = 300.42 \approx 300 \text{ ბრ/წთ}$$

(2.2) გამოსახულებიდან

$$p = \frac{60 \times f(\text{ჰც})}{n_{\delta} (\text{ბრ/წთ})} = \frac{60 \times 50}{300} = 10 \text{ წყვილპოლუსი}$$

2.4 სინქრონული გენერატორების ძირითადი პარამეტრები

სინქრონული გენერატორების ძირითადი ნომინალური პარამეტრებია:

- ნომინალური ბრუნთა რიცხვი $n_{\text{ნომ}}$ და წყვილ პოლუსთა p რიცხვი, რომლებიც განაპირობებენ გენერატორის ძაბვის ნომინალურ სიხშირეს;

- აქტიური $P_{\text{ნომ}}$, რეაქტიული $Q_{\text{ნომ}}$ და სრული ნომინალური $S_{\text{ნომ}}$ სიმძლავრეები. ნომინალურ სიმძლავრეს უწოდებენ მარგ სიმძლავრეს, რომელზეც გათვლილია სინქრონული გენერატორი და რომლითაც მას შეუძლია იმუშაოს ხანგრძლივი დროის განმავლობაში, გაცივების სისტემის ნორმალური მუშაობის დროს.

- სტატორის ნომინალური ძაბვა $U_{\text{ნომ}}$ და სტატორის ნომინალური დენი $I_{\text{ნომ}}$ კავშირშია ერთმანეთთან და გენერატორის ნომინალურ სიმძლავრეებთან (2.4), (2.5), (2.6) გამოსახულებებით;

- ავზნების ძაბვა $U_{\text{ავზ.ნომ}}$, ავზნების დენი $I_{\text{ავზ.ნომ}}$,

- ნომინალური მარგი ქმედების კოეფიციენტი $\eta_{\text{ნომ}}$, ნომინალური სიმძლავრის კოეფიციენტი $\cos \phi_{\text{ნომ}}$ და სხვ.

სამუშაო სინქრონული გენერატორის ნომინალურ ძაბვას უწოდებენ სტატორის გრაგნილის ხაზურ ძაბვას ნომინალურ რეჟიმში. სტანდარტების მიხედვით გენერატორების ნომინალური ძაბვებისათვის დადგენილია შემდეგი რიგი: 3.15; 6.8; 10.5; 13.8; 15.75; 18.0; 20.0; 21.0; 24.0 კვ.

გენერატორის ნომინალური სრული სიმძლავრე განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$S_{\text{ნომ}} = 1.73 U_{\text{ნომ}} I_{\text{ნომ}} \quad (2.4)$$

ნომინალური აქტიური სიმძლავრე განისაზღვრება ფორმულით:

$$P_{\text{ნომ}} = 1.73 U_{\text{ნომ}} I_{\text{ნომ}} \cos \varphi_{\text{ნომ}} \quad (2.5)$$

ნომინალური რეაქტიული სიმძლავრე განისაზღვრება ფორმულით:

$$Q_{\text{ნომ}} = 1.73 U_{\text{ნომ}} I_{\text{ნომ}} \sin \varphi_{\text{ნომ}} \quad (2.6)$$

ტურბოგენერატორების ნომინალური სრული სიმძლავრეებისათვის რუსული სტანდარტებით დადგენილია შემდეგი რიგი: 3.125; 5.0; 7.5; 15.0; 40.0; 78.75; 125.0; 188.0; 235.0; 353.0; 588.2; 888.9; 941.0 მგვა, აქტიური სიმძლავრეებისათვის კი: 2.5; 4.0; 6.0; 12.0; 32.0; 63.0; 100.0; 160.0; 200.0; 300.0; 600.0; 800.0; 1000.0; 1200.0 მგვტ.

ჰიდროგენერატორებისათვის შეუძლებელია წინასწარ შევადგინოთ ნომინალური სიმძლავრეების სტანდარტული სკალა, ვინაიდან მათი სიმძლავრე დამოკიდებულია წყლის ხარჯსა და დაწნევაზე. ეს უკანასკნელი კი სხვადასხვა ჰიდროელექტროსადგურებისათვის დიდი სხვაობით გამოირჩევა. ამიტომ ყველა კონკრეტული ჰიდროელექტროსადგურისათვის ჰიდროგენერატორების სიმძლავრე განისაზღვრება პროექტით.

100 მგვტ-მდე სიმძლავრის ტურბოგენერატორებისათვის სიმძლავრის ნომინალური კოეფიციენტი $\cos \varphi_{\text{ნომ}}$ შეადგენს 0.8-ს, ტურბოგენერატორისათვის რომელთა სიმძლავრე 150-500 მგვტ-ის ფარგლებშია, იგი ტოლია 0.85-ის, ხოლო 800 მგვტ სიმძლავრის ტურბოგენერატორებისათვის – 0.9-ს.

125 მგვტ-მდე სიმძლავრის ჰიდროგენერატორებისათვის სიმძლავრის ნომინალური კოეფიციენტი, $\cos \varphi_{\text{ნომ}}$ ტოლია 0.8-ის, 125-360 მგვტ სიმძლავრის ჰიდროგენერატორებისათვის 0.85-ის და 360 მგვტ-ზე მეტი სიმძლავრის ჰიდროგენერატორებისათვის 0.9-ის.

თანამედროვე სამუშაო სინქრონული გენერატორებისათვის მარგი ქმედების ნომინალური კოეფიციენტი იცვლება ზღვრებში: $\eta_{\text{ნომ}} = 96.3 \div 98.8 \%$.

2.5. სინქრონული გენერატორების გაცივების სისტემები

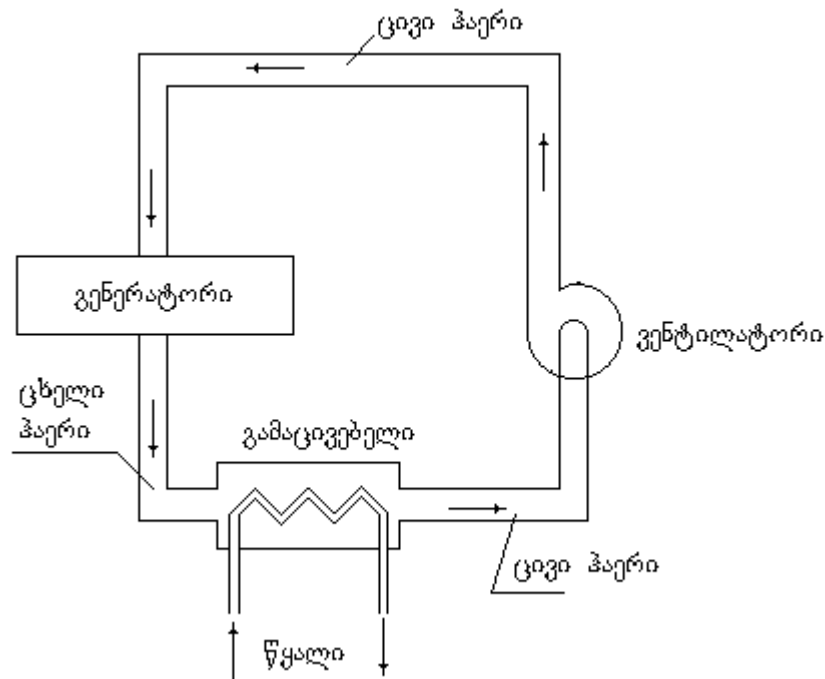
მუშაობის პროცესში სინქრონულ გენერატორში ადგილი აქვს ენერგიის დანაკარგებს. ეს დანაკარგები გარდაიქმნება სითბოდ და ახურებს გენერატორის ელემენტებს. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, თანამედროვე გენერატორების მარგი ქმედების კოეფიციენტი საკმაოდ მაღალია, მაგრამ იმის გამო, რომ გენერატორის სიმძლავრე დიდია, ჯამური დანაკარგები დიდ სიდიდეებს აღწევს. მაგალითად 800 მვკტ სიმძლავრის ტურბოგენერატორებისათვის ის დაახლოებით 10 მვკტ-ს შეადგენს. დანაკარგები იწვევს სპილენძის, აქტიური ფოლადის და იზოლაციის ტემპერატურის საგრძნობ გაზრდას.

ტემპერატურის გაზრდის მიმართ განსაკუთრებით მგრძნობიარეა იზოლაცია. ცნობილია, რომ გახურება იწვევს იზოლაციის ელექტროსაიზოლაციო თვისებების გაუარესებას, მისი მოქნილობის და მექანიკური თვისებების დაქვეითებას, იზოლაცია ხმება, იფუჭება და ველარ ასრულებს თავის ფუნქციას. ამ პროცესს იზოლაციის დაძველებას უწოდებენ. ეს უკანასკნელი მით უფრო სწრაფად მიმდინარეობს, რაც უფრო მაღალია იზოლაციის ტემპერატურა.

ექსპერიმენტურად დადგენილია, რომ იზოლაციაზე ხანგრძლივი ზემოქმედების ტემპერატურის 8°C -ით გაზრდისას მისი მუშაობის ხანგრძლივობა ორჯერ მცირდება. ასე მაგალითად, თუ სითბოს 105°C ხანგრძლივი ზემოქმედებისას იზოლაციის მუშაობის საანგარიშო ხანგრძლივობა 20 წლის ტოლია, მაშინ ტემპერატურის გაზრდა 113°C -მდე გამოიწვევს იზოლაციის მუშაობის ხანგრძლივობის 10 წლამდე შემცირებას.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, გენერატორის იზოლაცია უნდა მუშაობდეს ისეთ ტემპერატურაზე, რომლის ხანგრძლივი ზემოქმედებისას იზოლაცია შეინარჩუნებს თავის საიზოლაციო თვისებებს გენერატორის სამსახურის საანგარიშო დროის განმავლობაში.

იმისათვის, რომ გენერატორის ტემპერატურა მუშაობის პროცესში დარჩეს დასაშვებ ზღვრებში, საჭიროა მას ინტენსიურად ავართვათ სითბო. სითბოს ართმევა ხორციელდება გაცივების სპეციალური სისტემებით, რომლებშიც გამცივებელ ფაქტორებად გამოიყენებენ აირებს (ჰაერი, წყალბადი) ან სითხეებს (ზეთი, გამოხდილი წყალი). გენერატორების ყველა ცნობილი გაცივების სისტემები იყოფა ირიბ და უშუალო სისტემებად. გაცივების ირიბი სისტემები გამოიყენებიან მხოლოდ აირით გაცივების დროს. გამაცივებელი აირი არ არის უშუალო შეხებაში გენერატორის გრაგნილების სადენებთან და მათში გამოყოფილი სითბო ჰაერს გადაეცემა იზოლაციის გავლით. ეს აუარესებს სითბოს გადაცემის პირობებს, რაც ირიბი გაცივების სისტემებს ნაკლებად ეფექტურს ხდის. ირიბი გაცივების დროს ჰაერის ცირკულაცია გენერატორში ხორციელდება გენერატორის ლილვზე დასმული ვენტილატორების მეშვეობით. გახურებული ჰაერი ვენტილატორების მეშვეობით განიღვნება მანქანიდან მის ქვემოთ დადგმულ გამაცივებელში. იქ ჰაერი ცივდება და ბრუნდება გენერატორში. ე.ი. ჰაერი ასრულებს გაცივების შეკრულ ციკლს. ამიტომ გაცივების ასეთ ციკლს შეკრულს უწოდებენ.



ნახ. 2.13. შეკრული გაცივების სისტემა

ვინაიდან ჰაერთი ირიბი გაცივება ნაკლებად ეფექტურია, იგი გამოიყენება მხოლოდ 12 მგვტ სიმძლავრის ტურბოგენერატორებისათვის და 150-160 მგვტ-მდე სიმძლავრის ჰიდროგენერატორებისათვის. უფრო მძლავრი გენერატორებისათვის გამოიყენებენ უფრო ეფექტურ გაცივების სისტემებს. მაგალითად, გაცივების ირიბ სისტემაში ჰაერის შეცვლამ წყალბადით საშუალება მისცა კონსტრუქტორებს საგრძნობლად გაეზარდათ გენერატორების სიმძლავრე მათი გაბარიტებისა და წონის შედარებით მცირედ გაზრდისას. ეს იმით აიხსნება, რომ წყალბადს ჰაერთან შედარებით თბოგამტარობა გაცილებით უკეთესი აქვს, ხოლო სიმკვრივე - 10-ჯერ ნაკლებია. ამით გაიზარდა ტურბოგენერატორის მარგი ქმედების კოეფიციენტი (ხახუნის შემცირების გამო). გაიზარდა იზოლაციის სამსახურის ხანგრძლივობა, ვინაიდან არ ხდება იზოლაციის დაჟანგვა, რასაც ადგილი აქვს ჰაერის გამოყენებისას (გვირგვინის გამო არ წარმოიქმნება ოზონი). მცირდება ხანძრის გაჩენის ალბათობა გენერატორის შიდა დაზიანებების დროს. აქვე აღვნიშნოთ, რომ წყალბადის გამოყენება გაცივების სისტემაში დაკავშირებულია რისკთან, რადგან გარკვეულ პროპორციებში ჟანგბადისა და წყალბადის ნარევი ქმნის ფეთქებად მასას. მაგრამ გაცივების სისტემის სწორი ექსპლუატაცია თავიდან გვაცილებს აფეთქების საშიშროებას.

გაცივების უშუალო სისტემებში გამაცივებელი ფაქტორი (წყალბადი, წყალი ან ზეთი) ცირკულირებს გენერატორის გრაგნილების სადენებში გაკეთებული არხებით, უშუალოდ ეხება გახურებულ სპილენძს და აცივებს მას. გაცივების უშუალო სისტემები გაცილებით უფრო ეფექტურნი არიან ირიბ სისტემებთან შედარებით, ვინაიდან სადენებსა და გამაცივებელ ნივთიერებას შორის არ არსებობს დამატებითი ბარიერი იზოლაციის სახით. მათი გამოყენება საშუალებას იძლევა კიდევ უფრო გაეზარდოს გენერატორების სიმძლავრე. გრაგნილების უშუალო გაცივების დიდმა ეფექტურობამ განაპირობა გენერატორის იგივე ზომების პირობებში აქტიურ მასალების უკეთესი გამოყენება. გრაგნილებში დენის სიმკვრივის გაზრდით გენერატორების სიმძლავრე გაიზარდა 3-ჯერ და უფრო მეტჯერ.

წყალით ან ჰაერით გაცივების უშუალო სისტემები ფართოდ გამოიყენება მძლავრი ჰიდროგენერატორებისათვისაც.

უნდა აღვნიშნოთ, რომ წყალს ჰაერთან, წყალბადთან და ზეთთან შედარებით უფრო მეტი თბოტევადობა აქვს, რაც, მცირე სიბლანტესთან ერთად, განაპირობებს წყლით გაცივების სისტემების მაღალ ეფექტურობას. ელექტრულ სადგურებზე გენერატორების გასაცივებლად გამოიყენებენ ან ტურბინის კონდენსატს ან გამოხდილ წყალს, რომლებსაც მაღალი საიზოლაციო თვისებები გააჩნიათ.

შემდეგ ცხრილში მოცემულია გაცივების სისტემების შედარებითი ეფექტურობა ტურბოგენერატორებისათვის. ცხრილი გვიჩვენებს ჰაერით გაცივების მქონე გენერატორთან შედარებით, რამდენჯერ შეიძლება სიმძლავრის გაზრდა, თუკი გამოყენებული იქნება სხვა გაცივების სისტემა.

№	გაცივების სისტემა	ეფექტურობა
1	ჰაერით	1.0
2	ირიბი გაცივება წყალბადით	1.7
3	სტატორის და როტორის უშუალო გაცივება წყალბადით	2.7
4	სტატორის უშუალო გაცივება ზეთით როტორის უშუალო გაცივება წყლით	3.5
5	სტატორის და როტორის უშუალო გაცივება წყლით	4.0

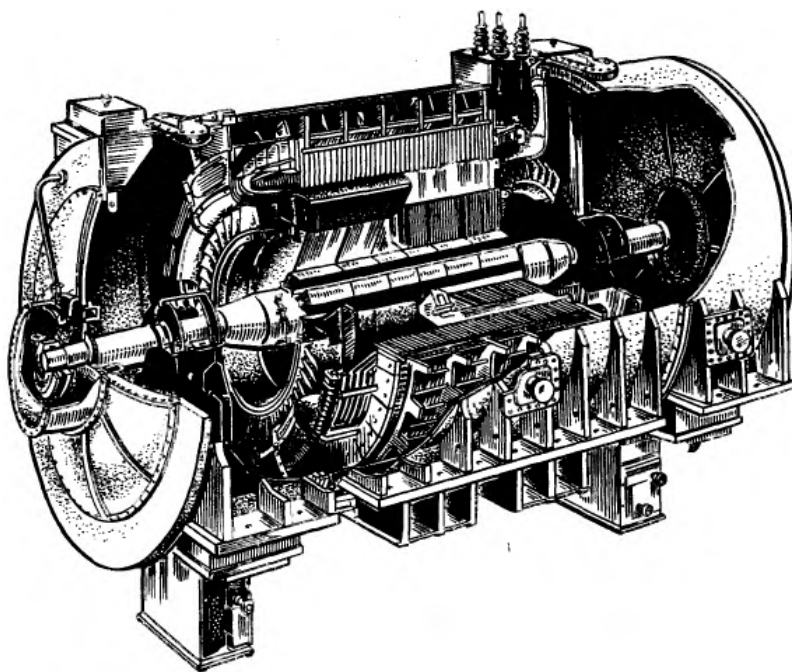
2.6. სინქრონული კომპენსატორები

ზოგადი ცნობები. სინქრონულ კომპენსატორს უწოდებენ ძრავულ რეჟიმში მომუშავე სინქრონულ მანქანას, რომელსაც ლილვზე დატვირთვა არა აქვს (ნახ. 2.14). სინქრონულ კომპენსატორს შეუძლია რეაქტიული ენერგია გამოიმუშაოს და გასცეს ქსელში ან მოიხმაროს იგი ქსელიდან. თუკი დატვირთვის ცენტრში ჩავრთავთ სინქრონულ კომპენსატორს, გასცემს რა მომხმარებლისათვის საჭირო რეაქტიულ სიმძლავრეს, საშუალებას მოგვცემს განტვირთულ იქნას რეაქტიული დენისგან სადგურებისა და მომხმარებლების დამაკავშირებელი ელექტროგადაცემის ხაზები, რაც ამცირებს ხაზში დანაკარგებს და აუმჯობესებს ქსელის მუშაობის პირობებს.

სინქრონული კომპენსატორის მიერ გამოიმუშავებული ან ქსელიდან მოხმარებული რეაქტიული სიმძლავრე დამოკიდებულია აგზნების დენზე. გადააგზნების რეჟიმში იგი გამოიმუშავებს რეაქტიულ ენერგიას და გასცემს მას. თუ აგზნების დენი მცირეა, მაშინ სინქრონული კომპენსატორი ქსელიდან იღებს რეაქტიულ ენერგიას.

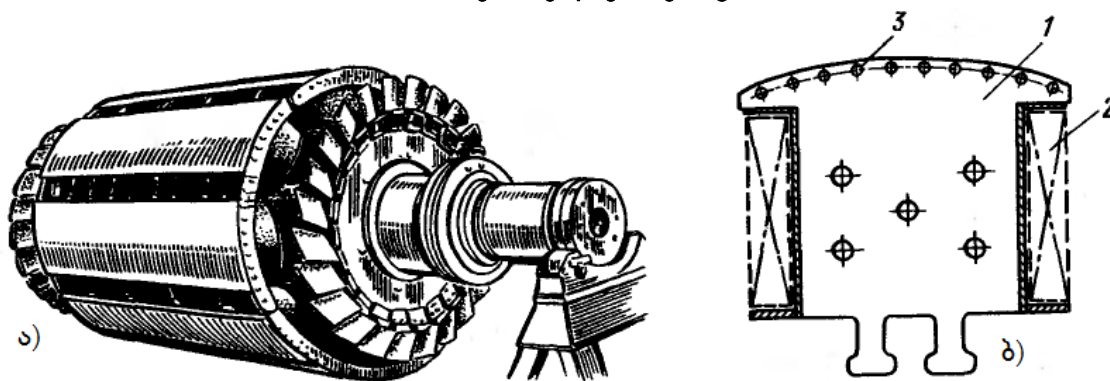
სინქრონული კომპენსატორების როტორი (ნახ. 2.15), ჰიდროგენერატორების მსგავსად, ჩვეულებრივ, ცხადპოლუსაა; მაგრამ მათი ლილვი, ტურბოგენერატორების მსგავსად,

განლაგებულია პოროზონტალურ მდგომარეობაში. ასეთი შესრულებისას მცირდება კომპენსატორის მასა, გაბარიტები და ღირებულება, ადვილდება რემონტი და მარტივდება მისი საძირკვლის მოწყობა. სინქრონული კომპენსატორის როტორის წყვილპოლუსთა რიცხვი ჩვეულებრივ 3 ან 4-ია; შესაბამისად, მისი ნომინალური ბრუნთა რიცხვია 1000 ან 750 ბრ/წთ. ერთი სინქრონული კომპენსატორის ნომინალური სიმძლავრე 10–დან 320 მკვა–მდე მერყეობს.



ნახ. 2.14

სინქრონული კომპენსატორი



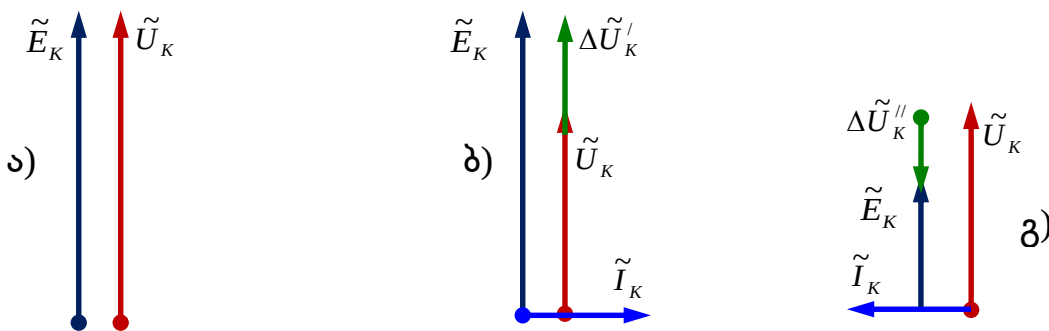
ნახ. 2.15

ა) როტორის გარე ხედი; ბ) როტორის პოლუსის ჭრილი: 1 - გულარა, 2 - აგზნების გრაგნილის კოჭა, 3 - სადემპფერო (გამშვი) გრაგნილი.

სისტემასთან პარალელური მუშაობის მდგრადობის ამაღლების მიზნით, სინქრონულ კომპენსატორებს ამზადებენ დიდი ინერციის მომენტი და, მიუხედავად იმისა, რომ მცირე მასიური მომენტი აქვთ (აქტიური დატვირთვის არქონის გამო), მათ ლილვს მაინც გააჩნია მნიშვნელოვანი გაბარიტები. მექანიკური სიმტკიცის ამაღლებისათვის, მათ გააჩნიათ ნაჭედი შესრულება.

მუშაობის რეჟიმები. აგზნების დენის ცვლილება იწვევს სინქრონული კომპენსატორის სტატორის გრაგნილის ემძ-ის E_K ცვლილებას. სინქრონულმა კომპენსატორმა შეიძლება იმუშაოს შემდეგ სამ რეჟიმში:

- რეჟიმს, როდესაც სტატორის ემძ სიდიდით ქსელის ძაბვის ტოლია $E'_K = U_K$, უწოდებენ კომპენსატორის უქმი სვლის რეჟიმს (ნახ. 2.16-ა).
- სინქრონული კომპენსატორის დენის გაზრდის შედეგად, სტატორის ემძ გადააჭარბებს ძაბვას მის მომჭერებზე. ძაბვის დადებითი სხვაობის $\Delta U' = E'_K - U_K$ ზეგავლენით, კომპენსატორის სტატორში წარმოიქმნება დენი I_K - მიმართული კომპენსატორიდან ქსელისკენ (ნახ. 2.16-ბ). ვინაიდან კომპენსატორის გრაგნილის წინაღობა თითქმის მთლიანად ინდუქციური ხასიათისაა, ამიტომ აღნიშნული დენი, ძაბვის სხვაობას $\Delta U'$ და მომჭერების U_K ძაბვას ჩამორჩება დაახლოებით 90° -ით და I_K დენის შესაბამისი Q_K რეაქტიული სიმძლავრე მიწოდება ქსელს. ამ რეჟიმს უწოდებენ გადააგზნების რეჟიმს.
- მცირე აგზნების რეჟიმის შემთხვევაში, როდესაც $E''_K < U_K$, დენი I_K იქნება წინმსწრები ძაბვისა U_K და კომპენსატორი მოიხმარს ქსელიდან რეაქტიულ ენერგიას (ნახ. 2.16-გ).



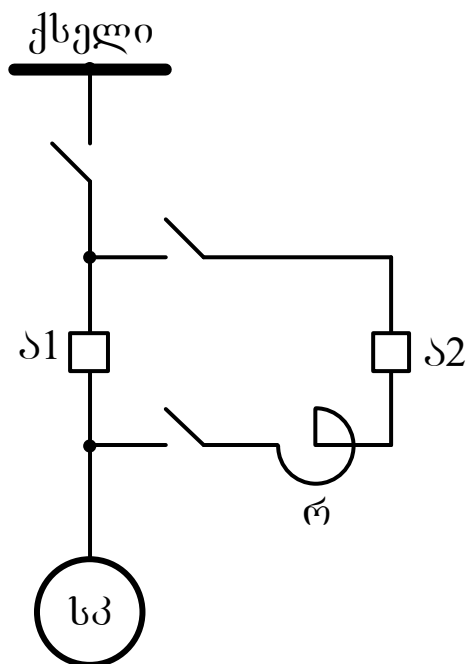
ნახ. 2.16.

სინქრონული კომპენსატორის ვექტორული დიაგრამები

ა - უქმი სვლის რეჟიმში, ბ - გადააგზნების რეჟიმში, გ - მცირედ აგზნების რეჟიმში

ქსელში ჩართვა. სინქრონული კომპენსატორის გაშვების ყველაზე უფრო გავრცელებული ხერხია მისი რეაქტორული გაშვება, როდესაც მისი ქსელში ჩართვა ხდება დიდი ინდუქციური წინაღობის მქონე რეაქტორის გავლით. რისი წყალობითაც კომპენსატორის მომჭერებზე ძაბვა მცირდება ნომინალურის 45-50 %-მდე, რაც საშუალებას იძლევა, რომ გამშვმა დენმა არ გადააჭარბოს ნომინალურ დენს 2-2.8-ჯერ მეტად. გაშვების შემდეგ კი ჩაერთვება რეაქტორის პარალელური შტო, რომლითაც ექნება კომპენსატორს კავშირი ქსელთან. რეაქტორის შტო კი გამოირთვება. ნახ. 2.17-ზე მოცემულია სინქრონული კომპენსატორის (სკ) რეაქტორული (რ) გაშვების სქემა. კომპენსატორის გაშვებისას მუშა შტოს ამომრთველი ა1 გამორთულია, ხოლო რეაქტორული შტოს ამომრთველი ა2 - ჩართული. კომპენსატორის აძვრა ხდება ასინქრონული მომენტის ხარჯზე. როდესაც მისი ბრუნთა რიცხვი მიუახლოვდება ნომინალურს, ჩაერთვება კომპენსატორის აგზნება და მოხდება მისი „სინქრონიზმში ჩათრევა“. აგზნების დენის რეგულირებით მიიღწევა კომპენსატორის სტატორის დენის მინიმალური სიდიდე. შემდეგ

ჩაერთვება ა1 ამომრთველი, რითაც დაშენდება რეაქტორული შტო და სინქრონული კომპენსატორი ჩაერთვება ქსელში.



ნახ. 2.17. სინქრონული კომპენსატორის რეაქტორული გაშვების სქემა.

მცირე და საშუალო სიმძლავრის კომპენსატორების აძვრა ხორციელდება ასინქრონული მომენტის განვითარების ხარჯზე. რისთვისაც გათვალისწინებულია სპეციალური გამშვი გრაგნილი, რომელთაც ჰიდროგენერატორების სადემპფერო გრაგნილების ანალოგიური შესრულება გააჩნათ. დიდი სიმძლავრის სინქრონული კომპენსატორების პოლუსების მასიური დაბოლოებები თვითონ უზრუნველყოფენ საკმარისად დიდი ასინქრონული მომენტის წარმოქმნას. ამიტომ მძლავრ კომპენსატორებზე გამშვი გრაგნილების არსებობის საჭიროება აღარ არის. დიდი სიმძლავრის სინქრონული კომპენსატორის აძვრისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნას მის ლილვზე დამაგრებული დამატებითი ძრავი, რომელიც კომპენსატორის როტორს

დააბრუნებს სინქრონულ ბრუნთა რიცხვამდე. რის შემდეგაც კომპენსატორს მიენოდება აგზნება და ჩაერთვება ქსელში, ანუ პრაქტიკულად მოხდება მისი სინქრონიზაცია.

სინქრონული კომპენსატორს გააჩნია ირიბი გაცივების სისტემა წყალბადით ან წყლით.

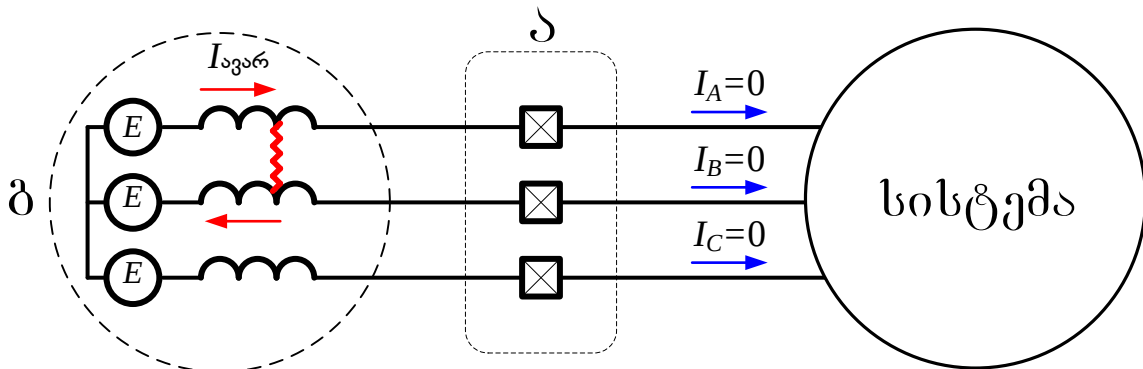
სინქრონულ კომპენსატორებს, ქსელში მიერ გასაცემი რეაქტიული სიმძლავრის სწრაფი ცვლილების უზრუნველსაყოფად, ჩვეულებრივ, გააჩნიათ სწრაფმოქმედი ტირისტორული აგზნების სისტემები.

აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები, რომელთა მეტი წილი მოდის როტორის აძვრასა და ხახუნზე (რადგან კომპენსატორზე ტვირთი არ არის მიერთებული), ნორმალური გაცივების პირობებში არ უნდა აღემატებოდეს სინქრონული კომპენსატორის დადგმული სიმძლავრის 1.5-2.5 %-ს.

2.7. გენერატორების ველის ქრობა

ველის ქრობას უწოდებენ პროცესს, რომლის არსია გენერატორის აგზნების დენის სწრაფი შემცირება ნულამდე, რაც გენერატორის ემ ძალის სწრაფ შემცირებას იწვევს. ველის ქრობა აუცილებელია გენერატორის ქსელიდან გამორთვისას, როგორც ნორმალურ, ასევე ავარიულ რეჟიმებში. ველის ქრობის აუცილებლობა განსაკუთრებით იჩენს თავს გენერატორის შიდა დაზიანების დროს. ამ დროს, ქსელიდან გამორთვის მიუხედავად, გენერატორი განაგრძობს ინერციით ბრუნვას და სტატორის გრაგნილში ინდუქცირდება ემ ძალა, რომელიც განაგრძობს მოკლე შერთვის ადგილში გაჩენილი რკალის კვებას.

რკალი სასწრაფოდ უნდა ჩაქრეს, რათა აცილებულ იქნას გრაგნილების იზოლაციისა და გულარის დაზიანება და ავარიის გაღრმავება. ნახ. 2.16-ზე მოცემულია სწორედ ასეთი შემთხვევა. გენერატორის დაზიანების გამო, მას შემდეგ რაც „ა“ ამომრთველები გამოირთვება, „გ“ გენერატორიდან სისტემისკენ მიმავალი ნორმალური რეჟიმის A, B და C ფაზის დენები I_A, I_B და I_C გახდება ნულის ტოლი. მაგრამ ამის მიუხედავად დაინდუქცირებული E ემ ძალები კვებავენ რკალს და სტატორის გადამოკლებულ ფაზებს შორის გადის ავარიული დენი $I_{ავარ}$.



ნახ. 2.18. დენები გენერატორის შიგა დაზიანების დროს

ველის ქრობის მიზნით აგზნების გრაგნილის უბრალოდ გამორთვა დაუშვებელია, ვინაიდან მისი დიდი L_f ინდუქციურობის გამო ადგილი ექნება გადამეტებას. გადამეტების სიდიდე, გარდა აგზნების გრაგნილის ინდუქციურობისა, დამოკიდებულია აგზნების დენის I_f შემცირების dl_f / dt სიჩქარეზე და მან შეიძლება გადააჭარბოს როტორის გრაგნილის იზოლაციის სიმტკიცის ზღვარს. ამიტომ ველის ქრობა უნდა განხორციელდეს ისე, რომ აგზნების გამორთვასთან ერთად მოხდეს გენერატორის როტორის გრაგნილის მაგნიტური ველის ენერგიის ქრობაც, თანაც, ისეთი სისწრაფით, რომ გადამეტებამ არ გადააჭარბოს გრაგნილის იზოლაციისათვის დასაშვებ სიდიდეს.

იმის მიხედვით, თუ როგორია გენერატორის სიმძლავრე და აგზნების სისტემა, ველის ქრობისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნას სამი სხვადასხვა ხერხი.

- პირველი ხერხი ითვალისწინებს გენერატორის ველის ჩაქრობას აქტიურ წინაღობაზე, რომელსაც მიაერთებენ აგზნების გრაგნილთან, შემდეგ კი გამორთავენ აგზნების დენს.

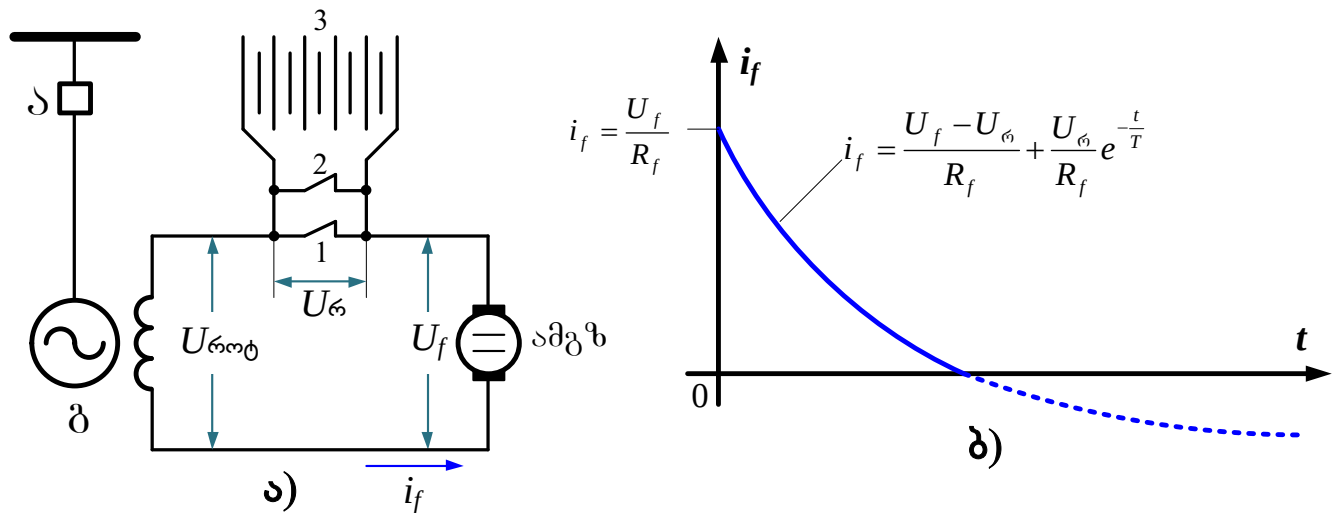
- მეორე ხერხის პრინციპული არსი იმაში მდგომარეობს, რომ მაგნიტური ველის ენერგიის ქრობა ხდება სპეციალურ რკალმქრობ ცხაურში.

- მესამე ხერხი ითვალისწინებს ტირისტორული აგზნების სისტემის ინვენტორულ რეჟიმში გადაყვანას.

პირველი ორი ხერხის რეალიზაცია ხორციელდება აგზნების სისტემის სპეციალური საკომუტაციო აპარატის გამოყენებით, რომელსაც ველის ქრობის ავტომატს (ვქა) უწოდებენ.

გენერატორის აგზნების გრაგნილის აქტიურ წინაღობაზე მიერთებისას ველის სწრაფი ქრობა არ ხერხდება. ეს განსაკუთრებით იჩენს თავს ტურბოგენერატორებისათვის, რომელთა მასიური როტორები, კილოს ლითონის სოლები და საბანდაჟო რგოლები ქმნიან დემპფერულ კონტურებს, რომლებსაც დიდი დროის მუდმივა აქვთ. ამიტომ ველის ქრობის ამ ხერხს იყენებენ მხოლოდ მცირე სიმძლავრის ელექტრომანქანური აგზნების მქონე ჰიდროგენერატორებისათვის და ამგზნები გენერატორების ველის ქრობისათვის.

ამუშაოდ, 25 მგვტ-ზე მეტი სიმძლავრის გენერატორებისათვის ფართოდ გამოიყენებენ მეორე ხერხს, რომლის მეშვეობით გენერატორის ველის ქრობა 4-6-ჯერ უფრო სწრაფად ხორციელდება, ვიდრე აგზნების გრავნილის აქტიურ წინაღობასთან მიერთებისას. განვიხილოთ გენერატორის ველის ქრობის პროცესის მიმდინარეობა რკალმქრობი ცხაურის მექონე ველის ქრობის ავტომატის გამოყენებისას (ნახ. 2.19).



ნახ. 2.19

ვქა-ს ამორთვისას ჯერ ამოირთვებიან მუშა კონტაქტები 1, ხოლო შემდეგ რკალმქრობი კონტაქტები 2. ამ კონტაქტების გახსნის შემდეგ წარმოიქმნება რკალი. მუდმივი მაგნიტური ველის ზემოქმედებით რკალი განიღვენება სპილენძის ფირფიტებისაგან შემდგარ ცხაურში 3. რკალი ფირფიტებს შორის დაიყოფა მოკლე რკალებად. ცნობილია, რომ ძაბვის ვარდნა მოკლე რკალზე $U_{ა.რ.}$. პრაქტიკულად 25-30 ვოლტის ტოლი მუდმივი სიდიდით. ამიტომ, სანამ რკალი არსებობს, მასში ძაბვის ვარდნა მუდმივია და $U_{ა.რ.} = n U_{ა.რ.}$ ტოლი, სადაც n არის მოკლე რკალების რიცხვი. თუ მოკლე რკალების რიცხვს ისეთს ავიღებთ, რომ $U_{ა.რ.}$ გადააჭარბებს აგზნების U_f ძაბვას, მაშინ ეს აგზნების გრავნილისათვის ფაქტიურად ტოლფასი იქნება ველის ქრობის პროცესში მასზე საწინააღმდეგო ნიშნის ძაბვის მიერთებისა. ველის ქრობის გარდამავალი პროცესის განტოლებას ეწეება სახე:

$$U_{ა.რ.} = U_f - U_{ა.რ.} \quad (2.7)$$

ან

$$L_f \frac{di_f}{dt} + i_f R_f = U_f - U_{ა.რ.} \quad (2.8)$$

სადაც R_f როტორის აქტიური წინაღობაა.

(2.8) განტოლების ამონახსნია:

$$i_f = \frac{U_f - U_{ა.რ.}}{R_f} + \frac{U_{ა.რ.}}{R_f} e^{-\frac{t}{T}} \quad (2.9)$$

აქ $T = L_f / R_f$.

(2.9) ფორმულიდან ჩანს, რომ როდესაც $t=0$, მაშინ $i_f = U_f / R_f$. ხოლო როდესაც $t \rightarrow \infty$ მაშინ დენი როტორში მიისწრაფის $(U_f - U_{ა.რ.}) / R_f$ სიდიდისაკენ. აქედან გამომდინარე, შეგვიძლია

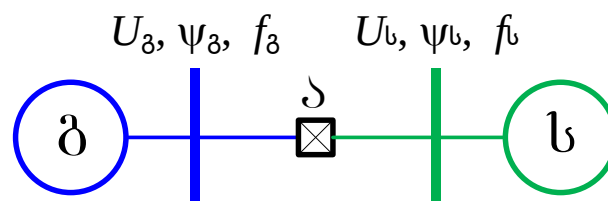
დავასკვნათ, რომ თუ $U_f < U_{\infty}$, როგორც ეს ზემოთ მივიღეთ, დენმა გრაგნილში უნდა გაიაროს ნულოვანი მნიშვნელობა და შემდეგ შეიცვალოს მიმართულება (ნახ. 2.19-ბ). მაგრამ როგორც კი დენი გახდება ნულის ტოლი, რკალი ცხაურში ჩაქრება და იგი აღარ აინთება. ეს იმიტომ, რომ აგზნების დაბეჭადვა U_f საკმარისი არ იქნება იმისათვის, რომ გაარღვიოს საჰაერო შუალედი ცხაურის ფირფიტებს შორის. ამით ველის ქრობის პროცესი დამთავრდება.

აღწერილი ველის ქრობის ავტომატის გამოყენებისას ქრობის პროცესის ხანგრძლივობა $0.7 - 1$ ნაშია. რაც უფრო მეტი იქნება მოკლე რკალების n რიცხვი, მით უფრო სწრაფად ჩაქრება ველი. მაგრამ, ამავე დროს, გაიზრდება როტორის მომჭერებზე გადაძაბვის სიდიდე. ამიტომ n -ს ირჩევენ ისე, რომ U_{∞} ძაბვის ვარდნა რკალზე მეტი იყოს აგზნების ჭერულ ძაბვაზე, მაგრამ არ გადააჭარბოს როტორის გრაგნილის იზოლაციისათვის დასაშვებ სიდიდეს.

ტირისტორული დამოუკიდებელი აგზნების გამოყენებისას, ველის ქრობა მეტად ეფექტურად ხორციელდება გამმართველების ინვერტორულ რეჟიმში გადაყვანისას. ამ შემთხვევაში ვენტილებზე ძაბვა იცვლის მიმართულებას და აგზნების გრაგნილში გამავალი დენი სწრაფად იღებს ნულოვან მნიშვნელობას. ვენტილური თვითაგზნების დროს ველის ქრობა გამმართველების ინვერტორულ რეჟიმში გადაყვანით არ ხერხდება, ვინაიდან სტატორის ძაბვის შემცირებასთან ერთად მცირდება ინვერტორის შემხვედრი ემ ძალა. ამიტომ ასეთი სქემისათვის საჭიროა ვქა-ს გამოყენება.

2.8 გენერატორების ჩართვა პარალელურ მუშაობაზე

ზოგადი ცნობები. ელექტრულ სისტემაში გენერატორის ჩართვის პროცესს სინქრონიზაციას უწოდებენ. გენერატორების ჩართვა პარალელურ მუშაობაზე სხვა მომუშავე გენერატორთან ან სისტემასთან შეიძლება განხორციელდეს ზუსტი სინქრონიზაციის ან თვითსინქრონიზაციის ხერხით. ორივე შემთხვევაში გაჩერებული აგრეგატის ტურბინაში უშვებენ წყალს ან ორთქლს და აგრეგატს დააბრუნებენ ბრუნვის ისეთი სიხშირით, რომელიც დაახლოებით ტოლი იქნება სინქრონულისა. ზუსტი სინქრონიზაციისა და თვითსინქრონიზაციის ხერხებს შორის ერთ-ერთი პრინციპული განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ გენერატორის ჩართვისას ზუსტი სინქრონიზაციის ხერხით იგი უკვე აგზნებულია, ხოლო გენერატორის ჩართვისას თვითსინქრონიზაციის ხერხით გენერატორი წინასწარ არ არის აგზნებული.



ნახ. 2.20

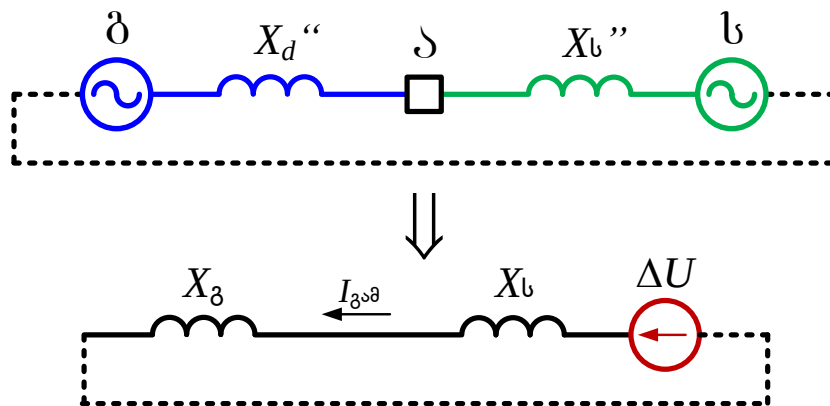
ზუსტი სინქრონიზაცია. გენერატორის სისტემაში ჩართვისას ზუსტი სინქრონიზაციის ხერხით ჩართვის მომენტისათვის უნდა იქნას შესრულებული სამი პირობა:

1. ჩასართველი გენერატორისა და სისტემის ძაბვების მოქმედი მნიშვნელობები უნდა იყოს ერთმანეთის ტოლი $U_{\delta} = U_{\text{ს}} ;$
2. ამ ძაბვების ფაზური კუთხეები უნდა ემთხვეოდნენ ერთმანეთს $\psi_{\delta} = \psi_{\text{ს}} ;$
3. ჩასართველი გენერატორისა და სისტემის სიხშირეები უნდა უდრიდნენ ერთმანეთს $f_{\delta} = f_{\text{ს}} .$

პირველი პირობის შესრულება ხორციელდება ჩასართველი გენერატორის აგზნების დენის რეგულირებით, მეორე და მესამე პირობების შესასრულებლად კი საჭიროა მისი მარბუნი მომენტის შეცვლა - ტურბინაში შეშვებული წყლის ან ორთქლის რაოდენობის შეცვლით.

აღნიშნული სამი პირობის აბსოლუტურად ზუსტად შესრულება პრაქტიკულად შეუძლებელია, ამიტომ ელექტრული სადგურების რეალურ პირობებში დასაშვებია გარკვეული გადახრები.

ნახ. 2.21-ზე მოყვანილი სქემის მაგალითზე მოკლედ განვიხილოთ თუ რა შედეგი შეიძლება მოჰყვეს ზემოთ მოყვანილი პირობების შეუსრულებლობას გენერატორის სისტემაში ჩართვისას ზუსტი სინქრონიზაციის მეთოდით და როგორია დასაშვები გადახრები.



ნახ. 2.21

გენერატორისა და სისტემის ჩანაცვლების სქემები სინქრონიზაციის მომენტისათვის

ნახ. 2.21-ზე:

$X_{\text{ს}}$ = სისტემის ექვივალენტური ზეგარდამავალი წინაღობაა,

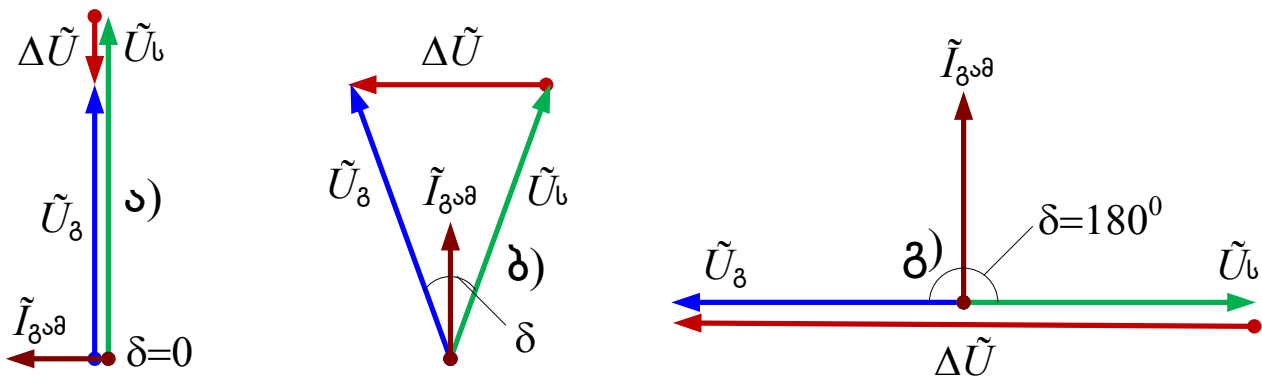
$\tilde{U}_{\text{ს}}$ = სისტემის ფაზური ძაბვა;

X_d'' = გენერატორის ზეგარდამავალი წინაღობა,

$\tilde{U}_{\delta}$ = გენერატორის ფაზური ძაბვა მისი ჩართვის მომენტში.

გენერატორის ა ამომრთველით ჩართვისას გაჩნდება ძაბვათა $\Delta \tilde{U}$ სხვაობა, რომელიც განაპირობებს გამთანაბრებელ დენს.

$$\tilde{I}_{\delta \text{ აბ}} = \frac{\tilde{U}_{\text{ს}} - \tilde{U}_{\delta}}{\tilde{Z}_{\text{ს}} + \tilde{Z}_d''} \approx \frac{\tilde{U}_{\text{ს}} - \tilde{U}_{\delta}}{jX_{\text{ს}} + jX_d''} = \frac{\Delta \tilde{U}}{jX_{\text{ს}} + jX_d''} \quad (2.10)$$



ნახ. 2.22

გენერატორისა და სისტემის ძაბვებისა და გამათანაბრებელი დენების ვექტორული დიაგრამები ჩართვის მომენტში, სინქრონიზაციის რომელიმე პირობის არშესრულებისას

აქ შეიძლება ადგილი ჰქონდეს სამ ძირითად შემთხვევას:

1. სისტემის და გენერატორის ფაზური ძაბვები ფაზით ემთხვევიან ერთმანეთს, აქვთ ერთნაირი სიხშირე, მაგრამ სიდიდით არ უდრიან ერთმანეთს (ნახ. 2.22-ა). იმის გამო, რომ გენერატორის და სისტემის აქტიური წინააღობები მეტად მცირეა გამათანაბრებელი დენი ინდუქციური ხასიათისაა. ამიტომ ის არ ქმნის აქტიურ დატვირთვას გენერატორის ლილვზე. პრაქტიკულად დადგენილია, რომ გენერატორის ჩართვისას ძაბვების მოდულებს შორის სხვაობა შეიძლება შეადგენდეს 5-15%-ს. ასეთი სხვაობის დროს გენერატორის დენით გადატვირთვა საშიშ მნიშვნელობას არ აღწევს.

2. გენერატორის და სისტემის ფაზური ძაბვები სიდიდით ერთმანეთის ტოლია, აქვთ ერთნაირი სიხშირე, მაგრამ ფაზით არ ემთხვევიან ერთმანეთს. როგორც ნახ. 2.22-ბ-ზე ნაჩვენებია ვექტორული დიაგრამიდან ჩანს, გამათანაბრებელ დენს გენერატორის ძაბვის მიმართ უჩნდება აქტიური მდგენელი, რომელიც გენერატორის ლილვზე ქმნის მატარებელ მომენტს. თუ გენერატორის ძაბვა წინ უსწრებს სისტემის ძაბვას, მაშინ ეს მომენტი ამუხრუჭებს გენერატორს, ხოლო თუ გენერატორის ძაბვა ჩამორჩება სისტემის ძაბვას, მაშინ იგი ააჩქარებს გენერატორს. თუ δ ფაზური ძვრა გენერატორის და სისტემის ძაბვებს შორის დიდია, ჩართვის მომენტში წარმოქმნილი მატარებელი მომენტის სიდიდის გამო, გენერატორის ლილვზე დატვირთვამ შეიძლება მისი მექანიკური სიმტკიცისათვის საშიშ სიდიდეს მიაღწიოს. აგრეგატის დაზიანების თავიდან აცილების მიზნით გენერატორისა და სისტემის ძაბვებს შორის ფაზური ძვრა არ უნდა აღემატებოდეს 10-20 ელექტრულ გრადუსს.

3. გენერატორისა და სისტემის ძაბვის ვექტორები სიდიდით ერთმანეთის ტოლია, მაგრამ სიხშირეები არ უდრიან ერთმანეთს ე.ი. ვექტორები ბრუნავენ სხვადასხვ ა კუთხური სიჩქარით. ამის გამო ამ ვექტორებს შორის არსებული δ კუთხე იცვლება 0-დან 360° -მდე. ძაბვებს შორის სხვაობა კი იცვლება 0-დან $2U_{\text{ფ}}$ -მდე. აქედან გამომდინარე, გამათანაბრებელი დენის და მატარებელი მომენტის სიდიდე დამოკიდებული იქნება იმაზე თუ δ -ს რა სიდიდის დროს ჩაერთვება გენერატორი. გამათანაბრებელი დენი მაქსიმალურ სიდიდეს მიაღწევს მაშინ, თუ გენერატორს ჩავრთავთ იმ მომენტში, როდესაც

$\delta=180^\circ$ (ნახ. 2.22 გ). თუ გენერატორი ირთვება მძლავრ ენერგოსისტემაში, რომლისთვისაც შეიძლება დავუშვათ, რომ $X_b=0$, მაშინ

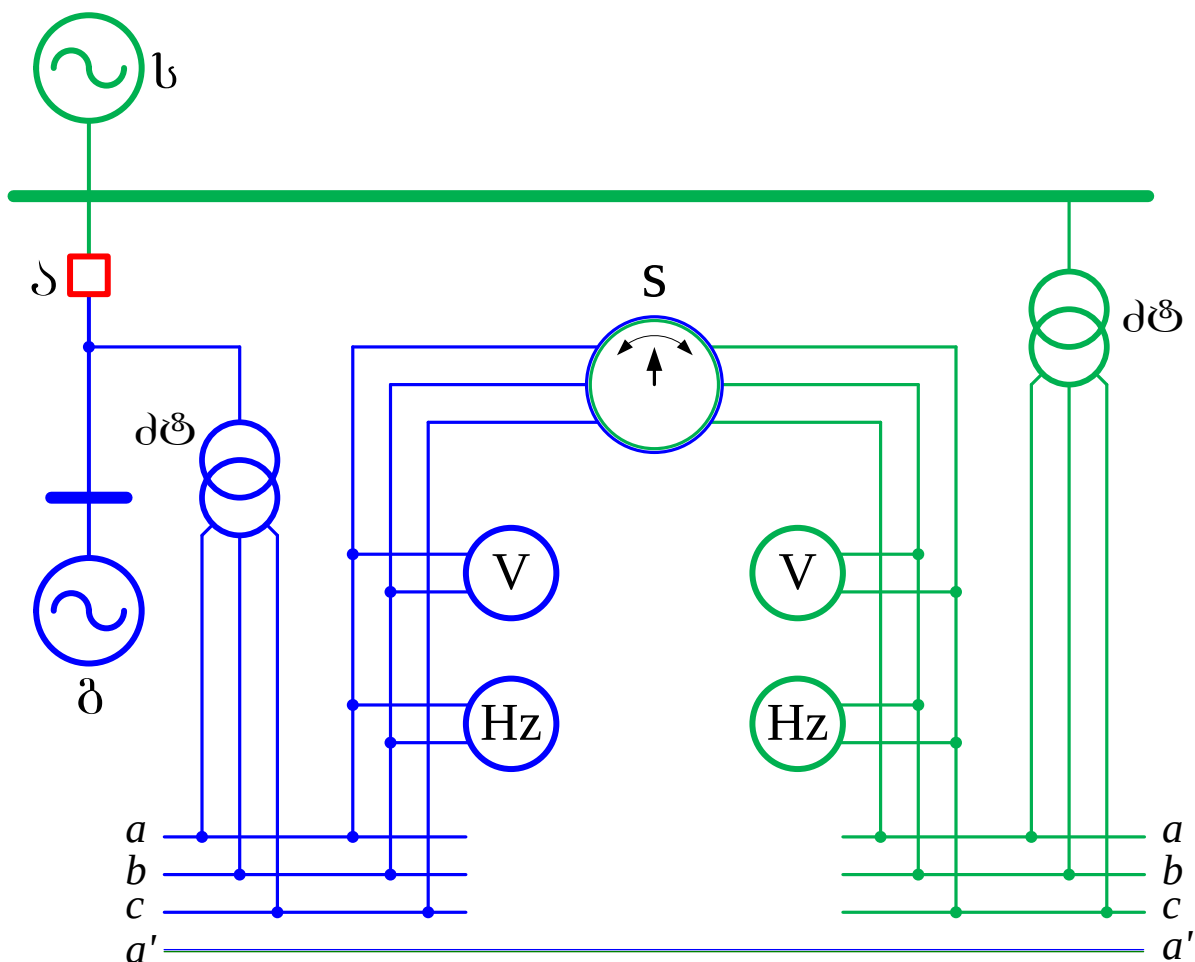
$$\tilde{I}_{\text{გამ}} = \frac{\tilde{U}_b - \tilde{U}_\delta}{X_b + X_d''} = \frac{2U_\Phi}{X_b + X_d''} = 2I_{\text{გვ}} \quad (2.11)$$

სადაც $I_{\text{გვ}}$ არის გენერატორის გამომყვანებზე სამფაზა მშ დენის მნიშვნელობა. ე.ი. გამათანაბრებელი დენის სიდიდე ორჯერ მეტია სამფაზა მშ-ს დენზე. ასეთი დიდი დენი საშიშაა გენერატორის გრავილისათვის როგორც გადახურების, ასევე ელექტროდინამიკური დაძაბულობის თვალსაზრისით. ამიტომ გენერატორის ზუსტი სინქრონიზაციის ხერხით სისტემაში ჩართვისას გენერატორის და სისტემის სიხშირეთა შორის სხვაობა არ უნდა აღემატებოდეს 0.1%-ს ანუ 0.05 ჰერცს. ამასთან, უმჯობესია, რომ გენერატორის სიხშირე აღემატებოდეს სისტემის სიხშირეს.

ზემოთ თქმულიდან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ აგზნებული გენერატორის სისტემაში ჩართვისას ზუსტი სინქრონიზაციის მოთხოვნების დარღვევამ შეიძლება გამოიწვიოს გენერატორის დაზიანება, ტურბინის ლილვის დაზიანება და შესაძლებელია მძიმე შედეგები თვით სისტემისთვისაც.

ზუსტი სინქრონიზაციის მოთხოვნების შესრულება შეიძლება განხორციელდეს ხელით მართვისას ან ავტომატურად. ხელით სინქრონიზაციისას აგზნების და სიხშირის რეგულირებასთან დაკავშირებულ ყველა ოპერაციას ასრულებს მორიგე ინჟინერი, ხოლო ავტომატური სინქრონიზაციისას – რთული ავტომატური მოწყობილობა.

გენერატორის ზუსტი სინქრონიზაციის ხერხით ხელით ჩართვისას ძაბვებსა და სიხშირეებს აკონტროლებენ ორი ვოლტმეტრით და ორი სიხშირმზომით, ხოლო გენერატორისა და სისტემის ძაბვებს შორის ძვრას - სინქრონოსკოპით. სინქრონოსკოპი აგრეთვე საშუალებას იძლევა, არა მარტო განვსაზღვროთ აღნიშნული ძაბვების ფაზების დამთხვევა, არამედ დავადგინოთ თუ რომელი ძაბვის ვექტორი ბრუნავს უფრო სწრაფად. ზემოთ აღნიშნულ ხელსაწყოებს აყენებენ ეგრეთწოდებულ “სინქრონიზაციის სვეტზე”, რომლითაც ყველა ელექტრული სადგურის მართვის ფარია აღჭურვილი. “სინქრონიზაციის სვეტის” ხელსაწყოების შეერთების სქემა ნაჩვენებია ნახ. 2.23-ზე.



ნახ. 2.23
სინქრონიზაციის სვეტი

ზუსტი სინქრონიზაციის ხერხს აქვს გარკვეული ნაკლოვანებები. კერძოდ, რთულია გენერატორის ჩართვის პროცესი, ვინაიდან საჭიროა გენერატორის ძაბვის, სიხშირის და ფაზის რეგულირება და ქსელის ანალოგიურ პარამეტრებთან მათი გატოლება. ჩართვის პროცესი ხანგრძლივია. ნორმალურ რეჟიმში მას რამდენიმე წუთი სჭირდება, ხოლო თუ ენერგოსისტემაში ავარიაა, მაშინ ჩართვას შეიძლება კიდევ უფრო მეტი დრო დასჭირდეს.

უნდა გვახსოვდეს, რომ გენერატორის პირველი გაშვების დროს აუცილებელია გენერატორის ფაზების თანმიმდევრობის ქსელის ფაზების თანმიმდევრობასთან დამთხვევის შემოწმება. ასეთი შემოწმების ჩატარება აუცილებელია გენერატორის პირველად ქსელში ჩართვისას რემონტის შემდეგ. თუ გენერატორის ფაზათა თანმიმდევრობა არ დაემთხვევა ქსელის ფაზათა თანმიმდევრობას, მაშინ გენერატორის ჩართვისას წარმოიქმნება ელექტრომაგნიტური მომენტი, რომელიც ტურბინის მიერ განვითარებული მომენტის საწინააღმდეგო იქნება და სტატორის გრაფილში გაჩნდება დიდი დენები. ამ დენებმა შეიძლება გამოიწვიონ როგორც გენერატორის, ასევე ტურბინის ლილვის დაზიანება.

თვითსინქრონიზაციის ხერხი არ საჭიროებს გენერატორის ძაბვის, სიხშირის და ფაზის გატოლებას სისტემის სათანადო პარამეტრებთან. გენერატორს დააბრუნებენ დაახლოებით სინქრონული სიჩქარით (სხვაობა არ უნდა იყოს 2%-ზე მეტი) და აუგზნებლად ჩართავენ

სისტემაში. საგენერატორო ამომრთველის ჩართვის შემდეგ ჩართვენ აგზნებას და გენერატორი 2-3 წამში იწყებს სინქრონულად მუშაობას. ჩართვის მთელ პროცესს სულ 2-3 წუთი სჭირდება. აუგზნებელი გენერატორის სისტემაში ჩართვისას სტატორის გრაგნილში ჩნდება რეაქტიული დენი, რომელიც როტორის გრაგნილში დააინდუქტირებს ემ ძალას. როტორის გრაგნილი ამ დროს დამოკლებულია სპეციალური აქტიური „გამშვი“ წინალობით. ამით იქმნება ასინქრონული მომენტი, რომელიც კიდევ უფრო მიუახლოვებს გენერატორის სიჩქარეს სინქრონულთან. ველის ქრობის ავტომატის ჩართვის შემდეგ აგზნების დენი იწყებს ზრდას, რასაც მოჰყვება სინქრონული მომენტის ზრდა. სწორედ ამ მომენტის გავლენით გენერატორი „თვითონ“ შედის სინქრონიზმში. ვინაიდან აგზნების დენი და სინქრონული მომენტი იზრდება მდორედ, ტურბინის ლილვი არ განიცდის მკვეთრ მექანიკურ ბიძგებს.

თვითსინქრონიზაციის ხერხის ღირსებას წარმოადგენს გენერატორის ჩართვის ტექნოლოგიის და მისი ავტომატიზაციის სიმარტივე, აგრეთვე, გენერატორის სწრაფი ჩართვის განხორციელების შესაძლებლობა სიხშირისა და ძაბვის რყევის დროს.

სტატორის გრაგნილში საკმაო სიდიდის ელექტროდინამიკური ძალების გამო უშუალო გაცევის მქონე გენერატორებისათვის თვითსინქრონიზაციის ხერხის გამოყენება შეიძლება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ გენერატორის ჩართვისას კმაყოფილდება პირობა

$$\tilde{I}' = \frac{\tilde{U}_{\text{გზ}}}{\sqrt{3}(X_b + X_d')} \leq 3.5 \tilde{I}_{\text{ნომ}} \quad (2.12)$$

სადაც

$\tilde{I}'$ = გარდამავალი დენის საწყისი სიდიდეა,

$\tilde{U}_{\text{გზ}}$ = გენერატორის ხაზური ძაბვა,

X_d' = გენერატორის გარდამავალი წინალობა; და

X_b = სისტემის ეკვივალენტური წინალობაა.

გენერატორის თვითსინქრონიზაციის ხერხით ქსელში ჩართვას თან სდევს ძაბვის დაწევა (ვინაიდან ჩართვის საწყისი დენი საკმაოდ დიდია), ამიტომ ამ ხერხის გამოყენება არ არის მიზანშეწონილი იმ გენერატორებისათვის, რომლებიც სხვა გენერატორებთან მუშაობენ საგენერატორო ძაბვის შემკრებ სალტებებზე.

მძლავრი ბლოკური სადგურებისათვის თვითსინქრონიზაციის ხერხის გამოყენება დასაშვებია, მაგრამ ასეთი სადგურების თბური ბლოკის გაშვების დრო იმდენად დიდია, რომ ელექტრული ბლოკის ჩართვის დროის სიმცირე აღარ იძლევა საჭირო ეფექტს. ამჟამად, ნორმალურ პირობებში, ყველა ელექტროსადგურზე, როგორც წესი, გამოიყენება ზუსტი სინქრონიზაციის ხერხი. თვითსინქრონიზაციას გამოიყენებენ ავარიულ პირობებში, მაგალითად სარეზერვო ჰიდროგენერატორების ჩართვის დროს.

მაგალითი 2.2

დავადგინოთ სინქრონიზაციის მომენტისათვის გამათანაბრებელი დენის სიდიდე, მისი აქტიური და რეაქტიული მდგენელები, თუ:

- სისტემისა და გენერატორის სიხშირეები ტოლია: $f_s = f_g$,
- გენერატორის ძაბვის ვექტორის მოდული $U_g = 14$ კვ, ფაზური კუთხე $\Psi_g = 5^\circ$, ზეგარდამავალი ინდუქციური წინაღობა $X_g'' = 1$ ომი;
- სისტემის ძაბვის ვექტორის მოდულია $U_s = 16$ კვ, ფაზური კუთხე $\Psi_s = 25^\circ$, ზეგარდამავალი ინდუქციური წინაღობა $X_s'' = 0.01$ ომი;

ამოხსნა

(2.11) ფორმულის თანახმად,

$$\begin{aligned}\tilde{I}_{g\phi} &= \frac{\tilde{U}_{gs} - \tilde{U}_{gs}}{jX_b'' + jX_d''} = \frac{U_b (\cos \psi_b + j \sin \psi_b) - U_g (\cos \psi_g + j \sin \psi_g)}{j(X_b'' + X_d'')} = \\ &= \frac{U_b \sin \psi_b - U_g \sin \psi_g}{X_b'' + X_d''} - j \frac{U_b \cos \psi_b - U_g \cos \psi_g}{X_b'' + X_d''} = \\ &= \frac{16 \sin 25^\circ - 14 \sin 5^\circ}{1 + 0.01} - j \frac{16 \cos 25^\circ - 14 \cos 5^\circ}{1 + 0.01} = 5.49 - j0.55 \text{ კა}\end{aligned}$$

2.9. გენერატორების აგზნების სისტემები

ზოგადი ცნობები. სინქრონული გენერატორის მბრუნავი მაგნიტური ველის შესაქმნელად, მისი როტორის აგზნების გრაგნილს უნდა მიეწოდოს მუდმივი დენი. აგზნების გრაგნილი კვება ხორციელდება სპეციალური კვების წყაროს მიერ, რომელსაც ამგზნები ეწოდება. აგზნების სქემა, ამგზნების გარდა, შეიცავს მთელ რიგ დამხმარე მოწყობილობებს. სინქრონული გენერატორის აგზნების სისტემა ეწოდება მანქანების, მოწყობილობებისა და დანადგარების ერთობლიობას, რომელიც უზრუნველყოფს აგზნების გრაგნილის კვებას მუდმივი დენით და ამ დენის რეგულირებას. აგზნების დენის ცვლილებით ხდება სინქრონული გენერატორის ძაბვისა და ქსელში გაცემული რეაქტიული სიმძლავრის ცვლილება. აგზნების სისტემის საიმედო მუშაობა უზრუნველყოფს გენერატორის საიმედოობას და ამაღლებს მის მდგრადობას. ამრიგად, აგზნების სისტემა სინქრონული გენერატორის ერთ-ერთი ყველაზე საპასუხისმგებლო ნაწილია.

ამგზნების შეერთება გენერატორის როტორის გრაგნილთან ხორციელდება საკონტაქტო რგოლებისა და კოლექტორების საშუალებით. თუმცაღა ძალიან მძლავრ გენერატორებზე არსებობს უკონტაქტო აგზნების სისტემებიც.

ჩვეულებრივ, რაც უფრო მძლავრია გენერატორი, მით უფრო დიდია მისი აგზნების სისტემის სიმძლავრე და მაღალია ნომინალური ძაბვა.

აგზნების სისტემის ძირითადი პარამეტრებია:

- აგზნების ნომინალური ძაბვა $U_{f \text{ ნომ}}$;
- აგზნების ჭერული (მაქსიმალური) ძაბვა $U_{f \text{ ჰერ}}$;
- აგზნების ნომინალური დენი $I_{f \text{ ნომ}}$;
- აგზნების ნომინალური სიმძლავრე $P_{f \text{ ნომ}} = U_{f \text{ ნომ}} \cdot I_{f \text{ ნომ}}$, რომელიც ჩვეულებრივ მანქანის ნომინალური სიმძლავრის 0.2-0.6 %-ს შეადგენს;
- აგზნების ფორსირების უნარიანობა $K_{\text{ფორს}} = U_{f \text{ ჰერ}} / U_{f \text{ ნომ}}$;
- აგზნების სწრაფმოქმედება სისტემაში ავარიის დროს და გააგზნების სიჩქარე გენერატორის დაზიანებისას.

გენერატორების აგზნების ნომინალური ძაბვა 80-1000 ვ, ხოლო აგზნების ნომინალური დენი 2000-10000 ა ფარგლებში იცვლება.

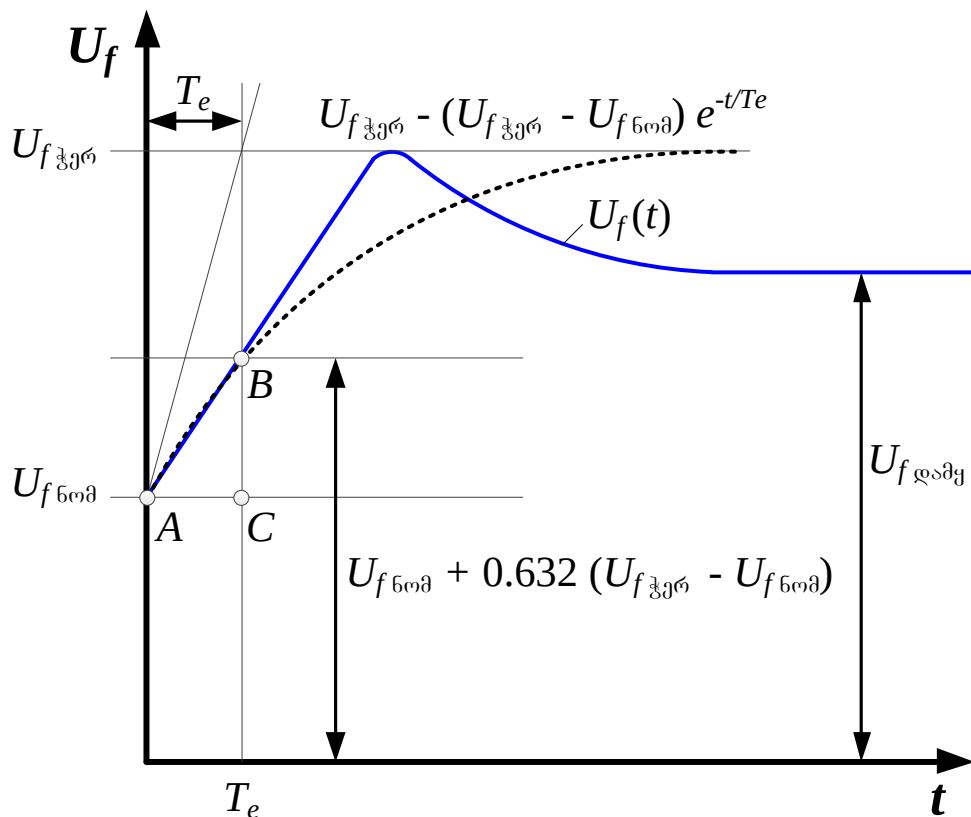
ენერგოსისტემაში განუწყვეტლად ხდება მცირე შემფოთებები, რომლებიც იწვევს ძაბვის მცირე გადახრებს. ეს გადახრები მინიმალურ დროში უნდა კომპენსირდებოდეს გენერატორის აგზნების დენის ადეკვატური ცვლილებით. ამასთან მოკლე შერთვებისას ხდება სისტემის ძაბვის ღრმა შემცირება. ასეთ შემფოთების დროს საჭიროა გენერატორის ძაბვის ანუ მისი აგზნების დენის სწრაფი გაზრდა მაქსიმალურ ანუ ჭერულ მნიშვნელობამდე. გენერატორის დაზიანებისას კი, მისი გრავნილებისა და საიზოლაციო სისტემის დაცვის მიზნით, საჭიროა აგზნების სისტემას გააჩნდეს დენის სწრაფად შემცირების უნარი. ამრიგად, აგზნების სისტემა უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

- უზრუნველყოფდეს სინქრონული გენერატორის აგზნების გრავნილის საიმედო კვებას როგორც ნორმალურ, ასევე ავარიულ რეჟიმებში.
- იძლეოდეს აგზნების ძაბვის განსაზღვრულ ზღვრებში რეგულირების საშუალებას;
- ავარიულ რეჟიმებში უზრუნველყოფდეს აგზნების ძაბვის სწრაფ გაზრდას ჭერულ მნიშვნელობამდე;
- გენერატორის დაზიანების შემთხვევაში იძლეოდეს აგზნების ველის სწრაფი ქრობის საშუალებას.

გენერატორის აგზნების ძაბვის ფორსირების უნარი ანუ ფორსირების ჭერადობა განისაზღვრება როგორც გენერატორის აგზნების ძაბვის მაქსიმალური დამყარებული (ჭერული) მნიშვნელობის ძაბვის შეფარდება მის ნომინალურ მნიშვნელობასთან, ხოლო ფორსირების უნარი დენით - აგზნების მაქსიმალური (ჭერული) დენის მნიშვნელობის შეფარდება მის ნომინალურ მნიშვნელობასთან. აგზნების ჭერული დენი განისაზღვრება მისი გახურების უნარით.

აგზნების სისტემის სწრაფმოქმედება, სისტემაში მომხდარი ავარიების დროს, ძაბვის ფორსირებისას ხასიათდება მისი ძაბვის ზრდის სიჩქარით და განისაზღვრება ფორმულით:

$$V = 0.632 \frac{U_{f \text{ ჰერ}} - U_{f \text{ ნომ}}}{U_{f \text{ ნომ}} T_e} \quad (2.13)$$



ნახ. 2. 24

აგზნების ძაბვის დროში ცვლილების მრუდი

სადაც

$U_{f \text{ ჰერ}} =$ ძაბვის ჯერული მნიშვნელობა;

$T_e =$ ეს არის დრო, რომლის განმავლობაშიც ძაბვა ნომინალურიდან იზრდება

$U_f = U_{f \text{ ნომ}} + 0.632(U_{f \text{ ჰერ}} - U_{f \text{ ნომ}})$ მნიშვნელობამდე. მას უწოდებენ აგზნების ძაბვის ზრდის დროს მუდმივას. იგი განისაზღვრება აგზნების სისტემის პარამეტრებით, მათ შორის, აგზნების სწრაფმოქმედებით და ფორსირების ჯერადობით.

გავითვალისწინოთ, რომ $U_{f \text{ ჰერ}} = K_{\text{ფორს}} U_{f \text{ ნომ}}$, მაშინ (2.13) მიიღებს სახეს:

$$V = 0.632 \frac{K_{\text{ფორს}} - 1}{T_e} \quad (2.14)$$

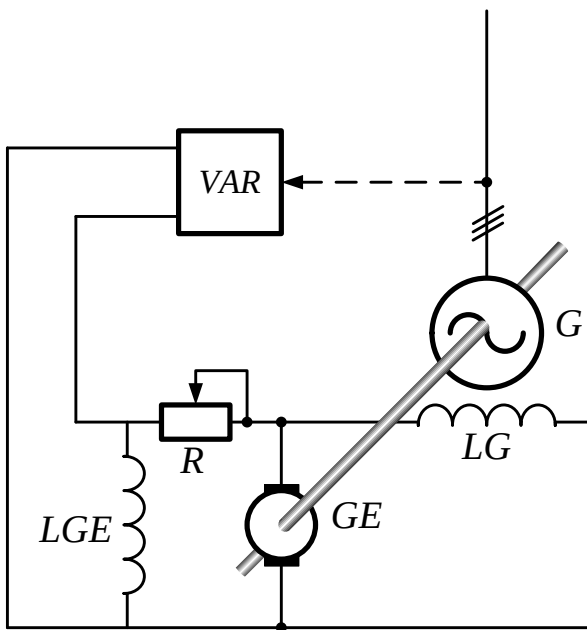
მუშაობისათვის საჭირო ენერგიის წყაროს მიხედვით, აგზნების სისტემები შეიძლება გაიყოს ორ ჯგუფად: დამოუკიდებელი და თვითაგზნების (დამოკიდებული) აგზნების სისტემებად. დენის გამართვის მოწყობილობის მიხედვით, აგზნების სისტემები ასევე შეიძლება დაიყოს ელმანქანურ და სტატიკურ გამმართველებიან აგზნების სისტემებად. ელმანქანური აგზნების სისტემები თავის მხრივ იყოფა პირდაპირ და ირიბ სისტემებად. პირდაპირ სისტემაში ამგზნები გენერატორი უშუალოდ ან გაზაგებული გენერატორის ლილვზე, ხოლო ირიბი აგზნების სისტემის შემთხვევაში საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორზე მიერთებული ძრავი აბრუნებს ამგზნებ გენერატორს.

უპირატესი გავრცელება ჰპოვეს დამოუკიდებელი აგზნების სისტემებმა, რომლებშიც გამოიყენება ასაგზნები გენერატორის ლილვის ენერგია. ასეთ შემთხვევაში ამგზნები დამოუკიდებელი არ არის ქსელზე და ამიტომ აგზნება შეიძლება განხორციელდეს ქსელის მუშაობის რეჟიმისაგან დამოუკიდებლად. დამოუკიდებელ აგზნების სისტემებში ამგზნებად გამოიყენებენ სინქრონული გენერატორის ლილვთან შეერთებულ მუდმივი (ნახ. 2.25) ან ცვლადი დენის (ნახ. 2.26) გენერატორებს. თვითაგზნების სისტემებში გამოიყენებენ ასაგზნები სინქრონული გენერატორის მიერ გამომუშავებულ ან ელექტრული ქსელიდან მიღებულ ენერგიას. ამგზნებად გამოიყენებენ მუდმივი დენის გენერატორს, რომელიც მოძრაობაში მოდის ელექტრული სადგურის საკუთარი მოხმარების სალტებზე მიერთებული ასინქრონული ძრავით (ნახ. 2.27) ან ამავე სალტებიდან კვებადი ვენტილური გამმართველებით (ნახ. 2.28).

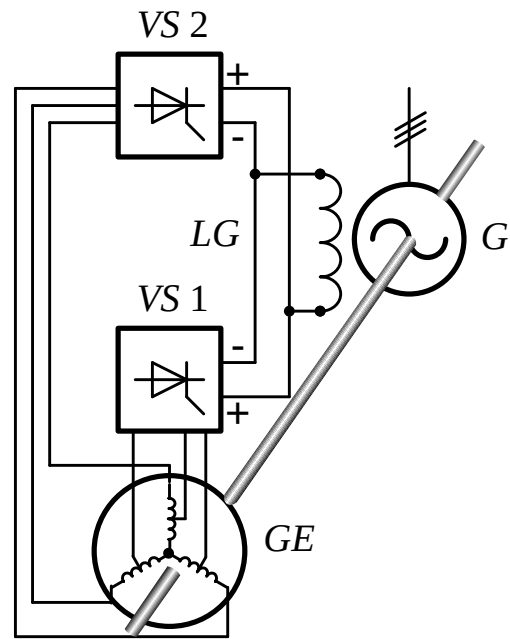
გენერატორების დამოუკიდებელი აგზნების სისტემის ძირითადი უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ მისი მუშაობა დამოუკიდებელი არ არის ელექტრული ქსელის მუშაობის რეჟიმზე. ამიტომ იგი მეტად საიმედოა.

თვითაგზნების სისტემები, დამოუკიდებელი აგზნების სისტემებთან შედარებით, ნაკლებად საიმედოა არიან, ვინაიდან მათი მუშაობა დამოუკიდებელია ცვლადი დენის ქსელის რეჟიმზე. ქსელში მოკლე შერთვების დროს მცირდება ძაბვა რაც აუარესებს აგზნების სისტემის მუშაობას, რომელმაც ამ შემთხვევაში უნდა განახორციელოს აგზნების დენის ფორსირება.

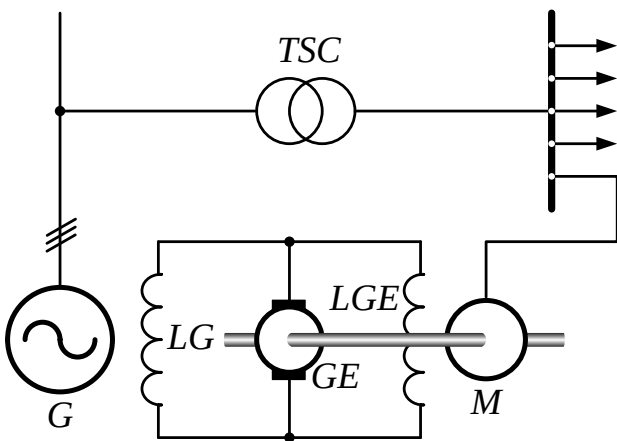
მუდმივი დენის მანქანანი დამოუკიდებელი აგზნების სისტემა. 100 მგვტ-მდე სიმძლავრის გენერატორებისათვის, როგორც წესი, გამოიყენებენ დამოუკიდებელ აგზნებას მუდმივი დენის ამგზნებით (ნახ. 2.25). აქ აგზნების რეგულირება შეიძლება განხორციელდეს ხელით, R მუნტური რეოსტატით ან ავტომატურად ძაბვის ავტომატური რეგულატორის მეშვეობით. მათი ძირითადი დადებითი თვისებებია სიიაფე და სიმარტივე. მუდმივი დენის ამგზნებიანი აგზნების სისტემის მუშაობის ნაკლოვანებები განპირობებულია უშუალოდ ამგზნები გენერატორის ნაკლოვანებებით. ასეთი სისტემის ერთ-ერთ ნაკლს წარმოადგენს აგზნების ძაბვის გაზრდის შედარებითი ნაკლები სიჩქარე. ეს ნაკლი განსაკუთრებით იჩენს თავს ჰიდროგენერატორებისათვის, რომლებსაც ბრუნვის დაბალი სიხშირე აქვთ. აგზნების განსახილველი სისტემის მეორე ნაკლოვანება თავს იჩენს ტურბოგენერატორებისათვის, რომლებსაც ბრუნვის მაღალი სიხშირე აქვთ. იგი განპირობებულია მუდმივი დენის გენერატორის მუშაობის საიმედოობის შემცირებით კოლექტორისა და მუშების მუშაობის მძიმე პირობების და მაღალი ვიბრაციის გამო. 165 მგვტ-ზე უფრო მძლავრი ტურბოგენერატორებისათვის ამგზნების გენერატორის სიმძლავრე უკვე იმდენად დიდია, რომ 3000 ბრ/წთ ბრუნვის სიხშირისათვის კომუტაციის პირობებიდან გამომდინარე საიმედოდ მომუშავე მუდმივი დენის გენერატორის დამზადება შეუძლებელი ხდება.



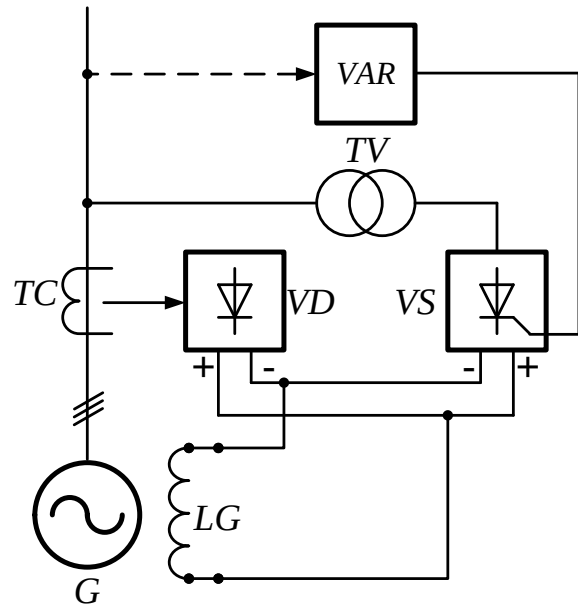
ნახ. 2.25



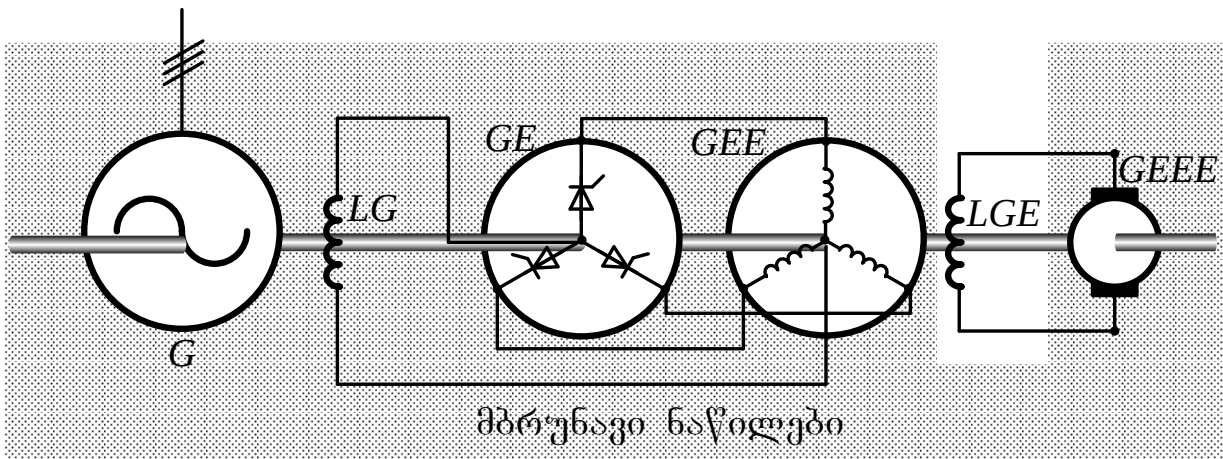
ნახ. 2.26



ნახ. 2.27



ნახ. 2.28



ნახ. 2.29

ნახ.2.25-ნახ.2.29-ზე: G – არის სინქრონული გენერატორი; GE – ამგზნები; VAR – ძაბვის ავტომატური რეგულატორი; R – შუნტური რეოსტატი; LG- სინქრონული გენერატორის აგზნების გრავნილი; LGE – ამგზნების აგზნების გრავნილი; M – ასინქრონული ძრავი; TSC, TV და TC – საკუთარი მოხმარების, ძაბვის და დენის ტრანსფორმატორები; VD და VS – სათანადოდ უმართავი და მართავი ვენტილები

სტატიკურ გამმართველებიანი დამოუკიდებელი აგზნების სისტემა. ზემოთ აღნიშნული ნაკლოვანებებისაგან თავისუფალია ნახ.2.26-ზე ნაჩვენები, სტატიკურ გამმართველებიანი დამოუკიდებელი აგზნების სისტემა. G სინქრონული გენერატორის ლილვზე განლაგებულია ცვლადი დენის ამგზნები GE გენერატორი, რომელიც კვებავს ტირისტორების VS1 მუშა და VS2 ფორსირების ჯგუფებს. ტირინახ. 2სტორების ჯგუფები ცვლადი დენის მხარეს ჩართული არიან სხვადასხვა ძაბვაზე, ხოლო მუდმივი დენის მხარეს ისინი შეერთებული არიან პარალელურად. ნორმალურ რეჟიმში სინქრონული გენერატორის აგზნებას უზრუნველყოფს ტირისტორების მუშა ჯგუფი. ფორსირების ჯგუფი ამ დროს თითქმის დახურულია. ფორსირების ჯგუფის ტირისტორები ცვლადი დენის მხრიდან იღებენ ამგზნები GE გენერატორის სრულ ძაბვას და ამიტომ ფორსირების რეჟიმში მათი სრული გახსნისას ისინი უზრუნველყოფენ აგზნების დენის მკვეთრ გაზრდას. ასეთი აგზნების სისტემებს, ვენტილების უინერციულობის გამო, გააჩნიათ მაღალი სწრაფქმედება $V \approx 50(1/6\text{მ})$, მცირე დროის მუდმივა $T_e < 0.02(6\text{მ})$ და მაღალი ჭერული ძაბვები $U_{f\text{ ჰერ}} \approx 4U_{f\text{ ნომ}}$. გარდა ამისა, დიდი ძალისხმევის გარეშე შესაძლებელი დაზიანებული ვენტილების გამოცვლა. მათი გამოყენება შეიძლება 250-300 მგვტ სიმძლავრის ჰიდრო და ტურბო გენერატორებზე. აგზნების ეს სისტემა განსაკუთრებით ეფექტურად მოქმედებს თუკი მათ ახლოს განლაგებულია ისეთი ობიექტები, რომელთა დატვირთვაც ძალიან სწრაფად იცვლება დიდ ფარგლებში (მაგალითად მეტალურგიული ღუმლები), ასევე ეფექტურად შეიძლება გამოყენებული იქნას ელსადგურებზე, რომელთა ახლოს გრძელი გადაცემის ხაზებია განლაგებული.

მაღალსიხშირული დამოუკიდებელი აგზნების სისტემა. 160-300 მგვტ. სიმძლავრის ტურბოგენერატორებისათვის გამოყენებული იქნა მაღალსიხშირული დამოუკიდებელი აგზნების სისტემა. მასში გამოყენებულია 500 ჰც სიხშირის ინდუქტორული ტიპის გენერატორი და გამმართველები. ამ სისტემის სწრაფმოქმედება ელექტრომანქანური აგზნების სისტემის ეკვივალენტურია. ამიტომ შემდგომისათვის გათვალისწინებულია მისი შეცვლა უფრო სრულყოფილი სისტემით.

სტატიკურგამმართველებიანი თვითაგზნების სისტემა. ნახ. 2.28-ზე ნაჩვენებია თვითაგზნების სქემა უმართავი VD და მართავი VS გამმართველებით და ძალოვანი კომპაუნდირების დენის ტრანსფორმატორით TC. VD უმართავი გამმართველები კვებას იღებენ TC ტრანსფორმატორებიდან, რომელთა მეორადი დენი გენერატორის სტატორის დენის პროპორციულია. მართავი გამმართველები კვებას იღებენ TV ტრანსფორმატორიდან, რომლის მეორადი ძაბვა გენერატორის ძაბვის პროპორციულია. VD გამმართველები უზრუნველყოფენ გენერატორის აგზნებას დატვირთვის დროს და აგზნების დენის ფორსირებას მოკლედ შერთვების დროს. VS გამმართველების სიმძლავრეს ირჩევენ ისე, რომ ის საკმარისი იყოს გენერატორის ასაგზნებად უქმი სვლის დროს და აგზნების სარეგულირებად ნორმალურ რეჟიმში. გენერატორის ნომინალურ რეჟიმში აგზნების დენის 70-80% უზრუნველყოფენ უმართავი გამმართველები. აგზნების ასეთი სისტემა გამოიყენება დიდი სიმძლავრის გენერატორებისათვის.

800-900 მგვტ სიმძლავრის ტურბოგენერატორებისა და 400 მგვტ-მდე სიმძლავრის ჰიდროგენერატორებისათვის გამოიყენებენ თვითაგზნების ტირისტორულ სისტემას მიმდევრობითი ტრანსფორმატორით, რომლის პირველადი გრაგნილი მიმდევრობითაა ჩართული სტატორის გრაგნილთან ნულოვანი გამოყვანების მხრიდან.

უკონტაქტო აგზნების სისტემა. ყველა ზემოთ განხილულ აგზნების სისტემას კონტაქტურს უწოდებენ, ვინაიდან მათში სინქრონული გენერატორის აგზნების გრაგნილი ამგზნებთან შეერთებულია საკონტაქტო რგოლებისა და მუსების მეშვეობით. როტორის ლილვზე განლაგებული საკონტაქტო რგოლების და მუსების არსებობა არასაიმედოს ხდის აგზნების სისტემას. ეს ნაკლოვანება განსაკუთრებით იჩენს თავს 300 მგვტ და უფრო დიდი სიმძლავრის გენერატორებისათვის, რომელთა აგზნების დენი აღემატება 3000 ა-ს. ამიტომ, ამჟამად აღნიშნული ტურბოგენერატორებისათვის დამუშავებულია უკონტაქტო აგზნების სისტემა, რომელშიც ამგზნები უშუალოდ არის შეერთებული გენერატორის აგზნების გრაგნილთან. აგზნების ამ სისტემაში, რომლის არსი ნაჩვენებია ნახ. 2.29-ზე არ არის მოძრავი საკონტაქტო რგოლები და მუსები. ამ სქემაში ამგზნებ გენერატორს GEE აქვს შებრუნებადი შესრულება, სამუშაო გრაგნილის როტორზე, ხოლო აგზნების გრაგნილის LGE სტატორზე განლაგებით. გამმართველები განლაგებული არიან სინქრონული გენერატორის როტორის ლილვზე, შემაერთებელ ქუროსა და ამგზნებს შორის. იმის გამო, რომ ამგზნების სამუშაო გრაგნილი, გამმართველები და სინქრონული გენერატორის აგზნების გრაგნილი ერთნაირი სიჩქარით ბრუნავენ, შესაძლებელია მათი უშუალო ელექტრული შეერთება საკონტაქტო რგოლების და მუსების გამოყენების გარეშე. აგზნების უძრავი გრაგნილი, დებულობს რა კვებას ძარ-იდან და ქვეამგზნებიდან, იწვევს ამგზნები გენერატორის მბრუნავ სამუშაო გრაგნილებში დენების ცვლადი ენერგიის წარმოქმნას, რომელიც გარდაიქმნება მუდმივ დენად და კვებას ძირითადი ძალოვანი გენერატორის აგზნების გრაგნილს. აგზნების ასეთი სისტემა გამოიყენება 1200 მგვტ სიმძლავრის გენერატორზე.

მაგალითი 2.3.

დავადგინოთ აგზნების სიჩქარე, თუ აგზნების ფორსირების ჯერადობა $K_{ფორს} = 4$, აგზნების ძაბვის ზრდის დროს მუდმივა $T_e = 0.05$ წმ.

ამოხსნა

(2.14)-ის თანახმად

$$V = 0.632 \frac{K_{ფორს} - 1}{T_e} = 0.632 \times \frac{4 - 1}{0.05} = 37.82 \text{ (1/წმ)}$$

თავი III

ქაღოპანი ტრანსფორმატორები და ავტოტრანსფორმატორები

3.1 ზოგადი ცნობები

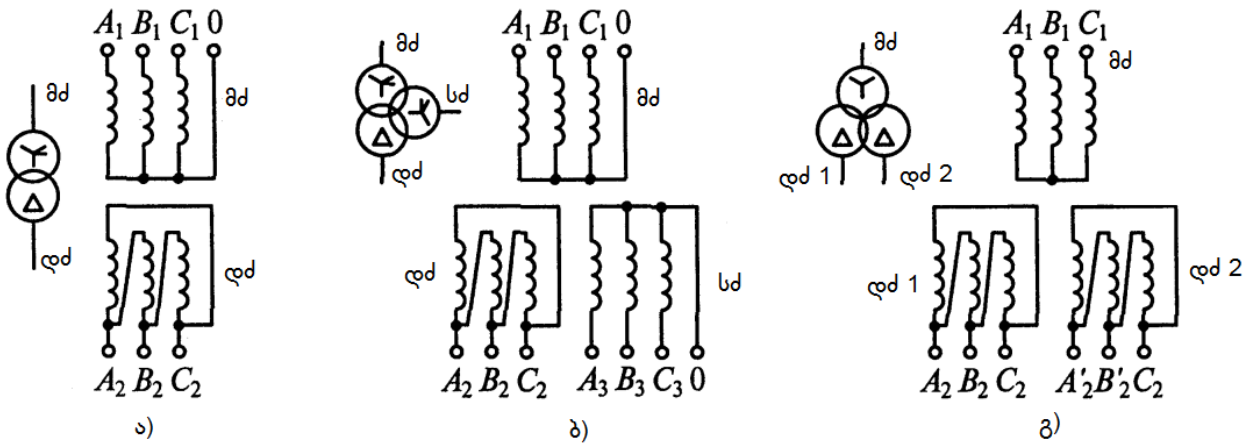
ქაღოპანი ტრანსფორმატორი წარმოადგენს ელექტროტექნიკურ სტატიკურ მოწყობილობას, რომლის დანიშნულებაც ცვლადი დენის ელექტროენერგიის ძაბვის ამაღლება ან დადაბლება. მათ აყენებენ ელსადგურებსა და ქვესადგურებზე. გავიხსენოთ, რომ გენერატორების ნომინალური ძაბვა არ აღემატება 30 კვ-ს. ამ ძაბვით ენერგიის გადაცემა ეკონომიურად გაუმართლებელია, რადგან დენი იქნება დიდი. ვინაიდან ენერგიის დანაკარგები დენის კვადრატის პროპორციულია, გამართლებულია გადასაცემი ენერგიის დენის შემცირება. რაც ხორციელდება ძაბვის აწევის ხარჯზე და მას ამაღლებენ 110-1150 კვ-მდე. მოხმარების პუნქტებთან ასევე აყენებენ ტრანსფორმატორებს, ოღონდ დამწვეს, რადგან აღნიშნულ ზემაღალ ძაბვებზე ენერგიის განაწილება და მითუმეტეს მომხმარებლებისათვის მიწოდება შეუძლებელი იქნებოდა. ამიტომ ქალაქებთან და მოხმარების პუნქტებთან ახლოს ძაბვას ადაბლებენ 6, 10 ან 35 კვ-მდე. შემდეგ ხდება მისი განაწილება და, ბოლოს, უშუალოდ მომხმარებლებისათვის მისაწოდებლად, გადასაცემი ენერგიის ძაბვას კიდევ ერთხელ დასწევნ 0.4 კვ-მდე. დიდ მანაწილებელ ქვესადგურებშიც აყენებენ ტრანსფორმატორებს, რომელთა დანიშნულებაც ელექტროსისტემის ორი ან მეტი ძაბვის საფეხურის დაკავშირება. ამ შემთხვევაში ტრანსფორმატორებმა შეიძლება შეასრულონ როგორც ძაბვის აწევის, ასევე მისი დაწევის ფუნქცია. ამრიგად, ვიდრე საბოლოო მომხმარებელს მიეწოდებოდა, ელექტროენერგია ძაბვის აწევა-დაწევის ანუ ტრანსფორმირების რამდენიმე საფეხურს გადის. ტრანსფორმატორებს განასხვავებენ ფაზების რიცხვის, გრადიენტების რიცხვის და გაცივების სისტემის მიხედვით. ტრანსფორმატორების ჯამური სიმძლავრე გენერატორების ჯამურ სიმძლავრეს დაახლოებით 4-5-ჯერ აღემატება. მათი მქც თითქმის 99.5 %-ის ტოლია. მაგრამ, ამის მიუხედავად, ელექტროენერგიის გადაცემისას, დანაკარგების მნიშვნელოვანი ნაწილი სწორედ ტრანსფორმატორებზე მოდის.

ფაზების რიცხვის მიხედვით, განასხვავებენ ერთფაზა (ცალფაზა) და სამფაზა ტრანსფორმატორებს. უფრო დიდი გამოყენება პოვის სამფაზა ტრანსფორმატორებმა, რადგან მათში, ცალფაზა ტრანსფორმატორებთან შედარებით, ენერგიის დანაკარგები ნაკლებია 10-15%-ით და გამოყენებული მასალების ღირებულება - 12-15%-ით. ამჟამად 220 და 500 კვ ძაბვებზე ცალფაზა ტრანსფორმატორის მაქსიმალური სიმძლავრე 1510 მგვა-ია, ხოლო სამფაზა ავტოტრანსფორმატორებისა - 2500 მგვა. სამფაზა ტრანსფორმატორების სიმძლავრე შეზღუდულია მათი მასითა და გაბარიტებით, ანუ ტრანსპორტირების პირობებით. როდესაც ეს პირობები ვერ სრულდება, ამზადებენ ცალფაზა ტრანსფორმატორებს. რუსული ცალფაზა ტრანსფორმატორებისაგან შემდგარი ჯგუფის მაქსიმალური სიმძლავრე 500 კვ ძაბვაზე შეადგენს 3×533 მგვა-ს, 750 კვ-ზე 3×417 მგვა-ს, ხოლო 1150 კვ ძაბვაზე - 3×667 მგვა-ს. იაპონელების მიერ დამზადებული მსოფლიოს უმძლავრესი ტრანსფორმატორის სიმძლავრეა 3×1000 მგვა.

თითოეულ ფაზაზე სხვადასხვა ძაბვის გრადიენტების რიცხვის მიხედვით, განასხვავებენ ორგრადილი და სამგრადილი ტრანსფორმატორებს (ნახ. 3.1 ა, ბ). გარდა ამისა, ერთი და იგივე, ძირითადად, დაბალი ძაბვის გრადიენტები შეიძლება შედგებოდეს ორი ან მეტი

პარალელური შტოსაგან. ეს შტოები იზოლირებულნი არიან ერთმანეთისა და დამინებული ნაწილებისაგან. ასეთებს უწოდებენ გახლეჩილგრაგნილიან ტრანსფორმატორებს.

ტრანსფორმატორების მაღალი, საშუალო და დაბალი ძაბვის გრაგნილებს შემოკლებით აღნიშნავენ შემდეგნაირად: მძ, სძ და ღძ.



ნახ. 3.1

ტრანსფორმატორების პრინციპული სქემები;

ა - ორგრაგნილა, ბ - სამგრაგნილა, გ - გახლეჩილ გრაგნილებიანი

სამგრაგნილა ტრანსფორმატორები გამოიყენება ელსადგურებსა და ქვესადგურებზე იმ შემთხვევებში, როდესაც საჭიროა ელექტროენერგიის გადაცემა სხვადასხვა მანძილებზე. ახლო მყოფი ობიექტებისთვის ელექტროენერგიის გადაცემა ხდება ღძ და სძ გრაგნილებით, ხოლო შორს მყოფი ობიექტებისთვის სძ და მძ გრაგნილებით.

გახლეჩილგრაგნილებიანი ტრანსფორმატორები გამოიყენება ამწევ ტრანსფორმატორებად შედარებით მცირე სიმძლავრის ჰიდროსადგურებზე, ორი ან მეტი გენერატორის მისაერთებლად ამწევ ტრანსფორმატორთან; ასევე მძლავრ თბოსადგურებზე - საკუთარი მომხმარებლების მისაერთებლად, და ბოლოს, დამწევ ქვესადგურებზე, იმ შემთხვევაში თუ საჭიროა მოკლე შერთვის დენების შეზღუდვა.

გაცივების ხერხის მიხედვით, განასხვავებენ მშრალ და ზეთიან ტრანსფორმატორებს.

მშრალ ტრანსფორმატორებში საიზოლაციო გარემოს წარმოადგენს მყარი დიელექტრიკი, ხოლო გამაცივებელ ფაქტორს - ატმოსფერული ჰაერი.

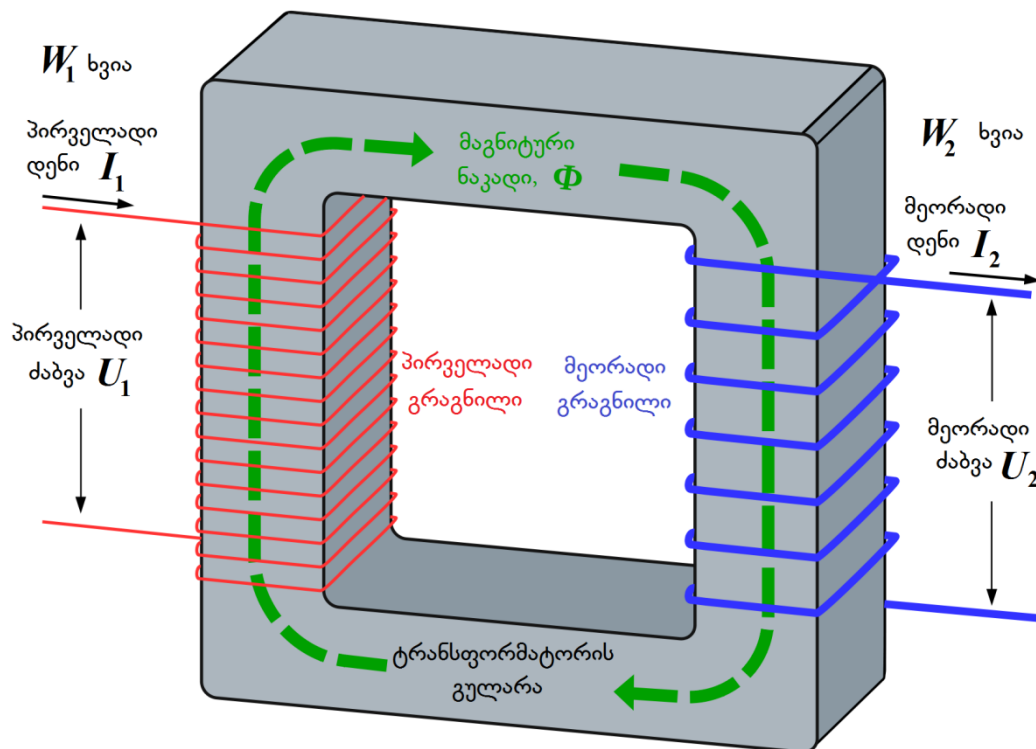
ზეთიან ტრანსფორმატორებში ზეთი ასრულებს როგორც გაცივების, ასევე იზოლაციის ფუნქციებს.

3.2 მოქმედების პრინციპი

ტრანსფორმატორის მოქმედება დაფუძნებულია შემდეგ ორ პრინციპზე:

1. ელექტრულ დენს შეუძლია მაგნიტური ველის წარმოქმნა (ელექტრომაგნიტიზმი);
2. გრაგნილის ხვიაში მაგნიტური ველის ცვლილება აინდუქტირებს ემძ-ს ხვიის ბოლოების გასწვრივ (ელექტრომაგნიტური ინდუქცია).

ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილში დენის ცვლილების შედეგად, გულარაში წარმოიქმნება ცვლადი მაგნიტური ველი, რომელიც იწვევს მეორად გრაგნილში ცვლადი ემძ-ის წარმოქმნას.



ნახ. 3.2

ტრანსფორმატორის პრინციპული სქემა

თუკი ტრანსფორმატორის მაგნიტურ გულარაში დანაკარგებს უგულებელვყოფთ, მაშინ, ბუნებრივია, ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილში შემავალი სიმძლავრე მეორადი გრაგნილიდან გამომავალი სიმძლავრის ტოლი იქნება, ანუ:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 \quad (3.1)$$

(3.1) განტოლებიდან:

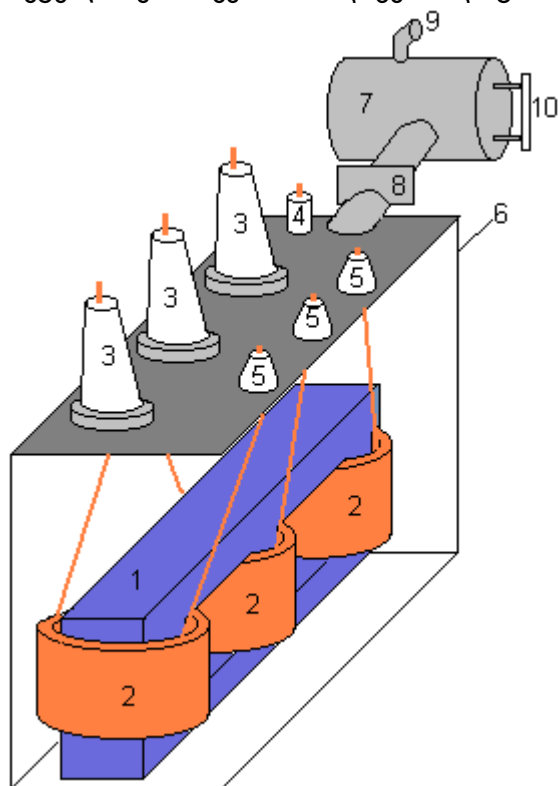
$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2} \equiv K \quad (3.2)$$

სწორედ ამ K შეფარდებას უწოდებენ ტრანსფორმაციის კოეფიციენტს. იგი გვიჩვენებს თუ რამდენჯერ მეტია მეორადი ძაბვა პირველადზე, ანუ რამდენჯერ მეტია პირველადი დენი მეორადზე. იმდენად, რამდენადაც გრაგნილში ინდუქტირებული ძაბვა დაახლოებით გრაგნილის ხვიათა რიცხვის პროპორციულია, ამიტომ ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი შეიძლება ასევე განსაზღვრულ იქნას როგორც მეორადი გრაგნილის ხვიათა რიცხვის შეფარდება პირველადი გრაგნილის ხვიათა რიცხვთან, ანუ:

$$K = \frac{U_2}{U_1} \approx \frac{I_1}{I_2} \approx \frac{W_2}{W_1} \quad (3.3)$$

3.3 ძალოვანი ტრანსფორმატორების კონსტრუქციები

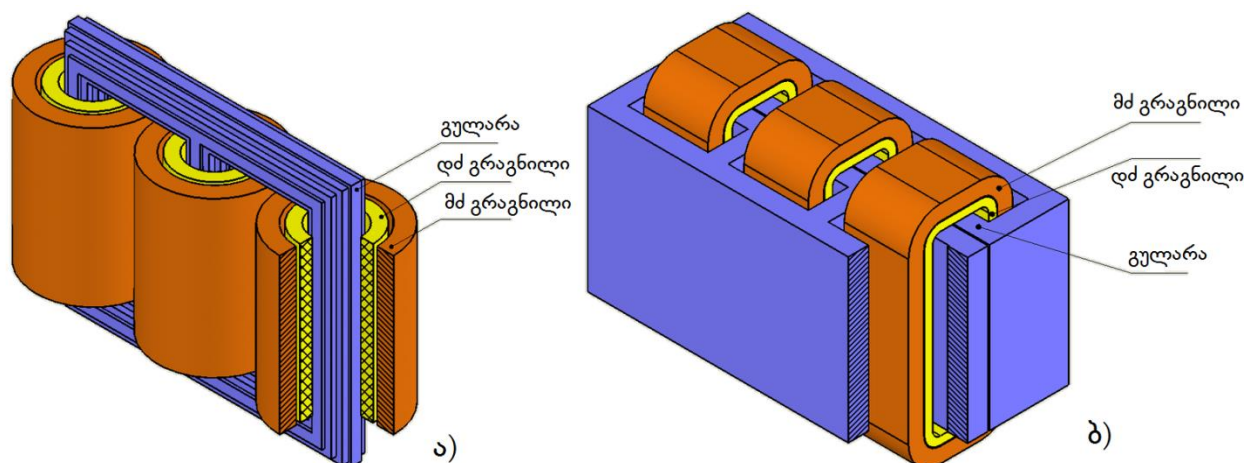
ძალოვანი ტრანსფორმატორის ძირითადი ნაწილებია: მაგნიტური სისტემა (მაგნიტგამტარი), გრაგნილები, იზოლაცია, გამომყვანები, ავზი, გამაცივებელი მოწყობილობა, ძაბვის რეგულირების მექანიზმი, დაცვისა და გაზომვის მოწყობილობები, ურიკა.



- 1-მაგნიტგამტარი,
- 2 - გრაგნილები,
- 3 - მძ A, B, C ფაზების გამომყვანი,
- 4 - ნულოვანი გამომყვანი (ნეიტრალი)
- 5 - ღძ a, b, c ფაზების გამომყვანები,
- 6 - ტრანსფორმატორის ავზი,
- 7 - გამაფართოვებელი,
- 8 - გაზური რელე,
- 9 - გამომტყორცნი,
- 10 - ზეთის დონის მაჩვენებელი შუშის მილი.

ნახ. . 3.3

მაგნიტურ სისტემაში გაედინება ტრანსფორმატორის მაგნიტური ნაკადის ძირითადი ნაწილი. იგი შედგება 0.3-0.5 მმ სისქის ელექტროტექნიკური ფოლადის ფურცლებისაგან, რომლებიც ერთმანეთისაგან იზოლირებულია ელექტროტექნიკური ლაქის საშუალებით. მაგნიტგამტარის ტიპის მიხედვით, განარჩევენ ღერისებრ და ჯავშნიან ტრანსფორმატორებს.



ნახ. 3.4

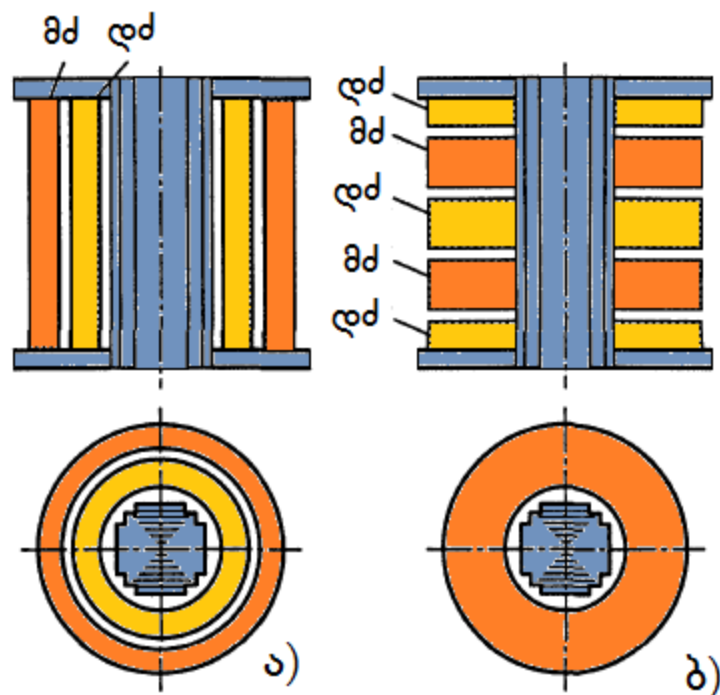
ღერისებრი მაგნიტგამტარის (ნახ. 3.4 ა) შემთხვევაში გრაგნილებს აქვთ ცილინდრული ფორმა და ვერტიკალური განლაგება. მაგნიტგამტარის ძირითადი ნაწილები ამ ცილინდრებში ღერების მსგავსადაა მოთავსებული. სწორედ აქედან წარმოდგება აღნიშნული სისტემის

დასახელებაც. ეს ღერები გრაგნილების ზემო და ქვემო მხარეებზე შეერთებულნი არიან უღლების საშუალებით.

ჯავშნისებრი მაგნიტგამტარის (ნახ. 3.4 ბ) შემთხვევაში გრაგნილებს თითქმის სწორკუთხა ფორმა აქვთ და კონცენტრირებულნი არიან ჰორიზონტალური ღერძის მიმართ. ამ შემთხვევაში სამის ნაცვლად ერთი ჰორიზონტალური ღერია გატარებული სამივე გრაგნილში, ხოლო უღელი ფაქტიურად მთელ გარე გვერდითა ზედაპირზე ფარავს თითოეულ გრაგნილს, ჯავშნის მსგავსად. სწორედ აქედან წარმოდგება ასეთი ტიპის მაგნიტგამტარის სახელი.

ტრანსფორმატორის გრაგნილები შეიძლება იყოს კონცენტრული (ნახ. 3.5 ა) ან მონაცვლეობითი (ნახ. 3.5 ბ). პირველ შემთხვევაში მძ და ღძ გრაგნილებს ასრულებენ ცილინდრის სახით და განლაგებენ მაგნიტურ ღეროზე კონცენტრული სახით. ტრანსფორმატორების გრაგნილების უმეტესობას სწორედ ამგვარად ამზადებენ. მეორე შემთხვევაში მძ და ღძ გრაგნილებს ამზადებენ დაბალი ცილინდრების სახით, რომელთაც აქვთ ერთნაირი დიამეტრი. ამ გრაგნილებს მაგნიტურ ღერზე მონაცვლეობით ათავსებენ.

ტრანსფორმატორის გრაგნილებს ასრულებენ სპილენძისაგან. გრაგნილისათვის გამოიყენება ტრანსპონირებული გამტარი, რომლის ცალკეული ღეროები ერთ კონაში პერიოდულად იცვლიან თავიანთ მდგომარეობას. ეს ათანაბრებს ელემენტარული გამტარების წინააღობას და ველის დაძაბულობას, ზრდის მექანიკურ სიმტკიცეს, ამცირებს იზოლაციის სისქესა და მაგნიტგამტარის ზომებს.



ნახ. 3.5. ტრანსფორმატორის გრაგნილები: ა - კონცენტრული, ბ - მონაცვლეობითი

ტრანსფორმატორის იზოლაციის ძირითად ნაწილს წარმოადგენს ზეთი, რომლითაც გავსებულია ტრანსფორმატორის ავზი. სწორედ ზეთი ასრულებს ძირითადი იზოლაციის ფუნქციას ტრანსფორმატორის ავზში მოთავსებულ აქტიურ ნაწილებს შორის, როგორებიცაა გრაგნილები, მათი ხვიები, შემყვანები, ნეიტრალი; ასევე ამ ნაწილებსა და ავზის კორპუსს შორის. ტრანსფორმატორებში აგრეთვე გამოიყენება სხვადასხვა მყარი საიზოლაციო მასალები: ქაღალდი, ელექტროკარდონი და გეტინაქსი. გრაგნილების ცალკეულ ხვიებს შორის იზოლაციის როლს ასრულებს ამ ხვიებზე დახვეული ქაღალდი, რომელიც ზეთშია გაჟღენთილი.

სხვადასხვა ძაბვის გრაგნილების ცილინდრებს შორის ასევე გრაგნილებსა და მაგნიტგამტარის ღერებს შორის იზოლაციის ანუ ბარიერის როლს ასრულებს ზემოთ ჩამოთვლილი რომელიმე მყარი საიზოლაციო მასალა, რომელთაც ასევე ცილინდრის ფორმა აქვთ. ბარიერული იზოლაციაც ასევე ზეთშია გაჟღენთილი. ზეთს, ტრანსფორმატორში გარდა იზოლაციისა, გააჩნია სხვა დანიშნულებაც: მისი აქტიური ნაწილისგან (გრაგნილებისგან და მაგნიტგამტარებიდან) სითბოს გამოტანა. ამიტომ ზეთი ამალღებს როგორც მასში გაჟღენთილ ხვრებს შორის და ბარიერული იზოლაციის დიელექტრიკულ თვისებების, ასევე მათ სიცოცხლისუნარიანობას. ამრიგად, ტრანსფორმატორის იზოლაცია შედგება ზეთისაგან, ზეთ-ქაღალდიანი და ზეთ-ბარიერული საიზოლაციო სისტემებისაგან.

ტრანსფორმატორის აქტიურ ნაწილი, ძაბვის რეგულირების გადამრთველ მოწყობილობებთან ერთად, მოთავსებულია ტ რ ა ნ ს ფ ო რ მ ა ტ ო რ ი ს ა ვ შ ი . ავზის ძირითადი ნაწილებია - კედლები, ძირი და სახურავი. სახურავზე განლაგებულია გამომყვანები, გამომტყორცნი მილი, გამათვართოებელი, გაზური რელე და ა. შ. ავზის კედლებზე განლაგებულია რადიატორები, ვენტილატორები და ა.შ. (ნახ. 3.6).

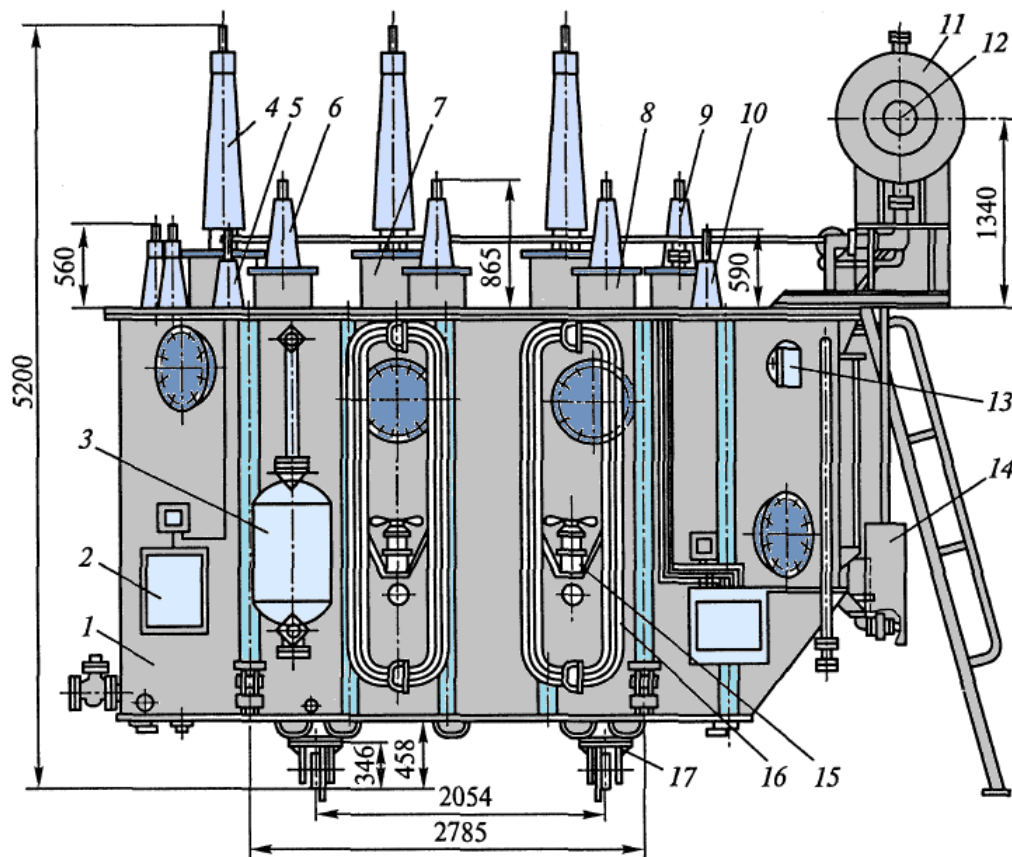
მცირე სიმძლავრის ტრანსფორმატორების ავზი მზადდება ზედა გასახსნელით. რემონტის დროს ეხდება სახურავი და შემდეგ ხდება აქტიური ნაწილების ამოღება.

თუკი ტრანსფორმატორის აქტიური ნაწილების მასა აღემატება 25 ტ-ს, მაშინ ავზის გასახსნელი დამაგრებულია ქვედა მხარეზე, რომელზეც მაგრდება ავზის კედლებისა და ზედა ნაწილისაგან შემდგარი მონოლითური ნაწილი. ამის შემდეგ ხდება ავზის შევსება ზეთით. ამ შემთხვევაში, რემონტის დროს აღარ არის მძიმე ტვირთამწე მოწყობილობების გამოყენება. ზეთისგან დაცლის შემდეგ საკმარისია ავზის ზედა მონოლითური ნაწილის ახდა, რაც გრაგნილებსა და გულარას მისაწვდომს ხდის.

ფანტვის ნაკადებით გამოწვეული დანაკარგების შემცირების მიზნით, ლითონის ავზები შიდა მხრიდან ეკრანირდება ელექტროტექნიკური ფოლადის ფირფიტებით ან არამაგნიტური (სპილენძი, ალუმინი) მასალებით.

გ ა მ ა თ ვ ა რ თ ო ე ბ ე ლ ი წარმოადგენს ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში განლაგებულ ცილინდრულ ჭურჭელს, რომელიც მილით არის მიერთებული ავზთან. მისი დანიშნულებაა გააკომპენსიროს ტემპერატურის ცვლილებით გამოწვეული ზეთის მოცულობის ცვლილება და შეამციროს ზეთის შეხების ზედაპირი ჰაერთან. იმდენად, რამდენადაც ტრანსფორმატორის ავზი გავსებულია ზეთით, ტრანსფორმატორის დატვირთულობის ცვლილების მიხედვით ხდება ზეთის გაცხელება ან გაცივება, რაც იწვევს მისი მოცულობის ცვლილებას და, შესაბამისად, გამათვართოებელში ზეთის დონის ცვლილებას. ამასთან, ზეთი ძალიან ჰიდროსკოპული სითხეა და თუკი გამათვართოებელი უშუალოდაა დაკავშირებული ატმოსფეროსთან, ატმოსფეროს ტენი შეაღწევს ზეთში და მკვეთრად აუარესებს მის საიზოლაციო თვისებებს. ამის ასარიდებლად, გამათვართოებელი დაკავშირებულია ატმოსფეროსთან სილიკოგელიანი ჰაერსაშრობით. იგი აართმევს ტენს გამათვართოებლისაკენ შესულ ჰაერს. თუმცა ზეთის მოცულობის ხშირი ცვლისას არაა გამორიცხული სილიკოგელის თვისებების გაუარესება და ტენის გატარება ზეთისაკენ. ამიტომ შესაძლოა გამოყენებულ იქნას ტრანსფორმატორის ავზში ზეთის ზემოთ ე.წ. ინერტული აირის ბალიში, ან გამათვართოებელის ცარიელი ადგილი შევსებულ იქნას ინერტული აირით, ხოლო ატმოსფერული ჰაერის საზღვართან, ე.წ. გამომტყორცნი მილის ბოლოს, მონტაჟდება თხელი აპკი.

ტრანსფორმატორის ავზთან მიერთებულია თერმოსიფონური ფილტრი, რომელიც გავსებულია სილიკოგელით ან ზეთის დამყანგავი პროდუქტების შთანთქმელი სხვა ნივთიერებით. ფილტრში ცირკულაციისას ხდება ზეთის უწყვეტი რეგენერაცია (თვისებების აღდგენა).



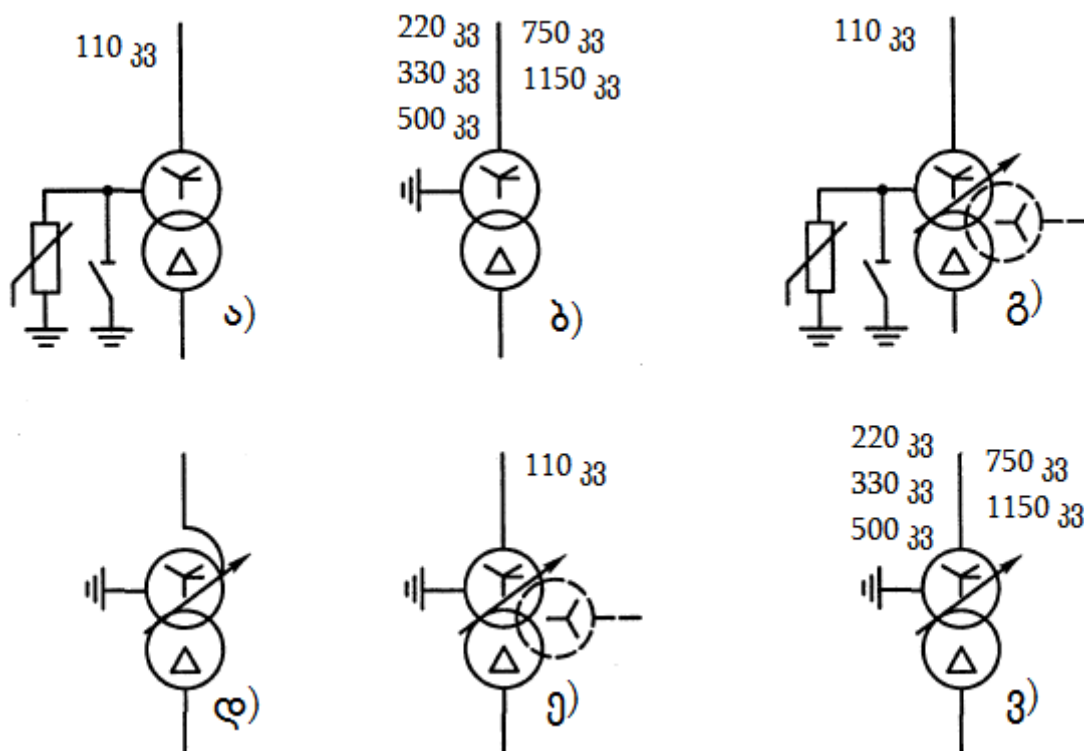
ნახ. 3.6. სამუშაო ორგანიზაცია ტრანსფორმატორი ТДТН-16000/110-80У1

1- ავზი, 2 ბერვის ავტომატური რეგულირების კარადა, 3 თერმოსიფონური ფილტრი, 4 - მძ შემცვანი, 5 - დძ შემცვანი, 6 - სძ შემცვანი, 7 - 110 კვ დენის მზომი ტრანსფორმატორის შემცვანი, 8 - 35 კვ დენის მზომი ტრანსფორმატორის შემცვანი, 9 - მძ ნეიტრალი, 10 - სძ ნეიტრალი, 11 - გამაფართოებელი, 12 - ისრიანი ზეთის მაჩვენებელი, 13 - დამცავი სარქველი, 14 - ძაბვის რეგულატორის ამძრავი, 15 - გაცივების სისტემის ვენტილატორი, 16 - რადიატორი, 17 - ურიკა და ბორბლები.

3.6. ტრანსფორმატორის გრაგნილების შეერთების სქემები და ჯგუფები

3.6.1. ტრანსფორმატორის გრაგნილების შეერთების სქემები. ტრანსფორმატორის გრაგნილებს ჩვეულებრივ აერთებენ ვარსკვლავად (Y), ვარსკვლავად დამიწებული ნეიტრალით (Y_0), ან სამკუთხედად (Δ). ტრანსფორმატორების მძ გრაგნილებს ჩვეულებრივ აერთებენ ვარსკვლავად, რაც საშუალებას იძლევა, რომ შიგა იზოლაცია დამზადდეს ხაზურთან შედარებით $\sqrt{3}$ -ჯერ ნაკლებ ანუ ფაზურ ძაბვაზე. ღძ გრაგნილს კი ჩვეულებრივ აერთებენ სამკუთხედად, რაც გრაგნილის განივკვეთის შემცირების საშუალებას იძლევა, გათვლილია რა ხაზურთან შედარებით $\sqrt{3}$ -ჯერ ნაკლებ ანუ ფაზურ დენზე.

ტრანსფორმატორების 35 კვ და მაღალი და 1 კვ და დაბალი ნომინალური ძაბვის გრაგნილებს აერთებენ ვარსკვლავად. ამავე დროს, 110 კვ და უფრო მაღალი ძაბვის გრაგნილების ნულოვან გამოყვანას, ჩვეულებრივ, ყრუდ ამიწებენ. თუმცა მშ დენების შეზღუდვის მიზნით ზოგიერთი ტრანსფორმატორის 110 კვ ძაბვის ნეიტრალი შეიძლება განმიწებული იქნას. ტრანსფორმატორების არასაგენერატორო 6, 10, 35 კვ ძაბვის გრაგნილების ნეიტრალები არ მიწდება ან მიწდება რკალმქრობი რეაქტორების გავლით, რომელთა დანიშნულებაა ტევადური დენების კომპენსაცია. რაც შეეხება ტრანსფორმატორების გრაგნილებს, რომლებზეც გენერატორ(ებ)ია მიერთებული, აერთებენ სამკუთხედად, ნულოვანი მიმდევრობის დენების გადინებისა და მესამე რიგის ჰარმონიკის შეზღუდვის მიზნით.



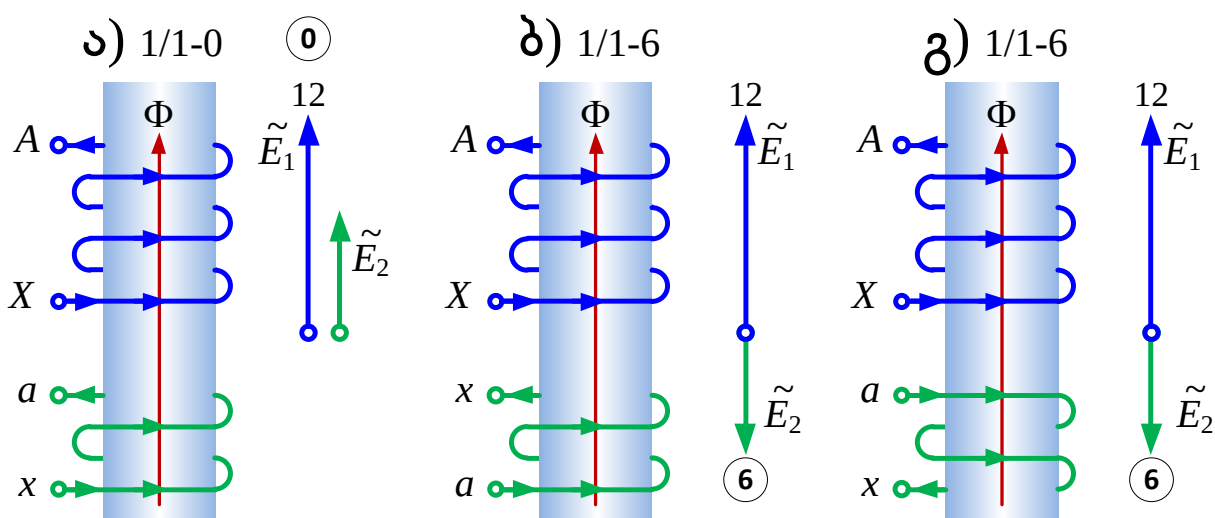
ნახ. 3.7

ტრანსფორმატორებისა და ავტოტრანსფორმატორების ნეიტრალების დამიწების მეთოდები

3.6.2. ტრანსფორმატორის გრაგნილების შეერთების ჯგუფი ახასიათებს მძ და ღძ გრაგნილების ემძ-ებს შორის ურთიერთდაძვრის კუთხეს. ეს კუთხე დამოკიდებულია როგორც გრაგნილების შეერთების სქემაზე, ასევე მათი გამომყვანების დასახელებებსა და დახვევის მიმართულებაზე.

ყველა გრაგნილის დახვევის მიმართულებას მიიჩნევენ ერთნაირად; ერთსა და იმავე ღერზე განლაგებული მძ და ღძ გრაგნილის ემძ-ები ერთმანეთს ემთხვევიან ფაზით, თუკი ისინი მიმართულნი არიან ერთსახელა გამომყვანებისაკენ (ნახ. 3.8 ა).

ნახ. 3.8-ზე მოცემულია ორი გრაგნილი - 1 და 2, რომლებიც განლაგებულნი არიან ერთ მაგნიტურ ღერზე და განიჭოლებიან ერთი და იმავე Φ მაგნიტური ნაკადით. თუკი გრაგნილებს აქვთ ერთი და იგივე დახვევის მიმართულება და ერთი და იგივე გამომყვანების სახელები (ნახ. 3.8 ა), მაშინ მათში დაინდუქტირებულ ემძ-ებს განხილულ დროის მომენტში ექნებათ ერთნაირი მიმართულება (დასასრულიდან დასაწყისისკენ) და შესაბამისად ისინი ემთხვევიან ერთმანეთს ფაზით. თუკი ერთ-ერთ გრაგნილს, მაგალითად 2-ს გადავუადგილებთ დასაწყისისა და დასასრულის სახელებს, მაშინ გრაგნილის გამომყვანების მიმართ დაინდუქტირებული ემძ-ის მიმართულება შეიცვლება და $\tilde{E}_1$ და $\tilde{E}_2$ ერთმანეთის მიმართ დაძრულნი იქნებიან 180° -ით (ნახ. 3.8 ბ). ანალოგიური 180° -იანი ძვრა შეგვიძლია მივიღოთ გრაგნილების ემძ-ებს შორის, თუკი რომელიმე მათგანს, მაგალითად, 2-ს შევუცვლით დახვევის მიმართულებას.



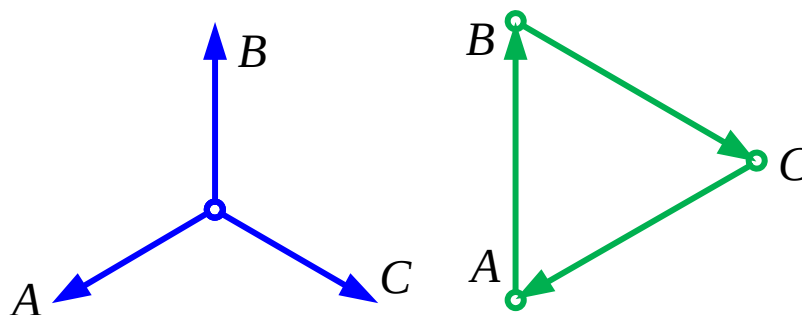
ნახ. 3.8

ერთფაზა ტრანსფორმატორების შეერთების ჯგუფები.

ტრანსფორმატორების შეერთების ჯგუფის დასადგენად საჭიროა საათის წუთების ისარი შევუსაბამოთ მძვინვარების ხაზური ემძ-ის მიმართულებას, ხოლო საათების ისარი – დძვინვარების ხაზური ემძ-ის მიმართულებას.

პირველ რიგში, ჩავთვალოთ, რომ სამკუთხედად ან ვარსკვლავად შეერთებული გრაგნილების ემძ-ებს ვექტორულ დიაგრამებს, ერთსახელა მომჭერების დამთხვევისას, ექნება ნახ. 3.9-ზე მოცემული სახე. ამის შემდეგ ან უნდა გადავთვალოთ კუთხე წუთების ისრიდან საათების ისრისკენ მათი მოძრაობის მიმართულებით ან ორივე ისარი ერთდროულად ისე მოვაბრუნოთ, რომ წუთების ისარი ემთხვეოდეს ციფრს 12(0). ამ შემთხვევაში საათების ისარი მიუთითებს იმ საათს, რომელსაც შეესაბამება მოცემული ჯგუფი. თუ მძ AB და დძ ab ხაზური ვექტორების A და a წერტილებს ერთმანეთთან ფორმალურად გადავამოკლებთ, მაშინ Y/Y ან Δ/Δ შეერთებების შემთხვევაში შეიძლება ჩამოყალიბდეს ლუწი ჯგუფები 2, 4, 6, 8, 10; ხოლო Y/Δ ან Δ/Y შეერთებების შემთხვევაში შეიძლება ჩამოყალიბდეს კენტი ჯგუფები 1, 3, 5, 7, 9, 11.

სხვა სიტყვებით, თუკი მაგნიტგამტარის ერთსა და იმავე ღერზე განლაგებულია ერთსახელა ფაზები, მაშინ Y/Y ან Δ/Δ შეერთებების სამფაზა ტრანსფორმატორები აყალიბებენ 0 და 6 ჯგუფებს, ხოლო Y/Δ ან Δ/Y შეერთებების შემთხვევაში - 1 ან 5 ჯგუფებს. თუკი რომელიმე ფაზაზე განხორციელებული იქნება გამომყვანების წრიული სახელცვლა (გადამარკირება), მაგალითად $a-b-c$ -ს გადაკეთებით $b-c-a$ -დ, ხოლო შემდეგ $c-a-d$ -დ, შესაბამისად 0 ჯგუფიდან შეიძლება მიღებული იქნას 4 და 8 ჯგუფები, 6 ჯგუფიდან - 10 და 2, 11 - დან 3 და 7, ხოლო 5 ჯგუფიდან - 9 და 1 ჯგუფები.



ნახ. 3.9

ტრანსფორმატორის გრაგნილების ემძ-ების ვექტორები ვარსკვლავა და სამკუთხა შეერთებებისას

მაგალითისათვის ნახ. 3.10-ზე მოყვანილია შეერთების ჯგუფების რამდენიმე ვარიანტი.

გრაფიკების შეერთების სქემა		ვექტორული დიაგრამები			აღნიშვნა
მძ	დძ	მძ	დძ	ზედლება	
					Y/Y-0
					Y/Y-6
					Y/Δ-11
					Y/Δ-5
					Δ/Δ-0
					Δ/Δ-6

ნახ. 3.10

სამუშაო ტრანსფორმატორების შეერთების ჯგუფების რამდენიმე შესაძლო ვარიანტი

3.7. ტრანსფორმატორების გაცივების სისტემები და აღნიშვნები

3.7.1. **ტრანსფორმატორების გაცივების სისტემები.** ტრანსფორმატორის მუშაობისას მაგნიტოგამტარის ფოლადსა და გრაგნილების სპილენძში სითბოს სახით გამოიყოფა ენერგიის დანაკარგები, რაც იწვევს ტრანსფორმატორის გახურებას.

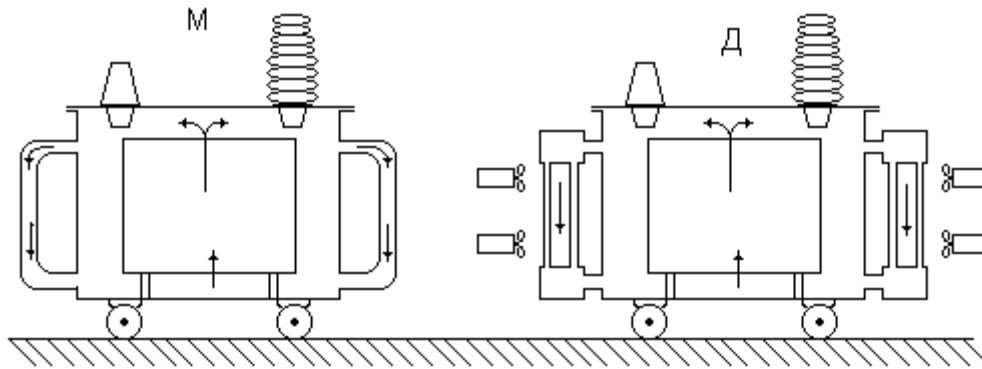
ტრანსფორმატორების გახურების ზღვრული ტემპერატურა შეზღუდულია გრაგნილების იზოლაციისათვის დასაშვები ტემპერატურით. იზოლაციის სამსახურის ვადა ბევრად არის დამოკიდებული გახურების ტემპერატურაზე. იმისათვის, რომ ტრანსფორმატორების მუშაობისას მათი იზოლაციის ტემპერატურა შევინარჩუნოთ დასაშვებ ზღვრებში, საჭიროა ტრანსფორმატორების გაცივებისათვის სპეციალური ღონისძიებების მიღება. ტრანსფორმატორების გაცივებისათვის, როგორც წესი, გამოიყენებენ ზედაპირული გაცივების სისტემებს. გამაცივებელ გარემოს წარმოადგენს ჰაერი ან ზეთი. შესაბამისად, გვაქვს მშრალი და ზეთიანი ტრანსფორმატორები. მშრალ ტრანსფორმატორებში გახურებული ნაწილებიდან სითბოს ართმევა ხდება ჰაერის ბუნებრივი კონტაქტის საშუალებით, მართალია ზეთთან შედარებით ჰაერის გაცივების სისტემა ნაკლებეფექტურია და შედარებით მცირე სიმძლავრის ტრანსფორმატორებზე გამოიყენება, მაგრამ სამაგიეროდ, მშრალი ტრანსფორმატორები ხანძარუსაფრთხოა.

ტრანსფორმატორთა უმეტესი ნაწილი ცივდება ზეთით, რომელიც ამავდროულად ასრულებს იზოლაციის ფუნქციასაც. ასეთ ტრანსფორმატორებში ზეთის გახურებული მსუბუქი ფენა მოძრაობს ავზის სახურავისკენ და მის ადგილს იკავებს ავზის კედლებითა და რადიატორის მილებში ზეთის გაცივებული მძიმე ახალი ფენები, რომელთა ადგილს თავის მხრივ იკავებს გაცხელებული ზეთის ფრაქციები. ამ გზით ხდება ზეთის ბუნებრივი ცირკულაცია. იგი საუფუძლად უდევს ზეთიანი ტრანსფორმატორების გაცივების ყველა სისტემას, რომელიც პრაქტიკაშია გამოყენებული.

რაც უფრო მძლავრია ტრანსფორმატორი, მით უფრო ინტენსიური უნდა იყოს გაცივების სისტემა. ტრანსფორმატორების გაცივებისათვის გამოიყენებენ ქვემოთ მოყვანილ სისტემებს:

1. ჰაერით ბუნებრივი გაცივების სისტემა (C[რუს]). ტრანსფორმატორის გაცივება ხდება ჰაერის ბუნებრივი კონვექციით და ნაწილობრივ ჰაერში გამოსხივებით. ტრანსფორმატორებს, რომლებშიც გაცივების ასეთი სისტემაა გამოყენებული „მშრალ“ ტრანსფორმატორებს უწოდებენ. ჰაერით ბუნებრივი გაცივების სისტემა არაეფექტურია და ამიტომ ტრანსფორმატორების სიმძლავრე, რომლებისთვისაც ამ სისტემას გამოიყენებენ არ აღემატება 1.6 მგვა-ს, ხოლო ძაბვა 15 კვ-ს.

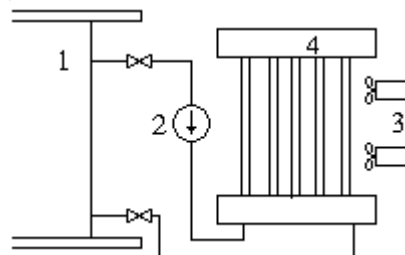
2. ზეთით ბუნებრივი გაცივების სისტემა (M[რუს] / ONAN[ევრ]). ეს სისტემა გამოიყენება ტრანსფორმატორებისათვის რომელთა სიმძლავრე არ აღემატება 16 მგვა-ს. ასეთ ტრანსფორმატორებში სითბო, რომელიც გამოიყოფა მაგნიტოგამტარსა და გრაგნილებში, გადაეცემა ზეთს, რომელშიც მოთავსებულია მაგნიტოგამტარი გრაგნილებით. ზეთი ხურდება და ცირკულირებს ტრანსფორმატორის ავზში, მისი რადიატორების მილებში (ნახ. 3.11) და ამ მილებიდან სითბოს გადასცემს ჰაერს. ასეთი სისტემის გამოყენების დროს ზედა, ყველაზე უფრო გახურებული ფენის ტემპერატურა, არ უნდა აღემატებოდეს 95°C-ს.



ნახ. 3.11

3. გაცივების სისტემა ზეთის ბუნებრივი ცირკულაციით და შებერვით (Д[რუს]/ОНАФ[ევრ]). ეს სისტემა გამოიყენება ტრანსფორმატორებისათვის, რომელთა სიმძლავრე აღემატება 16 მგვა-ს. ტრანსფორმატორის რადიატორებს შორის ათავსებენ ვენტილატორებს. ნახ. 3.11-Д. ვენტილატორები შეისრუტავენ ავზის ქვემოდან ცივ ჰაერს, უბერავენ მას რადიატორების მილების გაცხელებულ ზემო ნაწილს, აცივებენ მას და მასში მოძრავ გაცხელებულ ზეთს. ასეთ ტრანსფორმატორებს შეუძლიათ მუშაობა გამორთული ვენტილატორებით ნომინალურის 100% დატვირთვის პირობებში, თუკი ზეთის ზედა ფენების ტემპერატურა არ აღემატება 55°C -ს.

4. ზეთით გაცივების სისტემა შებერვით და ზეთის იძულებითი ცირკულაციით ჰაერის გამაცივებლებში (ДП[რუს]/ОFAF[ევრ]), ნახ. 3.12 ეს სისტემა გამოიყენება 63 მგვა და უფრო მეტი სიმძლავრის ტრანსფორმატორებისათვის. გამაცივებელი შესდგება წვრილი მილების სისტემისაგან, რომლებშიც გასაცივებელი ზეთის იძულებითი ცირკულაცია ხდება. მილების სისტემას გარედან ჰაერი უბერავს. ეს სისტემა გამოირჩევა მაღალი ეფექტურობით და ამიტომ ტრანსფორმატორის გაბარიტების შემცირების საშუალებას იძლევა. ასეთი სისტემით აღჭურვილი ტრანსფორმატორებისათვის ზეთის მაქსიმალურად დასაშვები ტემპერატურა არის 70°C .



ნახ. 3.12

5. წყლით გაცივების სისტემა ზეთის იძულებითი ცირკულაციით (П[რუს]/ОFWF [ევრ]). ამ სისტემაში ზეთი ცირკულირებს გამაცივებლის მილებს შორის, რომლებშიც გადის წყალი. გაცივების ეს სისტემა მაღალეფექტურია და იგი გამოიყენება 100 მგვა-ზე მეტი სიმძლავრის ტრანსფორმატორებისათვის. იმისათვის, რომ მილების დაზიანების შემთხვევაში არ მოხდეს ზეთში წყლის შეღწევა, ზეთის წნევა გამაცივებელში 0.02 მგპა-ით მეტი უნდა იყოს წყლის წნევაზე.

გაცივების ეფექტურობის გაზრდის მიზნით, შემყვანი და გამომყვანი მილები მიერთებულია ტრანსფორმატორის ავზის დიაგონალურ ნაწილებში.

ღია გარემოში დაყენებული ტრანსფორმატორები იმყოფებიან მზის სხივების პირდაპირი ზემოქმედების ქვეშ. ტრანსფორმატორის ავზზე მზის ზემოქმედების ხარისხის შესამცირებლად ანუ მზის სხივების ნაწილის არეკვლის მიზნით რეკომენდირებულია ავზის შეღებვა ნათელი ფერის და ლითონური შემკვებების არმქონე საღებავით.

3.7.2 ტრანსფორმატორების პირობითი აღნიშვნები. ყოფილი საბჭოთა და ამჟამინდელი რუსული აღნიშვნები საქართველოშიც გამოიყენება აქ არსებული საბჭოთა წარმოების ენერგეტიკული დანადგარების გამო. მათი სტანდარტების თანახმად, ყველა ტრანსფორმატორს გააჩნია თავისი პირობითი აღნიშვნა რუსული სიმბოლოებით და აქვს ქვემოთ მოყვანილი მიმდევრობა:

- ფაზათა რიცხვი: O - ერთფაზა, T - სამფაზა;
- გაცივების სისტემა (აღნიშვნები მოცემულია ზემოთ);
- გრაგნილთა რიცხვი, რომლებიც სხვადასხვა ძაბვებზე მუშაობენ (თუკი ისინი ორს არ აღემატება). T - სამგრაგნილა ტრანსფორმატორისათვის, P (გახლეჩვის რიცხვის შემდეგ) - გახლეჩილგრაგნილებიანი ტრანსფორმატორებისათვის;
- H - სიმბოლო გამოიყენება ტრანსფორმატორებისთვის, თუკი მისი რომელიმე გრაგნილი აღჭურვილია დატვირთვის ქვეშ რეგულირების მოწყობილობით (PIH);
- სიმბოლო A აღნიშნის დასაწყისში შეესაბამება ავტოტრანსფორმატორს.
- სიმბოლური აღნიშვნის დასასრულს მითითებულია ტრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრე (კვა) და მძ-ის გრაგნილის ნომინალური ძაბვა (კვ).

მაგალითად, ТДТН-16000/110 აღნიშნავს სამფაზა ტრანსფორმატორს, ზეთის ბუნებრივი ცირკულაციისა და შებერვის გაცივების სისტემით, სამი გრაგნილითა და დატვირთვის ქვეშ რეგულირების მოწყობილობით, 16000 კვა არის მისი ნომინალური სიმძლავრე და 110 კვ მისი ნომინალური მაღალი ძაბვა.

3.8. ავტოტრანსფორმატორები

3.8.1 კონსტრუქციები, თავისებურებები და ძირითადი პარამეტრები. დიდი სიმძლავრის ავტოტრანსფორმატორებმა ფართო გამოყენება პოვეს ენერგოსისტემებში, რაც გამოწვეულია მთელი რიგი უპირატესობებით, რომელიც მათ გააჩნიათ ტრანსფორმატორებთან შედარებით.

ავტოტრანსფორმატორი წარმოადგენს მრავალგრაგნილიან ტრანსფორმატორს, რომლის ორი გრაგნილი ერთმანეთთან ელექტრულადაა დაკავშირებული. ავტოტრანსფორმატორი შეიძლება იყოს როგორც სამფაზა, ასევე ცალფაზა. ვთქვათ, გვაქვს ცალფაზა ავტოტრანსფორმატორი, რომელსაც აქვს ერთმანეთთან ელექტრულად დაკავშირებული “0მ” და “0ს” გრაგნილები (ნახ. 3.13). გრაგნილის ნაწილს, რომელიც მოქცეულია “მ” და “ს” გამომყვანებს შორის ეწოდება მიმდევრობითი, ხოლო “ს” და “0” გამომყვანებს შორის – საერთო.

ავტოტრანსფორმატორის მუშაობისას ძაბვის დანევის რეჟიმში, მიმდევრობით გრაგნილში გადის დენი I_a , რომელიც ქმნის რა მაგნიტურ ნაკადს, საერთო გრაგნილში იწვევს I_0 დენის

წარმოქმნას. მეორადი დატვირთვის დენი I_b , წარმოადგენს გრაგნილების ელექტრული კავშირის წყალობით წარმოქმნილი I_a -ისა და ამ გრაგნილების მაგნიტური კავშირის გამო წარმოქმნილი I_0 დენების ჯამს: $I_b = I_a + I_0$, საიდანაც $I_0 = I_b - I_a$.

სრულ სიმძლავრეს, რომელიც გაედინება ავტოტრანსფორმატორის პირველადი წრედიდან მეორად წრედში, ეწოდება **გ ა მ ა ვ ა ლ ი ს ი მ ძ ლ ა ვ რ ე**.

ავტოტრანსფორმატორების გრაგნილების წინააღობებში დანაკარგების უგულებელყოფის შემთხვევაში, შეიძლება დანერგილი იქნას შემდეგი გამოსახულება:

$$S = U_a I_a \approx U_b I_b \quad (3.4)$$

გამოსახულების მარჯვენა მხარის გარდაქმნის შემდეგ ვიღებთ:

$$S = U_a I_a = [(U_a - U_b) + U_b] I_a = (U_a - U_b) I_a + U_b I_a \quad (3.5)$$

სადაც

$$S_{\delta} = (U_a - U_b) I_a \quad (3.6)$$

წარმოადგენს ტრანსფორმატორულ სიმძლავრეს, რომელიც მაგნიტური კავშირით გადაეცემა პირველადი გრაგნილიდან მეორეულს; ხოლო

$$S_{\gamma} = U_b I_a \quad (3.7)$$

არის ელექტრული სიმძლავრე, რომელიც ელექტრული კავშირით გადაეცემა პირველადი გრაგნილიდან მეორეულს, ტრანსფორმაციის გარეშე. ეს სიმძლავრე არ იწვევს საერთო გრაგნილის დატვირთვას, რადგან I_a დენი მიმდევრობითი გრაგნილიდან პირდაპირ გადის ს გამოყვანიდან, გვერდს უქცევს რა გამოყვანის 0-ს.

ნომინალურ რეჟიმში გამავალ სიმძლავრეს ეწოდება ავტოტრანსფორმატორის ნომინალური

სიმძლავრე $S = S_{\text{ნომ}}$, ხოლო ტრანსფორმატორულ სიმძლავრეს ტიპიური სიმძლავრე $S = S_{\text{ტიპ}}$.

მაგნიტგამტარის ზომები და, შესაბამისად, მისი მასა განისაზღვრება ტრანსფორმატორული ანუ ტიპიური სიმძლავრით, რომელიც ნომინალური სიმძლავრის ნაწილს წარმოადგენს:

$$\frac{S_{\text{ტიპ}}}{S_{\text{ნომ}}} = \frac{(U_a - U_b) I_a}{U_a I_a} = \frac{U_a - U_b}{U_a} = 1 - \frac{U_b}{U_a} = 1 - \frac{1}{k_{\text{არგ}}} = k_{\text{სარგ}} \quad (3.8)$$

სადაც $k_{\text{არგ}} = U_a / U_b$ ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი, ხოლო $k_{\text{სარგ}}$ - სარგებლიანობის ანუ ტიპიური სიმძლავრის კოეფიციენტი.

ბოლო გამოსახულების თანახმად, რაც უფრო ახლოა ერთმანეთთან U_a და U_b მით მცირეა $k_{\text{სარგ}}$ და ნომინალურის მით უფრო მცირე ნაწილს შეადგენს ტიპიური სიმძლავრე. ეს ნიშნავს რომ ავტოტრანსფორმატორის ზომები, მისი მასა და აქტიური ნაწილებზე დანახარჯები მცირდება იგივე ნომინალური სიმძლავრის ტრანსფორმატორთან შედარებით.

ავტოტრანსფორმატორები ყველაზე უფრო მეტად მიზანშეწონილია გამოყენებული იქნას მძ და სძ თანათარღობებზე 220/110; 330/150; 500/220; 750/330; 1150/500 კვ.

ნახ. 3.14-დან ჩანს რომ მიმდევრობითი გრაგნილის სიმძლავრე:

$$S_{\text{მიმდ}} = (U_{\text{ა}} - U_{\text{ბ}}) I_{\text{ა}} = S_{\text{ტიპ}} \quad (3.9)$$

ხოლო საერთო გრავნილის სიმძლავრე ტოლია:

$$S_0 = U_{\text{ბ}} I_0 = U_{\text{ბ}} (I_{\text{ბ}} - I_{\text{ა}}) = U_{\text{ბ}} I_{\text{ბ}} \left(1 - \frac{1}{k_{\text{აბ}}} \right) = S_{\text{ნომ}} k_{\text{სარგ}} = S_{\text{ტიპ}} \quad (3.10)$$

ამრიგად, ავტოტრანსფორმატორის მიმდევრობითი და საშუალო გრავნილი გათვლილია ტიპურ სიმძლავრეზე. რა სიმძლავრეც არ უნდა იქნას მიყვანილი მომჭერებზე მ და ს, ზემოაღნიშნული გრავნილების მაქსიმალური დატვირთვა დასაშვებია მხოლოდ ტიპურ სიმძლავრემდე.

ავტოტრანსფორმატორებზე ხანდახან განათავსებენ მესამე - დ გრავნილსაც, გენერატორის, სინქრონული კომპენსატორის ან დატვირთვის მიერთების მიზნით. ამ გრავნილს ზოგ შემთხვევაში მხოლოდ მესამე რიგის ჰარმონიკების კომპენსაციის ფუნქცია გააჩნია. დ გრავნილის სიმძლავრე არ შეიძლება იყოს ტიპურ სიმძლავრეზე მეტი, რადგან ამ შემთხვევაში ავტოტრანსფორმატორის გაბარიტების განმსაზღვრელი იქნება დ გრავნილის სიმძლავრე.

3.8.2. ავტოტრანსფორმატორების მუშაობის რეჟიმები. შეიძლება პირობითად დაიყოს ავტოტრანსფორმატორულ, ტრანსფორმატორულ და კომბინირებულ რეჟიმებად.

ავტოტრანსფორმატორულ რეჟიმში შესაძლებელია ნომინალური სიმძლავრის გადაცემა მდ გრავნილიდან სდ გრავნილისკენ ან პირიქით (მდ↔სდ). ორივე შემთხვევაში საერთო გრავნილში გადის დენების სხვაობა $I_{\text{ბ}} - I_{\text{ა}} = I_{\text{ბ}} k_{\text{სარგ}}$, ამიტომ საერთო და მიმდევრობითი გრავნილები დატვირთულები არიან ტიპური სიმძლავრით რაც დასაშვებია.

ტრანსფორმატორულ რეჟიმში შესაძლებელია სიმძლავრის გადაცემა დ გრავნილიდან სდ ან მდ გრავნილისკენ ან პირიქით (დდ↔სდ+მდ), ამასთან დ გრავნილის დატვირთვა დაუშვებელია ტიპურ სიმძლავრეზე მეტად. თუკი ტიპური სიმძლავრის გადაცემა ხდება დდ-დან სდ გრავნილისკენ, მაშინ მიმდევრობითი გრავნილი დატვირთულია და დამატებითი სიმძლავრის გაცემა მდ გრავნილიდან შეუძლებელია, მიუხედავად იმისა რომ იგი არაა დატვირთული.

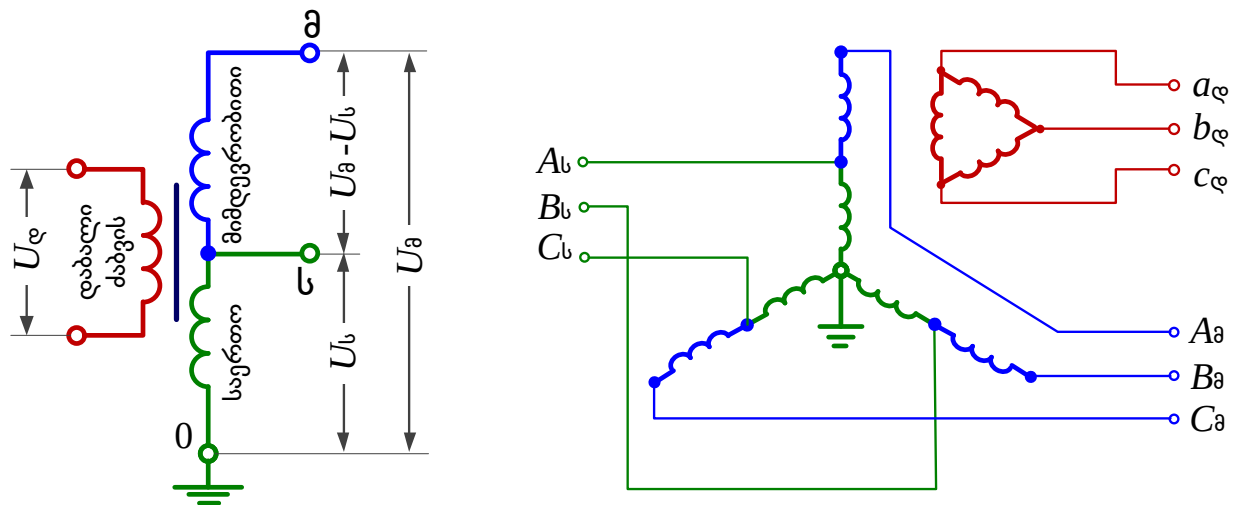
ტრანსფორმატორულ რეჟიმში თუკი ხდება ტიპური სიმძლავრის გადაცემა დ გრავნილიდან მდ გრავნილისკენ, მაშინ საერთო და მიმდევრობითი გრავნილები ბოლომდე არ არიან დატვირთულები.

კომბინირებულ რეჟიმში ენერგიის გადაცემა ხდება ერთდროულად როგორც ტრანსფორმატორული, ასევე ავტოტრანსფორმატორული გზით. შესაძლებელია კომბინირებული რეჟიმის ორი შემთხვევა:

1. ავტოტრანსფორმატორული გზით ხდება მდ-დან სდ გრავნილისკენ გადაცემა, ხოლო ტრანსფორმატორულ რეჟიმში დდ-დან სდ გრავნილისკენ (მდ+დდ↔სდ) ; ან
2. დ გრავნილიდან ტრანსფორმატორული გზით, ხოლო სდ გრავნილიდან ავტოტრანსფორმატორული გზით მდ გრავნილისკენ ხდება სიმძლავრის გადაცემა (დდ+სდ↔მდ).

გრავნილებს შორის ელექტრული კავშირის გამო ავტოტრანსფორმატორთა უარყოფით მხარეს წარმოადგენს: 1. შედარებით გართულებულია რელეული დაცვისა და ძაბვის რეგულირების საკითხები; 2. მაღალი ძაბვის ქსელში ერთფაზა ჩამინების შემთხვევაში შესაძლებელია საშუალო ძაბვის ქსელი აღმოჩნდეს მაღალი ძაბვის ქვეშ, რომლის თავიდან

აცილებისთვის აუცილებელია ნეიტრალის ყრუდ ჩამინება; 3. ნეიტრალის ყრუდ ჩამინება თავის მხრივ განაპირობებს მოკლედ შერთვის დენების ზრდას.



ნახ. 3.14.

ერთფაზა და სამფაზა ავტოტრანსფორმატორების სქემები

მაგალითი 3.1

ვიპოვოთ ავტოტრანსფორმატორის ტიპური სიმძლავრე და სარგებლიანობის კოეფიციენტი, თუ მისი ნომინალური სიმძლავრეა 1000 მგვა, ნომინალური მაღალი ძაბვაა 500 კვ და ნომინალური საშუალო ძაბვაა 220 კვ.

ამოხსნა

(3.8) გამოსახულების თანახმად, ტიპური სიმძლავრე

$$S_{\text{ტიპ}} = S_{\text{ნომ}} \left(1 - \frac{U_b}{U_a} \right) = 1000 \times \left(1 - \frac{220}{500} \right) = 560 \text{ მგვა}$$

(3.8) გამოსახულების თანახმად, სარგებლიანობის კოეფიციენტი

$$k_{\text{სარგ}} = \frac{S_{\text{ტიპ}}}{S_{\text{ნომ}}} = \frac{560}{1000} = 0.56$$

3.9 ტრანსფორმატორთა პარალელური მუშაობა

მომხმარებელთა კვების საიმედოობის ამაღლების მიზნით, რიგ შემთხვევებში, დამწვევ ქვესადგურებზე აყენებენ ორ ან მეტ, პარალელურ რეჟიმში მომუშავე ტრანსფორმატორს. თუ პარალელურად მომუშავე ტრანსფორმატორების პარამეტრები ერთნაირია, მაშინ ისინი მუშაობენ

თანაბარი დატვირთვით, წინააღმდეგ შემთხვევაში ერთი ტრანსფორმატორი აღმოჩნდება დაუტვირთავი, ხოლო მეორე გადაიტვირთება.

პარალელური მუშაობისას ტრანსფორმატორები უნდა აკმაყოფილებდნენ შემდეგ პირობებს:

- მაღალი და დაბალი ნომინალური ძაბვები უნდა იყოს ერთნაირი. დასაშვებია ტრანსფორმაციის კოეფიციენტებს შორის განსხვავება 0.5 %-მდე;
- გრაგნილთა შეერთების ჯგუფები უნდა იყოს ერთნაირი;
- მოკლე შერთვის ძაბვები უნდა იყოს ერთნაირი. დასაშვებია $\pm 10\%$ გადახრა მათი საშუალო მნიშვნელობიდან;
- ნომინალურ სიმძლავრეთა შეფარდება არ უნდა აღემატებოდეს 3-ს.

3.10. ტრანსფორმატორების ძაბვის რეგულირება

3.10.1. ძაბვის რეგულირების პრინციპი

მომხმარებლების ნორმალური მუშაობის უზრუნველსაყოფად საჭიროა ქვესადგურების სალტებზე ძაბვის შენარჩუნება საჭირო დონეზე. ამისათვის კი ძაბვის რეგულირების ღონისძიებების გათვალისწინებაა საჭირო. ძაბვის რეგულირების ყველაზე გავრცელებული მეთოდია ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის შეცვლა.

ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი ტოლია პირველადი და მეორეული გრაგნილების ხვიათა რიცხვის შეფარდებისა.

$$K = U_2/U_1 = W_2/W_1 \quad (3.11)$$

აქედან ვღებულობთ

$$U_2 = U_1 W_2 / W_1 \quad (3.12)$$

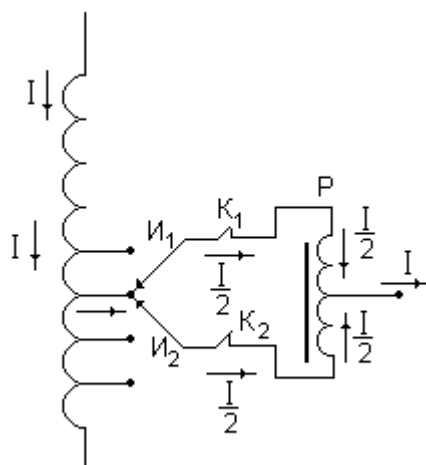
იმისათვის, რომ შესაძლებელი იყოს W_2 / W_1 შეფარდების სიდიდის შეცვლა, ტრანსფორმატორის გრაგნილს უკეთებენ განშტოებებს. გადართვა ერთი განშტოებიდან რომელიმე სხვა განშტოებაზე ხდება ორი ხერხით. პირველი ხერხი მოითხოვს ტრანსფორმატორის გამორთვას, მეორე ხერხის გამოყენებისას, დატვირთული ტრანსფორმატორი რჩება ქსელში ჩართული. მცირე სიმძლავრის ტრანსფორმატორებში ძაბვის რეგულირება ხდება პირველი ხერხით. ამისათვის ტრანსფორმატორს გამორთავენ ქსელიდან და სპეციალური გადამრთველის საშუალებით შეცვლიან მისი მაღალი ძაბვის გრაგნილის ხვიათა რიცხვს. შემდეგ ტრანსფორმატორს ისევ ჩართავენ ქსელში. გადართვა სულ რამდენიმე წუთი გრძელდება და ამ დროის განმავლობაში მომხმარებელი ენერგიას ვერ ღებულობს. ასეთ ტრანსფორმატორებს ძირითადი გამოყენების გარდა აქვს კიდევ ორი ან ოთხი გამოყენება. ძაბვის რეგულირება ხდება $\pm 5\%$ ფარგლებში. დიდი სიმძლავრის ტრანსფორმატორებში ძაბვის რეგულირება ხდება მათი ქსელიდან გამორთვის გარეშე. ამ შემთხვევაში მომხმარებელი ელექტრულ ენერგიას ღებულობს უწყვეტად. გარდა ამისა, ასეთ ტრანსფორმატორებს აქვთ განშტოებების დიდი რიცხვი. ეს საშუალებას იძლევა ავტომატურად ვარეგულიროთ ძაბვა უფრო

დიდ დიაპაზონში და პერსონალის ჩარევის გარეშე. ასეთ გადართვის მოწყობილობას PПН –ს უწოდებენ.

PПН მოწყობილია ისეთნაირად, რომ გრაგნილის ერთი გამომყვანიდან მეორეზე გადართვას თან არ ახლავს დენის წრედის განწყვეტა ან გრაგნილის ხვების დამოკლება. ამისათვის PПН –ს დენის შემზღუდი რეაქტორით ან რეზისტორებით აღჭურვავენ.

3.10.2. რეაქტორიანი PПН –ის სქემა

აღნიშნული სქემა მოყვანილია ნახ. 3.15-ზე. მოწყობილობა შედგება I_1 და I_2 გამომყვანების გადართვის ამომრჩეველის კონტაქტებისაგან, K_1 და K_2 კონტაქტორებისაგან და P რკინის გულარიან კოჭისაგან (რეაქტორისაგან). საწყის მდგომარეობაში ამომრჩეველის კონტაქტები I_1 და I_2 მიერთებული არიან ერთ გამომყვანთან, K_1 და K_2 კონტაქტორები ჩართულია და დენი თანაბრად იყოფა რეაქტორის შტოებს შორის.



ნახ.3.15

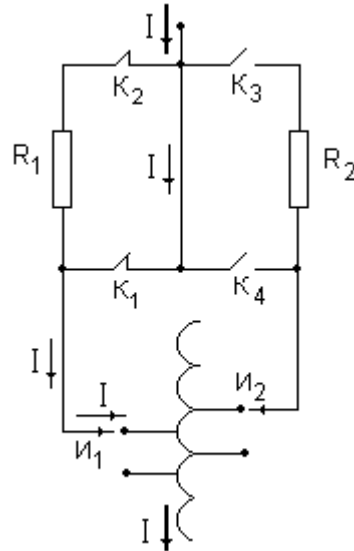
სხვა საფეხურზე გადასვლა ხდება შემდეგი თანმიმდევრობით:

1. ჯერ გამოირთვება K_2 კონტაქტორი, რეაქტორის ერთი შტო წყდება და მუშა დენი მთლიანად გადადის მეორე შტოში I_1 ამომრჩეველის და K_1 კონტაქტორის კონტაქტების გავლით.
2. ამომრჩეველის I_2 კონტაქტი გადადის მეზობელ გამომყვანზე,
3. შემდეგ ჩაირთვება K_2 კონტაქტორი და მუშა დენი ისევ ორ ნაწილად იყოფა. რეაქტორის შტოებში ახლა მუშა დენის გარდა გადის მაცირკულირებელი დენი, რომელიც გამოწვეულია მეზობელ გამომყვანებს შორის ძაბვით.
4. იხსნება K_1 კონტაქტორი,
5. შემდეგ ამომრჩეველის I_1 კონტაქტი გადადის მეზობელ გამომყვანზე, რომელზეც მიერთებულია I_2 .
6. შეიკვრება K_1 და ამით გადართვის პროცესის ერთი ციკლი მთავრდება.

შემზღუდი რეაქტორი და გადართვის ამომრჩეველი მოთავსებულია ტრანსფორმატორის ავზში, ხოლო კონტაქტორები სპეციალურ, მათთვის განკუთვნილ, ავზში. ეს იმისათვის კეთდება, რომ შესაძლებელი იყოს კონტაქტების შემოწმება და მოვლა ექსპლუატაციის დროს. აღწერილი ტიპის PПН-ი ნელმოქმედია, ამიტომ მისი ყველა ელემენტი გათვლილია მასში დიდი ხნის განმავლობაში დენის გავლაზე.

3.10.2. რეზისტორებიანი გადამრთველი მოწყობილობები

ასეთი გადამრთველი მოწყობილობა რეაქტორიან PIH -თან შედარებით უფრო სრულყოფილი არიან. მათ მოქმედების დიდი სისწრაფე ახასიათებს. რეზისტორებიანი გადამრთველი მოწყობილობის სქემა მოცემულია ნახ. 3.16-ზე.



ნახ. 3.16

საწყის მდგომარეობაში K_1 და K_2 კონტაქტები შეკრულია, ხოლო K_3 და K_4 კონტაქტები გამორთული. მუშა დენი გადის I_1 ამომრჩეველის და K_1 კონტაქტორის კონტაქტების გავლით. R_1 რეზისტორი დაშენებულია K_1 კონტაქტორით.

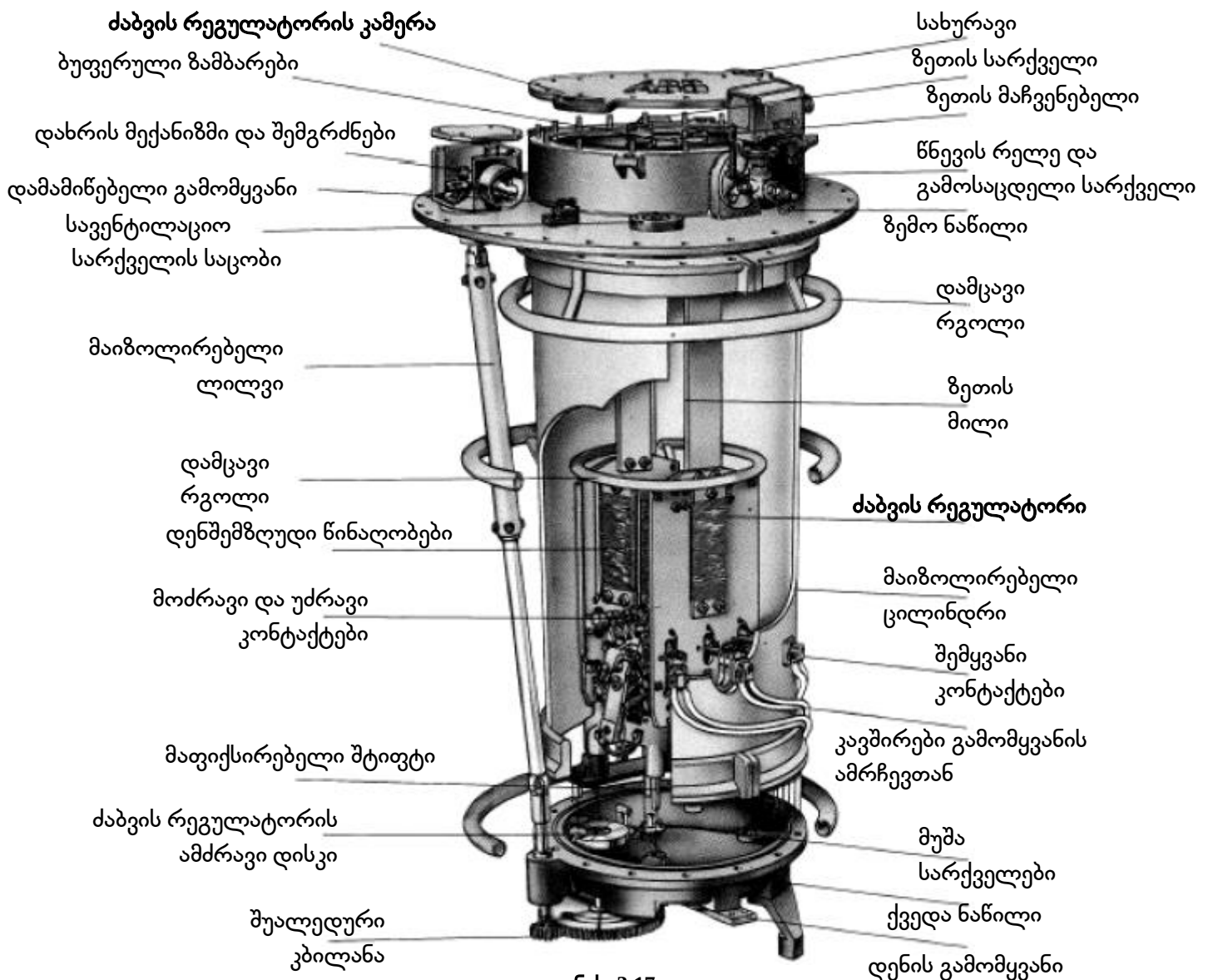
მეზობელ საფეხურზე გადართვა ხდება შემდეგი თანმიმდევრობით:

1. ამომრჩეველის I_2 კონტაქტი გადადის მეზობელ გამომყვანზე, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები.
2. გამოირთვება K_1 კონტაქტორი, რის გამოც მუშა დენი გაივლის R_1 რეზისტორში და K_2 კონტაქტორში.
3. ჩაირთვება K_3 კონტაქტორი და მუშა დენი გაიყოფა ორად და მისი ნახევარი გაივლის R_2 რეზისტორის შტოში. ამავე დროს, ჩნდება მცირე მაცირკულირებელი დენი, რომელიც გამონვეულია მეზობელ გამომყვანებს შორის პოტენციალთა სხვაობის გაჩენით.
4. ამოირთვება K_2 კონტაქტორი და მთელი მუშა დენი გაივლის R_2 რეზისტორში.
5. ჩაირთვება K_4 კონტაქტორი, რომელიც დააშენებს R_2 რეზისტორს. მუშა დენი გაივლის K_4 კონტაქტორის გავლით. ამით გადართვის პროცესი მთავრდება.

რეზისტორებიან გადამრთველ მოწყობილობაში კონტაქტების გახსნისას რკალის ქრობის პირობები უკეთესია რეაქტორიან მოწყობილობებთან შედარებით. კონტაქტებს ათავსებენ ზეთში, ელევგაზურ ან ვაკუუმურ კამერაში.

3.10.3. ვაკუუმურ კამერაში მოთავსებული გადამრთველი მოწყობილობა

ამ მოწყობილობას, ზეთში მოთავსებულ გადამრთველთან შედარებით, გააჩნია ბევრად მაღალი სისწრაფე და უკეთესი გადართვის უნარიანობა. ამასთან, მინიმუმამდეა დაყვანილი კონტაქტების ეროზია. თუმცაღა ასეთი გადამრთველების კონსტრუქცია შედარებით რთულია (ნახ. 3.17). ვაკუუმურ ავზში მოთავსებულია გადამრთველი კონტაქტები. ეს ავზი, თავის მხრივ, მოთავსებულია ზეთის სპეციალურ კამერაში, რომელიც განცალკევებულია ტრანსფორმატორის ზეთისგან, ვინაიდან ამ კამერაში ზეთს უნდა გააჩნდეს უკეთესი დიელექტრიკული თვისებები. აღნიშნულ ზეთის კამერას გააჩნია საკუთარი გამაფართოებელი და გამომტყორცნი სისტემა.

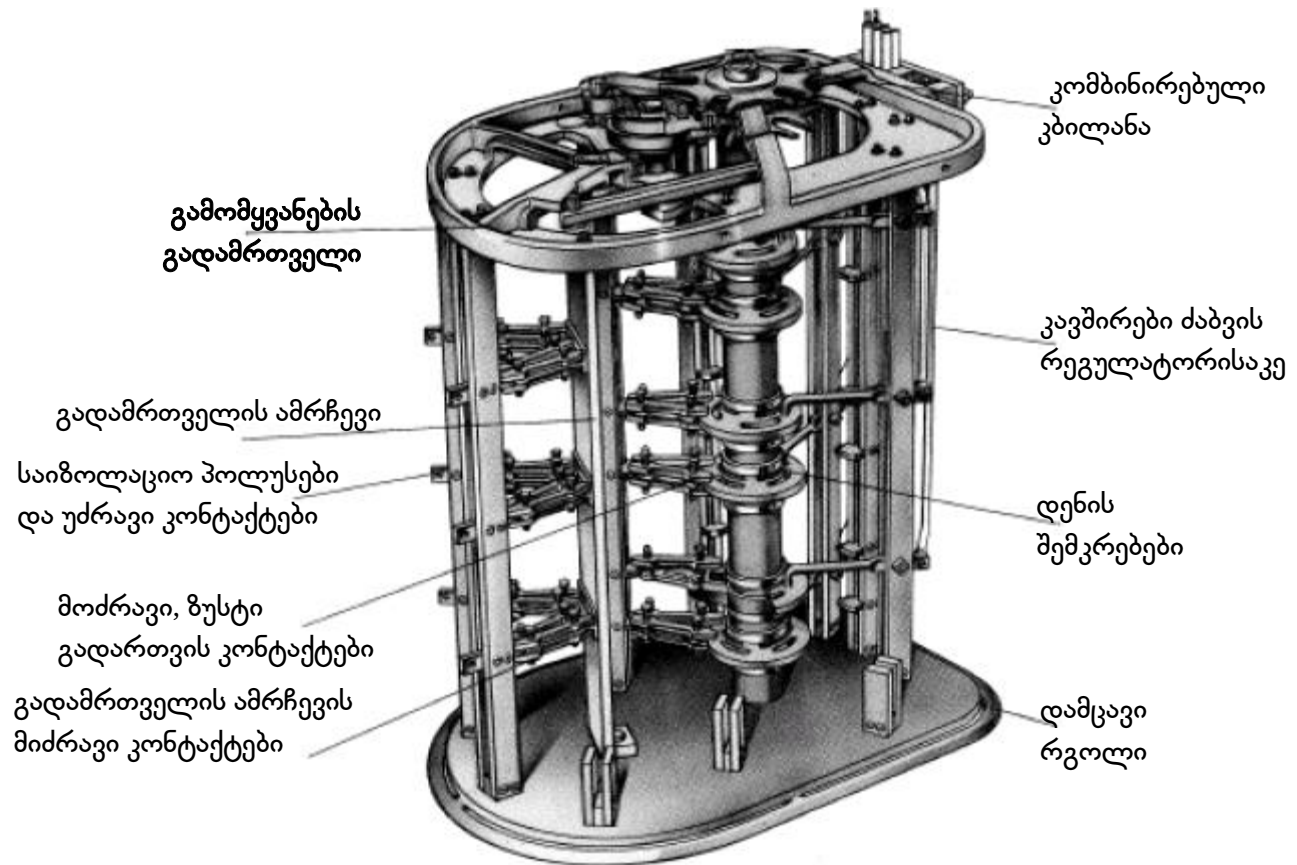


ნახ. 3.17

ძალოვანი ტრანსფორმატორის ძაბვის რეგულატორის კამერა

საკუთრივ, გამომყვანების გადამრთველი მოწყობილობა (პირობითად, ძაბვის რეგულატორი) წარმოადგენს ყუთს ან ცილინდრს, მასში მოთავსებული კონტაქტების წყობით, რომელთანაც მიერთებულია რეგულირებადი გრადიენტის გამომყვანები. ყუთში რეგულირებადი

კონტაქტების ორი მხარი გადაადგილდება ნაბიჯ-ნაბიჯ, რეგულირებადი გრაგნილის გასწვრივ. ორივე მხარი ელექტრულად დაკავშირებულია ძაბვის რეგულატორის შემყვანებთან. ერთი მხარი (როგორც ძაბვის რეგულირების წინა შემთხვევებში) დაიკავებს გამომყვანის ძირითად მდგომარეობას და გაატარებს სრულ ტვირთს, მაშინ როცა მეორე განიტვირთება და თავისუფლად შეეძლება შემდეგ გამომყვანზე გადასვლა. როდესაც თავისუფალი მხარი დაიკავებს სასურველ მდგომარეობას, ტვირთის გატარებას თავის თავზე აიღებს შუნტური წინაღობა.



ნახ. 3.18

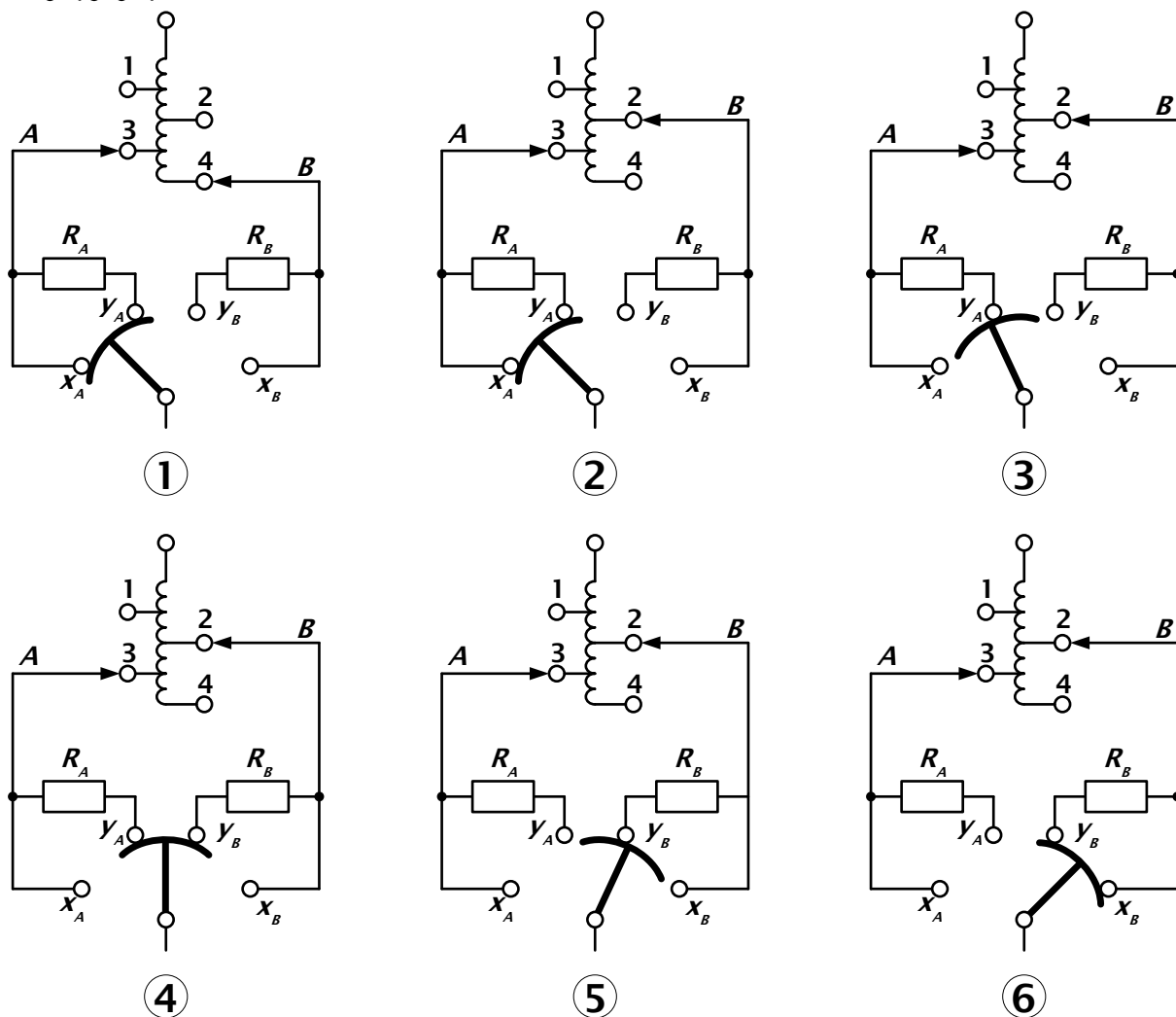
ძალოვანი ტრანსფორმატორის გამომყვანთა გადამრთველის კამერა

აღნიშნული პროცესი პირობითად დაყოფილია 6 პოზიციად (ნახ. 3.19).

1. საწყისი მდგომარეობა - გამომყვანთა გადამრთველის A მხრის კონტაქტი მიერთებულია გრაგნილის 3 გამომყვანზე; ვთქვათ, საჭიროა გრაგნილის 2 გამომყვანზე გადასვლა;
2. ამომრჩეველი B მხარი 4 გამომყვანიდან გადადის 2 გამომყვანზე;
3. "ამობრუნებული ლუზის" ფორმის შუნტური გადამრთველი მობრუნდება თავისი ღერძის გარშემო, მარჯვნივ, წყვეტს კავშირს A მხარის x_A გამომყვანთან. მასთან კავშირში რჩება მხოლოდ y_A გამომყვანი. მაშასადამე, მთელი დენი გადის R_A შუნტური წინაღობის გავლით;
4. შუნტური გადამრთველი კიდევ მოტრიალდება მარჯვნივ და დაიკავებს "ვერტიკალურ" მდგომარეობას. ამუშაოდ იგი უკავშირდება A და B მხრების y_A და y_B გამომყვანებს. ამრიგად, დენი იყოფა R_A და R_B წინააღობებს შორის;

5. შენტური გადამრთველი აგრძელებს იმავე მიმართულებით ბრუნვას, წყვეტს კავშირს A მხარის y_A გამოყვანთან, კავშირში რჩება მხოლოდ y_B გამოყვანი. მაშასადამე მთელი დენი გადის R_B შენტური წინაღობის გავლით;

6. ბოლო მდგომარეობა - შენტური გადამრთველი კვლავ შემობრუნდება მარჯვნივ და იკავებს ისეთ მდგომარეობას, რომ ეხება B მხარის როგორც y_B ასევე x_B გამოყვანებს. ამრიგად სრული დენი გადის "უწინააღმდეგო" გზით x_B და 2 გამოყვანებს შორის. გადართვის პროცესი დასრულებულია.



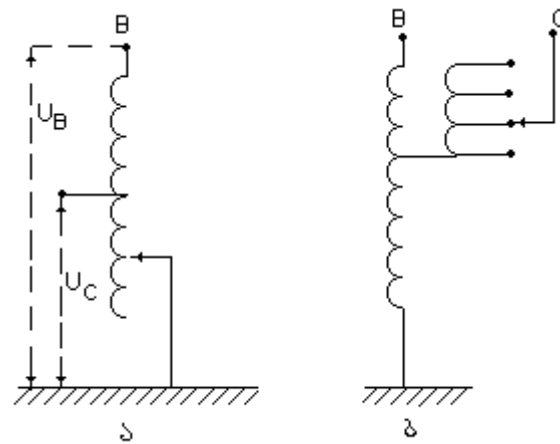
ნახ. 3.19

ძალოვანი ტრანსფორმატორის ძაბვის რეგულირების პროცესი

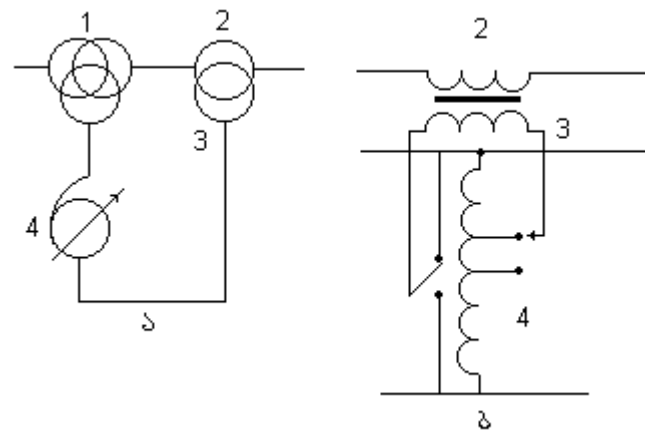
ავტოტრანსფორმატორებში ძაბვის რეგულირებას გარკვეული თავისებურებები და სიძნელეები ახასიათებს. ადრე, ავტოტრანსფორმატორებს ძაბვის სარეგულირო გამოყვანები უკეთდებოდა ნეიტრალის მხარეს. ეს იძლეოდა შემსუბუქებული იზოლაციის მქონე გადამრთველი მოწყობილობის დამზადების საშუალებას. გადამრთველი მოწყობილობა მზადდებოდა ნაკლებ დენზე, ვინაიდან ავტოტრანსფორმატორის საერთო გრაგნილში დენების სხვაობა გადის. გადამრთველის გადართვისას ერთდროულად იცვლებოდა მაღალი და საშუალო ძაბვის გრაგნილების ხვიათა რიცხვი. ამას თან სდევდა გულარაში ინდუქციის მკვეთრი ცვლილება და დაბალი ძაბვის გრაგნილის ძაბვის ცვალებადობა საწინააღმდეგო მხარეს. ამ ნაკლის გამოსასწორებლად გადამრთველი მოწყობილობა გადატანილი იქნა ავტოტრანსფორმატორის

მიმდევრობით გრაგნილში ან იგი მიერთებული იქნა საშუალო ძაბვის გრაგნილის ხაზურ გამოყვანებთან, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ. 3.20-ზე.

მძლავრ ტრანსფორმატორებზე და ავტოტრანსფორმატორებზე დატვირთვის ქვეშ ძაბვის სარეგულირებლად გამოიყენებენ აგრეთვე სარეგულირებელ მიმდევრობით ტრანსფორმატორებს (იმ შემთხვევაში, თუ ტრანსფორმატორს PTH არ გააჩნია), ნახ. 3.21.



ნახ. 3.20



ნახ. 3.21

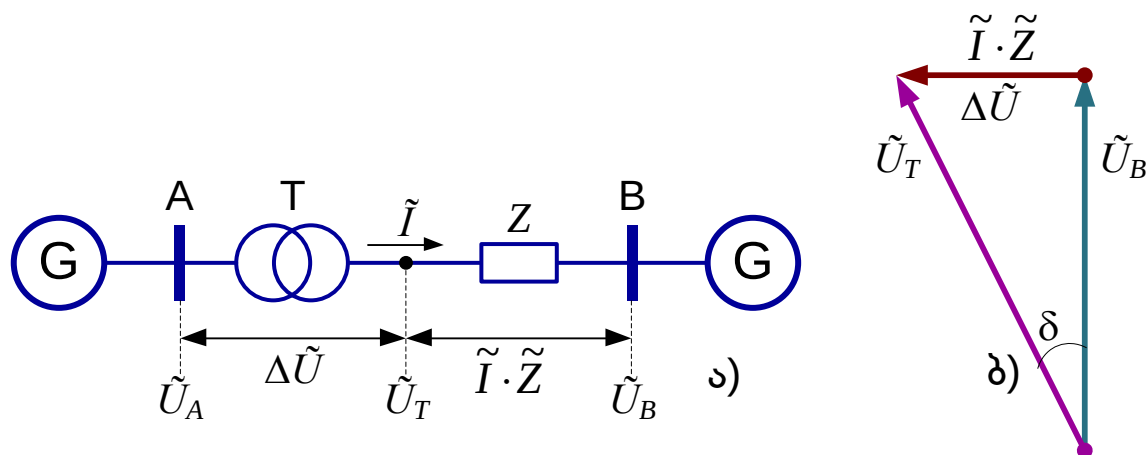
მიმდევრობით ტრანსფორმატორს ორი გრაგნილი აქვს. 2 მიმდევრობითი გრაგნილი, რომელიც ტრანსფორმატორის 1 მაღალი ან საშუალო ძაბვის გრაგნილთან მიმდევრობით ირთვება და 3 ავზნების გრაგნილი, რომელიც კვებას იღებს ტრანსფორმატორის დაბალი ძაბვის გრაგნილიდან. მიმდევრობითი ტრანსფორმატორის მიმდევრობით გრაგნილს დამატებითი ემ ძალა შეჰყავს იმ ქსელში, რომელშიც ის არის ჩართული. ამ ემ ძალის სიდიდისა და მიმართულების შეცვლა 4 ავტოტრანსფორმატორის მეშვეობით იძლევა საშუალებას ვარეგულიროთ ძაბვა ქსელში.

3.11. ფაზადამძვრელი ტრანსფორმატორი

ზოგადი ცნობები. ფაზადამძვრელი ტრანსფორმატორი არის ტრანსფორმატორის განსაკუთრებული ტიპი, რომელისაც შეუძლია არა მხოლოდ ძაბვის ტრანსფორმირება, არამედ მისი კუთხის ცვლილებაც. ის გამოიყენება ორი ძირითადი ფუნქციის შესასრულებლად:

1. ორ დიდ ენერგოსისტემას შორის სიმძლავრის გადაღების რეგულირება (ნახ. 3.22);
2. ორი ენერგოსისტემის დამაკავშირებელ პარალელურ ხაზებზე გადაღების რეგულირება, როდესაც ამ ხაზებს გააჩნიათ მნიშვნელოვნად განსხვავებული სიდიდის წინაღობები, (ნახ. 3.23).

მოქმედების პრინციპი. ახლა ვნახოთ როგორ ასრულებს თავის ფუნქციებს ფაზადამძვრელი ტრანსფორმატორი.



ნახ. 3.22

1. ვთქვათ, მძლავრი A და B სისტემები ერთმანეთთან დაკავშირებულნი არიან Z წინაღობის მექონე ხაზით (ნახ. 3.22-ა). A-დან B სისტემაში სიმძლავრის გადასაცემად, Z წინაღობის მარჯვნივ არსებული ძაბვა კუთხით უნდა წინ უსწრებდეს Z წინაღობის მარჯვნივ არსებულ ძაბვას (ნახ. 3.22-ბ). სიმარტივისათვის ამ წინაღობის აქტიური ნაწილი და ტრანსფორმატორის წინაღობა უგულებელვყოთ, ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი და B სისტემასთან სიმძლავრის კოეფიციენტი 1-ის ტოლად მივიჩნიოთ. ამ შემთხვევაში Z წინაღობის მიმდევრობით „ჩაჯდება“ $\Delta \tilde{U}$. იგი წარმოადგენს ვექტორულ სხვაობას ფაზადამძვრელი ტრანსფორმატორის გამოსავალი ძაბვის $\tilde{U}_T$ ვექტორსა და A სისტემის ძაბვის $\tilde{U}_A$ ვექტორს შორის (ნახ. 3.23 ა,ბ), ანუ

$$\Delta \tilde{U} = \tilde{U}_T - \tilde{U}_A \quad (3.13)$$

მეორეს მხრივ, Z წინაღობაში $\tilde{I} \cdot \tilde{Z}$ ძაბვის ვარდნა შეიძლება წარმოდგენილი იქნას, როგორც $\tilde{U}_T$ ვექტორსა და B სისტემის ძაბვის $\tilde{U}_B$ ვექტორების სხვაობა:

$$\tilde{I} \cdot \tilde{Z} = \tilde{U}_T - \tilde{U}_B \quad (3.14)$$

ჩვეულებრივ, ცდილობენ რომ A და B სისტემების ძაბვები ერთმანეთთან მიახლოებული იყოს, როგორც სიდიდით, ასევე კუთხით, ანუ:

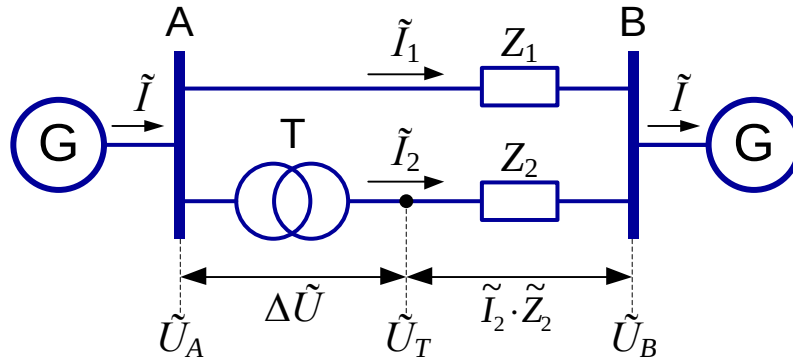
$$\tilde{U}_A \approx \tilde{U}_B \quad (3.15)$$

ამიტომ, თუკი (3.13)-ს გამოვაკლებთ (3.14)-ს და გავითვალისწინებთ (3.15)-ს, მივიღებთ:

$$\Delta \tilde{U} = \tilde{I} \cdot \tilde{Z} \quad (3.16)$$

ნახ. 3.22-ბ-ზე ჩანს რომ, რაც უფრო დიდია მოდულების სხვაობა და კუთხური ძეგრა $\tilde{U}_T$ და $\tilde{U}_B$ ვექტორებს შორის, მით უფრო დიდია ვექტორი $\Delta\tilde{U} = \tilde{I} \cdot \tilde{Z}$. ვინაიდან ხაზის წინალობა Z მუდმივი სიდიდისაა, ამიტომ $\Delta\tilde{U}$ -ს ზრდით გაიზრდება სისტემებს შორის გადადინების $\tilde{I}$ დენი და პირიქით. ამრიგად, ფაზადამძვრელი ტრანსფორმატორის გამოსავალი ძაბვის $\tilde{U}_T$ სიდიდისა და კუთხის რეგულირებით ანუ $\Delta\tilde{U}$ -ს ცვლილებით მიიღწევა ორ სისტემას შორის დენის და შესაბამისად სიმძლავრის გადადინების რეგულირება.

2. ახლა, ვთქვათ, გაქვს ორი A და B ენერგოსისტემა, რომლებიც დაკავშირებული არიან ერთმანეთთან ორი, Z_1 და Z_2 წინალობის მექნე, ($Z_2 > Z_1$) გადაცემის ხაზებით (ნახ. 3.23).



ნახ. 3.23

A-დან B სისტემაში გადის S სიდიდის სრული სიმძლავრე, რომელიც იწვევს დენს

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} \quad (3.17)$$

ეს დენი შტოებს შორის ნაწილდება (იყოფა) მათი წინალობების უკუპროპორციულად, ანუ:

$$I = I_1 + I_2, \text{ და} \quad (3.18)$$

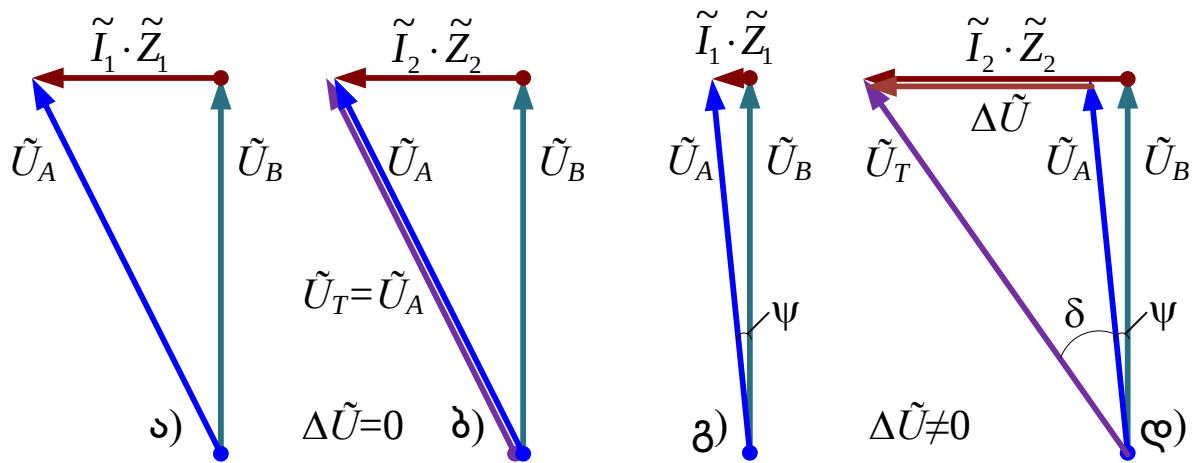
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (3.19)$$

ხშირად Z_1 და Z_2 წინალობების სიდიდეები მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან, რაც იწვევს დენების არათანაბარ განაწილებას შესაბამის შტოებს შორის. ეს კი არასასურველია, ვინაიდან ერთი შტო შეიძლება გადატვირთული აღმოჩნდეს, როდესაც მეორე თითქმის დაუტვირთავი იქნება. ასეთ შემთხვევაში, ანუ ფაზადამძვრელი ტრანსფორმატორის არ მუშაობისას, ძაბვების ვექტორულ დიაგრამებს გადაცემის ხაზებისთვის აქვთ ნახ. 3.24-ა,ბ-ზე ($\Delta U = 0$) ნაჩვენები სახე.

ძაბვის ვარდნები პარალელურ ხაზებში ერთნაირი იქნება:

$$\tilde{I}_1 \tilde{Z}_1 = \tilde{I}_2 \tilde{Z}_2 \quad (3.20)$$

და იდენტური იქნება ამ ხაზებისთვის ძაბვების ვექტორული დიაგრამები (ნახ. 3.24-ა,ბ). აქვე აღსანიშნავია, რომ ფაზადამძვრელი ტრანსფორმატორის გამოსავალი ძაბვის ვექტორი $\tilde{U}_T$ დაემთხვევა A-სისტემის ძაბვის ვექტორს (ნახ. 3.24-ბ).



ნახ. 3.24

ახლა, ვთქვათ, დენების თანაბრად გადანაწილების მიზნით, ხაზში 2 არსებულ ფაზადამძვრელ ტრანსფორმატორზე ვღებულობთ $\tilde{U}_T$ ძაბვას, რომელიც სიდიდით აღემატება $\tilde{U}_A$ ვექტორს და δ კუთხით უსწრებს მას წინ. როგორც ნახ. 3.24-დან ჩანს, $\Delta U = 0$ შემთხვევასთან შედარებით ხაზში 2 ძაბვის ვარდნა $\tilde{I}_2 \tilde{Z}_2$ მნიშვნელოვნადაა გაზრდილი. იმდენად რამდენადაც $\tilde{Z}_2$ მუდმივია, ამიტომ ამ ზრდამ გამოიწვია $\tilde{I}_2$ დენის გაზრდა. ეს კი $\tilde{I}_1$ დენის შემცირებას გამოიწვევს. ვინაიდან სასურველია შტოებში დენების თანაბარი გადანაწილება, ამიტომ $\tilde{U}_T$ -ს იღებენ ისეთს, რომ შესრულდეს ტოლობა:

$$\tilde{I}_1 = \tilde{I}_2 = \frac{\tilde{I}}{2} \quad (3.21)$$

რადგანაც შტოების დენები ერთნაირი სიდიდისაა, ხოლო წინააღობები - განსხვავებული ($Z_2 > Z_1$), ამიტომ (3.20) პირობა აღარ შესრულდება და ძაბვების ვექტორულ დიაგრამებს გადაცემის ხაზებისთვის ექნებათ ნახ. 3.24 - ის მარჯვენა ნაწილში ($\Delta U \neq 0$) ნაჩვენები სახე. სადაც აშკარაა, რომ

$$\tilde{I}_1 \tilde{Z}_1 < \tilde{I}_2 \tilde{Z}_2 \quad (3.22)$$

ამასთან, $\tilde{I}_1 \tilde{Z}_1$ -ის შემცირებამ გამოიწვია $\tilde{U}_A$ და $\tilde{U}_B$ ვექტორებს შორის სიდიდით და კუთხით განსხვავების შემცირება. ანუ A და B სისტემების ძაბვები ერთმანეთს „მოუახლოვდნენ“.

მაშასადამე, ორი სისტემის დამაკავშირებელი ერთ-ერთი პარალელური ხაზის მიმდევრობით დამონტაჟებული ფაზადამძვრელი ტრანსფორმატორის გამოსავალი ძაბვის რეგულირებით შესაძლებელია პარალელურ ხაზებში გამავალი დენებისა და შესაბამისად სიმძლავრების გათანაბრება ან სასურველი განაწილება.

ამრიგად, იმისათვის, რომ ფაზადამძვრელმა ტრანსფორმატორმა განახორციელოს ΔU -ს შეყვანა, მისი მეორეული ძაბვა U_T უნდა აღემატებოდეს მისსავე პირველად ძაბვას U_A და მას უნდა უსწრებდეს წინ δ კუთხით. თუ Z_1 დიდია ვიდრე Z_2 , მაშინ ΔU -ს უნდა საპირისპირო მიმართულება, რათა I_1 არ გახდეს სასურველზე დიდი.

აღსანიშნავია, რომ სიმძლავრის კოეფიციენტსაც $\cos \varphi$ გააჩნია გავლენა საჭირო ძვრის კუთხეზე.

თუკი გავითვალისწინებთ ფაზადამძვრელი ტრანსფორმატორის წინააღმდეგობასაც, იგი დაემატება გადაცემის შტოს წინააღმდეგობას და შესაძლებელი იქნება კუთხის დიდ ფარგლებში ცვლილება.

აღსანიშნავია, რომ ფაზადამძვრელ ტრანსფორმატორს შეუძლია გავლენა მოახდინოს როგორც აქტიური, ასევე რეაქტიული სიმძლავრის გადადინებაზე ენერგოსისტემებს შორის ან ამ სისტემების დამაკავშირებელ შტოებს შორის.

მაგალითი 3.2

დავუშვათ, გვაქვს ნახ. 3.23-ზე მოცემული A და B სისტემები, რომლებიც ერთმანეთს უკავშირდებიან ორი, შესაბამისად $Z_1 = 25$ ომი და $Z_2 = 50$ ომი წინააღმდეგობების მექონე პარალელური ხაზებით. გადაცემის ხაზების ნომინალური ძაბვაა 500 კვ, ხოლო A-დან B სისტემაში გადასაცემი ჯამური სიმძლავრე შეადგენს 1000 მგვა-ს. ნახ. 3.23-ის მსგავსად ჩავთვალოთ, რომ ძირითადი ძაბვის ვექტორია $\vec{U}_B = 500$ კვ. (ა) ფაზადამძვრელი ტრანსფორმატორის გაუთვალისწინებლად და (ბ) დენების თანაბრად განაწილების მიზნით მისი მოქმედების გათვალისწინების შემთხვევაში ვიპოვოთ (1) გადასაცემი დენის სიდიდე და მისი გადანაწილება ხაზებზე, (2) ძაბვის ვარდნები ხაზების წინააღმდეგობებზე, (3) A სისტემისა და ფაზადამძვრელი ტრანსფორმატორის ძაბვების ვექტორების სიდიდეები და კუთხეები.

ამოხსნა

სრული დენი

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{1000 \text{ მგვა}}{500\sqrt{3} \text{ კვ}} \approx 1.1547 \text{ კა}$$

(ა) ფაზადამძვრელი ტრანსფორმატორის არარსებობის დენები ხაზებში ნაწილდება შემდეგნაირად:

$$I_1 + I_2 = I = 1.1547 \text{ კა}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{50 \text{ ომი}}{25 \text{ ომი}}$$

ამ განტოლების ამოხსნის შედეგად ვღებულობთ:

$$I_1 = 0.7698 \text{ კა და } I_2 = 0.3849 \text{ კა}$$

2. ძაბვის ვარდნები ხაზების წინააღმდეგობებზე:

$$I_1 Z_1 = I_2 Z_2 = 0.7698 \text{ კა} \times 25 \text{ ომი} = 19.25 \text{ კვ}$$

3. ფაზადამძვრელი ტრანსფორმატორის ვექტორი ემთხვევა A სისტემის ძაბვის ვექტორს, რომლის სიდიდეა:

$$U_A = \sqrt{U_B^2 + (I_1 Z_1)^2} = \sqrt{500^2 + 19.25^2} = 500.37 \text{ კვ}$$

ხოლო კუთხე A და B სისტემების ძაბვებს შორის:

$$\psi = \arccos \frac{U_B}{U_A} = \arccos \frac{500}{500.37} = 2.2^\circ$$

ამ ვექტორს ზუსტად ემთხვევა ფაზადამქვრელი ტრანსფორმატორის ვექტორი, ამიტომ

$$U_T = U_A = 500.32 \text{ კვ}, \text{ და} \\ \delta = 0^0$$

(ბ) ფაზადამქვრელი ტრანსფორმატორის არსებობისას

1. დენები შტოებში:

$$I_1 = I_2 = \frac{I}{2} = \frac{1.1547}{2} = 0.5774 \text{ კა}$$

2. ძაბვის ვარდნები ხაზების წინააღობებზე:

$$I_1 Z_1 = 0.5774 \text{ კა} \times 25 \text{ ომი} = 14.44 \text{ კვ}$$

$$I_2 Z_2 = 0.5774 \text{ კა} \times 50 \text{ ომი} = 28.87 \text{ კვ}$$

3. A სისტემის ძაბვის ვექტორის სიდიდე

$$U_A = \sqrt{U_B^2 + (I_1 Z_1)^2} = \sqrt{500^2 + 14.44^2} = 500.21 \text{ კვ}$$

კუთხე A და B სისტემების ძაბვებს შორის:

$$\psi = \arccos \frac{U_B}{U_A} = \arccos \frac{500}{500.21} = 1.66^0$$

ფაზადამქვრელი ტრანსფორმატორის ძაბვის ვექტორის სიდიდე:

$$U_T = \sqrt{U_B^2 + (I_2 Z_2)^2} = \sqrt{500^2 + 28.87^2} = 500.83 \text{ კვ}$$

კუთხე B სისტემისა და ფაზადამქვრელი ტრანსფორმატორის ძაბვების ვექტორებს შორის:

$$\alpha = \arccos \frac{U_B}{U_T} = \arccos \frac{500}{500.83} = 3.3^0$$

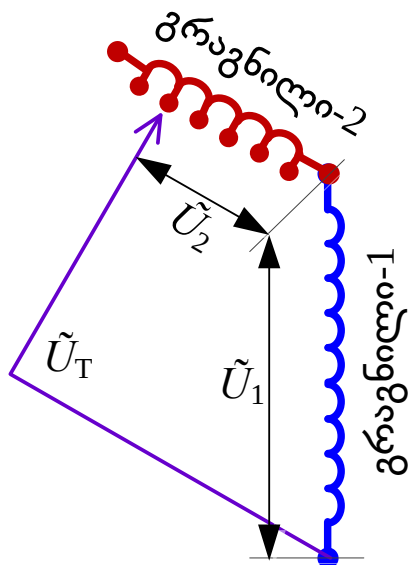
კუთხე A სისტემისა და ფაზადამქვრელი ტრანსფორმატორის ძაბვების ვექტორებს შორის:

$$\delta = \alpha - \psi = 3.3 - 1.66 = 1.64^0$$

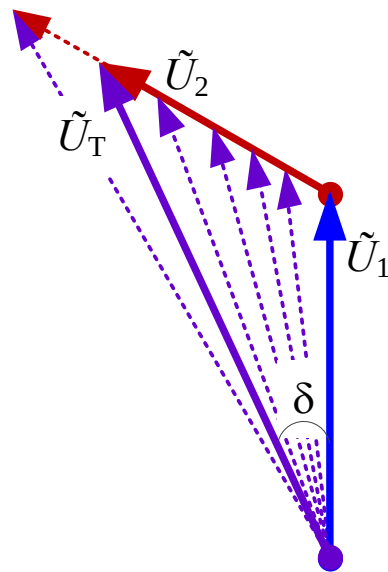
შესრულება. ფაზადამქვრელი ტრანსფორმატორის პირველად და მეორეულ ძაბვებს შორის ფაზური კუთხის ძვრის შესაქმნელად საჭიროა სამფაზა ტრანსფორმატორის ერთ სხივზე განლაგებული გრაგნილი მიმდევრობით იქნას ჩართული სხვა ერთ ან მეტ სხივზე განლაგებულ გრაგნილ(ებ)თან. ნახ. 3.25-ზე მოცემულია სქემა, სადაც ფაზადამქვრელი ტრანსფორმატორის ერთ ფაზაში ჩართულია ორი გრაგნილი. თუ ჩავთვლით, რომ დაინდუქტირებული ძაბვები გრაგნილების გასწვრივაა მიმართული, მაშინ გრაგნლში 1 დაინდუქტირდება ძვრის კუთხის არმქონე $\tilde{U}_1$ ძაბვა, ხოლო გრაგნილში 2 – $\tilde{U}_2$ ძაბვა, რომელიც მიმართულია ამ გრაგნილის გასწვრივ. თუკი გრაგნილი 2-ის გამოყვანების გასწვრივ გადაადგილდება ძაბვის რეგულატორის კონტაქტები, მაშინ ფაზადამქვრელი ტრანსფორმატორის გამოყვანის ძაბვის ვექტორი ტოლი იქნება 1 და 2 გრაგნილების ძაბვების ვექტორების ჯამისა:

$$\tilde{U}_T = \tilde{U}_1 + \tilde{U}_2 \quad (3.23)$$

და როგორც ვექტორული დიაგრამიდან ჩანს, რაც უფრო დიდი იქნება გრაგნილი 2-ის ძაბვა $\tilde{U}_2$, მით მეტი იქნება გამოსავალი ძაბვის სიდიდე $\tilde{U}_T$ და ძვრის კუთხე δ .



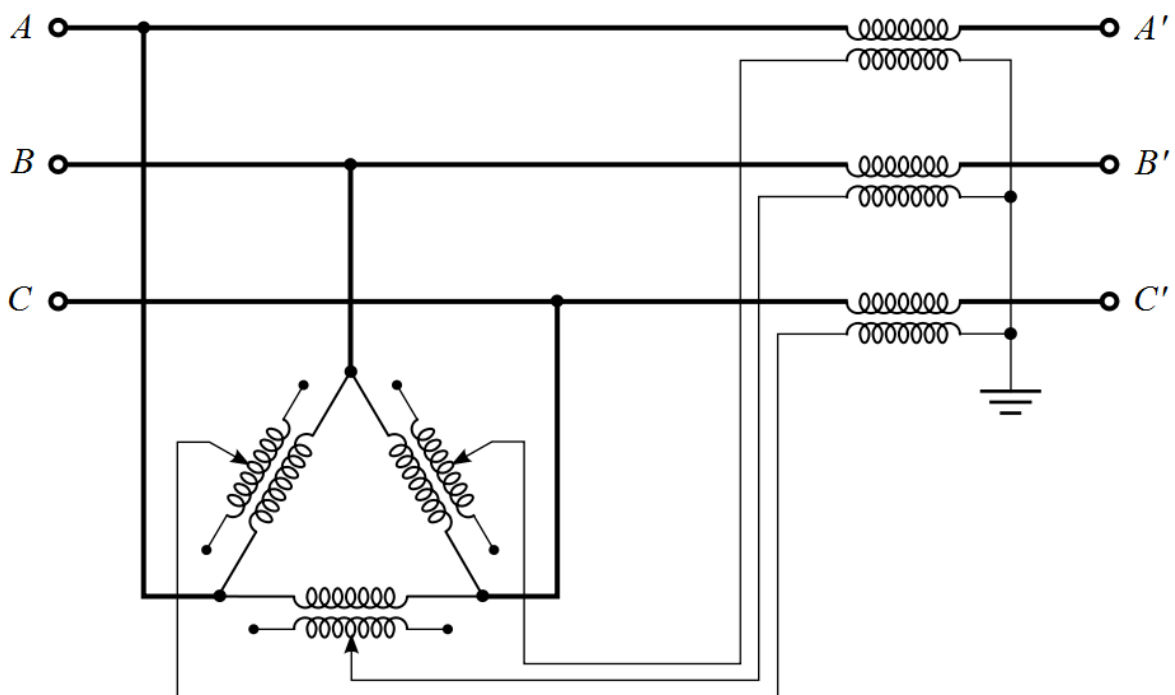
გრავნილების შეერთების სქემა



ვექტორული დიაგრამა

ნახ. 3.25.

ვოლტსამატი ტრანსფორმატორი



შუნტური ტრანსფორმატორი

ნახ. 3.26

ფაზადამქვრელი ტრანსფორმატორის შესრულების ერთ-ერთი ვარიანტი მოცემულია ნახ. 3.26-ზე. იგი შეიძლება პირობითად დაყოფილი იქნას ორ - ვოლტსამატ და შუნტურ -

ტრანსფორმატორებად. ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილი უშუალოდ გადაცემის ხაზის მიმდევრობით არის ჩართული. მეორეული გრაგნილი ორი ნაწილისგან შედგება. ერთი მათგანი, რომელიც ვოლტსამატ ტრანსფორმატორს ეკუთვნის, შეერთებულია ვარსკვლავად, მეორე ნაწილი კი, რომელიც შუნტურ ტრანსფორმატორს ეკუთვნის, შეერთებულია სამკუთხედად. ასევე სამკუთხედადაა შეერთებული შუნტური ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილიც.

ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის ძაბვის სიდიდისა და კუთხის ცვლილება შესაძლებელია შუნტური ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილის გამომყვანების გადაადგილებით.

3.12. ტრანსფორმატორებისა და ავტოტრანსფორმატორების პარამეტრები და საანგარიშო სქემები

ძალოვანი ტრანსფორმატორების ძირითად პარამეტრებს მიეკუთვნებიან სრული სიმძლავრე S , მაღალი, საშუალო (სამგრაგნილა ტრანსფორმატორისთვის) და დაბალი ძაბვები შესაბამისად $U_{\text{ზ}}$, $U_{\text{ს}}$ და $U_{\text{დ}}$, მოკლე შერთვის ძაბვა $U_{\text{შ}} \%$, , უქმი სვლის დენი $I_{\text{უქ}}$, უქმი სვლის დანაკარგები $\Delta P_{\text{უქ}}$ და მოკლე შერთვის დანაკარგები $\Delta P_{\text{შ}}$. თუ ეს პარამეტრები მიეკუთვნებიან პირობებს, რომლებიც სახელმწიფო სტანდარტებით არის განსაზღვრული, მაშინ მათ ნომინალურს უწოდებენ.

ორგრაგნილა სამფაზა ტრანსფორმატორებისათვის S სრული სიმძლავრე განისაზღვრება ფორმულით

$$S = \sqrt{3} U_{\text{ფ}} I_{\text{ფ}} = \sqrt{3} U_{\text{დ}} I_{\text{დ}} \quad (3.24)$$

ტრანსფორმატორის ნომინალურ სიმძლავრეს უწოდებენ ქარხნის პასპორტში მოცემულ სრულ სიმძლავრეს, რომლითაც შეიძლება დაიტვირთოს ტრანსფორმატორი ხანგრძლივი დროის განმავლობაში, თუ ტრანსფორმატორის გაცივების პირობები, სიხშირე და ძაბვა ნომინალურია.

ტრანსფორმატორის გრაგნილების ნომინალური ძაბვა არის პირველადი და მეორეული გრაგნილების ძაბვა უქმი სვლის დროს. სამფაზა ტრანსფორმატორებისათვის ეს ხაზური ძაბვაა, ხოლო ცალფაზა ტრანსფორმატორებისათვის, რომლებიც განკუთვნილნი არიან სამფაზა ჯგუფში ჩასართველად - $U_{\text{ბ.ა.ზ}} / \sqrt{3}$

ტრანსფორმატორის ნომინალურ დენებს უწოდებენ ტრანსფორმატორის პასპორტში გრაგნილებისათვის მითითებულ დენებს.

მოკლე შერთვის ძაბვა $U_{\text{შ}}$ ეს ის ძაბვაა, რომლის მიყვანისას ტრანსფორმატორის ერთ-ერთ გრაგნილთან, მისი მეორე გრაგნილის მოკლედ შერთვისას, მასში გაივლის ნომინალურის ტოლი დენი. მოკლე შერთვის ძაბვა განსაზღვრავს ძაბვის ვარდნას

ტრანსფორმატორში და მისი სიდიდე ახასიათებს ტრანსფორმატორის გრაგნილების სრულ წინაღობას Z_{Σ} .

$$U_{\text{გშ}} = \frac{I_{\text{ნომ}} Z_{\Sigma}}{U_{\text{ნომ}} / \sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3} I_{\text{ნომ}} U_{\text{ნომ}} Z_{\Sigma}}{U_{\text{ნომ}}^2} = \frac{S_{\text{ნომ}} Z_{\Sigma}}{U_{\text{ნომ}}^2} \quad (3.25)$$

ჩვეულებრივ, მოკლე შერთვის დაზვას ნომინალური დაზვის პროცენტებში გამოხატავენ

$$U_{\text{გშ}} \% = \frac{U_{\text{გშ}}}{U_{\text{ნომ}}} \cdot 100\% \quad (3.26)$$

მოკლე შერთვის დაზვის საშუალებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ მოკლე შერთვისას ტრანსფორმატორში სრული სიმძლავრის დანაკარგები:

$$\Delta S_{\text{გ.შ.}} = \sqrt{3} U_{\text{გ.შ.}} \cdot I_{\text{ნომ}} = S_{\text{ნომ}} \frac{U_{\text{გ.შ.}} \%}{100\%} \quad (3.27)$$

მოკლე შერთვის დანაკარგები შედგება სპილენძში დანაკარგებისაგან, ე.ი. გრაგნილებში დანაკარგებისაგან მათში დენის გავლის დროს. ამ დანაკარგების შესამცირებლად გრაგნილებს ამზადებენ მრავალძარღვა სადენებისაგან, ხოლო კორპუსის კედლებს მაგნიტური შენტებით ეკრანირებას უკეთებენ.

$\Delta S_{\text{გ.შ.}}$ შეიცავს როგორც აქტიური ასევე რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგებს:

$$\Delta S_{\text{გ.შ.}} = \sqrt{\Delta P_{\text{გ.შ.}}^2 + \Delta Q_{\text{გ.შ.}}^2}$$

1 მგვა და უფრო მძლავრი ტრანსფორმატორებისათვის $\Delta P_{\text{გ.შ.}} \ll \Delta Q_{\text{გ.შ.}}$, ამიტომ (3.27) შეიძლება გადანერილი იქნას შემდეგნაირად:

$$\Delta Q_{\text{გ.შ.}} = \sqrt{3} U_{\text{გ.შ.}} \cdot I_{\text{ნომ}} = S_{\text{ნომ}} \frac{U_{\text{გ.შ.}} \%}{100\%} \quad (3.28)$$

უქმი სვლის დენი $I_{\text{უ.ს.}}$, ახასიათებს აქტიურ და რეაქტიულ დანაკარგებს ტრანსფორმატორის გულარაში. მისი სიდიდე დამოკიდებულია გულარის ფოლადის მაგნიტურ თვისებებზე, გულარის აკრეფის ხარისხზე, მის კონსტრუქციაზე და მასში მაგნიტურ ინდუქციაზე. უქმი სვლის დენი განისაზღვრება ტრანსფორმატორის ნომინალური დენის პროცენტებში.

$$I_{\text{უ.ს.}} \% = \frac{I_{\text{უ.ს.}}}{I_{\text{ნომ}}} \cdot 100\% \quad (3.29)$$

ტრანსფორმატორების სიმძლავრისა და დაზვის ზრდისას უქმი სვლის დენის ფარდობითი სიდიდე მცირდება.

უქმი სვლის დენის საშუალებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ ტრანსფორმატორში უქმი სვლის სრული სიმძლავრის დანაკარგები:

$$\Delta S_{\text{უ.ს.}} = \sqrt{3} U_{\text{ნომ}} \cdot I_{\text{უ.ს.}} = S_{\text{ნომ}} \frac{I_{\text{უ.ს.}} \%}{100\%} \quad (3.30)$$

უქმი სვლის დანაკარგები შედგება გულარის ფოლადის გადამაგნიტების დანაკარგებისა და გრიგალური დენებით გამოწვეული დანაკარგებისაგან. უქმი სვლის დანაკარგების შესამცირებლად გულარას აწყობენ ელექტროტექნიკური ფოლადის თხელი ფირფიტებისაგან, რომელთა სისქე 0.35 მმ-ს არ აღემატება. უქმი სვლის და მოკლედ შერთვის დანაკარგები ტრანსფორმატორის პასპორტში მოცემულია უშუალოდ კილოვატებით.

$\Delta S_{\text{უ.ს.}}$ შეიცავს როგორც აქტიურ, ასევე რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგებს:

$$\Delta S_{\text{უ.ბ.}} = \sqrt{\Delta P_{\text{უ.ბ.}}^2 + \Delta Q_{\text{უ.ბ.}}^2}$$

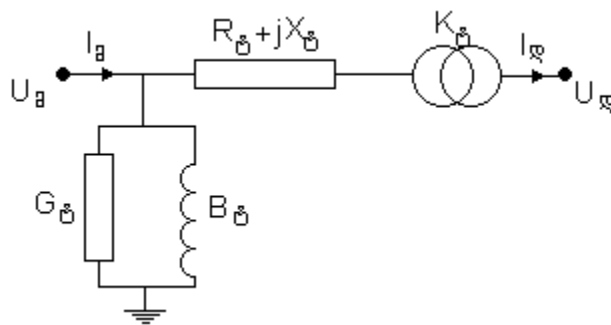
1 მგვა და უფრო მძლავრი ტრანსფორმატორებისათვის $\Delta P_{\text{უ.ბ.}} \ll \Delta Q_{\text{უ.ბ.}}$, ამიტომ (3.30) შეიძლება გადაწერილი იქნას შემდეგნაირად:

$$\Delta Q_{\text{უ.ბ.}} = \sqrt{3} U_{\text{ნომ}} \cdot I_{\text{უ.ბ.}} = S_{\text{ნომ}} \frac{I_{\text{უ.ბ.}} \%}{100\%} \quad (3.31)$$

ორგრაგნილა ტრანსფორმატორების საანგარიშო მათემატიკური მოდელი შეიძლება წარმოვადგინოთ I -სებრი ჩანაცვლების სქემის სახით (ნახ. 3.27), რომლის გრძივი ნაწილი შეიცავს აქტიურ R_{δ} და რეაქტიულ X_{δ} წინაღობებს, ხოლო განივი ნაწილი კი აქტიურ G_{δ} და რეაქტიულ B_{δ} გამტარობებს, მიყვანილს მაღალი ნომინალური ძაბვის საფეხურზე.

ტრანსფორმატორის განივი გამტარობები შეგვიძლია განვსაზღვროთ უქმი სვლისას ტრანსფორმატორში აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგებით.

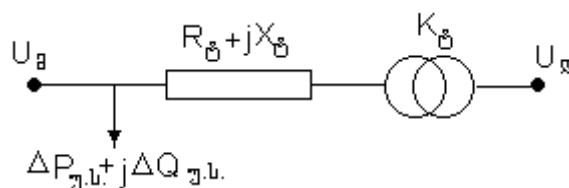
$$G_{\delta} = \Delta P_{\text{უ.ბ.}} / U_{\text{ნომ}}^2 \quad \text{და} \quad B_{\delta} = \Delta Q_{\text{უ.ბ.}} / U_{\text{ნომ}}^2 \quad (3.32)$$



ნახ. 3.27

ორგრაგნილა ტრანსფორმატორის ჩანაცვლების საანგარიშო სქემა

ტრანსფორმატორის ჩანაცვლების სქემა. ტრანსფორმატორის ფოლადში სიმძლავრის დანაკარგები არ არის დამოკიდებული დატვირთვის დენზე (სიმძლავრეზე). იგი ძირითადად განისაზღვრება მუშა ძაბვის მნიშვნელობით და განიხილება როგორც მუდმივი სიდიდე. აქედან გამომდინარე, ორგრაგნილა ტრანსფორმატორების ჩანაცვლების საანგარიშო სქემა შეიძლება გავამარტივოთ, სადაც განივი გამტარობის ნაცვლად, ვუჩვენებთ ტრანსფორმატორის ფოლადში სიმძლავრის დანაკარგებს (ნახ. 3.28).



ნახ. 3.28

ორგრაგნილა ტრანსფორმატორის ჩანაცვლების გამარტივებული საანგარიშო სქემა

ტრანსფორმატორის აქტიური წინაღობა, რომელიც წარმოადგენს მაღალი ძაბვის გრაგნილისა და მაღალი ძაბვის საფეხურზე მიყვანილი დაბალი ძაბვის გრაგნილის წინაღობათა ჯამს, განისაზღვრება ტრანსფორმატორის მოკლე შერთვის სიმძლავრის მიხედვით

$$\Delta P_{\text{მ.შ.}} = 3I_{\text{ნომ}}^2 R_{\text{ფ}} = \frac{S_{\text{ნომ}}^2}{U_{\text{ნომ}}^2} R_{\text{ფ}}, \quad (3.33)$$

საიდანაც

$$R_{\text{ფ}} = \frac{\Delta P_{\text{მ.შ.}} \cdot U_{\text{ნომ}}^2}{S_{\text{ნომ}}^2}. \quad (3.34)$$

სადაც $\Delta P_{\text{მ.შ.}}$ აიღება ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემებიდან. ანალოგიურად განისაზღვრება ტრანსფორმატორის რეაქტიული წინაღობა

$$X_{\text{ფ}} = \frac{\Delta Q_{\text{მ.შ.}} \cdot U_{\text{ნომ}}^2}{S_{\text{ნომ}}^2} \cdot 10^3 \quad (3.35)$$

მძლავრი ტრანსფორმატორების შემთხვევაში, რეაქტიული წინაღობის საანგარიშო გამოსახულება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$X_{\text{ფ}} = \frac{U_{\text{მ.შ.}} \% \cdot U_{\text{ნომ}}^2 \cdot 10}{S_{\text{ნომ}}} \quad (3.36)$$

სადაც $U_{\text{მ.შ.}} \%$ აიღება ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემებიდან.

მაგალითი 3.3

ვიზოვოტ ტრანსფორმატორის უქმი სვლისა და მოკლე შერთვის დანაკარგები, თუკი მისი მაღალი ნომინალური ძაბვაა 110 კვ, ნომინალური დენია 0.4199 კა, მოკლე შერთვის ძაბვაა 10.5%, უქმი სვლის დენია 1%.

ამოხსნა

პირველ რიგში, ვიზოვოტ ტრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრე:

$$S_{\text{ნომ}} = \sqrt{3} U_{\text{ფ}} I_{\text{ფ}} = \sqrt{3} \times 110 \text{ (კვ)} \times 0.4199 \text{ (კა)} = 80 \text{ (მგვა)}$$

უქმი სვლის სიმძლავრის დანაკარგები

$$\Delta Q_{\text{უ.ს}} \approx S_{\text{ნომ}} \frac{I_{\text{უ.ს}} \%}{100\%} = 80 \text{ (მგვა)} \times \frac{1\%}{100\%} = 0.8 \text{ (მგვარ)} = 800 \text{ (კვარ)}$$

მოკლე შერთვის სიმძლავრის დანაკარგები

$$\Delta S_{\text{მ.შ.}} = S_{\text{ნომ}} \frac{U_{\text{მ.შ.}} \%}{100\%} = 80 \text{ (მგვა)} \times \frac{10.5\%}{100\%} = 8.4 \text{ (მგვარ)} = 8400 \text{ (კვარ)}$$

თავი IV მოკლე შერთვა

4.1 ზოგადი ცნობები

ელექტრულ სისტემაში მოკლე შერთვა წარმოადგენს ყველაზე გავრცელებულ და საშიშ ავარიას. იგი წარმოიქმნება ელექტრული წრედების იზოლაციის დაზიანებისას. მისი გამომწვევი მიზეზები შეიძლება იყოს: ელექტროგადაცემის ხაზებზე მეხის დაცემა, იზოლატორების დაძველება და გარღვევა, სადენების განწყვეტა და მიწაზე დაცემა, ცხოველებისა და ფრინველების მოხვედრა საიზოლაციო შუალედში და ა.შ. მოკლე შერთვის დენები, რომელთა სიდიდე ნორმალური რეჟიმის დენებზე გაცილებით მეტია, იწვევს ელექტრული დანადგარების გადახურებას და დენგამტარ ნაწილებს შორის დიდი ძალების წარმოქმნას. ელექტრული სადგურის ან ქვესადგურის დაპროექტების დროს საჭიროა რეალური მოკლე შერთვის დენების ცოდნა, რათა შესაძლებელი იყოს აპარატების სწორი შერჩევა. ამრიგად, ამომრთველები, გამთიშველები, დენის ტრანსფორმატორები და სალტეები შეიძლება დაზიანდეს გადახურების გამო ან მოხდეს მათი მექანიკური მსხვრევა. ყველა ეს აპარატი გათვლილია მოკლე შერთვის რაღაც დენზე, რომელიც მითითებულია მათ პასპორტებში. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ მოკლე შერთვების დროს დაზიანების მიმდებარე ქსელის უბანზე ძაბვა მკვეთრად მცირდება და ელსადგურში არსებული საკუთარი მოხმარების სინქრონული და ასინქრონული ძრავების მუშაობა შეიძლება შეფერხდეს, ხოლო მშ-ის გახანგრძლივების შემთხვევაში - გამოირთოს კიდევ. ამრიგად, ერთი მხრივ, ისე უნდა იქნას შერჩეული ელექტრული აპარატურა, რომ უძლებდეს მაქსიმალური მშ დენების სიდიდეს, მეორეს მხრივ, შეზღუდული უნდა იქნას მოკლე შერთვის დენების არსებობის დრო. ამ უკანასკნელს უზრუნველყოფს ელსადგურების და ქვესადგურების რელეური დაცვები. ამრიგად, მშ დენების გაანგარიშებას ელსადგურების და ქვესადგურების სწორი დაპროექტებისთვის განსაკუთრებული აუცილებლობა გააჩნია.

მოკლე შერთვა (მშ) ეწოდება სხვადასხვა პოტენციალის მქონე დენგამტარების ან დენგამტარებისა და მიწის ექსპლუატაციით გაუთვალისწინებელ კონტაქტს (შეერთებას). მაშასადამე, ცვლადი დენის სამფაზა დამინებულნიეტრალიან სისტემებში შესაძლოა გვექნოდეს:

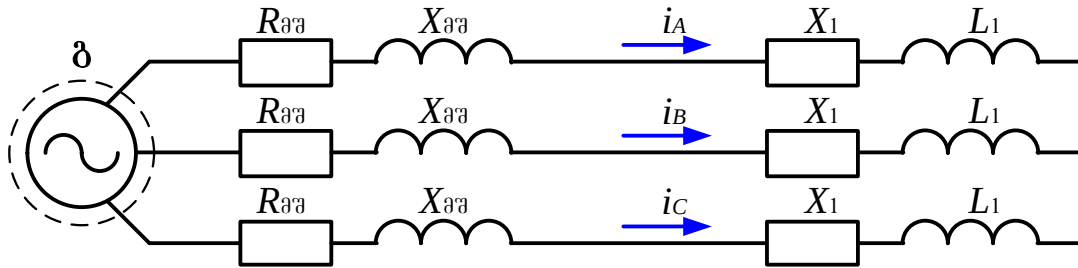
- ერთფაზა მშ (მიწაზე);
- ორფაზა მშ;
- ორფაზა მშ მიწაზე;
- სამფაზა მშ;

იზოლირებულნიეტრალიან ქსელებში ერთფაზა და მიწაზე ორფაზა მშ-ებს ადგილი არ ექნებათ.

ზემოაღნიშნული დაზიანებებიდან ყველაზე საშიშაა სამფაზა მოკლე შერთვა. როგორც წესი, ამ დროს წარმოქმნილ ავარიულ დენებს აქვთ ყველაზე მაღალი სიდიდეები და, შესაბამისად, ყველაზე დიდი ზიანის მიყენება შეუძლიათ ენერგოსისტემის ელემენტებისთვის. ამიტომ სწორედ სამფაზა მშ დენის სიდიდის მიხედვით ხდება ელექტრული აპარატურის შერჩევა.

4.2 სამფაზა მოკლე შერთვა

განვიხილოთ სამფაზა მშ, რომელიც შეიძლება წარმოიქმნას უმარტივეს ელექტრულ სქემაში.



ნახ. 4.1

დავუშვათ, გვაქვს ნახ. 4.1-ზე მოცემული სამფაზა სქემა, რომლის ყველა ელემენტი სიმეტრიულია და იკვებება უსასრულოდ დიდი სიმძლავრის და მცირე შიგა წინააღობის მქონე „გ“ გენერატორიდან. ეს ნიშნავს, რომ ნებისმიერ რეჟიმში აღნიშნული გენერატორის ძაბვა და სიხშირე უცვლელი სიდიდის დარჩება.

ნორმალურ რეჟიმში სქემის თითოეულ ფაზაში გამავალი დენი

$$i_A = \frac{U_m}{Z} \sin(\omega t + \alpha - \varphi) = I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi) \quad (4.1)$$

სადაც

U_m = ძაბვის ამპლიტუდური სიდიდეა;

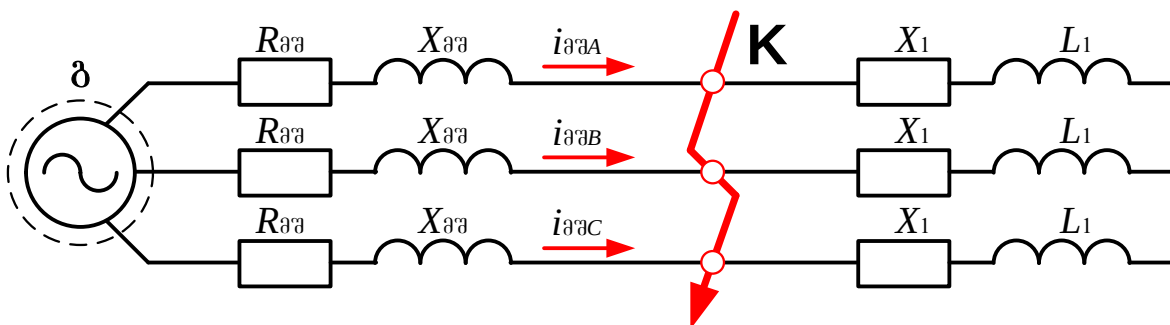
I_m = დენის ამპლიტუდური სიდიდეა;

$Z = \sqrt{(R_1 + R_{\vartheta\vartheta})^2 + (X_1 + X_{\vartheta\vartheta})^2}$ = ერთი ფაზის სრული წინააღობაა;

$\varphi = \arctg \frac{X_1 + X_{\vartheta\vartheta}}{R_1 + R_{\vartheta\vartheta}}$ = ფაზური ძვრის კუთხე;

α = ძაბვის საწყისი ფაზაა;

სამფაზა მშ-ის შემდეგ (ნახ. 4.2) სქემის მარჯვენა ნაწილში კვების წყაროს არარსებობის გამო აქტიურ წინააღობებში ენერგია სითბოს სახით გამოიყოფა და დენი მიიღევა ნულამდე, მარცხენა ნაწილში კი გაივლის სამფაზა მშ დენი.



ნახ. 4.2

A ფაზაში გამავალი მშ დენი შეიძლება ვიპოვოთ RL წრედის შემდეგი დიფერენციალური განტოლებიდან:

$$L_{\vartheta\vartheta} \frac{di_{\vartheta\vartheta}}{dt} + R_{\vartheta\vartheta} i_{\vartheta\vartheta} = U_m \sin(\omega t + \alpha) \quad (4.2)$$

რომლის ამონახსნს აქვს სახე:

$$i_{\partial\partial} = I_{\partial m} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_{\partial\partial}) - I_{\partial m} \sin(\alpha - \varphi_{\partial\partial}) e^{-t/T_a} \quad (4.3)$$

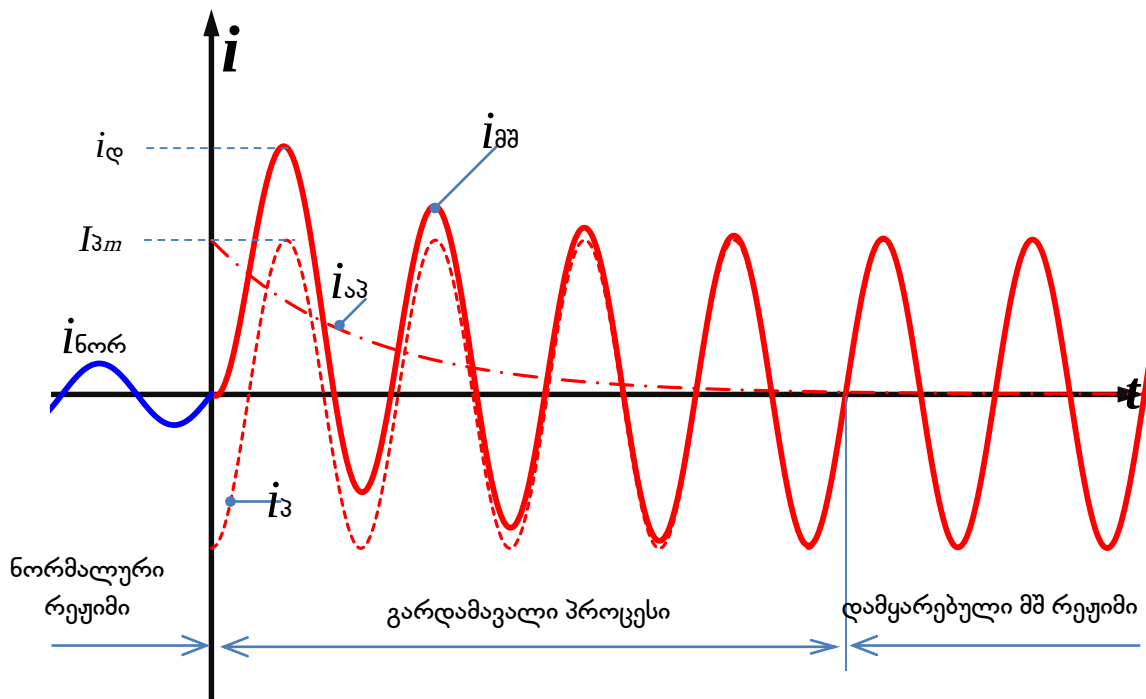
სადაც

$$\varphi_{\partial\partial} = \arctg \frac{X_{\partial\partial}}{R_{\partial\partial}} = \text{მოკლედ შერთული ფაზის ძვრის კუთხე};$$

$$T_a = \frac{L_{\partial\partial}}{R_{\partial\partial}} = \frac{X_{\partial\partial}}{\omega R_{\partial\partial}} = \text{აპერიოდული დენის ქრობის მუდმივა};$$

$I_{\partial m}$ = სამფაზა მმ დამყარებული დენის ამპლიტუდური სიდიდე;

როგორც (4.3) გამოსახულებიდან ჩანს, მშ სრული დენი შეიცავს ორ მდგენელს: დროში რხევადს და ექსპონენციალურად მიღევადს. მათ შესაბამისად „პერიოდული“ i_{∂} და „აპერიოდული“ $i_{\partial\partial}$ მდგენელები ვუწოდოთ. დენის ცვლილება ნორმალური რეჟიმიდან მშ რეჟიმში მოცემულია ნახ. 4.3-ზე. როგორც ამ ნახ-დან ჩანს, მშ დანყებისას ფაზაში გამავალი დენი მკვეთრად იზრდება და მისი სიდიდე რამდენიმეჯერ აღემატება ავარიამდელი ნორმალური რეჟიმის $i_{\text{ნორ}}$ დენს. გარდამავალ პროცესში მშ დენის აპერიოდული დენი თანდათან მიიღევა და დაახლოებით $t=3T_a$ დროში ის პრაქტიკულად ნულის ტოლი ხდება. მაშასადამე, დამყარდება რეჟიმი, როდესაც მშ სრული დენი $i_{\partial\partial}$ მისი პერიოდული მდგენელის ტოლი გახდება.



ნახ. 4.3

მშ სრული დენისა და მისი მდგენელების დროში ცვლილების მრუდები

თუ გავითვალისწინებთ, რომ რეალურ ქსელებში $\varphi_{\partial\partial} \rightarrow 90^\circ$, მაშინ მშ დენი მიაღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას ძაბვის ნულზე გადასვლისას ანუ $\alpha=0$, თანაც, პირველ ნახევარ პერიოდში ($\omega t = \pi$) ანუ მშ დანყებიდან 0.01 წმ-ში. ამრიგად

$$i_{\partial\partial \text{ max}} = I_{\partial m} \sin(\pi - \pi/2) + I_{\partial m} e^{-0.01/T_a} \quad (4.4)$$

ე.ი

$$i_{\text{მზ max}} = I_{\text{მ}} \left(1 + e^{-0.01/T_a}\right) \quad (4.5)$$

ანუ

$$i_{\text{მზ max}} = k_{\text{ფ}} I_{\text{მ}} \quad (4.6)$$

აქ

$i_{\text{მზ max}} = i_{\text{ფ}} =$ დარტყმის დენია,

$[1 + e^{-0.01/T_a}] = k_{\text{ფ}} =$ დარტყმის კოეფიციენტი. ეს კოეფიციენტი დამოკიდებულია აპერიოდული დენის ქრობის T_a მუდმივაზე და თეორიულად შეიძლება ღებულობდეს მნიშვნელობებს 1-დან 2-მდე. რეალურ სისტემებში მისი ცვლილების ფარგლებია $k_{\text{ფ}} = 1.85 \div 1.99$ (იხ ცხრილი 4.1).

ცხრილი 4.1. T_a -ს და $k_{\text{ფ}}$ -ს მაქსიმალური მნიშვნელობები

დაზიანების ადგილი	T_a (წმ)	$k_{\text{ფ}}$
ჰიდროგენერატორის სალტე	0.45	1.98
ტურბოგენერატორის სალტე	0.55	1.985
საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორის სალტე	0.07	1.85
ელსადგურის ამწევი ტრანსფორმატორის მძ სალტე	0.14	1.935
სადაბლებელი ქ/ს-ის დძ სალტე	0.095	1.9

დროის ნებისმიერ მომენტში სამუაზა მშ დენის მოქმედი მნიშვნელობები ტოლია:
პერიოდული მდგენელი

$$I_{\text{ა}} = \frac{I_{\text{მზ}}}{\sqrt{2}} = \text{const} \quad (4.7)$$

აპერიოდული მდგენელი

$$I_{\text{აა}} = i_{\text{აა}} \quad (4.8)$$

მშ სრული დენი

$$I_{\text{მზ}} = \sqrt{I_{\text{ა}}^2 + I_{\text{აა}}^2} \quad (4.9)$$

4.3 სამუაზა მშ დენების გაანგარიშება

როგორც აღენიშნეთ, განსაკუთრებით მძიმე ავარიას წარმოადგენს სამუაზა მშ. ამ დაზიანებისას, ჩვეულებრივ წარმოიქმნება ყველაზე დიდი ავარიული დენები, რომელთაც შესაბამისად ყველაზე დიდი ზიანი შეუძლიათ მიაყენონ ელექტრულ აპარატურას. მაშასადამე, მათი შერჩევა უნდა მოხდეს იმგვარად, რომ გაუძლონ სამუაზა მშ დენების ზემოქმედებას. აქედან გამომდინარე, უნდა ჩატარდეს სამუაზა მშ დენების გაანგარიშება. გაანგარიშების გამარტივებისათვის კეთდება შემდეგი დაშვებები:

- უგულებელყოფილია გენერატორების გაუდენთვა;
- უგულებელყოფილია ტრანსფორმატორების დამაგნიტების შტოები;
- უგულებელყოფილია ხაზების ტევადური გამტარობები;
- სისტემის ყველა ელემენტის აქტიური წინაღობა ჩათვლილია ნულის ტოლად;

- სისტემის ყველა ელემენტი მიჩნეულია სიმეტრიულად;
- გენერატორების ბრუნთა რიცხვი მიღებულია მუდმივად და სინქრონულის ტოლად;
- დატვირთვები ჩანაცვლებულია რეაქტიული წინაღობებით.

გაანგარიშებების ჩატარებამდე, პირველ რიგში, უნდა მოხდეს საანგარიშო სქემის შედგენა იმგვარად, რომ სამუშაო მშდენებმა მიაღწიონ მაქსიმალურ სიდიდეს. ანუ ამ სქემაში ჩართული უნდა იყოს ელსადგურის ყველა გენერატორი, ტრანსფორმატორი, საკომუტაციო აპარატი და ენერგოსისტემასთან დამაკავშირებელი ელექტროგადაცემის ხაზი.

საანგარიშო სქემის საფუძველზე უნდა შედგეს ჩანაცვლების სქემა, სადაც თითოეული გენერატორი, ორგრაგნილა ტრანსფორმატორი, ელექტროგადაცემის ხაზი და დატვირთვა უნდა იქნას წარმოდგენილი ერთი წინააღობით, ხოლო სამგრაგნილა ტრანსფორმატორი და ავტოტრანსფორმატორი – ვარსკვლავად შეერთებული წინააღობის სამი სხივით. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ჩანაცვლების სქემა ეს არის საანგარიშო სქემის ეკვივალენტი, სადაც ტრანსფორმატორების მაგნიტური კავშირები შეცვლილია ელექტრული კავშირებით.

ჩანაცვლების სქემის შედგენის შემდეგ უნდა იქნას ნაპოვნი ამ სქემის წინააღობების მნიშვნელობები. აღსანიშნავია, რომ კატალოგებსა და ცნობარებში მოცემულია გენერატორების, ძალოვანი ტრანსფორმატორებისა და აპარატების ნომინალური პარამეტრები, რომლებიც დაყვანილია აღნიშნული მოწყობილობების ნომინალური ძაბვისა და სიმძლავრის მიმართ. არსებობს ჩანაცვლების სქემის წინააღობების გაანგარიშებების ორი მეთოდი: ფარდობით ერთეულებში (ანუ ე.წ. ბაზისური სიდიდეების წილებში) და ფიზიკურ ერთეულებში (ომებში).

სამუშაო მშ გაანგარიშებები მოსახერხებელია ჩატარდეს ფარდობით ერთეულთა სისტემაში, რაც გულისხმობს ყველა ელემენტის ფიზიკური პარამეტრების დაყვანას ბაზისურ პარამეტრებზე. მაგალითად, თუ გვაქვს რეალური დენი $I = 1$ კა, ბაზისური დენია $I_{\text{ბაზ}} = 10$ კა, მაშინ დენი ფარდობით ერთეულებში (ფე) ტოლი იქნება

$$I \text{ (ფე)} = I \text{ (კა)} \div I_{\text{ბაზ}} \text{ (კა)} = 1:10 = 0.1$$

ჩვეულებრივ, სარგებლობენ $S_{\text{ბაზ}}=100$ მგვა სიდიდის ბაზისური სიმძლავრით, რომელიც საერთოა სისტემის ყველა ელემენტისთვის და ბაზისური ძაბვით $U_{\text{ბაზ}}$ (კვ), რომელიც ტოლია ელემენტის ნომინალური ძაბვისა. დანარჩენი ბაზისური სიდიდეები მიიღება ამ ორი ბაზისური სიდიდის კომბინირებით:

ბაზისური დენი

$$I_{\text{ბაზ}} \text{ (კა)} = \frac{S_{\text{ბაზ}} \text{ (მგვა)}}{\sqrt{3} U_{\text{ბაზ}} \text{ (კვ)}} \quad (4.10)$$

ბაზისური წინააღობა

$$Z_{\text{ბაზ}} \text{ (ომი)} = \frac{U_{\text{ბაზ}}^2 \text{ (კვ)}}{S_{\text{ბაზ}} \text{ (მგვა)}} \quad (4.11)$$

1. **გენერატორისთვის** მოცემულია ე.წ. ზეგარდამავალი გრძივი ინდუქციური წინააღობა, რომელიც წარმოადგენს მისი სრული ნომინალური წინააღობის დაახლოებით 0.2-ს (20%-ს). ეს ნიშნავს, რომ

$$X_{d \text{ ნომ}}'' \text{ (ფე)} = \frac{X_{d \text{ ნომ}}'' \text{ (ომი)}}{Z_{\text{ნომ}} \text{ (ომი)}} = 0.2 \quad (4.12)$$

აღნიშნული ნომინალური წინაღობა სინამდვილეში არარსებული საანგარიშო სიდიდეა და გამოითვლება ფორმულით;

$$Z_{\text{ნომ}}(\text{ომი}) = \frac{U_{\text{ნომ}}^2(\text{კვ})}{S_{\text{ნომ}}(\text{მგვა})} \quad (4.13)$$

ამრიგად, ნომინალური სიმძლავრითა და ძაბვით გამოსახული ფე ზეგარდამავალი წინაღობა (4.4) და (4.5) გამოსახულებებიდან ტოლია

$$X''_{d \text{ ნომ}}(\text{ფე}) = X''_{d \text{ ნომ}}(\text{ომი}) \times \frac{S_{\text{ნომ}}(\text{მგვა})}{U_{\text{ნომ}}^2(\text{კვ})} \quad (4.14)$$

ბაზისური სიმძლავრითა და ძაბვით გამოსახული ფე ზეგარდამავალი წინაღობა ტოლი იქნება:

$$X''_{d \text{ ბაზ}}(\text{ფე}) = \frac{X''_{d \text{ ბაზ}}(\text{ომი})}{Z_{\text{ბაზ}}(\text{ომი})} = X''_{d \text{ ბაზ}}(\text{ომი}) \times \frac{S_{\text{ბაზ}}(\text{მგვა})}{U_{\text{ბაზ}}^2(\text{კვ})} \quad (4.15)$$

გავითვალისწინოთ, რომ ჩვეულებრივ ბაზისურ ძაბვად ნომინალურ ძაბვას იღებენ $U_{\text{ბაზ}}(\text{კვ}) = U_{\text{ნომ}}(\text{კვ})$, ამასთან $X''_{d \text{ ბაზ}}(\text{ომი}) = X''_{d \text{ ნომ}}(\text{ომი})$, მაშინ (4.15)–ის და (4.14)–ზე გაყოფით მივიღებთ:

$$\frac{X''_{d \text{ ბაზ}}(\text{ფე})}{X''_{d \text{ ნომ}}(\text{ფე})} = \frac{S_{\text{ბაზ}}(\text{მგვა})}{S_{\text{ნომ}}(\text{მგვა})} \quad (4.16)$$

ანუ, საბოლოოდ დამოკიდებულება კატალოგებში მოცემულ ფე ნომ წინაღობასა და ანგარიშებისათვის გამოსაყენებელ ბაზისურ ფე წინაღობას შორის გვექნება შემდეგი დამოკიდებულება:

$$X''_{d \text{ ბაზ}}(\text{ფე}) = X''_{d \text{ ნომ}}(\text{ფე}) \times \frac{S_{\text{ბაზ}}(\text{მგვა})}{S_{\text{ნომ}}(\text{მგვა})} \quad (4.17)$$

2. ორგრაგნილა ტრანსფორმატორებისათვის კატალოგებში მოცემულია ჩვეულებრივ ე.წ. მშ წინაღობა $X_{\text{მშ}}\% = U_{\text{მშ}}\%$ გამოსახული პროცენტებში ნომინალური წინაღობის მიმართ. მშ წინაღობა ომებში პრაქტიკულად ტრანსფორმატორის რეალური წინაღობაა, ხოლო ნომინალური წინაღობა აქაც ხელოვნური სიდიდეა და გენერატორების მსგავსად, შეიძლება გამოსახულ იქნას (4.13) ფორმულით. ამრიგად გვექნება:

$$U_{\text{მშ}}\% = \frac{X_{\text{მშ}}(\text{ომი})}{Z_{\text{ნომ}}(\text{ომი})} \times 100\% = X_{\text{მშ}}(\text{ომი}) \times \frac{S_{\text{ნომ}}(\text{მგვა})}{U_{\text{ნომ}}^2(\text{კვ})} \times 100\% \quad (4.18)$$

საიდანაც

$$X_{\text{მშ}}(\text{ომი}) = \frac{U_{\text{მშ}}\%}{100\%} \frac{U_{\text{ნომ}}^2(\text{კვ})}{S_{\text{ნომ}}(\text{მგვა})} \quad (4.19)$$

$$X_{\text{მშ}}(\text{ფე}) = \frac{X_{\text{მშ}}(\text{ომი})}{Z_{\text{ბაზ}}(\text{ომი})} = \frac{U_{\text{მშ}}\%}{100\%} \frac{U_{\text{ნომ}}^2(\text{კვ})}{S_{\text{ნომ}}(\text{მგვა})} : \frac{U_{\text{ბაზ}}^2(\text{კვ})}{S_{\text{ბაზ}}(\text{მგვა})} \quad (4.20)$$

აქაც გავითვალისწინებთ რა, რომ ნომინალური ძაბვა და ბაზისური ძაბვა ერთმანეთის ტოლია,

(4.20) საბოლოოდ მიიღებს სახეს:

$$X_{\phi}(\text{ფე}) = \frac{U_{\text{აშ}} \%}{100\%} \times \frac{S_{\text{ბაზ}}(\text{მგვა})}{S_{\text{ნომ}}(\text{მგვა})} \quad (4.21)$$

3.სამგრავნილა ტრანსფორმატორებისათვის და ავტოტრანსფორმატორებისათვის კატალოგებში მოცემულია მისი წინაღობები სამკუთხედის სახით – მაღალი და საშუალო $U_{\text{აშ მ-ს}} \%$, მაღალი და დაბალი $U_{\text{აშ მ-ღ}} \%$, საშუალო და დაბალი ძაბვის გამომყვანებს $U_{\text{აშ ს-ღ}} \%$ შორის. აღნიშნული წინაღობები, თავდაპირველად, უნდა იქნას (4.21)-ის მსგავსი გამოსახულებით გადაყვანილი ფე-ში, ანუ უნდა ნაპოვნი იქნას $X_{\text{მ-ს}}(\text{ფე})$, $X_{\text{მ-ღ}}(\text{ფე})$ და $X_{\text{ს-ღ}}(\text{ფე})$.

$$X_{\text{მ-ს}}(\text{ფე}) = \frac{U_{\text{აშ მ-ს}} \%}{100\%} \times \frac{S_{\text{ბაზ}}(\text{მგვა})}{S_{\text{ნომ მ-ს}}(\text{მგვა})} \quad (4.22)$$

$$X_{\text{მ-ღ}}(\text{ფე}) = \frac{U_{\text{აშ მ-ღ}} \%}{100\%} \times \frac{S_{\text{ბაზ}}(\text{მგვა})}{S_{\text{ნომ მ-ღ}}(\text{მგვა})} \quad (4.23)$$

$$X_{\text{ს-ღ}}(\text{ფე}) = \frac{U_{\text{აშ ს-ღ}} \%}{100\%} \times \frac{S_{\text{ბაზ}}(\text{მგვა})}{S_{\text{ნომ ს-ღ}}(\text{მგვა})} \quad (4.24)$$

(4.22), (4.23) და (4.24) გამოსახულებებში აღსანიშნავია, რომ სამგრავნილა ტრანსფორმატორებისთვის

$$S_{\text{ნომ მ-ს}}(\text{მგვა}) = S_{\text{ნომ მ-ღ}}(\text{მგვა}) = S_{\text{ნომ ს-ღ}}(\text{მგვა}) = S_{\text{ნომ}}(\text{მგვა}),$$

ხოლო, ავტოტრანსფორმატორებისთვის

$$S_{\text{ნომ მ-ს}}(\text{მგვა}) = S_{\text{აჭ ნომ}}(\text{მგვა}), S_{\text{ნომ მ-ღ}}(\text{მგვა}) = S_{\text{ნომ ს-ღ}}(\text{მგვა}) = S_{\text{აჭ ტია}} \approx \frac{S_{\text{აჭ ნომ}}(\text{მგვა})}{2}$$

ამის შემდეგ, ქვემოთ მოცემული (4.25), (4.26) და (4.27) გამოსახულებებით, ავტოტრანსფორმატორის ვარსკვლავი უნდა გარდაიქმნას სამკუთხედად.

$$X_{\text{ა}}(\text{ფე}) = 0.5 \times [X_{\text{მ-ს}}(\text{ფე}) + X_{\text{მ-ღ}}(\text{ფე}) - X_{\text{ს-ღ}}(\text{ფე})] \quad (4.25)$$

$$X_{\text{ს}}(\text{ფე}) = 0.5 \times [X_{\text{მ-ს}}(\text{ფე}) + X_{\text{ს-ღ}}(\text{ფე}) - X_{\text{მ-ღ}}(\text{ფე})] \quad (4.26)$$

$$X_{\text{ღ}}(\text{ფე}) = 0.5 \times [X_{\text{მ-ღ}}(\text{ფე}) + X_{\text{ს-ღ}}(\text{ფე}) - X_{\text{მ-ს}}(\text{ფე})] \quad (4.27)$$

4. ელექტროგადაცემის ხაზებისთვის სამუაზა მშ გაანგარიშებისას მივიჩნევთ, რომ მისი ხვედრითი (ერთი კმ სიგრძის მონაკვეთის) წინაღობა $X_0 \approx 0.4$ (ომი/კმ). შესაბამისად, l (კმ) სიგრძის ხაზის წინაღობა იქნება $X_{\text{აბს}}(\text{ომი}) = X_0(\text{ომი/კმ}) \times l$ (კმ). მაშასადამე, ხაზის ფე წინაღობა, ბაზისური ძაბვისა და სიმძლავრის მიმართ ტოლი იქნება:

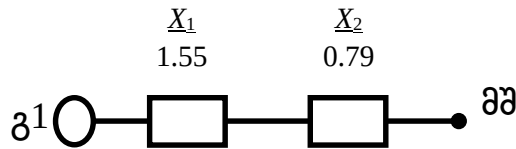
$$X_{\text{აბს}}(\text{ფე}) = \frac{X_{\text{აბს}}(\text{ომი})}{Z_{\text{ბაზ}}(\text{ომი})} = \frac{X_0(\text{ომი/კმ}) \times l(\text{კმ}) \times S_{\text{ბაზ}}(\text{მგვა})}{U_{\text{ბაზ}}^2(\text{კვ})} \quad (4.28)$$

ცხრილი 4.2

ელემენტის ელემენტი	საწყისი (ცხრილის) პარამეტრები	ფიზიკური ერთეულები (ომი)	ფარდობითი ერთეულები (ფე)
გენერატორი	$X_{d'}''$ (ფე) $S_{\text{ნომ}}$ (მგვა)	$X_{\delta} (\text{ომი}) = X_{d'}'' (\text{ფე}) \times \frac{U_{\text{ბაზ}}^2 (\text{კვ})}{S_{\text{ნომ}} (\text{მგვა})}$	$X_{\delta} \text{ ბაზ} (\text{ფე}) = X_{d'}'' (\text{ფე}) \times \frac{S_{\text{ბაზ}} (\text{მგვა})}{S_{\text{ნომ}} (\text{მგვა})}$
	$X_{d'}''$ (%) $S_{\text{ნომ}}$ (მგვა)	$X_{\delta} (\text{ომი}) = \frac{X_{d'}'' (\%)}{100\%} \times \frac{U_{\text{ბაზ}}^2 (\text{კვ})}{S_{\text{ნომ}} (\text{მგვა})}$	$X_{\delta} \text{ ბაზ} (\text{ფე}) = \frac{X_{d'}'' (\%)}{100\%} \times \frac{S_{\text{ნომ}} (\text{მგვა})}{S_{\text{ნომ}} (\text{მგვა})}$
ტრანსფორმატორი	$X_{\text{გვ}} \% = U_{\text{გვ}} \%$ $S_{\text{ნომ}}$ (მგვა)	$X_{\delta} (\text{ომი}) = \frac{X_{\text{გვ}} (\%)}{100\%} \times \frac{U_{\text{ბაზ}}^2 (\text{კვ})}{S_{\text{ნომ}} (\text{მგვა})}$	$X_{\delta} (\text{ფე}) = \frac{X_{\text{გვ}} (\%)}{100\%} \times \frac{S_{\text{ბაზ}} (\text{მგვა})}{S_{\text{ნომ}} (\text{მგვა})}$
ეგზ	X_0 (ომი/კმ) l (კმ)	$X_{\text{გვზ}} (\text{ომი}) = X_0 (\text{ომი/კმ}) \times l (\text{კმ}) \times \frac{U_{\text{ბაზ}}^2 (\text{კვ})}{U_{\text{ნომ}}^2 (\text{კვ})}$	$X_{\text{გვზ}} (\text{ომი}) = X_0 (\text{ომი/კმ}) \times l (\text{კმ}) \times \frac{S_{\text{ბაზ}} (\text{მგვა})}{U_{\text{ნომ}}^2 (\text{კვ})}$
ეკვივალენტური ენერგოსისტემა	$S_{\text{გვ}} (\text{მგვა}) =$ $= I_{\text{გვ}} (\text{კა}) \times$ $\times U_{\text{ნომ}} (\text{კვ})$	$X_{\text{ს}} (\text{ომი}) = \frac{U_{\text{ბაზ}}^2 (\text{კვ})}{S_{\text{გვ}} (\text{მგვა})}$	$X_{\text{ს}} (\text{ფე}) = \frac{S_{\text{ბაზ}} (\text{მგვა})}{S_{\text{გვ}} (\text{მგვა})}$
	$X_{d'}''$ (ფე) $S_{\text{ნომ}}$ (მგვა)	$X_{\text{ს}} (\text{ომი}) = X_{d'}'' (\text{ფე}) \times \frac{U_{\text{ბაზ}}^2 (\text{კვ})}{S_{\text{ნომ}} (\text{მგვა})}$	$X_{\text{ს}} \text{ ბაზ} (\text{ფე}) = X_{d'}'' (\text{ფე}) \times \frac{S_{\text{ბაზ}} (\text{მგვა})}{S_{\text{ნომ}} (\text{მგვა})}$

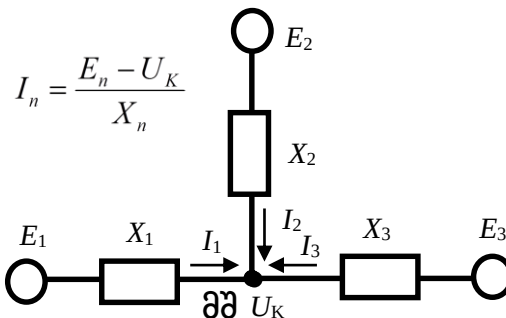
შენიშვნა: ცხრილში $X_0 = 1$ კმ სიგრძის ეგზ ის წინააღმდეგობაა. მას კუთრ წინააღმდეგობასაც უწოდებენ. მშ დენების გაანგარიშებისას, ჩვეულებრივ, იღებენ $X_0 = 0.4$ ომი/კმ. l = ხაზის სიგრძეა მოცემული კმ-ში. ამრიგად სიდიდე $X_0 l = X$ გამოდის l კმ სიგრძის ხაზის წინააღმდეგობა ომებში.

სამფაზა მშ დენების პოვნამდე, პირველ რიგში, ძაბვის ყველა საფეხურისათვის (4.2) გამოსახულებით უნდა ვიპოვოთ ბაზისური დენი. ამის შემდეგ უნდა შევადგინოთ საანგარიშო სქემის ეკვივალენტური ჩანაცვლების სქემა და ნაპოვნი შესაბამისი ელემენტების წინალობები (ფე). ჩანაცვლების სქემის შედგენის შემდეგ მოსახერხებელია თითოეულ წინალობას მიენიჭოს საკუთარი ნომერი, ხოლო ნომრის ქვემოთ მივუთითოთ წინალობის სიდიდე (ნახ. 4.4-ის მსგავსად).



ნახ. 4.4

განგარიშები შედარებით მცირე, 25-მდე ელემენტისგან შემდგარ სქემაში, უმჯობესია განვახორციელოთ სქემის გარდაქმნის მეთოდით. რაც გულისხმობს საწყისი სქემის თანდათანობით გარდაქმნას ისეთ მარტივ სქემად, სადაც ყველა ემძ მიერთებული იქნება მოკლე შერთვის წერტილთან მხოლოდ ერთი წინალობისგან შემდგარი შტოთი. ამრიგად, ნებისმიერ n -ურ შტოში გამავალი დენი I_n ტოლი იქნება ამ შტოში ჩართული წყაროს ემძ-ისა E_n და მშ წერტილის U_K ძაბვების სხვაობის შეფარდებისა აღნიშნული შტოს ფე X_n წინალობასთან:



ნახ. 4.5

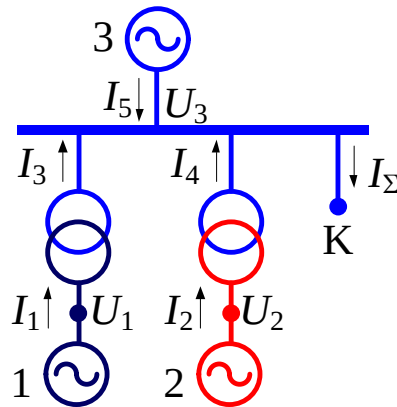
ჩვეულებრივ, სამფაზა მშ დენების განგარიშებისას, პოულობენ ამ დენების პერიოდულ მნიშვნელობებს და თვლიან, რომ მშ დროს გენერატორების ზეგარდამავალი ემძ $E'' \approx 1$. ვინაიდან სამფაზა მშ წერტილში მშ ძაბვა მიიჩნევა $U_K \approx 0$ -ის ტოლად, ამიტომ ნებისმიერ n -ურ შტოში გამავალი ფე დენი

$$I_n = \frac{E_n - U_K}{X_n} = \frac{1 - 0}{X_n} = \frac{1}{X_n} \quad (4.29)$$

თუ ამ დენებს გავამრავლებთ შესაბამის ბაზისურ დენებზე, მივიღებთ რეალურ დენებს:

$$I_n(\text{კა}) = I_n(\text{ფე}) \times I_{\text{ბაზ}}(\text{კა}) \quad (4.30)$$

ყველაზე მოსახერხებელია რეალური დენები ვიპოვოთ წყაროს ნომინალური ძაბვის საფუძველზე. ვიცით რა ეს დენები, კირპოფის I კანონისა და ტრანსფორმაციის კოეფიციენტების გამოყენებით შესაძლებელია ვიპოვოთ დენების განაწილება სქემის ნებისმიერი ნომინალური ძაბვის საფუძველზე. ზემოთქმულის საილუსტრაციოდ, ვთქვათ, გვაქვს ნახ. 4.6-ზე მოცემული სქემა, სადაც უკვე ვიპოვეთ 1, 2 და 3 ენერგიის წყაროებიდან წამოსული მშ დენების ფიზიკური მნიშვნელობები (კა) საკუთარ ნომინალურ, შესაბამისად, U_1 , U_2 და U_3 ძაბვებზე (კვ) და გვინდა მშ დენის პოვნა K წერტილში.



ნახ. 4.6

ვინაიდან ამ წერტილის ნომინალური ძაბვაა U_3 , ამიტომ დენები სწორედ ამ ძაბვაზე უნდა იქნას დაყვანილი. გვექნება:

$$I_3 = \frac{I_1 U_1}{U_3};$$

$$I_4 = \frac{I_2 U_2}{U_3};$$

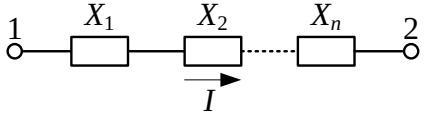
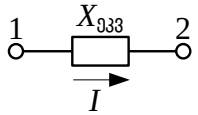
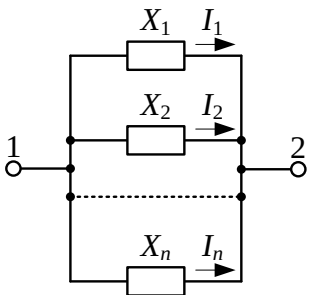
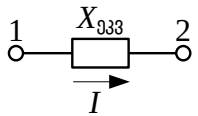
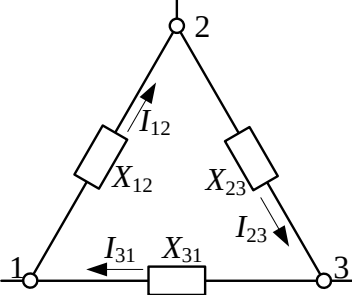
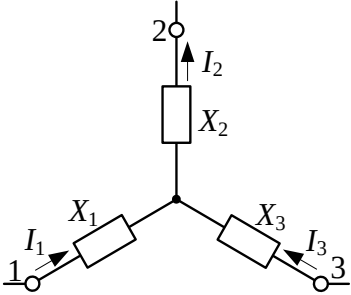
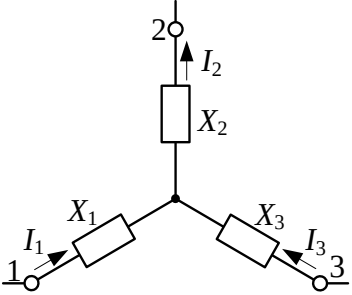
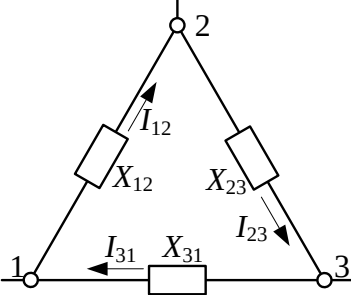
$$I_\Sigma = I_1 + I_2 + I_3$$

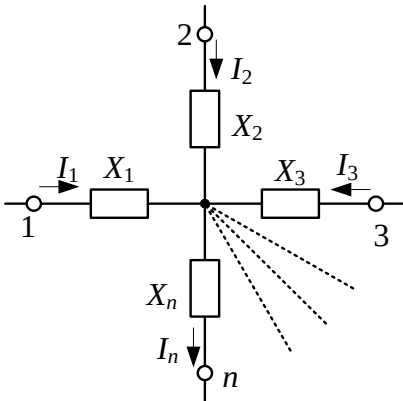
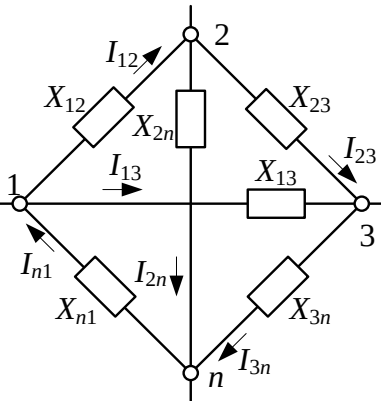
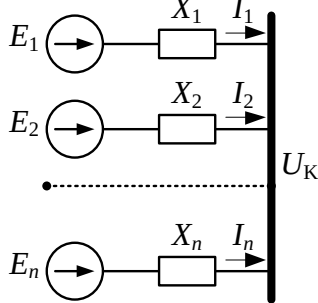
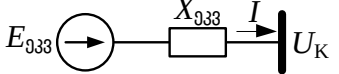
ბოლოს ვიპოვოთ მშ დარტყმის დენის მნიშვნელობა:

$$i_{\text{გ}} = k_{\text{გ}} \cdot I_\Sigma \approx 1.95 I_\Sigma \quad (4.31)$$

ცხრ. 4.2 ში მოცემულია სქემის გამარტივებისათვის შესასრულებელი შესაძლო გარდაქმნები და შესაბამისი წინააღობებისა და დენების საანგარიშო გამოსახულებები.

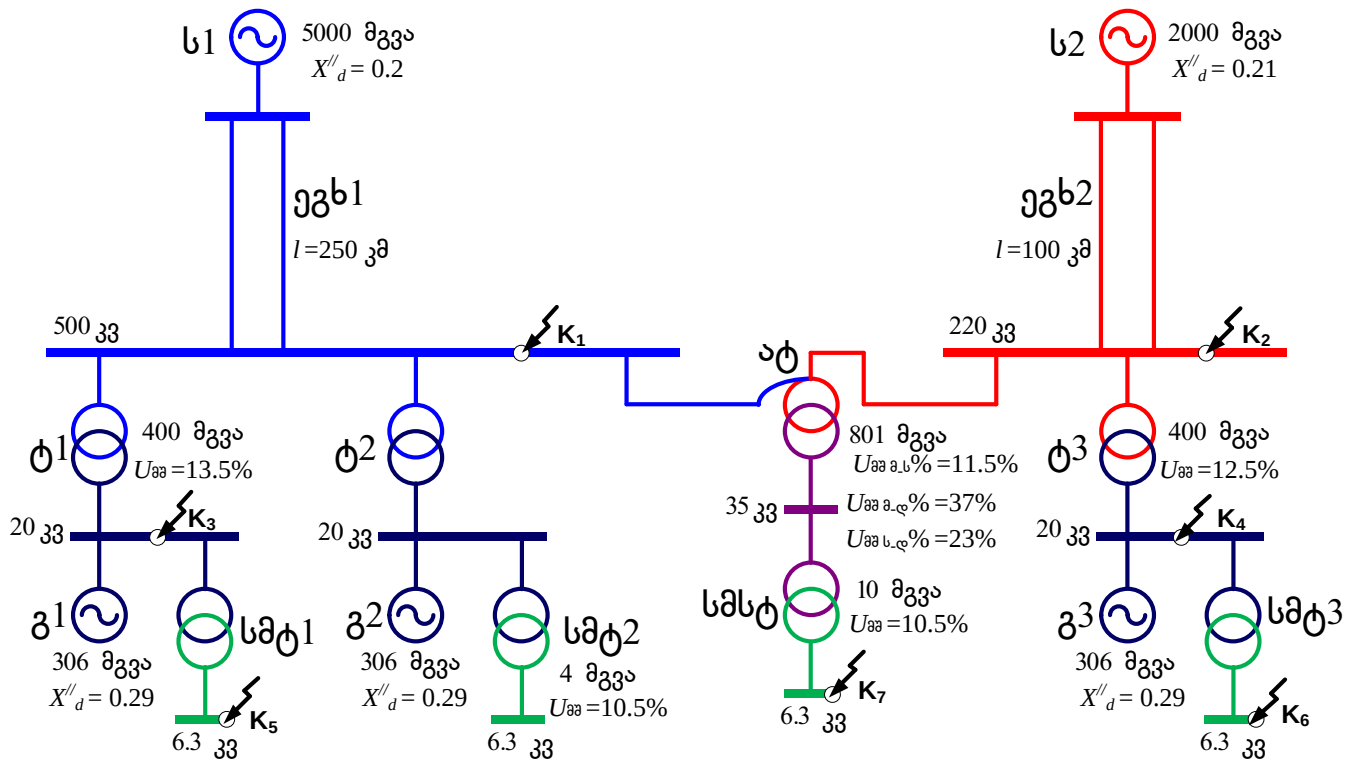
ცხრილი 4.2

გარდაქმნის ტიპი	სქემა		წინააღმდეგობის დამოკიდებულებები	დენების დამოკიდებულებები
	გარდაქმნამდე	გარდაქმნის შემდეგ		
№1 მიმდევრობითი შეერთება			$X_{გ33} = X_1 + X_2 + \dots + X_n$	$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$
№2 პარალელური შეერთება			$X_{გ33} = \frac{1}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \dots + \frac{1}{X_n}}$	$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$
№3 სამკუთხედის გარდაქმნა ეკვივალენტურ ვარსკვლავად			$X_1 = \frac{X_{12} \cdot X_{31}}{X_{12} + X_{23} + X_{31}}$ $X_2 = \frac{X_{12} \cdot X_{23}}{X_{12} + X_{23} + X_{31}}$ $X_3 = \frac{X_{31} \cdot X_{23}}{X_{12} + X_{23} + X_{31}}$	$I_1 = I_{12} - I_{31}$ $I_2 = I_{23} - I_{12}$ $I_3 = I_{31} - I_{23}$
№4 ვარსკვლავის გარდაქმნა ეკვივალენტურ სამკუთხედად			$X_{12} = X_1 + X_2 + \frac{X_1 \cdot X_2}{X_3}$ $X_{23} = X_2 + X_3 + \frac{X_2 \cdot X_3}{X_1}$ $X_{31} = X_3 + X_1 + \frac{X_3 \cdot X_1}{X_2}$	$I_{12} = \frac{I_1 X_1 - I_2 X_2}{X_{12}}$ $I_{23} = \frac{I_2 X_2 - I_3 X_3}{X_{23}}$ $I_{31} = \frac{I_3 X_3 - I_1 X_1}{X_{31}}$

№5 მრავალსხივა ვარსკვლავის გარდაქმნა ეკვივალენტურ დიაგო- ნალეზიან მრავალ- კუთხედად			$X_{12} = X_1 \cdot X_2 \cdot Y_\Sigma$ $X_{13} = X_1 \cdot X_3 \cdot Y_\Sigma$ $X_{1n} = X_1 \cdot X_n \cdot Y_\Sigma$ $X_{23} = X_2 \cdot X_3 \cdot Y_\Sigma$ $X_{2n} = X_2 \cdot X_n \cdot Y_\Sigma$ $X_{3n} = X_3 \cdot X_n \cdot Y_\Sigma$ სადაც $Y_\Sigma = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3} + \dots + \frac{1}{X_n}$	$I_1 = I_{12} + I_{13} - I_{1n}$ $I_2 = I_{23} + I_{2n} - I_{12}$ $I_3 = I_{3n} - I_{23} - I_{13}$ $I_n = I_{n1} - I_{2n} - I_{3n}$
№6 ემძ-ების პარალელური შეერთება			$X_{\text{გვვ}} = \frac{1}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \dots + \frac{1}{X_n}}$ $E_{\text{გვვ}} = X_{\text{გვვ}} \left(\frac{E_1}{X_1} + \frac{E_2}{X_2} + \dots + \frac{E_n}{X_n} \right)$	$I_1 = \frac{E_1 - U_K}{X_1}$ $I_2 = \frac{E_2 - U_K}{X_2}$ $I_n = \frac{E_n - U_K}{X_n}$ $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$

მაგალითი 4.1. სამუშაო მშენებლის განგარიშება

ვთქვათ, უნდა გავიანგარიშოთ მშ დენები ჰიდროელექტროსადგურზე. დავუშვათ, მოცემული გვაქვს ამ სადგურის ელექტროენერგიის გადაცემის სქემა (ნახ. 4.7). ელსადგურში გვაქვს 3×306 მგვა სიმძლავრის სინქრონული გენერატორი. სადგური უკავშირდება ენერგოსისტემებს ორი 500 კვ და 220 კვ ელექტროგადაცემის ხაზებით. კავშირის ხაზების სიგრძეები, გენერატორების და ტრანსფორმატორების პარამეტრები დატანილია ნახ.4.7-ზე.



ნახ. 4.7. ჰესის მშენებლის საანგარიშო სქემა

ვიპოვოთ მშ დენის სიდიდეები და განაწილება ელსადგურის შემდეგ ადგილებში დაზიანებებისას:

- მძ - 500 კვ (K₁ წერტილი) , სძ - 220 კვ (K₂ წერტილი),
- საგენერატორო 20 კვ (K₃ და K₄ წერტილები),
- საკუთარი მოხმარების 6 კვ (K₅ და K₆ წერტილები) და საკუთარი მოხმარების სარეზერვო სისტემის (K₇ წერტილი) 6 კვ ძაბვის სალტეებზე.

ამოხსნა

(4.2) გამოსახულების მიხედვით, ვიპოვოთ ბაზისური დენები, სქემაში არსებული ნომინალური ძაბვების თითოეულ საფეხურზე.

$$I_{\delta\delta\delta\delta\delta 500} = \frac{S_{\delta\delta\delta\delta\delta}}{\sqrt{3} U_{\delta\delta\delta\delta\delta 500}} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 500} = 0.1155 \text{ } \delta\delta$$

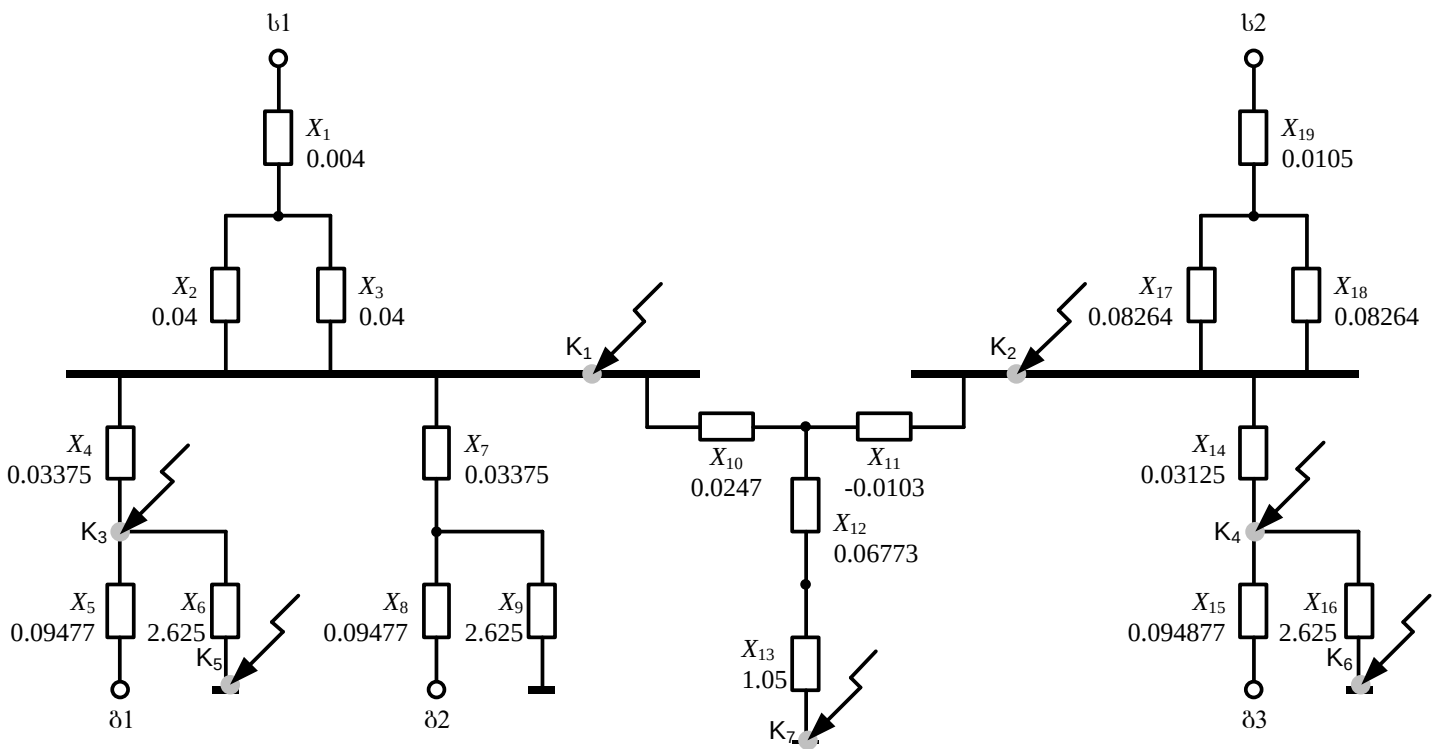
$$I_{\delta\delta\gamma\gamma\ 220} = \frac{S_{\delta\delta\gamma\gamma}}{\sqrt{3}\ U_{\delta\delta\gamma\gamma\ 220}} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 220} = 0.2624\ \mu\text{D}$$

$$I_{\delta\delta\delta\delta\delta\delta} = \frac{S_{\delta\delta\delta\delta\delta\delta}}{\sqrt{3} U_{\delta\delta\delta\delta\delta\delta}} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 35} = 1.6496 \text{ } \delta\delta$$

$$I_{\text{ბაზ 20}} = \frac{S_{\text{ბაზ}}}{\sqrt{3} U_{\text{ბაზ 20}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 20} = 2.8868 \text{ კა}$$

$$I_{\text{ბაზ 6}} = \frac{S_{\text{ბაზ}}}{\sqrt{3} U_{\text{ბაზ 6}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 6.3} = 9.1643 \text{ კა}$$

შევადგინოთ ნახ. 4.7-ზე მოცემული ჰესის ჩანაცვლების სქემა (ნახ. 4.8). აქ X_1 და X_{19} - ს1 და ს2 სისტემების, ხოლო X_5 , X_8 და X_{15} - შესაბამისად გ1, გ2 და გ3 გენერატორების წინააღობებია; X_2 და X_3 - ეგბ1-ის ჯაჭვების, ხოლო X_{17} და X_{18} - ეგბ2-ის ჯაჭვების წინააღობებია; X_4 , X_7 და X_{14} - შესაბამისად ტ1, ტ2 და ტ3 ტრანსფორმატორების, X_6 , X_9 და X_{16} - შესაბამისად სმტ1, სმტ2 და სმტ3 საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორების, X_{13} , საკუთარი მოხმარების სარეზერვო ტრანსფორმატორის, ხოლო X_{10} , X_{11} და X_{12} - ატ ავტოტრანსფორმატორის ვარსკვლავად წარმოდგენილი წინააღობებია.



ნახ. 4.8

(4.12)-(4.28) გამოსახულებების გამოყენებით ვიპოვოთ ნახ. 4.8-ის წინააღობები ფარდობით ერთეულებში.

$$X_1 = X_{b1} \cdot \frac{S_{\text{ბაზ}}}{S_{b1}} = 0.2 \times \frac{100}{5000} = 0.004$$

$$X_2 = X_3 = X_0 \cdot I_{\text{გბ1}} \cdot \frac{S_{\text{ბაზ}}}{U_{\text{ბაზ}}^2} = 0.4 \times 250 \times \frac{100}{500^2} = 0.04$$

$$X_5 = X_8 = X_{15} = X_d'' \cdot \frac{S_{\text{ბაზ}}}{S_{\text{გ ნომ}}} = 0.29 \times \frac{100}{306} = 0.09477$$

$$X_{19} = X_{b2} \cdot \frac{S_{\text{ბაზ}}}{S_{b2}} = 0.21 \times \frac{100}{2000} = 0.0105$$

$$X_{17} = X_{18} = X_0 \cdot I_{\text{მბ2}} \cdot \frac{S_{\text{ბაზ}}}{U_{\text{ბაზ}}^2} = 0.4 \times 100 \times \frac{100}{220^2} = 0.08264$$

$$X_4 = X_7 = \frac{U_{\text{ტ1 მშ}} \%}{100\%} \cdot \frac{S_{\text{ბაზ}}}{S_{\text{ტ1 ნომ}}} = \frac{13.5}{100} \times \frac{100}{400} = 0.03375$$

$$X_6 = X_9 = X_{16} = \frac{U_{\text{სმტ მშ}} \%}{100\%} \cdot \frac{S_{\text{ბაზ}}}{S_{\text{სმტ ნომ}}} = \frac{10.5}{100} \times \frac{100}{4} = 2.625$$

$$X_{13} = \frac{U_{\text{სმსტ მშ}} \%}{100\%} \cdot \frac{S_{\text{ბაზ}}}{S_{\text{სმსტ ნომ}}} = \frac{10.5}{100} \times \frac{100}{10} = 1.05$$

$$X_{14} = \frac{U_{\text{ტ3 მშ}} \%}{100\%} \cdot \frac{S_{\text{ბაზ}}}{S_{\text{ტ3 ნომ}}} = \frac{12.5}{100} \times \frac{100}{400} = 0.03125$$

$$X_{\text{მ-ბ}} = \frac{U_{\text{მშ.მ-ბ}} \%}{100\%} \cdot \frac{S_{\text{ბაზ}}}{S_{\text{აბ.ნომ}}} = \frac{11.5}{100} \times \frac{100}{801} = 0.01436$$

$$X_{\text{მ-ღ}} = \frac{U_{\text{მშ.მ-ღ}} \%}{100\%} \cdot \frac{S_{\text{ბაზ}}}{S_{\text{აბ.ტობ}}} = \frac{37}{100} \times \frac{100}{400.5} = 0.09238$$

$$X_{\text{ბ-ღ}} = \frac{U_{\text{მშ.ბ-ღ}} \%}{100\%} \cdot \frac{S_{\text{ბაზ}}}{S_{\text{აბ.ტობ}}} = \frac{23}{100} \times \frac{100}{400.5} = 0.05743$$

$$X_{10} = X_{\text{მ}} = 0.5 \times (X_{\text{მ-ბ}} + X_{\text{მ-ღ}} - X_{\text{ბ-ღ}}) = 0.5 \times (0.01436 + 0.09238 - 0.05743) = 0.0247$$

$$X_{11} = X_{\text{ბ}} = 0.5 \times (X_{\text{მ-ბ}} + X_{\text{ბ-ღ}} - X_{\text{მ-ღ}}) = 0.5 \times (0.01436 + 0.05743 - 0.09238) = -0.0103$$

$$X_{12} = X_{\text{ღ}} = 0.5 \times (X_{\text{მ-ღ}} + X_{\text{ბ-ღ}} - X_{\text{მ-ბ}}) = 0.5 \times (0.09238 + 0.05743 - 0.01436) = 0.06773$$

ვიანგარიშით K₁ წერტილში სამფაზა მშ შედეგად გამოწვეული ავარიული დენები. ამისთვის ნახ. 4.8-ზე მოყვანილ სქემას მივცეთ ნახ. 4.9-ზე ნაჩვენები სახე. ამ ეტაპზე სმტ და სმსტ წყაროების არქონის გამო, უგულებელვყოთ. ვიპოვოთ დანარჩენი მიმდევრობით და პარალელურად ჩართული წინაღობების ეკვივალენტები (იხ ცხრილი 4.2, გარდაქმნა №1, №2):

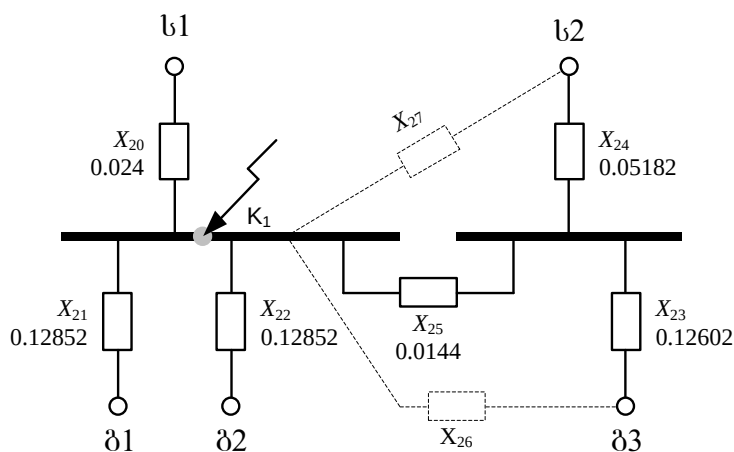
$$X_{20} = X_1 + \frac{X_2}{2} = 0.004 + \frac{0.04}{2} = 0.024$$

$$X_{21} = X_{22} = X_4 + X_5 = 0.03375 + 0.09477 = 0.12852$$

$$X_{23} = X_{14} + X_{15} = 0.03125 + 0.09477 = 0.12602$$

$$X_{24} = X_{19} + \frac{X_{17}}{2} = 0.0105 + \frac{0.08264}{2} = 0.05182$$

$$X_{25} = X_{10} + X_{11} = 0.0247 + (-0.0103) = 0.0144$$



ნახ. 4.9

ახლა, გ1-ის, გ2-ისა და ს1-ის მსგავსად, ს2-იც და გ3-იც უშუალოდ, ერთი შტოთი, დავეკავშიროთ მშ-ის წერტილს K1. ამისათვის ვარსკვლავი $X_{23} - X_{24} - X_{25}$ გარდავეყმნათ სამკუთხედად გ3-ს2-K1 და ვიპოვოთ მისი გვერდები X_{26} და X_{27} (იხ ცხრ 4.2, გარდაქმნა №4) .

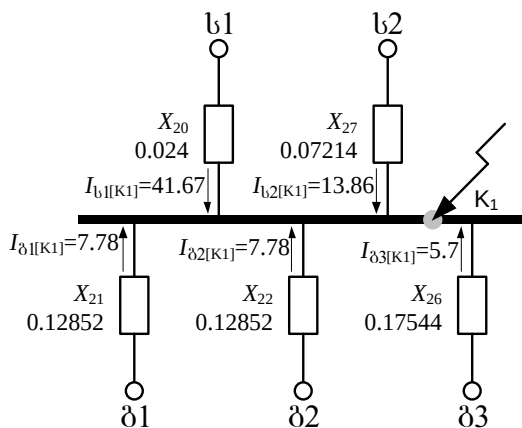
ვარსკვლავი $X_{23} - X_{24} - X_{25}$ -ის ჯამური გამტარობა:

$$Y_{\Sigma 1} = \frac{1}{X_{23}} + \frac{1}{X_{24}} + \frac{1}{X_{25}} = \frac{1}{0.12602} + \frac{1}{0.05182} + \frac{1}{0.0144} = 96.6773$$

$$X_{26} = X_{23} \cdot X_{25} \cdot Y_{\Sigma 1} = 0.12602 \times 0.0144 \times 96.6773 = 0.17544$$

$$X_{27} = X_{24} \cdot X_{25} \cdot Y_{\Sigma 1} = 0.05182 \times 0.0144 \times 96.6773 = 0.07214$$

ნახ. 4.9-ზე მოცემული სქემა მიიღებს ნახ. 4.10 სახეს:



ნახ. 4.10

(4.29) გამოსახულების თანახმად, ნახ. 4.10-ზე ნაჩვენები ფე დენები:

$$I_{s1[K1]} = \frac{E''_{s1} - U_{K1}}{X_{20}} = \frac{1-0}{0.024} = 41.67 \text{ (ფე);}$$

$$I_{s2[K1]} = \frac{E''_{s2} - U_{K1}}{X_{27}} = \frac{1-0}{0.07214} = 13.86 \text{ (ფე);}$$

$$I_{\delta 1[K1]} = I_{\delta 2[K1]} = \frac{E''_{\delta 1} - U_{K1}}{X_{21}} = \frac{1-0}{0.12852} = 7.78 \text{ (ფე);}$$

$$I_{\delta 3[K1]} = \frac{E''_{\delta 3} - U_{K1}}{X_{26}} = \frac{1-0}{0.17544} = 5.7 \text{ (ფე);}$$

K_1 წერტილისკენ წყაროებიდან წასული მშ რეალური დენები, (4.30) გამოსახულების მიხედვით, იქნება:

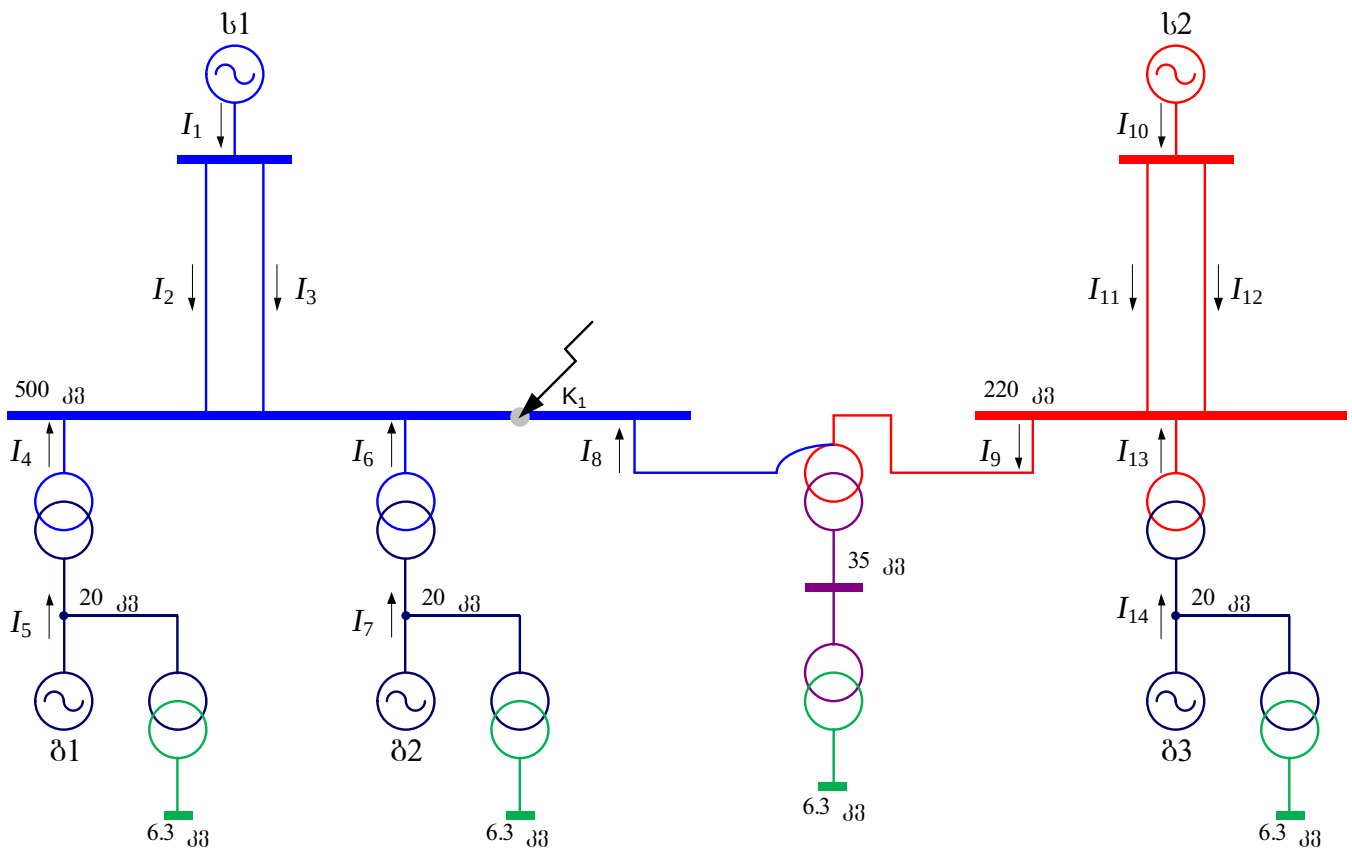
$$I_{s1[K1]} = I_{s1[K1]} \text{ (ფე)} \times I_{\delta s 500} \text{ (კა)} = 41.67 \times 0.1155 = 4.8129 \text{ (კა);}$$

$$I_{s2[K1]} = I_{s2[K1]} \text{ (ფე)} \times I_{\delta s 220} \text{ (კა)} = 13.86 \times 0.2624 = 3.6369 \text{ (კა);}$$

$$I_{\delta 1[K1]} = I_{\delta 2[K1]} = I_{\delta 1[K1]} \text{ (ფე)} \times I_{\delta s 20} \text{ (კა)} = 7.78 \times 2.8868 = 22.4593 \text{ (კა);}$$

$$I_{\delta 3[K1]} = I_{\delta 3[K1]} \text{ (ფე)} \times I_{\delta s 20} \text{ (კა)} = 5.7 \times 2.8868 = 16.4548 \text{ (კა);}$$

ახლა ვიზოვით ამ დენების განაწილება ელსადგურის სქემის შტოებში (ნახ. 4.11)



ნახ. 4.11

$$I_1 = I_{s1[K1]} = 4.8129 \text{ კა};$$

$$I_2 = I_3 = \frac{I_1}{2} = \frac{4.8129}{2} = 2.4065 \text{ კა};$$

$$I_5 = I_7 = I_{s4[K1]} = 22.4593 \text{ კა};$$

$$I_4 = I_6 = I_5 \cdot \frac{U_{\delta 1}}{U_{500}} = 22.4593 \times \frac{20}{500} = 0.8984 \text{ კა};$$

$$I_{10} = I_{s2[K1]} = 3.6369 \text{ კა};$$

$$I_{11} = I_{12} = \frac{I_{10}}{2} = \frac{3.6369}{2} = 1.8185 \text{ კა};$$

$$I_{14} = I_{s3[K1]} = 16.4548 \text{ კა};$$

$$I_{13} = I_{14} \cdot \frac{U_{\delta 3}}{U_{220}} = 16.4548 \times \frac{20}{220} = 1.4959 \text{ კა};$$

$$I_9 = I_{11} + I_{12} + I_{13} = 1.8185 + 1.8185 + 1.4959 = 5.1329 \text{ კა};$$

$$I_8 = I_9 \cdot \frac{U_{220}}{U_{500}} = 5.1329 \times \frac{220}{500} = 2.2585 \text{ კა};$$

მშ ჯამური დენის პერიოდული მდგენელი K_1 წერტილში

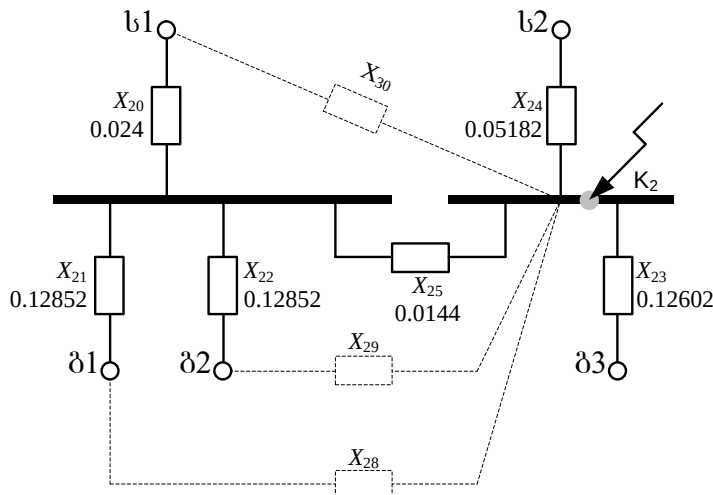
$$I_{K1\Sigma} = I_2 + I_3 + I_4 + I_6 + I_8 = 2.4065 + 2.4065 + 0.8984 + 0.8984 + 2.2585 \approx 8.87 \text{ კა};$$

ცხრილი 4.1-დან ამ წერტილისთვის $k_{\Sigma} = 1.935$. ამიტომ დარტყმის დენი K_1 წერტილში.

$$i_{K1\Sigma} = k_{\Sigma} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1\Sigma} = 1.935 \times \sqrt{2} \times 8.87 = 24.27 \text{ კა}.$$

ვიანგარიშით K_2 წერტილში სამფაზა მშ შედეგად გამოწვეული აფარიული დენები.

ამისათვის გამოვიყენოთ ნახ. 4.9



ნახ. 4.12

გ3-ისა ს2-ის მსგავსად, გ1, გ2 და ს1-იც უშუალოდ, ერთი შტოთი, დავუკავშიროთ მშ წერტილს K_2 . ამისათვის ვარსკვლავი $X_{20} - X_{21} - X_{22} - X_{25}$ გარდაქმნათ დიაგონალებიან ოთხკუთხედად გ1-გ2-ს1- K_2 (იხ ცხრილი 4.2, გარდაქმნა №5). ჩვენ გვჭირდება მისი X_{28} და X_{29} გვერდების და X_{30} დიაგონალის პოვნა. ნახ. 4.12-ზე მოცემული სქემა მიიღებს ნახ. 4.13-ზე ნაჩვენებ სახეს.

ვიპოვოთ ვარსკვლავი $X_{20} - X_{21} - X_{22} - X_{25}$ -ის ჯამური გამტარობა:

$$Y_{\Sigma 2} = \frac{1}{X_{20}} + \frac{1}{X_{21}} + \frac{1}{X_{22}} + \frac{1}{X_{25}} = \frac{1}{0.024} + \frac{1}{0.12852} + \frac{1}{0.12852} + \frac{1}{0.0144} = 126.6729$$

$$X_{28} = X_{29} = X_{21} \cdot X_{25} \cdot Y_{\Sigma 2} = 0.12852 \times 0.0144 \times 126.6729 = 0.23443$$

$$X_{30} = X_{20} \cdot X_{25} \cdot Y_{\Sigma 2} = 0.024 \times 0.0144 \times 126.6729 = 0.04378$$

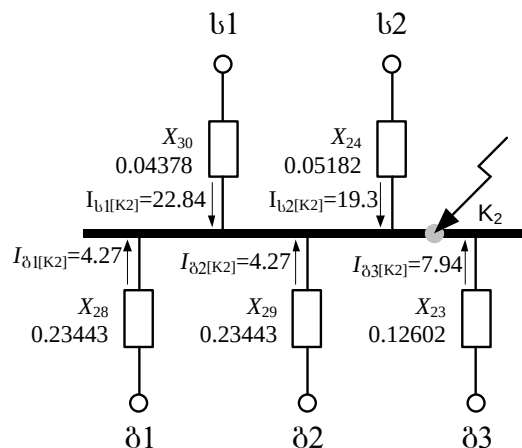
ვიპოვოთ ნახ. 4.13-ზე მოცემული თითოეული ენერგიის წყაროდან K_2 წერტილისკენ წასული ფე დენები.

$$I_{s1[K2]} = \frac{E''_{s1} - U_{K2}}{X_{30}} = \frac{1-0}{0.04378} = 22.84 \text{ (ფე)}$$

$$I_{s2[K2]} = \frac{E''_{s2} - U_{K2}}{X_{24}} = \frac{1-0}{0.05182} = 19.3 \text{ (ფე)}$$

$$I_{\delta 1[K2]} = I_{\delta 2[K2]} = \frac{E''_{\delta 1} - U_{K2}}{X_{28}} = \frac{1-0}{0.23443} = 4.27 \text{ (ფე)}$$

$$I_{\delta 3[K2]} = \frac{E''_{\delta 3} - U_{K2}}{X_{23}} = \frac{1-0}{0.12602} = 7.94 \text{ (ფე)}$$



ნახ 4.13

ვიპოვოთ წყაროებიდან K_2 წერტილისკენ წასული მშ რეალური დენების პერიოდული მდგენელები:

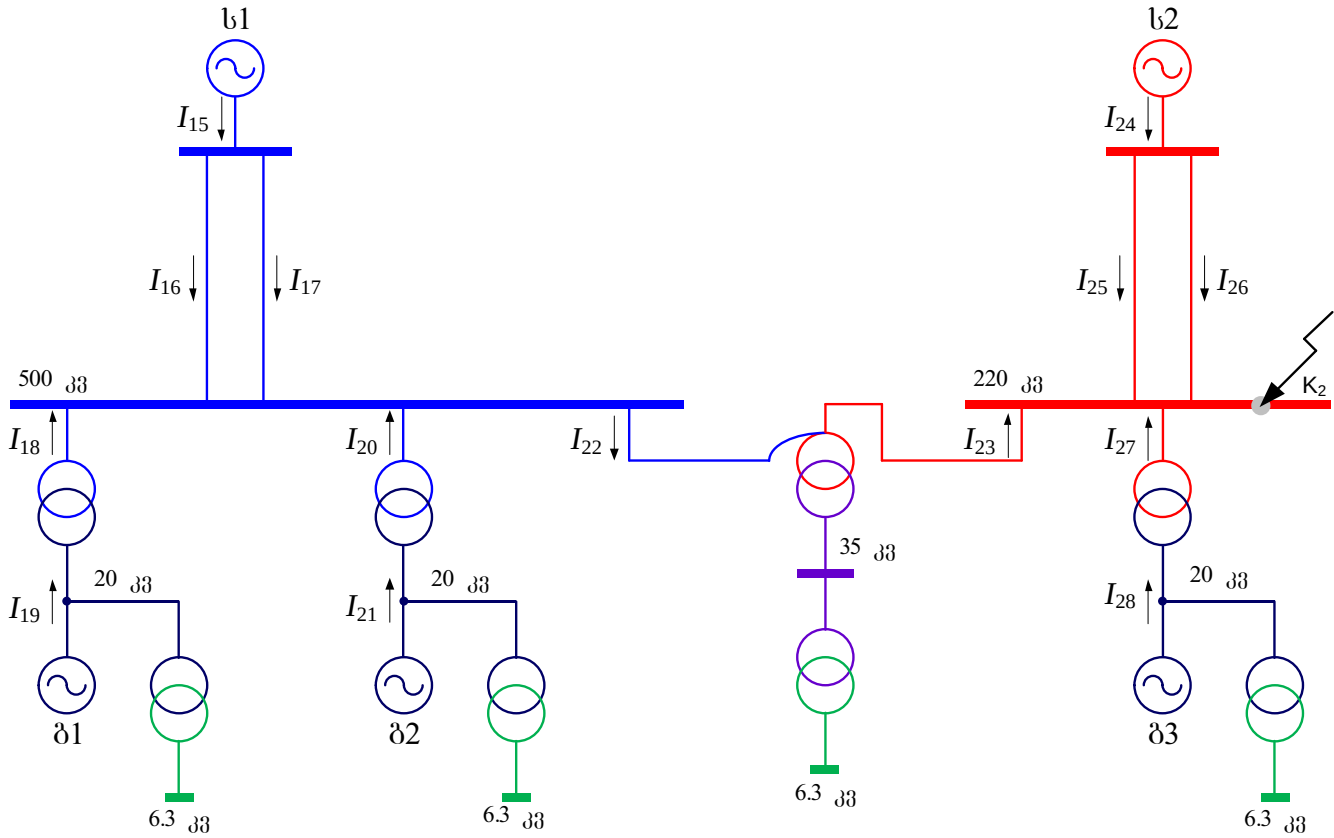
$$I_{s1[K2]} = I_{s1[K2]}(\text{ფე}) \times I_{\text{ბაზ 500}}(\text{კა}) = 22.84 \times 0.1155 = 2.638 \text{ (კა)};$$

$$I_{s2[K2]} = I_{s2[K2]}(\text{ფე}) \times I_{\text{ბაზ 220}}(\text{კა}) = 19.3 \times 0.2624 = 5.0643 \text{ (კა)};$$

$$I_{\delta I[K2]} = I_{\delta 2[K2]} = I_{\delta I[K2]}(\text{ფე}) \times I_{\delta \text{ბ} 20}(\text{კა}) = 4.27 \times 2.8868 = 12.3267 (\text{კა});$$

$$I_{\delta 3[K2]} = I_{\delta 3[K2]}(\text{ფე}) \times I_{\delta \text{ბ} 20}(\text{კა}) = 7.94 \times 2.8868 = 22.9212 (\text{კა});$$

ვიზოვით ელსადგურის სქემის შტოებში დენების განაწილება K_2 წერტილში მშ დროს (ნახ. 4.14)



ნახ. 4.14

$$I_{15} = I_{\delta I[K2]} = 2.638 \text{ კა};$$

$$I_{16} = I_{17} = \frac{I_{15}}{2} = \frac{2.638}{2} = 1.319 \text{ კა};$$

$$I_{19} = I_{21} = I_{\delta I[K2]} = 12.3267 \text{ კა};$$

$$I_{18} = I_{20} = I_{19} \cdot \frac{U_{\delta 1}}{U_{500}} = 12.3267 \times \frac{20}{500} = 0.4931 \text{ კა};$$

$$I_{22} = I_{16} + I_{17} + I_{18} + I_{20} = 1.319 + 1.319 + 0.4931 + 0.4931 = 3.6242 \text{ კა};$$

$$I_{23} = I_{22} \cdot \frac{U_{500}}{U_{220}} = 3.6242 \times \frac{500}{220} = 8.2368 \text{ კა};$$

$$I_{24} = I_{\delta 2[K2]} = 5.0643 \text{ კა};$$

$$I_{25} = I_{26} = \frac{I_{24}}{2} = \frac{5.0643}{2} = 2.5322 \text{ კა};$$

$$I_{28} = I_{\delta 3[K2]} = 22.9212 \text{ კა};$$

$$I_{27} = I_{28} \cdot \frac{U_{\partial 3}}{U_{220}} = 22.9212 \times \frac{20}{220} = 2.0837 \text{ კა};$$

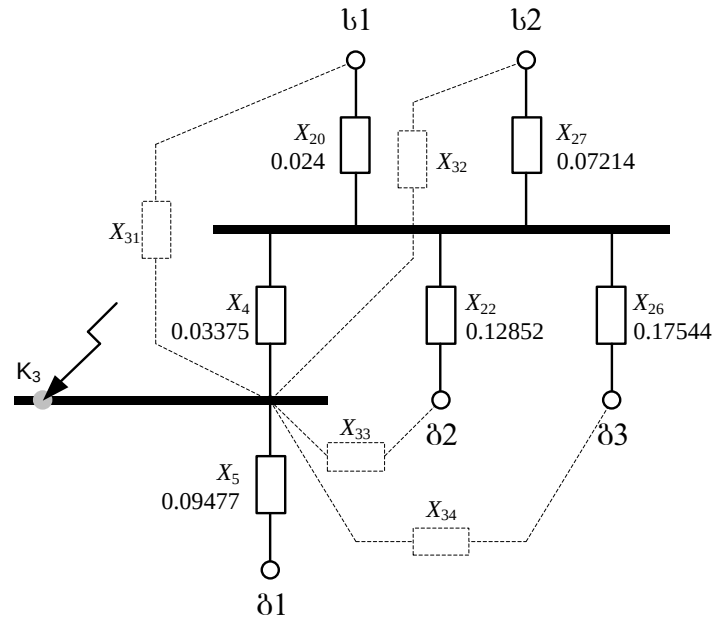
მშ ჯამური დენის პერიოდული მდგენელი K_2 წერტილში

$$I_{K2\Sigma} = I_{23} + I_{25} + I_{26} + I_{27} = 8.2368 + 2.5322 + 2.5322 + 2.0837 \approx 15.38 \text{ კა};$$

ცხრილი 4.1-დან ამ წერტილისთვის $k_{\text{ღ}} = 1.935$. ამიტომ დარტყმის დენი K_2 წერტილში.

$$i_{K2\text{ღ}} = k_{\text{ღ}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K2\Sigma} = 1.935 \times \sqrt{2} \times 15.38 = 42.09 \text{ კა}.$$

ვიანგარიშით K_3 წერტილში სამფაზა მშ შედეგად გამოწვეული ავარიული დენები.. გამოვიყენოთ ნახ. 4.10-ზე მოცემული სქემა, იმ განსხვავებით, რომ X_4 და X_5 წინააღობები ცალ-ცალკე იქნება მოცემული, ნაცვლად მათი ჯამური წინააღობა X_{21} -ისა.



ნახ. 4.15

გ1-ის მსგავსად, გ2, გ3, ს1 და ს2-იც უშუალოდ, ერთი შტოთი, დავუკავშიროთ მშ-ის წერტილს K_3 . ამისათვის ვარსკვლავი $X_4 - X_{20} - X_{27} - X_{22} - X_{26}$ გარდავექმნათ დიაგონალებიან ხუთკუთხედად ს1-ს2-გ3-გ2- K_3 და ვიპოვოთ მისი გვერდები და დიაგონალები X_{31} , X_{32} , X_{33} , და X_{34} (იხ ცხრილი 4.2, გარდაქმნა №5). ნახ. 4.15-ზე მოცემული სქემა მიიღებს ნახ. 4.16-ზე ნაჩვენებ სახეს.

ვიპოვოთ ვარსკვლავი $X_4 - X_{20} - X_{27} - X_{22} - X_{26}$ -ის ჯამური გამტარობა:

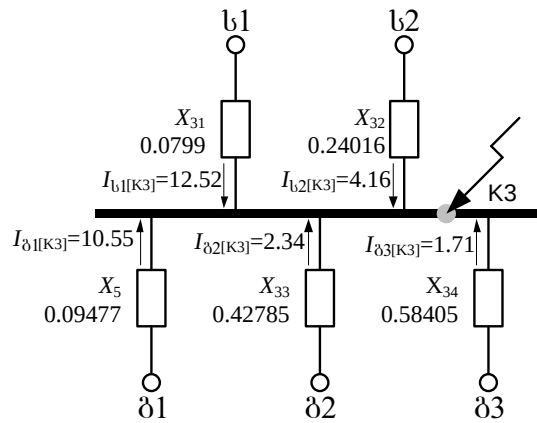
$$Y_{\Sigma 3} = \frac{1}{X_4} + \frac{1}{X_{20}} + \frac{1}{X_{27}} + \frac{1}{X_{22}} + \frac{1}{X_{26}} = \frac{1}{0.03375} + \frac{1}{0.024} + \frac{1}{0.07214} + \frac{1}{0.12852} + \frac{1}{0.17544} = 98.63908$$

$$X_{31} = X_{20} \cdot X_4 \cdot Y_{\Sigma 3} = 0.024 \times 0.03375 \times 98.63908 = 0.0799$$

$$X_{32} = X_{27} \cdot X_4 \cdot Y_{\Sigma 3} = 0.07214 \times 0.03375 \times 98.63908 = 0.24016$$

$$X_{33} = X_{22} \cdot X_4 \cdot Y_{\Sigma 3} = 0.12852 \times 0.03375 \times 98.63908 = 0.42785$$

$$X_{34} = X_{26} \cdot X_4 \cdot Y_{\Sigma 3} = 0.17544 \times 0.03375 \times 98.63908 = 0.58405$$



ნახ. 4.16

ვიპოვოთ ნახ. 4.16-ზე მოცემული თითოეული ენერგიის წყაროდან K_3 წერტილისკენ წასული ფარდობითი დენები.

$$I_{ს1[K3]} = \frac{E''_{ს1} - U_{K3}}{X_{31}} = \frac{1-0}{0.0799} = 12.52$$

$$I_{ს2[K3]} = \frac{E''_{ს2} - U_{K3}}{X_{32}} = \frac{1-0}{0.24016} = 4.16$$

$$I_{ბ1[K3]} = \frac{E''_{ბ1} - U_{K3}}{X_5} = \frac{1-0}{0.09477} = 10.55$$

$$I_{ბ2[K3]} = \frac{E''_{ბ2} - U_{K3}}{X_{33}} = \frac{1-0}{0.42785} = 2.34$$

$$I_{ბ3[K3]} = \frac{E''_{ბ3} - U_{K3}}{X_{34}} = \frac{1-0}{0.5841} = 1.71$$

ვიპოვოთ წყაროებიდან K_3 წერტილისკენ წასული მშ რეალური დენების პერიოდული მდგენელები:

$$I_{ს1[K3]} = I_{ს1[K3]}(\text{ფე}) \times I_{ბაზ 500}(\text{კა}) = 12.52 \times 0.1155 = 1.4461 \text{ (კა);}$$

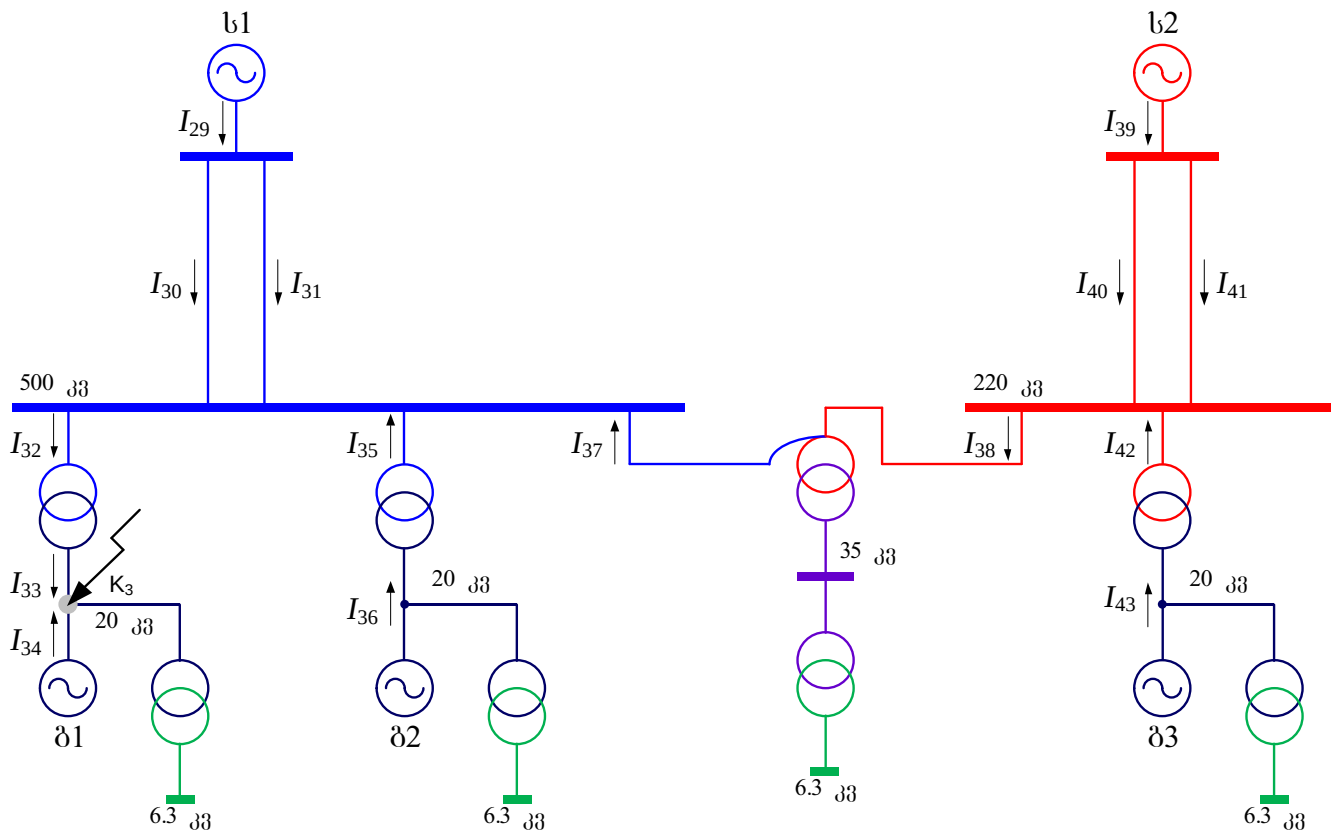
$$I_{ს2[K3]} = I_{ს2[K3]}(\text{ფე}) \times I_{ბაზ 220}(\text{კა}) = 4.16 \times 0.2624 = 1.0916 \text{ (კა);}$$

$$I_{ბ1[K3]} = I_{ბ1[K3]}(\text{ფე}) \times I_{ბაზ 20}(\text{კა}) = 10.55 \times 2.8868 = 30.4557 \text{ (კა);}$$

$$I_{ბ2[K3]} = I_{ბ2[K3]}(\text{ფე}) \times I_{ბაზ 20}(\text{კა}) = 2.34 \times 2.8868 = 6.7551 \text{ (კა);}$$

$$I_{ბ3[K3]} = I_{ბ3[K3]}(\text{ფე}) \times I_{ბაზ 20}(\text{კა}) = 1.71 \times 2.8868 = 4.9364 \text{ (კა);}$$

ვიპოვოთ ელსადგურის სქემის შტოებში დენების განაწილება K_3 წერტილში მშ დროს (ნახ. 4.17)



გახ. 4.17

$$I_{29} = I_{S1[K3]} = 1.4461 \text{ კა};$$

$$I_{30} = I_{31} = \frac{I_{29}}{2} = \frac{1.4461}{2} = 0.7231 \text{ კა};$$

$$I_{34} = I_{\delta1[K3]} = 30.4557 \text{ კა};$$

$$I_{36} = I_{\delta2[K3]} = 6.7551 \text{ კა};$$

$$I_{35} = I_{36} \cdot \frac{U_{\delta2}}{U_{500}} = 6.7551 \times \frac{20}{500} = 0.2702 \text{ კა};$$

$$I_{39} = I_{S2[K3]} = 1.0916 \text{ კა};$$

$$I_{40} = I_{41} = \frac{I_{39}}{2} = \frac{1.0916}{2} = 0.5458 \text{ კა};$$

$$I_{43} = I_{\delta3[K3]} = 4.9364 \text{ კა};$$

$$I_{42} = I_{43} \cdot \frac{U_{\delta3}}{U_{220}} = 4.9364 \times \frac{20}{220} = 0.4488 \text{ კა};$$

$$I_{38} = I_{40} + I_{41} + I_{42} = 0.5458 + 0.5458 + 0.4488 = 1.5404 \text{ კა};$$

$$I_{37} = I_{38} \cdot \frac{U_{220}}{U_{500}} = 1.5404 \times \frac{220}{500} = 0.6778 \text{ კა};$$

$$I_{32} = I_{30} + I_{31} + I_{35} + I_{37} = 0.7231 + 0.7231 + 0.2702 + 0.6778 = 2.3942 \text{ კა};$$

$$I_{33} = I_{32} \cdot \frac{U_{500}}{U_{\delta 1}} = 2.3942 \times \frac{500}{20} = 59.855 \text{ კა};$$

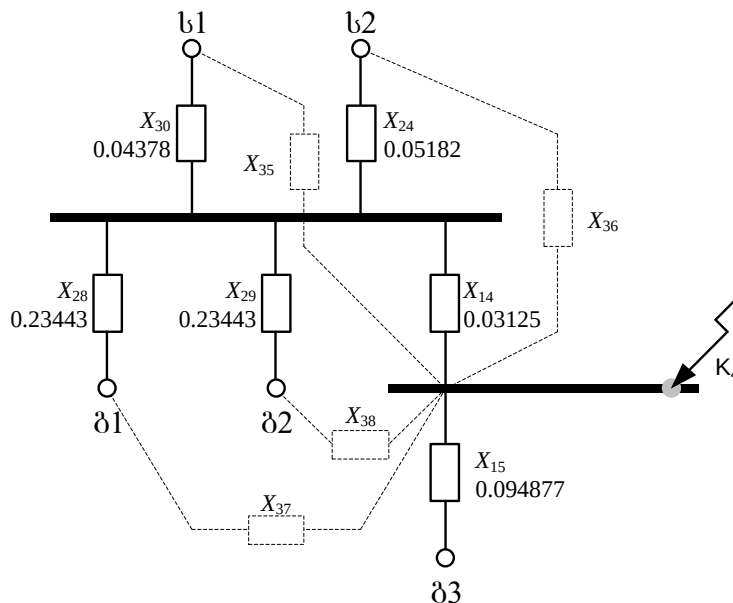
მშ ჯამური დენის პერიოდული მდგენელი K_3 წერტილში

$$I_{K3\Sigma} = I_{33} + I_{34} = 59.855 + 30.4557 \approx 90.31 \text{ კა};$$

ცხრილი 4.1-დან ამ წერტილისთვის $k_{\text{ღ}} = 1.98$. ამიტომ დარტყმის დენი K_3 წერტილში.

$$i_{K3\text{ღ}} = k_{\text{ღ}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K3\Sigma} = 1.98 \times \sqrt{2} \times 90.31 = 252.88 \text{ კა}.$$

ვიანგარიშით K_4 წერტილში სამფაზა მშ შედეგად გამოწვეული ავარიული დენები.. გამოვიყენოთ ნახ. 4.16-ზე მოცემული სქემა, იმ განსხვავებით, რომ X_{14} და X_{15} წინააღობები ცალ-ცალკე იქნება წარმოდგენილი, ნაცლად მათი ჯამური წინააღობა X_{23} -ისა (ნახ. 4.18).



ნახ. 4.18

გ3-ის მსგავსად, გ1, გ2, ს1 და ს2-იც უშუალოდ, ერთი შტოთი, დავუკავშიროთ მშ-ის წერტილს K_4 . ამისათვის ვარსკვლავი $X_{30} - X_{24} - X_{14} - X_{29} - X_{28}$ გარდაექმნათ დიაგონალებიან ხუთკუთხედად გ2-გ1-ს1-ს2- K_4 და ვიპოვოთ მისი გვერდები და დიაგონალები X_{35} , X_{36} , X_{37} და X_{38} . ნახ. 4.18-ზე მოცემული სქემა მიიღებს ნახ. 4.19-ზე ნაჩვენებ სახეს.

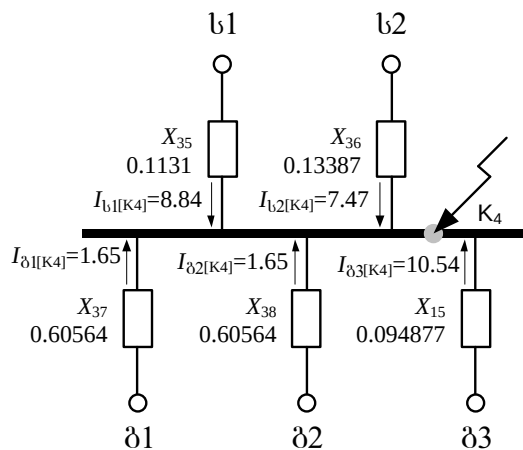
ვიპოვოთ ვარსკვლავი $X_{30} - X_{24} - X_{14} - X_{29} - X_{28}$ -ის ჯამური გამტარობა:

$$Y_{\Sigma 4} = \frac{1}{X_{14}} + \frac{1}{X_{30}} + \frac{1}{X_{24}} + \frac{1}{X_{28}} + \frac{1}{X_{29}} = \frac{1}{0.03125} + \frac{1}{0.04378} + \frac{1}{0.05182} + \frac{1}{0.23443} + \frac{1}{0.23443} = 82.6704$$

$$X_{35} = X_{30} \cdot X_{14} \cdot Y_{\Sigma 4} = 0.04378 \times 0.03125 \times 82.6704 = 0.1131$$

$$X_{36} = X_{24} \cdot X_{14} \cdot Y_{\Sigma 4} = 0.05182 \times 0.03125 \times 82.6704 = 0.13387$$

$$X_{37} = X_{38} = X_{28} \cdot X_{14} \cdot Y_{\Sigma 4} = 0.23443 \times 0.03125 \times 82.6704 = 0.60564$$



ნახ. 4.19

ვიპოვოთ ნახ. 4.19-ზე მოცემული თითოეული ენერგიის წყაროდან K_4 წერტილისკენ წასული ფარდობითი დენები.

$$I_{b1[K4]} = \frac{E''_{b1} - U_{K4}}{X_{35}} = \frac{1-0}{0.1131} = 8.84;$$

$$I_{b2[K4]} = \frac{E''_{b2} - U_{K4}}{X_{36}} = \frac{1-0}{0.13387} = 7.47;$$

$$I_{b1[K4]} = I_{b2[K4]} = \frac{E''_{b1} - U_{K4}}{X_{37}} = \frac{1-0}{0.60564} = 1.65;$$

$$I_{b3[K4]} = \frac{E''_{b3} - U_{K4}}{X_{15}} = \frac{1-0}{0.094877} = 10.54;$$

ვიპოვოთ წყაროებიდან K_4 წერტილისკენ წასული მშ რეალური დენების პერიოდული მდგენელები:

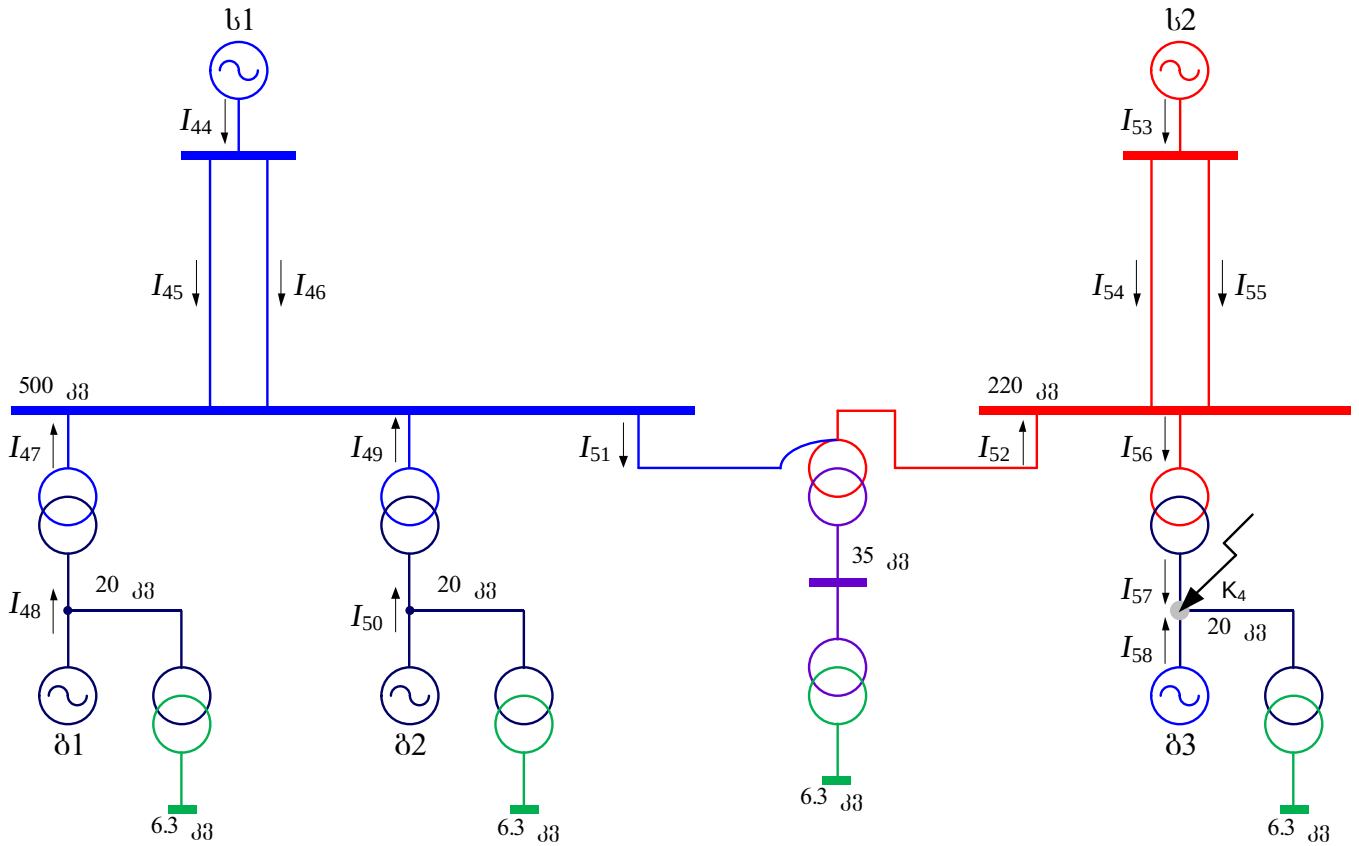
$$I_{b1[K4]} = I_{b1[K4]}(\text{ფე}) \times I_{ბაზ 500}(\text{კა}) = 8.84 \times 0.1155 = 1.021 \text{ (კა)};$$

$$I_{b2[K4]} = I_{b2[K4]}(\text{ფე}) \times I_{ბაზ 220}(\text{კა}) = 7.47 \times 0.2624 = 1.9601 \text{ (კა)};$$

$$I_{b1[K4]} = I_{b2[K4]} = I_{b1[K4]}(\text{ფე}) \times I_{ბაზ 20}(\text{კა}) = 1.65 \times 2.8868 = 4.7632 \text{ (კა)};$$

$$I_{b3[K4]} = I_{b3[K4]}(\text{ფე}) \times I_{ბაზ 20}(\text{კა}) = 10.54 \times 2.8868 = 30.4269 \text{ (კა)};$$

ვიზოვით ელსადგურის სქემის შტოებში დენების განაწილება K_4 წერტილში მშ დროს (ნახ. 4.20)



ნახ. 4.20

$$I_{44} = I_{s1[K4]} = 1.021 \text{ კა};$$

$$I_{45} = I_{46} = \frac{I_{44}}{2} = \frac{1.021}{2} = 0.5105 \text{ კა};$$

$$I_{48} = I_{50} = I_{\delta1[K4]} = 4.7632 \text{ კა};$$

$$I_{47} = I_{49} = I_{48} \cdot \frac{U_{\delta1}}{U_{500}} = 4.7532 \times \frac{20}{500} = 0.1905 \text{ კა};$$

$$I_{51} = I_{45} + I_{46} + I_{47} + I_{48} = 0.5105 + 0.5105 + 0.1905 + 0.1905 = 1.402 \text{ კა};$$

$$I_{52} = I_{51} \cdot \frac{U_{500}}{U_{220}} = 1.402 \times \frac{500}{220} = 3.1864 \text{ კა};$$

$$I_{53} = I_{s2[K4]} = 1.9601 \text{ კა};$$

$$I_{54} = I_{55} = \frac{I_{53}}{2} = \frac{1.9601}{2} = 0.9801 \text{ კა};$$

$$I_{56} = I_{52} + I_{54} + I_{55} = 3.1864 + 0.9801 + 0.9801 = 5.1465 \text{ კა};$$

$$I_{57} = I_{56} \cdot \frac{U_{220}}{U_{\delta3}} = 5.1465 \times \frac{220}{20} = 56.6115 \text{ კა};$$

$$I_{58} = I_{\text{პ3}[K4]} = 22.9212 \text{ კა};$$

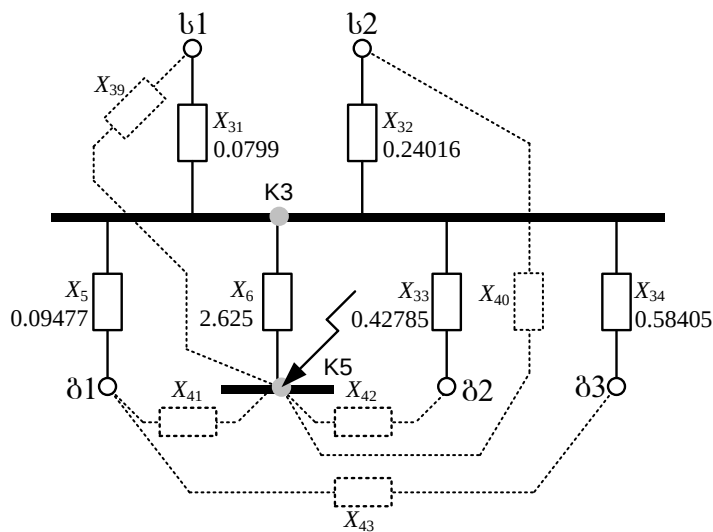
მშ ჯამური დენის პერიოდული მდგენელი K_4 წერტილში

$$I_{K4\Sigma} = I_{57} + I_{58} = 56.6115 + 30.4269 \approx 87.04 \text{ კა};$$

ცხრილი 4.1-დან ამ წერტილისთვის $k_{\text{ფ}} = 1.98$. ამიტომ დარტყმის დენი K_4 წერტილში.

$$i_{K4\text{ფ}} = k_{\text{ფ}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K4\Sigma} = 1.98 \times \sqrt{2} \times 87.04 = 243.72 \text{ კა}.$$

ვიანგარიშით K_5 წერტილში სამფაზა მშ შედეგად გამოწვეული ავარიული დენები. ამ შემთხვევაში მშ დენების საანგარიშო სქემა ანალოგიური იქნება ნახ. 4.16-ისა, იმ განსხვავებით, რომ K_5 წერტილი K_3 წერტილთან მიერთებული იქნება საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორი წინააღობით X_{26} (ნახ. 4.21).



ნახ 4.21

გარდავქმნათ ნახ. 4.21-ზე მოცემული სქემა იმგვარად, რომ ყველა წყარო დაუკავშირდეს მშ წერტილთან თითო წინააღობით. სხვა სიტყვებით, ვარსკვლავი $X_{31} - X_{32} - X_5 - X_{26} - X_{33} - X_{34}$ გარდავქმნათ მრავალკუთხედად და ვიპოვოთ მისი შემდეგი გვერდები და დიაგონალები: $X_{39}, X_{40}, X_{41}, X_{42}, X_{43}$.

პირველ რიგში ვიპოვოთ ზემოაღნიშნული ვარსკვლავის ჯამური გამტარობა.

$$Y_{\Sigma 5} = \frac{1}{X_{31}} + \frac{1}{X_{32}} + \frac{1}{X_5} + \frac{1}{X_{26}} + \frac{1}{X_{33}} + \frac{1}{X_{34}} =$$

$$= \frac{1}{0.0799} + \frac{1}{0.24016} + \frac{1}{0.09477} + \frac{1}{2.625} + \frac{1}{0.42785} + \frac{1}{0.58405} = 31.6618$$

საძიებელი გვერდები და დიაგონალები:

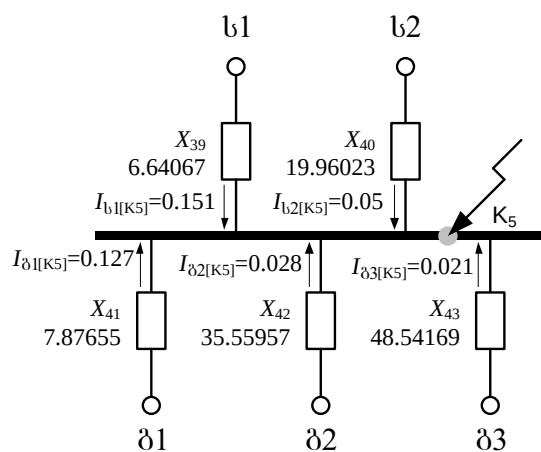
$$X_{39} = X_{31} \cdot X_6 \cdot Y_{\Sigma 5} = 0.0799 \times 2.625 \times 31.66302 = 6.64067$$

$$X_{40} = X_{32} \cdot X_6 \cdot Y_{\Sigma 5} = 0.24016 \times 2.625 \times 31.66302 = 19.96023$$

$$X_{41} = X_5 \cdot X_6 \cdot Y_{\Sigma 5} = 0.09477 \times 2.625 \times 31.66302 = 7.87655$$

$$X_{42} = X_{33} \cdot X_6 \cdot Y_{\Sigma 5} = 0.42785 \times 2.625 \times 31.66302 = 35.55957$$

$$X_{43} = X_{34} \cdot X_6 \cdot Y_{\Sigma 5} = 0.58405 \times 2.625 \times 31.66302 = 48.54169$$



ნახ. 4.22

ამრიგად, ნახ. 4.21-ზე მოცემული სქემა მიიღებს ნახ. 4.22 სახეს, სადაც

$$I_{s1[K5]} = \frac{E''_{s1} - U_{K5}}{X_{39}} = \frac{1-0}{6.64067} = 0.151$$

$$I_{s2[K5]} = \frac{E''_{s2} - U_{K5}}{X_{40}} = \frac{1-0}{19.96023} = 0.05$$

$$I_{\beta1[K5]} = \frac{E''_{\beta1} - U_{K5}}{X_{41}} = \frac{1-0}{7.87655} = 0.127$$

$$I_{\beta2[K5]} = \frac{E''_{\beta2} - U_{K5}}{X_{42}} = \frac{1-0}{35.55957} = 0.028$$

$$I_{\beta3[K5]} = \frac{E''_{\beta3} - U_{K5}}{X_{43}} = \frac{1-0}{48.54169} = 0.021$$

წყაროებიდან K_5 წერტილისკენ წასული მშ რეალური დენების პერიოდული მდგენელები იქნება:

$$I_{s1[K5]} = I_{s1[K5]}(\text{ფე}) \times I_{\beta\text{აზ } 500}(\text{კა}) = 0.151 \times 0.1155 = 0.0174 \text{ (კა);}$$

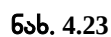
$$I_{s2[K5]} = I_{s2[K5]}(\text{ფე}) \times I_{\beta\text{აზ } 220}(\text{კა}) = 0.05 \times 0.2624 = 0.0131 \text{ (კა);}$$

$$I_{\beta1[K5]} = I_{\beta1[K5]}(\text{ფე}) \times I_{\beta\text{აზ } 20}(\text{კა}) = 0.127 \times 2.8868 = 0.367 \text{ (კა);}$$

$$I_{\beta2[K5]} = I_{\beta2[K5]}(\text{ფე}) \times I_{\beta\text{აზ } 20}(\text{კა}) = 0.028 \times 2.8868 = 0.0808 \text{ (კა);}$$

$$I_{\beta3[K5]} = I_{\beta3[K5]}(\text{ფე}) \times I_{\beta\text{აზ } 20}(\text{კა}) = 0.021 \times 2.8868 = 0.0606 \text{ (კა);}$$

ვიპოვოთ ელსადგურის სქემის შტოებში დენების განაწილება K_5 წერტილში მშ დროს (ნახ. 4.23)



$$I_{60} = I_{61} = \frac{I_{59}}{2} = \frac{0.0174}{2} = 0.0087 \text{ } \delta\delta;$$

$$I_{63} = I_{\delta 2[\text{K}5]} = 0.0808 \text{ } \mu\text{J};$$

$$I_{68} = I_{\text{b2[K5]}} = 0.0131 \text{ } \mu\text{S};$$

$$I_{69} = I_{70} = \frac{I_{65}}{2} = \frac{0.0131}{2} = 0.00655 \text{ } \delta\delta;$$

$$I_{71} = I_{\delta 3[K5]} = 0.061 \text{ } \mu\text{s};$$

$$I_{72} = I_{71} \cdot \frac{U_{33}}{U_{220}} = 0.0606 \times \frac{20}{220} = 0.0055 \text{ A};$$

$$I_{67} = I_{69} + I_{70} + I_{72} = 0.00655 + 0.00655 + 0.0055 = 0.0186 \text{ } \delta s;$$

$$I_{66} = I_{67} \cdot \frac{U_{220}}{U_{500}} = 0.0186 \times \frac{220}{500} = 0.0082 \text{ } \mathcal{A};$$

$$I_{64} = I_{60} + I_{61} + I_{65} + I_{66} = 0.0087 + 0.0087 + 0.0032 + 0.0082 = 0.0288 \quad \text{до;}$$

$$I_{73} = I_{64} \cdot \frac{U_{500}}{U_{\delta 1}} = 0.0288 \times \frac{500}{20} = 0.72 \text{ კა};$$

$$I_{74} = I_{62} + I_{73} = 0.367 + 0.72 = 1.087 \text{ კა};$$

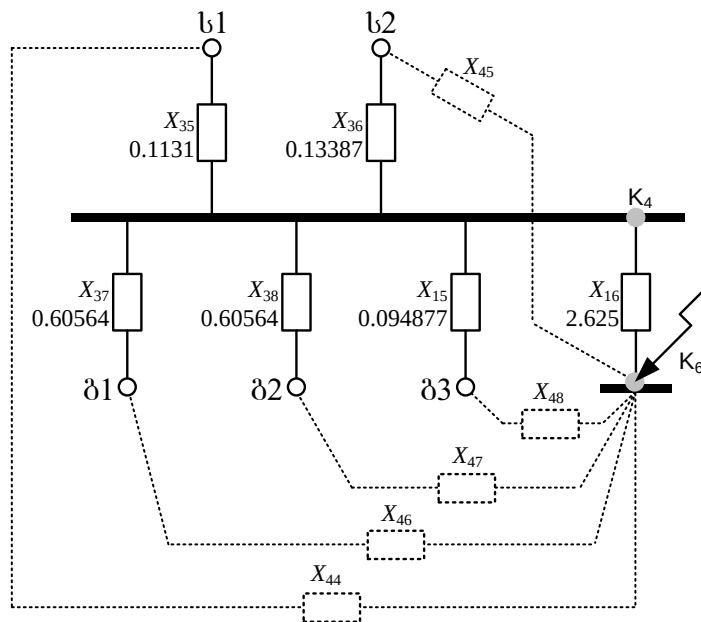
მშ ჯამური დენის პერიოდული მდგენელი K_5 წერტილში

$$I_{K5\Sigma} = I_{75} = I_{74} \cdot \frac{U_{\delta 1}}{U_{6.3}} = 1.087 \times \frac{20}{6.3} \approx 3.45 \text{ კა};$$

ცხრილი 4.1-დან ამ წერტილისთვის $k_{\text{ღ}} = 1.85$. ამიტომ დარტყმის დენი K_5 წერტილში.

$$i_{K5\text{ღ}} = k_{\text{ღ}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K5\Sigma} = 1.85 \times \sqrt{2} \times 3.62 = 9.47 \text{ კა}.$$

ვიანგარიშით K_6 წერტილში სამფაზა მშ შედეგად გამოწვეული ავარიული დენები. ამ შემთხვევაში მშ დენების საანგარიშო სქემა ანალოგიური იქნება ნახ. 4.19-ისა, იმ განსხვავებით, რომ K_6 წერტილი K_4 წერტილთან მიერთებული იქნება საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორის წინაღობით X_{16} (ნახ. 4.24).



ნახ. 4.24

გარდავქმნათ ნახ. 4.24-ზე მოცემული სქემა იმგვარად, რომ ყველა წყარო დაკავშირებული იქნას მშ წერტილთან თითო წინაღობით. სხვა სიტყვებით, ვარსკვლავი $X_{35} - X_{36} - X_{37} - X_{38} - X_{15} - X_{16}$ გარდავქმნათ მრავალკუთხედად და ვიპოვოთ მისი შემდეგი გვერდები და დიაგონალები: $X_{44}, X_{45}, X_{46}, X_{47}, X_{48}$.

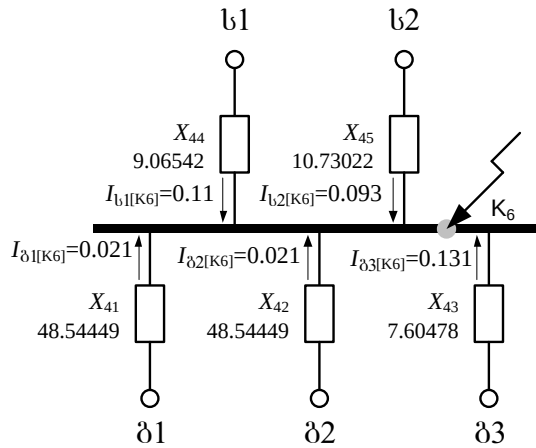
პირველ რიგში, ვიპოვოთ ზემოაღნიშნული ვარსკვლავის ჯამური გამტარობა.

$$Y_{\Sigma 6} = \frac{1}{X_{35}} + \frac{1}{X_{36}} + \frac{1}{X_{37}} + \frac{1}{X_{38}} + \frac{1}{X_{15}} + \frac{1}{X_{16}} =$$

$$= \frac{1}{0.1131} + \frac{1}{0.13387} + \frac{1}{0.60564} + \frac{1}{0.60564} + \frac{1}{0.094877} + \frac{1}{2.625} = 30.53487$$

საძიებელი გვერდები და დიაგონალები:

$$\begin{aligned} X_{44} &= X_{35} \cdot X_{16} \cdot Y_{\Sigma 6} = 0.1131 \times 2.625 \times 30.53487 = 9.065422 \\ X_{45} &= X_{36} \cdot X_{16} \cdot Y_{\Sigma 6} = 0.13387 \times 2.625 \times 30.53487 = 10.73022 \\ X_{46} &= X_{47} = X_{37} \cdot X_{16} \cdot Y_{\Sigma 6} = 0.13387 \times 2.625 \times 30.53487 = 48.54449 \\ X_{48} &= X_{15} \cdot X_{16} \cdot Y_{\Sigma 6} = 0.094877 \times 2.625 \times 30.53487 = 7.60478 \end{aligned}$$



ნახ. 4.25

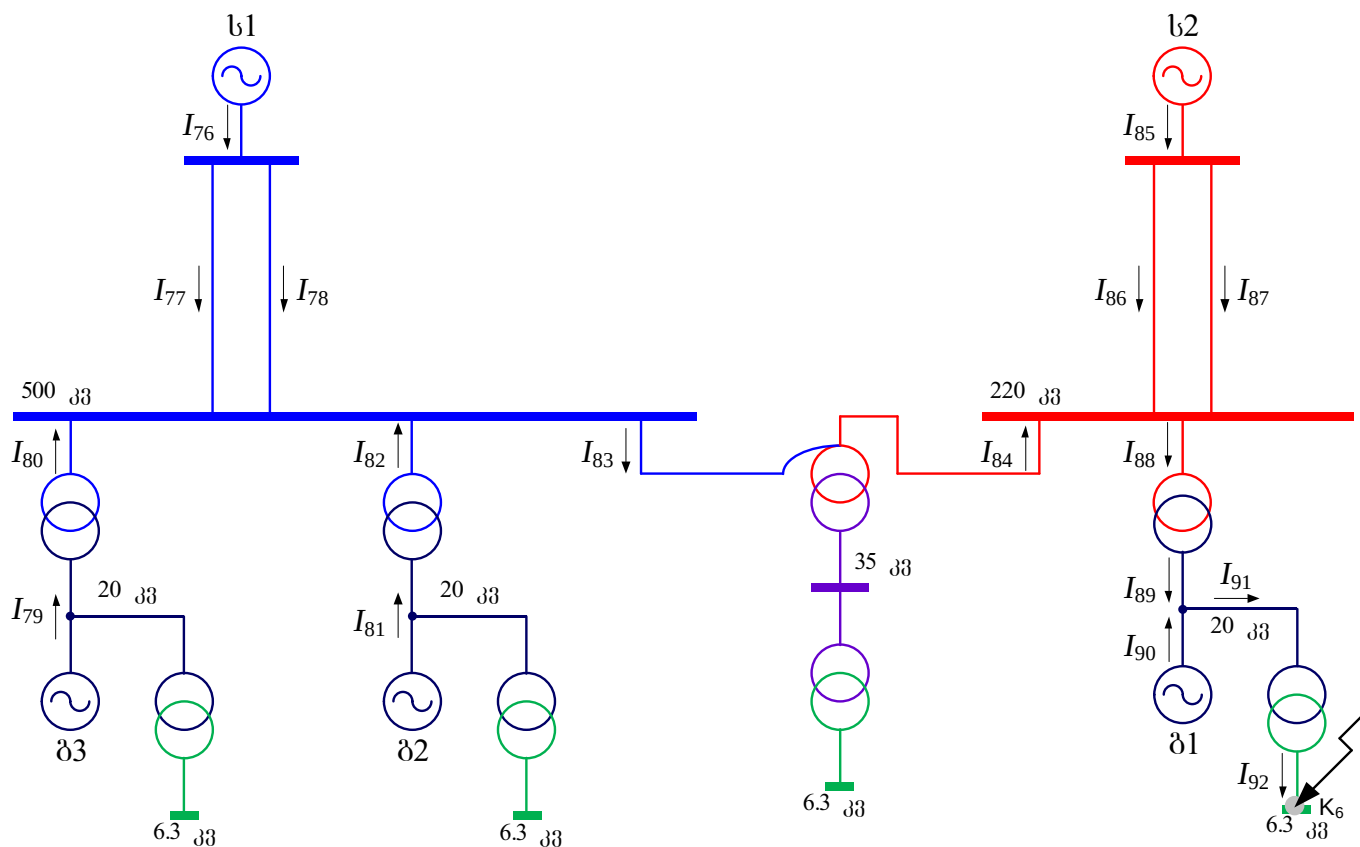
ვიპოვოთ ნახ. 4.25-ზე მოცემული თითოეული ენერგიის წყაროდან K_6 წერტილისკენ წასული ფარდობითი დენები.

$$\begin{aligned} I_{s1[K6]} &= \frac{E''_{s1} - U_{K6}}{X_{44}} = \frac{1 - 0}{9.06542} = 0.1103; \\ I_{s2[K6]} &= \frac{E''_{s2} - U_{K6}}{X_{45}} = \frac{1 - 0}{10.73022} = 0.093; \\ I_{\beta 1[K6]} &= I_{\beta 2[K6]} = \frac{E''_{\beta 1} - U_{K6}}{X_{41}} = \frac{1 - 0}{48.54449} = 0.021; \\ I_{\beta 3[K6]} &= \frac{E''_{\beta 3} - U_{K6}}{X_{43}} = \frac{1 - 0}{7.60478} = 0.131; \end{aligned}$$

თითოეული ენერგიის წყაროდან K_6 წერტილისკენ წასული რეალური დენები იქნება.

$$\begin{aligned} I_{s1[K6]} &= I_{s1[K6]}(\text{ფე}) \times I_{\beta \Sigma 500}(\text{კა}) = 0.11 \times 0.1155 = 0.0127 \text{ (კა)}; \\ I_{s2[K6]} &= I_{s2[K6]}(\text{ფე}) \times I_{\beta \Sigma 220}(\text{კა}) = 0.093 \times 0.2624 = 0.0244 \text{ (კა)}; \\ I_{\beta 1[K6]} &= I_{\beta 2[K6]} = I_{\beta 1[K6]}(\text{ფე}) \times I_{\beta \Sigma 20}(\text{კა}) = 0.021 \times 2.8868 = 0.0606 \text{ (კა)}; \\ I_{\beta 3[K6]} &= I_{\beta 3[K6]}(\text{ფე}) \times I_{\beta \Sigma 20}(\text{კა}) = 0.131 \times 2.8868 = 0.3782 \text{ (კა)}; \end{aligned}$$

ვიპოვოთ ელსადგურის სქემის შტოებში დენების განაწილება K_6 წერტილში მშ დროს (ნახ. 4.26)



ნახ. 4.26

$$I_{76} = I_{\text{ს1}[K 6]} = 0.0127 \text{ კა;}$$

$$I_{77} = I_{78} = \frac{I_{76}}{2} = \frac{0.0127}{2} = 0.0064 \text{ კა;}$$

$$I_{79} = I_{81} = I_{\text{ბ1}[K 6]} = 0.0606 \text{ კა;}$$

$$I_{80} = I_{82} = I_{79} \cdot \frac{U_{\text{ბ1}}}{U_{500}} = 0.0606 \times \frac{20}{500} = 0.0024 \text{ კა;}$$

$$I_{83} = I_{77} + I_{78} + I_{80} + I_{82} = 0.00635 + 0.00635 + 0.0024 + 0.0024 = 0.0175 \text{ კა;}$$

$$I_{84} = I_{83} \cdot \frac{U_{500}}{U_{220}} = 0.0175 \times \frac{500}{220} = 0.0398 \text{ კა;}$$

$$I_{85} = I_{\text{ს2}[K 6]} = 0.0244 \text{ კა;}$$

$$I_{86} = I_{87} = \frac{I_{85}}{2} = \frac{0.0244}{2} = 0.0122 \text{ კა;}$$

$$I_{88} = I_{84} + I_{86} + I_{87} = 0.0398 + 0.0122 + 0.0122 = 0.0642 \text{ კა;}$$

$$I_{89} = I_{88} \cdot \frac{U_{220}}{U_{\text{ბ3}}} = 0.0642 \times \frac{220}{20} = 0.7062 \text{ კა;}$$

$$I_{90} = I_{\text{ბ3}[K 6]} = 0.3782 \text{ კა;}$$

$$I_{91} = I_{89} + I_{90} = 0.7062 + 0.3782 = 1.0844 \text{ კა;}$$

მშ ჯამური დენის პერიოდული მდგენელი K_6 წერტილში

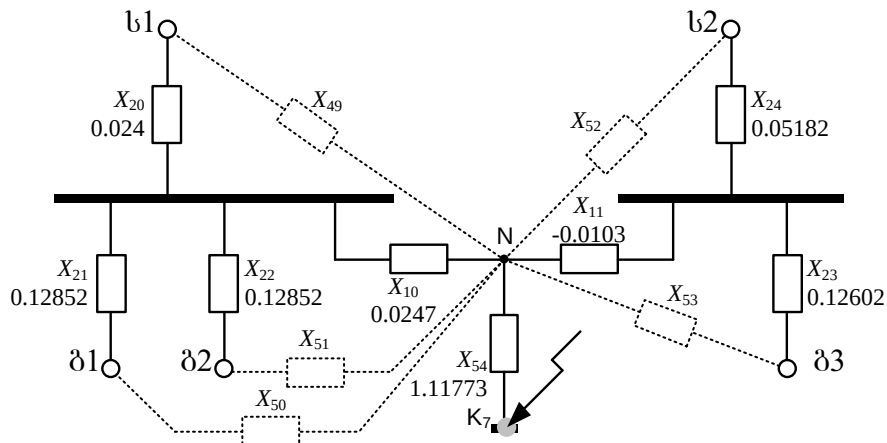
$$I_{K6\Sigma} = I_{92} = I_{91} \cdot \frac{U_{\partial 1}}{U_6} = 1.0844 \times \frac{20}{6.3} \approx 3.44 \text{ კა};$$

ცხრილი 4.1-დან ამ წერტილისთვის $k_{\text{ღ}} = 1.85$. ამიტომ დარტყმის დენი K_6 წერტილში.

$$i_{K6\text{ღ}} = k_{\text{ღ}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K6\Sigma} = 1.85 \times \sqrt{2} \times 3.44 = 9 \text{ კა}.$$

ვიანგარიშით K_7 წერტილში სამუაზა მშ შედეგად გამოწვეული ავარიული დენები. ამ შემთხვევაში მშ დენების საანგარიშოდ გამოვიყენოთ ნახ. 4.12-ზე ნაჩვენები სქემა, იმ განსხვავებით, რომ X_{25} -ის ნაცვლად წარმოდგენილი იქნება ავტოტრანსფორმატორის ვარსკვლავა სქემა, რომლის დო წინაღობა და სმსტ-ის წინაღობა ერთობლივად იქნება უკვე წარმოდგენილი X_{54} -ის სახით (ნახ. 4.27).

$$X_{54} = X_{12} + X_{13} = 0.06773 + 1.05 = 1.11773$$



ნახ. 4.27

პირველ რიგში, ვარსკვლავები X_{20} - X_{21} - X_{22} - X_{10} და X_{11} - X_{24} - X_{23} გარდავექმნათ მრავალკუთხედებად და ვიპოვოთ მათი გვერდები და დიაგონალები შესაბამისად X_{49} , X_{50} , X_{51} და X_{52} , X_{53} . სხვა სიტყვებით, პირველ ეტაპზე ნახ. 4.27-ზე მოცემული წყაროები თითო შტოთი მიყვართოთ N წერტილთან (ნახ. 4.28).

ვარსკვლავის X_{20} - X_{21} - X_{22} - X_{10} ჯამური გამტარობა

$$Y_{\Sigma 71} = \frac{1}{X_{20}} + \frac{1}{X_{21}} + \frac{1}{X_{22}} + \frac{1}{X_{10}} = \frac{1}{0.024} + \frac{1}{0.12852} + \frac{1}{0.12852} + \frac{1}{0.047} = 57.25315$$

საძიებელი გვერდები და დიაგონალები

$$X_{49} = X_{20} \cdot X_{10} \cdot Y_{\Sigma 71} = 0.024 \times 0.0247 \times 57.25315 = 0.03394$$

$$X_{50} = X_{51} = X_{21} \cdot X_{10} \cdot Y_{\Sigma 71} = 0.024 \times 0.0247 \times 57.25315 = 0.18175$$

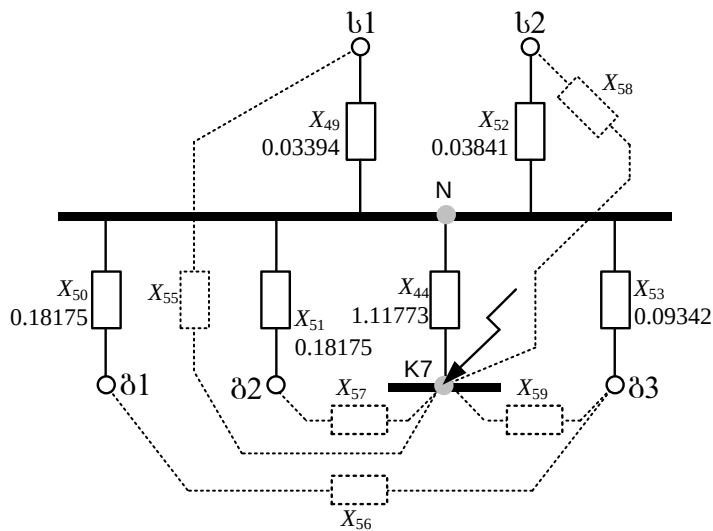
ვარსკვლავის X_{11} - X_{24} - X_{23} ჯამური გამტარობა

$$Y_{\Sigma 72} = \frac{1}{X_{11}} + \frac{1}{X_{24}} + \frac{1}{X_{23}} = \frac{1}{-0.0103} + \frac{1}{0.05182} + \frac{1}{0.12602} = -71.97$$

საძიებელი გვერდები და დიაგონალები

$$X_{52} = X_{24} \cdot X_{11} \cdot Y_{\Sigma 72} = 0.05182 \times (-0.0103) \times (-71.97) = 0.03841$$

$$X_{53} = X_{23} \cdot X_{11} \cdot Y_{\Sigma 72} = 0.12602 \times (-0.0103) \times (-71.97) = 0.09342$$



ნახ. 4.28

ახლა კი უშუალოდ K_7 მშ წერტილს დავეკავშიროთ სქემის წყაროები. ამისთვის ვარსკვლავი $X_{49} - X_{50} - X_{51} - X_{52} - X_{52} - X_{44}$ გარდავექმნათ მრავალკუთხედად და ვიპოვოთ ამ მრავალკუთხედის ზოგიერთი გვერდები და დიაგონალები.

ვარსკვლავის ჯამური გამტარობა

$$Y_{\Sigma 73} = \frac{1}{X_{44}} + \frac{1}{X_{50}} + \frac{1}{X_{51}} + \frac{1}{X_{49}} + \frac{1}{X_{52}} + \frac{1}{X_{53}} =$$

$$= \frac{1}{1.11773} + \frac{1}{0.18175} + \frac{1}{0.18175} + \frac{1}{0.03394} + \frac{1}{0.03841} + \frac{1}{0.09342} = 78.10179$$

საძიებელი გვერდები და დიაგონალები

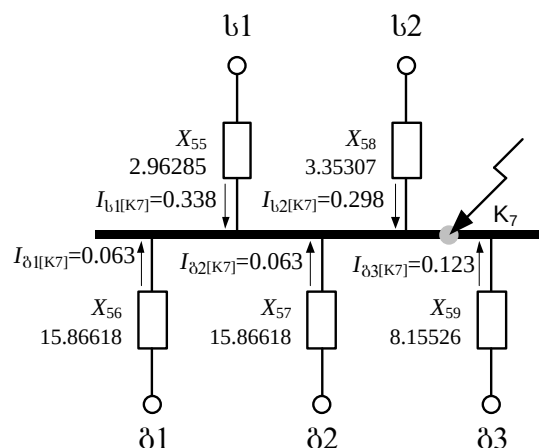
$$X_{55} = X_{49} \cdot X_{44} \cdot Y_{\Sigma 73} = 0.03394 \times 1.11773 \times 70.10179 = 2.96285$$

$$X_{56} = X_{57} = X_{50} \cdot X_{44} \cdot Y_{\Sigma 73} = 0.18175 \times 1.11773 \times 70.10179 = 15.86618$$

$$X_{58} = X_{52} \cdot X_{44} \cdot Y_{\Sigma 73} = 0.03841 \times 1.11773 \times 70.10179 = 3.35307$$

$$X_{59} = X_{53} \cdot X_{44} \cdot Y_{\Sigma 73} = 0.09342 \times 1.11773 \times 70.10179 = 8.15526$$

ვიპოვოთ ნახ. 4.29-ზე მოცემული თითოეული ენერგიის წყაროდან K_7 წერტილისკენ წასული ფარდობითი დენები.



ნახ. 4.29

$$I_{\text{ს1}[K7]} = \frac{E''_{\text{ს1}} - U_{K7}}{X_{50}} = \frac{1-0}{2.96285} = 0.338 ;$$

$$I_{\text{ს2}[K7]} = \frac{E''_{\text{ს2}} - U_{K7}}{X_{53}} = \frac{1-0}{3.35307} = 0.298 ;$$

$$I_{\text{ბ1}[K7]} = I_{\text{ბ2}[K7]} = \frac{E''_{\text{ბ1}} - U_{K7}}{X_{51}} = \frac{1-0}{15.86618} = 0.063 ;$$

$$I_{\text{ბ3}[K7]} = \frac{E''_{\text{ბ3}} - U_{K7}}{X_{54}} = \frac{1-0}{8.15526} = 0.123 ;$$

თითოეული ენერგიის წყაროდან K_7 წერტილისკენ წასული რეალური დენები იქნება:

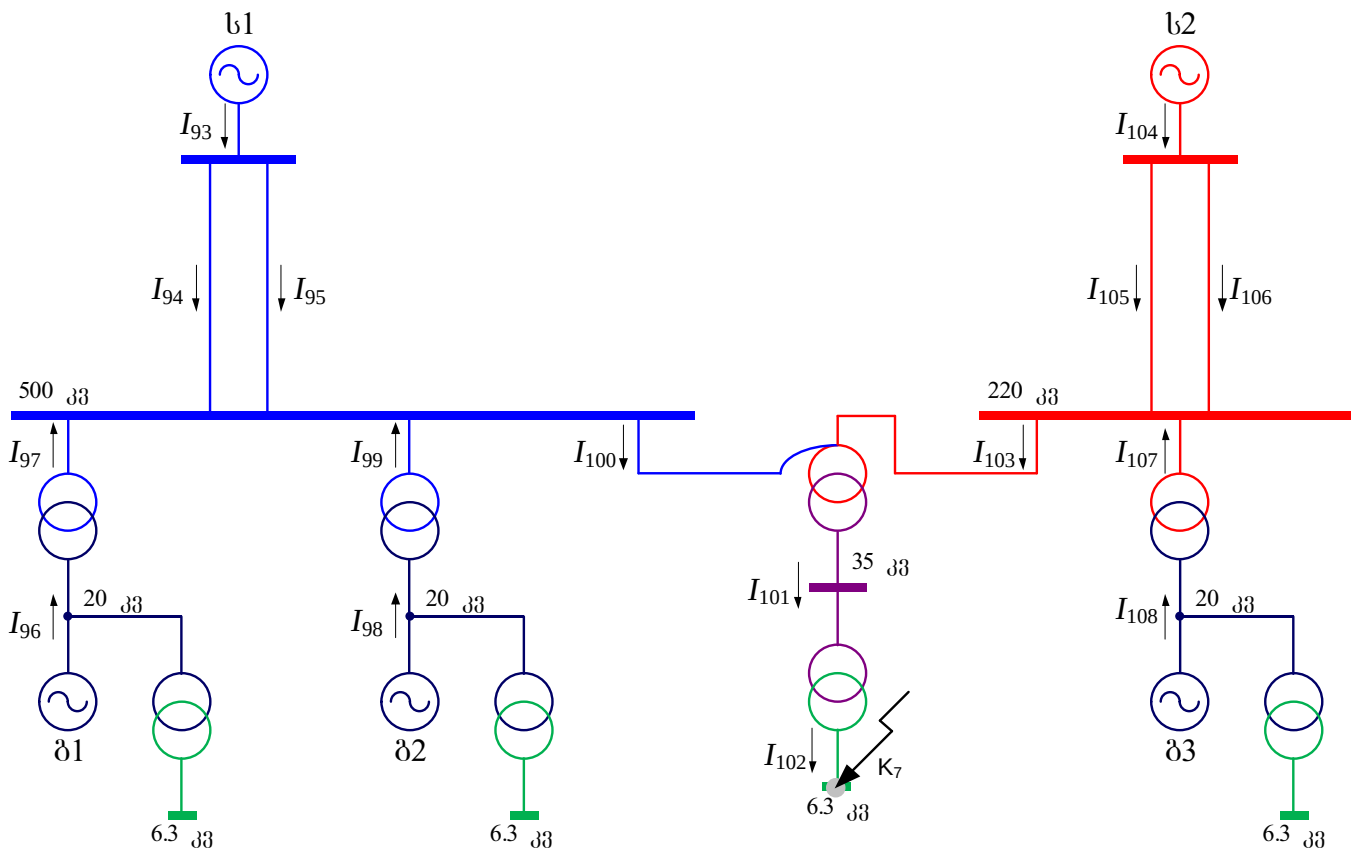
$$I_{\text{ს1}[K7]} = I_{\text{ს1}[K7]} (\text{ფე}) \times I_{\text{ბაზ 500}} (\text{კა}) = 0.338 \times 0.1155 = 0.039 \quad (\text{კა});$$

$$I_{\text{ს2}[K7]} = I_{\text{ს2}[K7]} (\text{ფე}) \times I_{\text{ბაზ 220}} (\text{კა}) = 0.298 \times 0.2624 = 0.0782 \quad (\text{კა});$$

$$I_{\text{ბ1}[K7]} = I_{\text{ბ2}[K7]} = I_{\text{ბ1}[K7]} (\text{ფე}) \times I_{\text{ბაზ 20}} (\text{კა}) = 0.021 \times 2.8868 = 0.1819 \quad (\text{კა});$$

$$I_{\text{ბ3}[K7]} = I_{\text{ბ3}[K7]} (\text{ფე}) \times I_{\text{ბაზ 20}} (\text{კა}) = 0.123 \times 2.8868 = 0.3551 \quad (\text{კა});$$

ვიზუალურ ელსადგურის სქემის შტოებში დენების განაწილება K_7 წერტილში მშ დროს (ნახ. 4.30).



ნახ. 4.30

$$I_{93} = I_{\text{ს1[K7]}} = 0.039 \text{ კა};$$

$$I_{94} = I_{95} = \frac{I_{93}}{2} = \frac{0.039}{2} = 0.0195 \text{ კა};$$

$$I_{96} = I_{98} = I_{\text{ბ1[K7]}} = 0.1819 \text{ კა};$$

$$I_{97} = I_{99} = I_{96} \cdot \frac{U_{\text{ბ1}}}{U_{500}} = 0.1819 \times \frac{20}{500} = 0.0073 \text{ კა};$$

$$I_{100} = I_{97} + I_{98} + I_{94} + I_{95} = 0.0195 + 0.0195 + 0.0073 + 0.0073 = 0.0536 \text{ კა};$$

$$I_{104} = I_{\text{ს2[K7]}} = 0.0782 \text{ კა};$$

$$I_{105} = I_{106} = \frac{I_{104}}{2} = \frac{0.0782}{2} = 0.0391 \text{ კა};$$

$$I_{108} = I_{\text{ბ3[K7]}} = 0.3551 \text{ კა};$$

$$I_{107} = I_{108} \cdot \frac{U_{\text{ბ3}}}{U_{220}} = 0.3551 \times \frac{20}{220} = 0.0323 \text{ კა};$$

$$I_{103} = I_{105} + I_{106} + I_{107} = 0.0391 + 0.0391 + 0.0323 = 0.1105 \text{ კა};$$

$$I_{101} = I_{100} \cdot \frac{U_{500}}{U_{35}} + I_{103} \cdot \frac{U_{220}}{U_{35}} = 0.0536 \times \frac{500}{35} + 0.1105 \times \frac{220}{35} = 1.4603 \text{ კა};$$

მშ ჯამური დენის პერიოდული მდგენელი K_7 წერტილში

$$I_{K7\Sigma} = I_{102} = I_{101} \cdot \frac{U_{500}}{U_{35}} = 1.4603 \times \frac{35}{6.3} = 8.11 \text{ კა};$$

ცხრილი 4.1-დან ამ წერტილისთვის $k_{\text{გ}} = 1.85$. ამიტომ დარტყმის დენი K_7 წერტილში

$$i_{K7\text{გ}} = k_{\text{გ}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K7\Sigma} = 1.85 \times \sqrt{2} \times 8.11 = 21.22 \text{ კა}.$$

თავი V

გამტარები და იზოლაციები

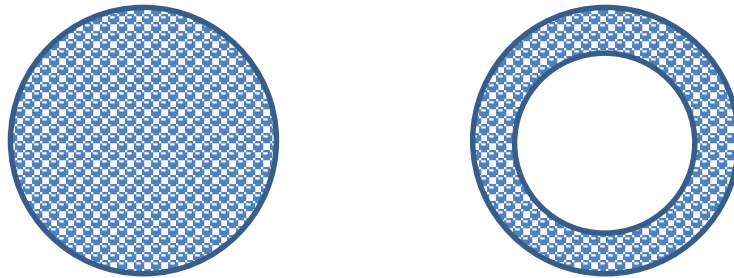
5.1 გამტარები

სინქრონული გენერატორების, ძალოვანი ტრანსფორმატორების და გადაცემის ხაზების დასაკავშირებლად ერთმანეთთან და აპარატებთან, გამოიყენება შესაბამისი კვეთის იზოლირებული ან არაიზოლირებული გამტარები.

5.1.1 არაიზოლირებული მყარი გამტარები

არაიზოლირებულ მყარ გამტარებს უწოდებენ ხისტ სალტეებს. მათ ამზადებენ სპილენძისგან ან ალუმინისგან, სხვადასხვა ფორმით და ზომით. სალტეების შერჩევა ხდება მუშა დენის, ზედაპირული ეფექტის, მშ-ის დროს თერმული და დინამიკური მედეგობის გათვალისწინებით.

ზედაპირული ეფექტი. როგორც ცნობილია, ცვლადი დენი განიდევენება გამტარის ზედაპირისაკენ (ნახ. 5.1). რაც ზრდის წინააღობასა და შესაბამისად სიმძლავრის დანაკარგებს.



ნახ. 5.1

დამუხტული ნაწილაკების განაწილება განივკვეთში

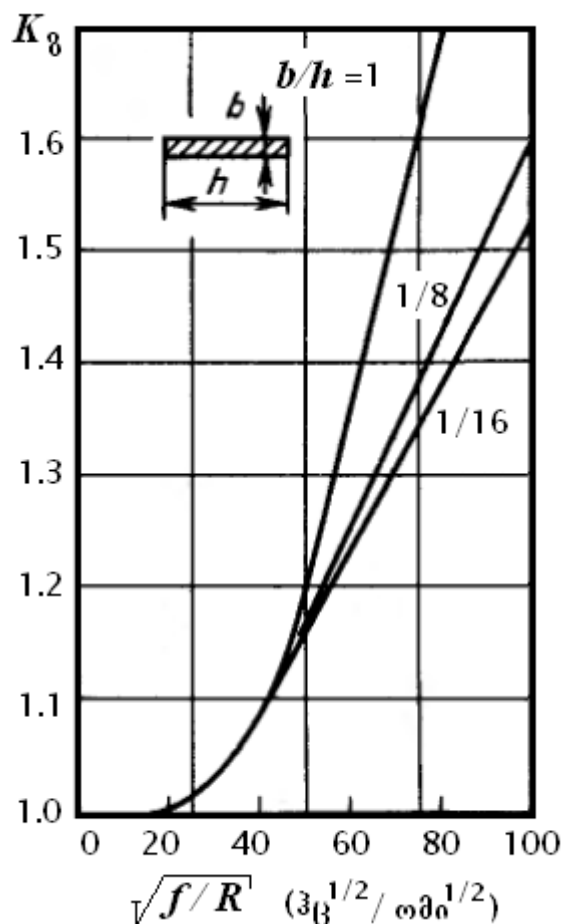
ა) მუდმივი დენის გავლისას, ბ) ცვლადი დენის გავლისას

რაიმე გამტარის აქტიური წინააღობის $R_{\text{ცვლ}}$ შეფარდებას ცვლადი დენის გავლისას იმ წინააღობასთან $R_{\text{მდ}}$ რომელიც ეწეებოდა ამ გამტარს მასში მუდმივი დენის გავლისას, უწოდებენ ზედაპირული ეფექტის კოეფიციენტს (ზეკ).

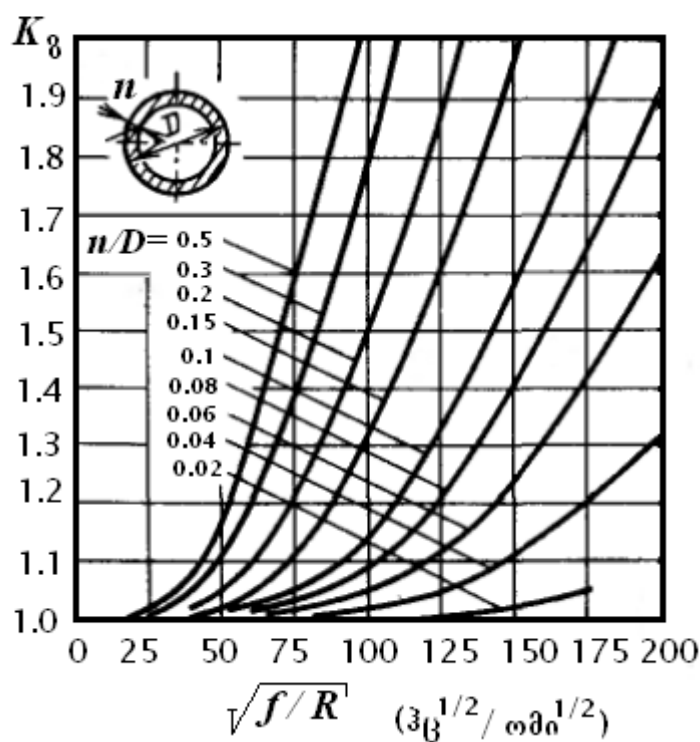
$$K_{\text{ფ}} = \frac{R_{\text{ცვლ}}}{R_{\text{მდ}}} \quad (5.1)$$

ეს კოეფიციენტი დამოკიდებულია გამტარის ფორმაზე, ზომებსა და განივკვეთზე. ნახ. 5.2-ა,ბ-ზე მოყვანილია აღნიშნული კოეფიციენტის დასადგენი მრუდები სწორკუთხა და მილისებრი გამტარებისთვის. აბსცისთა ღერძზე გადაზომილია სიდიდე $\sqrt{f / R_{\text{მდ}}}$, სადაც f - სიხშირეა, და $R_{\text{მდ}}$ - 1 კმ სიგრძის გამტარის წინააღობაა მუდმივი დენის დროს. ზომათა შეფარდებები b/h და n/D (ნახ. 5.2-ა, ნახ. 5.2-ბ) მიღებულია პარამეტრების სახით. $\sqrt{f / R_{\text{მდ}}}$ -ის გაზრდით ანუ სიხშირის მატებით, ზედაპირული ეფექტის კოეფიციენტი სწრაფად იზრდება. იმდენად რამდენადაც $R_{\text{მდ}}$ გამტარის განივკვეთის q უკუპროპორციულია, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ განივკვეთის გაზრდითაც იზრდება ზედაპირული ეფექტის კოეფიციენტი. ამასთან, რაც უფრო მცირეა შეფარდებები b/h და n/D , მით უფრო მცირე იქნება აღნიშნული კოეფიციენტიც. ამიტომ სხმული კვეთის გამტარებისთვის ზეკ მეტი იქნება იგივე კვეთისა და მასალის მილისებრი გამტართან შედარებით.

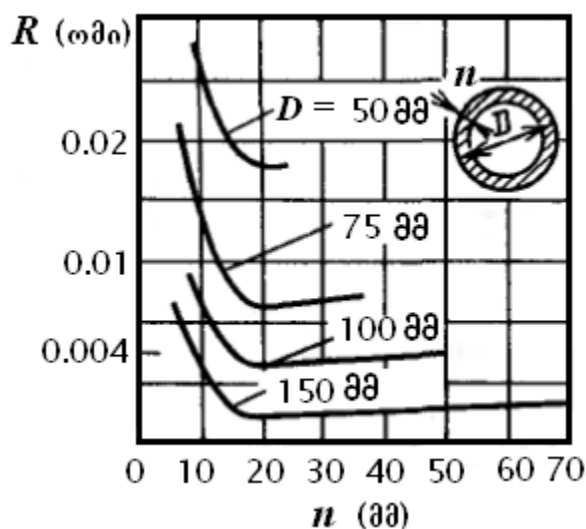
ნახ. 5.3-დან ჩანს, რომ მილისებრი გამტარის კედლის სისქის ზრდით, იზრდება კვეთი და მცირდება წინალობა, ვიდრე რაღაც მინიმალურ მნიშვნელობას მიაღწევს. კედლის სისქის შემდგომი ზრდით აქტიური წინალობა უკვე რამდენამდე იწყებს ზრდას, შედეგად, სწრაფად იზრდება ზეკ. მილის ოპტიმალური სისქე, რომელიც შეესაბამება მინიმალურ წინალობას, დამოკიდებული არა დიამეტრზე, არამედ მხოლოდ და მხოლოდ გამტარის ხვედრით წინალობაზე. 50 ჰკ სიხშირეზე, სპილენძის გამტარისთვის, ოპტიმალური სისქეა 14 მმ, ხოლო ალუმინის გამტარისთვის – 20 მმ.



ნახ. 5.2-ა

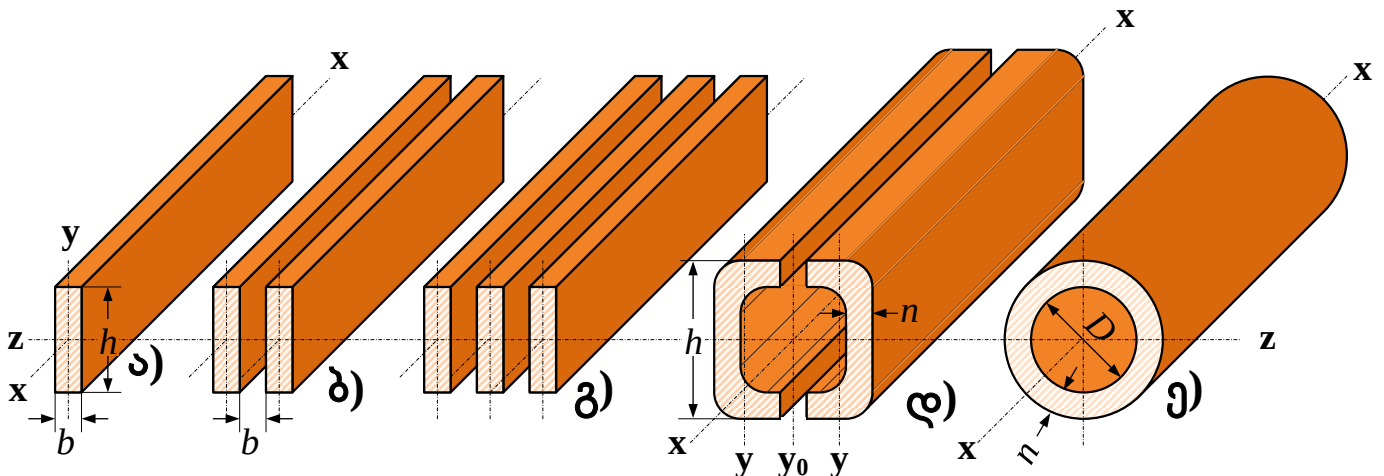


ნახ. 5.2-ბ



ნახ. 5.3

სალტეების განივკვეთის ფორმები. ყველაზე მარტივი განივკვეთის ფორმაა – სწორკუთხა ე.წ ბრტყელი გამტარი, გვერდების შეფარდებით $b/h=1/8\div 1/12$ (ნახ. 5.4 ა). მას გააჩნია გარემოში სითბოს გამოტანის კარგი უნარი, რადგან ამ შემთხვევაში გაცეცხვის ზედაპირის შეფარდება მოცულობასთან მაქსიმალურია, ვიდრე ნებისმიერი სხვა ფორმის დროს. z ღერძის მიმართ გალუნვისადმი წინააღობის მომენტი ბევრად დიდია, ვიდრე y ღერძის მიმართ. შესაბამისად, $y-y$ სიბრტყეში განლაგებულ სამუშაო გამტარებს ექნებათ უნარი, წინააღმდეგობა გაუწიონ მშ დენების დროს წარმოქმნილ დიდ ელექტრომექანიკურ ძალებს.



ნახ. 5.4. ხისტი სალტეების კვეთები

ბრტყელ სალტეებს ამზადებენ მაქსიმალური კვეთით $b \times h = 120 \times 10 = 1200 \text{ მმ}^2$, რომელიც ალუმინის მასალის შემთხვევაში $+25^\circ\text{C}$ გარემო ტემპერატურაზე უზრუნველყოფს 2070 ა ხანგრძლივად დასაშვები დენის გატარებას. უფრო დიდი დენის დროს შეიძლება გამოყენებული იქნას ორი ან სამი გამტარისგან (ნახ. 5.4 ბ, გ) შედგენილი სალტე, რის შედეგადაც გამტარობა გაიზრდება შესაბამისად 3200 და 4100 ა-მდე. ამრიგად, გამტარების რაოდენობა და დენის გამტარუნარიანობა არ არიან პროპორციულად დამოკიდებულნი. ეს აიხსნება ზედაპირული ეფექტით, რომლის შედეგადაც დენი განიდევენება შედგენილი გამტარის ზედაპირისკენ. შედგენილი გამტარის პოლუსებს შორის ხდება დენის არათანაბარი გადანაწილება, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის სიმძლავრის დანაკარგებს.

ასევე შედგენილი გამტარის ნაკლოვანებად შეიძლება ჩაითვალოს მონტაჟის სირთულე და მექანიკური სიმყარის უკმარისობა. უკანასკნელი აიხსნება მშ დროს პოლუსების ურთიერთქმედებით. ვინაიდან პოლუსებში დენებს ერთნაირი მიმართულება აქვთ, ისინი ცდილობენ ერთმანეთთან დაახლოებას, რაც საჭიროებს პოლუსთა შორის ე.წ. დისტანციური სადებების დამაგრებას.

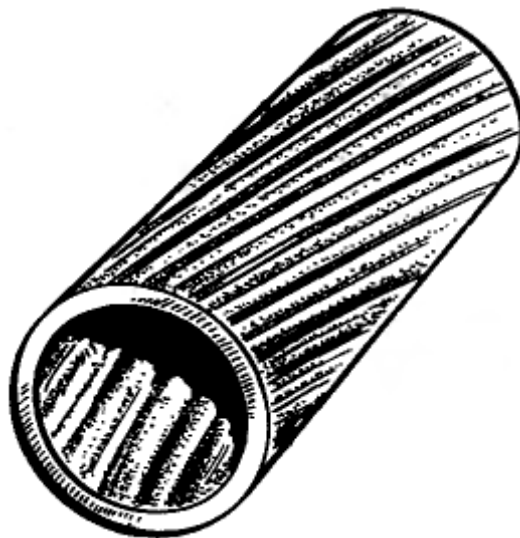
დიდ მუშა დენებზე გამოიყენება კოლოფისებური გამტარები (ნახ. 5.4 დ), რომლებიც ასევე საჭიროებენ ღარებს შორის დისტანციური სადებების დამაგრებას.

ყველაზე სრულყოფილ სალტეებად შეიძლება ჩაითვალოს მილისებური გამტარები (ნახ. 5.4 ე), როდესაც საჭმე გვაქვს 2000 ა და უფრო დიდ დენებთან. მილის სისქისა და დიამეტრის კარგი შერჩევის შემთხვევაში, შესაძლებელია როგორც კარგი სითბოს ართმევის ასევე მაღალი

მექანიკური მდგრადობის უზრუნველყოფა. გადახრისადმი წინაღობის მომენტი, ყველა მიმართულებით ერთნაირია. ჩვეულებრივ, გავრცელებულია 250 მმ დიამეტრის და 12 მმ სისქის მილისებრი გამტარები.

5.1.2 არაიზოლირებული მოქნილი გამტარები

35 კვ და უფრო მაღალი ძაბვის გამანაწილებელ მოწყობილობებში, ხისტი სალტეების გარდა, გამოიყენება ფოლად-ალუმინის AC მარკის მრავალძარღვა გამტარები. ასევე გამოიყენება ფაზაში ორი ან ოთხი კონისაგან შემდგარი, კონებს შორის მადისტანცირებული გამომყოფებით აღჭურვილი, სადენები. სადენების ამგვარი შესრულება მუშა დენის გაზრდისა და გვირგვინის არიდების საშუალებას იძლევა. 500 კვ და უფრო მაღალი ძაბვის გამანაწილებელ მოწყობილობებში გამოიყენებენ ფასონური ტიპის ПА 500 და ПА 640 მარკის ალუმინის შიშველ მოქნილ გამტარებს და მათ კონებს (ნახ. 5.5), შესაბამისად, 45 და 59 მმ დიამეტრებით და 1340 და 1680 ა დასაშვები დენებით. მათ ღრუ შესრულება გააჩნიათ ზედაპირული ეფექტის გამო (იხ. ნახ. 5.5). თანაც ასეთი ღრუ შესრულებისას ხდება მასალის ეკონომია და მსუბუქდება კონსტრუქცია.



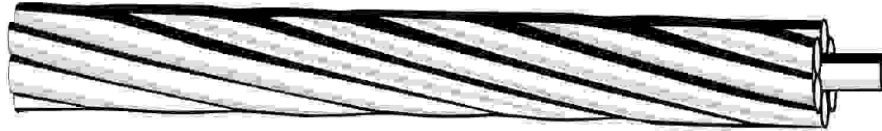
ნახ. 5.5.

ПА 640 მარკის ალუმინის შიშველი მოქნილი გამტარი

ევროპული და ამერიკული წარმოების AAAC (All Aluminum Alloy Conductor -სრულ ალუმინიანი შენადნობი გამტარი) ტიპის (ნახ. 5.6) მოქნილი სადენები გამოიყენება ძირითადად გამანაწილებელი ქსელის საჰაერო გადაცემების სადენებად. მაღალი მექანიკური თვისებების ალუმინის შენადნობი იძლევა გამძლეობისა და მასის კარგ შეფარდებას. თანაც ასეთი მარკის

გამტარებს გააჩნიათ კორიზიისადმი მედეგობის ძლიერი უნარი. მათი განივკვეთის ცვლილების ფარგლებია 15.5-470 მმ², ხოლო დასაშვები დენებისა - 107-908 ა.

AAC (All Aluminum Conductor - სრულ ალუმინიანი გამტარი) ტიპის (ნახ. 5.6) გამტარი გამოიყენება ასევე გამანაწილებელი ქსელების საჰაერო გადაცემის ხაზების სადენებად ისეთ შემთხვევებში, როდესაც საჭიროა სადენის მინიმალური სიმძიმე და არ მოითხოვება დიდი მექანიკური გამძლეობა. მათი განივკვეთის ცვლილების ფარგლებია 119-1392 მმ², ხოლო დასაშვები დენებისა - 103-2024 ა.



ნახ. 5.6
AAC ტიპის სადენი

AAC/TW (All Aluminum Conductor. Trapezoidal Shaped Conductors -სრულ ალუმინიანი ტრაპეციის კვეთის გამტარი) გამოიყენება ასევე გამანაწილებელი ქსელების საჰაერო გადაცემის ხაზების სადენებად. ვინაიდან ამ შემთხვევაში ტრაპეციის ფორმის ცალკეულ გამტარებს შორის პრაქტიკულად არ არსებობს დარჩენილი ღრეჩო, ამიტომ იგივე გარე დიამეტრის ალუმინის გამტარებთან შედარებით უფრო დიდი კვეთია გამოყენებული და შესაბამისად უფრო მაღალია გამტარუნარიანობა. არსებობს AAC/TW-ს ორი კონსტრუქცია, პირველი - კომპაქტური - AAC-ს შესაბამისი გამტარუნარიანობის მქონე და მეორე - გაზრდილი გამტარუნარიანობით - AAC-ს შესაბამისი გაბარიტების მქონე.

ACAR (Aluminum Conductor. Aluminum Alloy Reinforced - ალუმინის გამტარი, ალუმინის შენადნობით გაძლიერებული) (ნახ. 5.7) გამოიყენება გამანაწილებელ ქსელებში საჰაერო კაბელების გამტარებად. ერთნაირი მასის შემთხვევაში უზრუნველყოფს უფრო მეტ გამძლეობასა და გამტარუნარიანობას, ვიდრე ალუმინ ფოლადის გამტარი ACSR.



ნახ. 5.7
AAC, ACAR, ACSR, ACSR/AW, ACSS, ACSS/AW ტიპების მრგვალსადენიანი ალუმინის და ალუმინ-ფოლადის გამტარები

ACSR (Aluminum Conductor. Steel Reinforced - ალუმინის გამტარი, ფოლადით გაძლიერებული) (ნახ. 5.7) გამოიყენება გამანაწილებელ ქსელებში საჰაერო გადაცემის ხაზების შიშველ გამტარებად და უზრუნველყოფს ოპტიმალურ გამძლეობას. გამძლეობის ცვლილება შესაძლებელია ფოლადის სადენის კვეთის ცვლილებით, რის შედეგადაც ალუმინის სადენის გამტარუნარიანობა არ მცირდება.

ACSR/AW (Aluminum Conductor. Aluminum-Clad Steel Reinforced - ალუმინის გამტარი, ალუმინის გარსაცმიანი ფოლადით გაძლიერებული) (ნახ. 5.7) გამოიყენება სატრანზიტო ელექტროგადაცემის ხაზების შიშველ გამტარებად და გამანაწილებელი ქსელების კაბელების

გამტარებად. მისი მახასიათებლები ახლოსაა ACSR-თან, ოდნავ გაზრდილი გამტარუნარიანობით და გაუმჯობესებული კოროზიამედეგობით, რაც გამოწვეულია ფოლადის სადენზე ალუმინის გარსაცმის შემოხვევით.

ACSR /TW (Aluminum Conductor. Steel Reinforced. Trapezoidal Shaped Aluminum Strands - ალუმინის ტრაპეციის კვეთის გამტარი, ფოლადით გაძლიერებული) (ნახ. 5.8). გამოიყენება სატრანზიტო ელექტროგადაცემის ხაზების შიშველ გამტარებად და გამანაწილებელი ქსელების კაბელების გამტარებად. ვინაიდან ამ შემთხვევაში ტრაპეციის ფორმის ცალკეულ გამტარებს შორის პრაქტიკულად არ არსებობს დარჩენილი ღრეჩო, ამიტომ იგივე გარე დიამეტრის ალუმინის გამტარებთან შედარებით უფრო დიდი კვეთია გამოყენებული და შესაბამისად უფრო მაღალია გამტარუნარიანობა. არსებობს ACSR /TW -ს ორი კონსტრუქცია, პირველი - კომპაქტური - ACSR -ს შესაბამისი გამტარუნარიანობის მქონე და მეორე - გაზრდილი გამტარუნარიანობით - ACSR - შესაბამისი გაბარიტების მქონე.



ნახ. 5.8

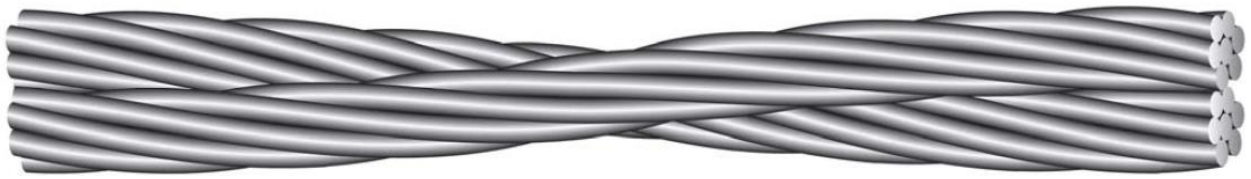
AAC/TW, ACSR /TW, ACSS/TW ტიპების ტრაპეციული ალუმინის და ალუმინ-ფოლადის გამტარები

ACSS (Aluminum Conductor, Steel Supported - ალუმინის გამტარი, ფოლადზე დაფუძნებული) გამოიყენება სატრანზიტო და გამანაწილებელი ქსელების საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზების შიშველ გამტარებად. ამ შემთხვევაში სრულ მექანიკურ სიმტკიცეს უზრუნველყოფს ფოლადი. ACSS გამომუშავებულია ხანგრძლივად და სიმტკიცის დაუკარგავად გამოყენებული იქნას 250°C-მდე ტემპერატურებზე. ავარიულ პროცესში იგი უფრო ნაკლებად დეფორმირდება, ვიდრე ACSR. ამასთან, მონტაჟის დროს გაჭიმვის შემთხვევაში, მას გააჩნია დაძაბულობის თვითქრობის უნარი. ეს უზრუნველყოფს საბოლოო დეფორმაციის ალუმინზე ზემოქმედების არიდებას. აღნიშნული უპირატესობების გამო ACSS-ის გამოყენება მიზანშეწონილია, როდესაც საჭიროა ხაზის გამტარუნარიანობის გაზრდა მექანიკური დაძაბულობებისა და ანძებს შორის მანძილის შეუცვლელად. ასევე ახალი ხაზის გაყვანისას, მინიმალური დეფორმირებისა და ჩაღუნვალობის გამო, შეიძლება მნიშვნელოვანი ეკონომია გავწიოთ იქ, სადაც საჭიროა დიდი სიმძლავრეების გატარება და არსებობს ქარით გამოწვეული ვიბრაციების საფრთხე.

ACSS/AW (Aluminum Conductor. Aluminum-Clad Steel Supported - ალუმინის გამტარი, ალუმინის გარსაცმიანი ფოლადზე დაფუძნებული) (ნახ. 5.7). ეს სადენიც გამოიყენება იგივე პირობებში და გააჩნია იგივე უპირატესობები, რაც ACSS-ს, იმ განსხვავებით, რომ ოდნავ გაზრდილია გამტარუნარიანობა და კოროზიამედეგობა, ალუმინის გარსაცმში ჩასმული ფოლადის სადენის გამო.

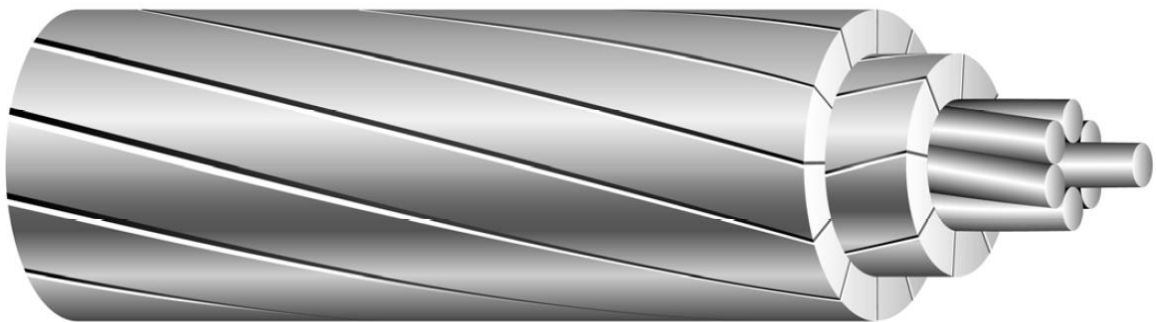
VR2TM (Vibration-Resistant - ვიბრაცია მედეგი გამტარი) (ნახ. 5.9) წარმოადგენს ორი ერთნაირი ალუმინის მოქნილი სადენისგან შემდგარ შიშველ გამტარს. ეს სადენები ერთმანეთზე საათის ისრის მიმართულებით არიან დახვეულები. ისინი შეიძლება შესრულებული იყოს AAC, ACSR, AAC/TW ან ACSR/TW ტიპის ალუმინის სადენისგან. მის 8-ის ფორმის სპირალურ

შესრულებას გააჩნია განსაკუთრებულად მაღალი მექანიკური სიმტკიცე და უზრუნველყოფს მაღალ ვიბრაციამდეგობასა და ცინულმოცვამდეგობას.



ნახ. 5.9. VR2™ სადენი

ACSS/TW (Aluminum Conductor, Steel Supported. Trapezoidal Shaped Aluminum Strands - ალუმინის ტრაპეციის ფორმის სადენებიანი გამტარი, ფოლადზე დაფუძნებული) (ნახ. 5.10) - ეს სადენიც გამოიყენება იგივე პირობებში და გააჩნია იგივე უპირატესობები, რაც ACSS-ს, იმ განსხვავებით, რომ მის ტრაპეციის ფორმის ცალკეულ გამტარებს შორის პრაქტიკულად არ არსებობს დარჩენილი ღრეჩო. ამიტომ იგივე გარე დიამეტრის ალუმინის გამტარებთან შედარებით უფრო დიდი კვეთია ათვისებული და, შესაბამისად, უფრო მაღალია გამტარუნარიანობა. არსებობს ACSS/TW -ს ორი კონსტრუქცია, პირველი - კომპაქტური - ACSS -ს შესაბამისი გამტარუნარიანობის მქონე და მეორე - გაზრდილი გამტარუნარიანობით - ACSS - შესაბამისი გაბარიტების მქონე.



ნახ. 5.10. ACSS/TW ტიპის გამტარი

მოძრაობა-მდეგი ტიპის ACSR სადენს (ნახ. 5.11) აქვს ელიფსური კვეთა. ამ ელიფსის დახრა იცვლება სადენის სპირალური ფორმის გასწვრივ. მას გააჩნია განსაკუთრებულად მაღალი მექანიკური სიმტკიცე და უზრუნველყოფს მაღალ ვიბრაციამდეგობასა და ცინულმოცვამდეგობას.



ნახ. 5.11. მოძრაობა მდეგი ელიფსური კვეთის ACSR ტიპის გამტარი

სპილენძის გამტარები, ალუმინის გამტარებთან შედარებით, განსაკუთრებულად გაუმჯობესებული ელექტრული და მექანიკური თვისებებით გამოირჩევა, კერძოდ: ნაკლები წინაღობით, მაღალი მოქნილობითა და კოროზიამდეგობით. ისინი ძირითადად გამოიყენება ქვესადგურის ძალოვანი და საკომუტაციო აპარატურის დასაკავშირებლად, აგრეთვე იშვიათ განსაკუთრებულ შემთხვევებში (სპილენძის მასალის სიძვირის გამო) სპილენძის სადენებს იყენებენ სატრანზიტო მაღალი ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზების გამტარებად. ალუმინის

სადენების მსგავსად, შესაძლებელია როგორც სპილენძის (ნახ. 5.12) ასევე სპილენძ-ფოლადის (ნახ. 5.13) სადენების გამოყენება.



ნახ. 5.12. სპილენძის მრავალძარღვა გამტარი



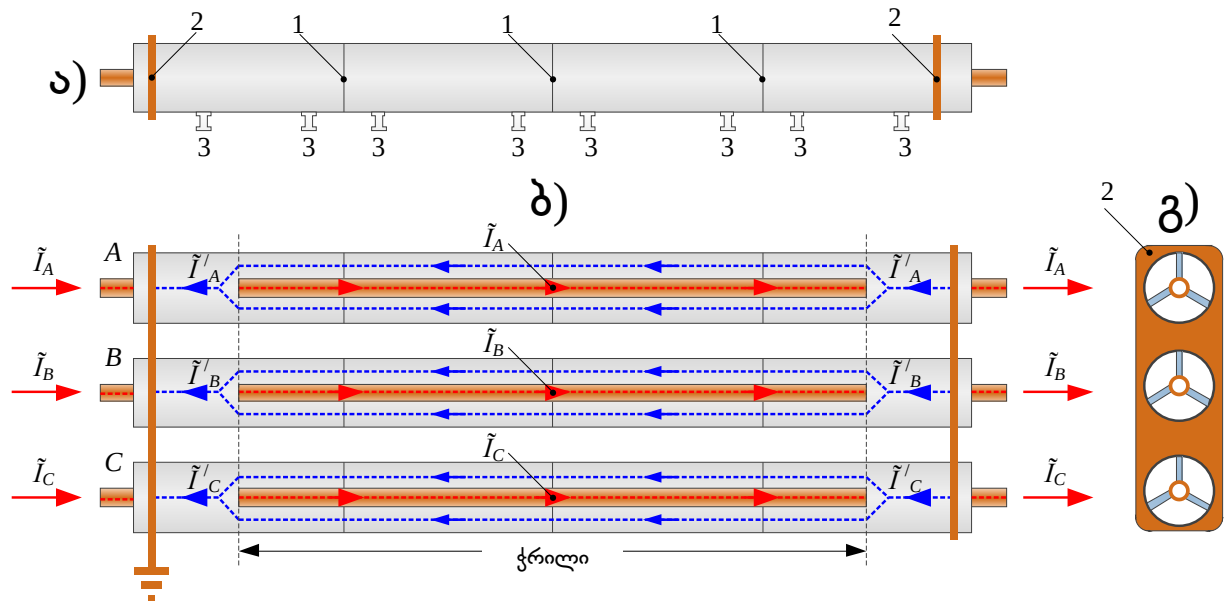
ნახ. 5.13. სპილენძ-ფოლადის მრავალძარღვა გამტარი

5.1.3. ფაზაეკრანირებული გამტარები

ელექტრულ სადგურებში, როდესაც გენერატორის დადგმული სიმძლავრე განსაკუთრებულად დიდია, ან როდესაც გენერატორის სიმძლავრის გამოტანა ხდება აგრესიულ გარემოში, გამოიყენება ფაზაეკრანირებული დენგამტარები. ფაზაეკრანირებული გამტარის თითოეული ფაზა (ნახ. 5.14) გარშემორტყმულია გამტარი დამიწებული ეკრანებით - გარსაცმებით. გარსაცმებს აქვთ შემდეგი დანიშნულება:

- მომსახურების უსაფრთხოების უზრუნველყოფა;
- გამტარებისა და იზოლატორების დაცვა ტენისგან, მტვრისგან და შემთხვევით მოხვედრილი საგნებისგან;
- დენგამტარის გასწვრივ ფაზათაშორისი მოკლე შერთვების გამორიცხვა;
- დენგამტარების ურთიერთქმედების ელექტროდინამიკური ძალების შემცირება, გარე მშენებების შემთხვევაში;
- დაინდექცირებული დენებით გამოწვეული გახურების აღმოფხვრა ფოლადშემცველ კონსტრუქციებში, რკინა-ბეტონის კედლებისა და გადამღობ არმატურებში.

ბოლო ორი მოთხოვნა შეიძლება შესრულდეს, თუ დენგამტარის მაგნიტური ველი გაკომპენსირებული იქნება გარსაცმებში ინდუქცირებული დენების მიერ. ეს შეიძლება განხორციელდეს გარსაცმების უწყვეტად ჩაკეტილ სისტემაში (ნახ. 5.15). თითოეული ფაზის გარსაცმი შედგება ერთმანეთთან შედუღებული ცილინდრული სექციისგან. დენგამტარის ბოლოებში ფაზების გარსაცმები შეერთებულია (დამოკლებულია) მიდუღებული ალუმინის ფილებით. ამგვარად, გარსაცმები ქმნიან ჩაკეტილ სამფაზა სისტემას. მუშა რეჟიმში მათში ინდუქცირდება დენები, რომლებიც სიდიდით თითქმის ტოლია დენგამტარში გამავალი დენის ხოლო ნიშნით საპირისპიროა. ისინი გადიან გარსაცმების გასწვრივ, ისე, რომ მათ პერიმეტრზე ნაწილდებიან თანაბრად და გამტარის ბოლოში ერთი გარსაცმიდან გადადიან ორ დანარჩენ გარსაცმზე. მათი გეომეტრიული ჯამი ნულის ტოლია. გარსაცმში გამავალ ამ დენებს მაცირკულირებელ დენებსაც უწოდებენ.



ნახ. 5.14.

უწყვეტად ეკრანირებული დენგამტარის სქემა. ა - გვერდხედი, ბ - ზედახედი, გ - წინხედი

1 - შედუღების ადგილები,

2 - ალუმინის ზღუდარი (დამამოკლებელი),

3 - განივი კოჭები

ცნობილია, რომ ელექტროდინამიკური ძალა, რომელიც მოქმედებს ერთეული სიგრძის გამტარზე, ტოლია დენისა და ამ დენის მიერ შექმნილი მაგნიტური ინდუქციის ნამრავლისა, რომელსაც ქმნიან მეზობელი გამტარების დენები. გარსაცმებში გამავალი მაცირკულირებელი დენები კი ამცირებენ სწორედ ამ ინდუქციას.

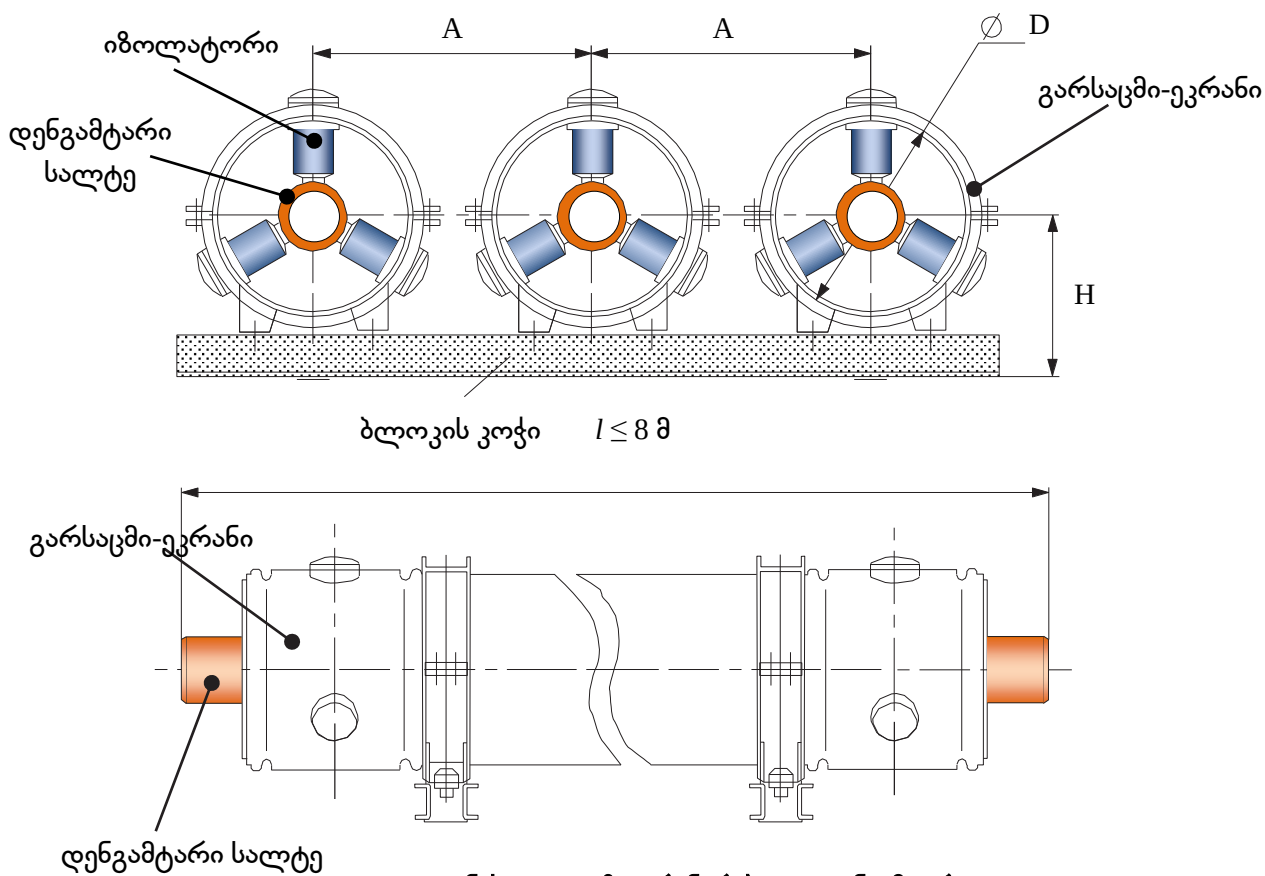
განვიხილოთ გარსაცმების მაცირკულირებელი მოქმედება მოკლე შერთვის დროს ერთფაზა ორგამტარიანი (ძირითადი სადენი და ეკრანი) დენგამტარის მაგალითზე. ვთქვათ, A ფაზაში გამავალი მოკლე შერთვის დენის პერიოდული მდგენელია $\tilde{I}_A$, იმ შემთხვევაში, თუკი სადენები არაეკრანირებულია, აღნიშნული ფაზის დენის მიერ შექმნილი მეზობელ B ფაზაზე მოქმედი მაგნიტური ინდუქცია და ფაზების ურთიერთქმედების ძალა განისაზღვრება სწორედ $\tilde{I}_A$ დენის მნიშვნელობით.

$$\tilde{F} \equiv \tilde{B} \equiv \tilde{I}_A$$

მაგრამ თუკი სადენები იქნებიან ალჭურვილნი მაეკრანირებელი გარსაცმებით, მაშინ A ფაზის გარსაცმში დაინდუქტირდება მაცირკულირებელი დენი $\tilde{I}'_A$. თუ გავითვალისწინებთ, რომ გარსაცმის აქტიური წინაღობა ბევრად ნაკლებია ინდუქციურთან შედარებით, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ეს დენი მნიშვნელობით ტოლი და ნიშნით საპირისპიროა სალტეებში გამავალი ძირითადი დენისა:

$$\tilde{I}'_A \approx -\tilde{I}_A$$

ასეთ შემთხვევაში, A ფაზის მიერ გამოწვეული, B ფაზაზე მოქმედი მაგნიტური ინდუქცია და ფაზების ურთიერთქმედების ძალა განისაზღვრება ძირითადი და მაცირკულირებელი დენების სხვაობით $\tilde{I}_A - \tilde{I}'_A$. ვინაიდან ეს სხვაობა ახლოსაა ნულთან, ამიტომ მის მიერ გამოწვეული მაგნიტური ინდუქცია და მეზობელ ფაზაზე ურთიერთქმედების ძალაც უმნიშვნელოა და უარეს შემთხვევაშიც კი იქნება 10-ჯერ ნაკლები, ვიდრე გარსაცმის არარსებობისას შექმნილი სიდიდე.



ნახ. 5.15 ფაზაეკრანირებული დენგამტარი

ფაზაეკრანირებული გამტარის კონსტრუქცია. ასეთ გამტარებში სალტეებად გამოიყენებენ მილისებური კვეთის სპილენძს ან ალუმინს. გამტარის მასალითვე უნდა იქნას შესრულებული გარსაცმიც. ამრიგად, გარსაცმებიც ქმნიან სამფაზა ჩაკეტილ სისტემას, ვინაიდან ისინი თავსა და ბოლოში გადაერთებულნი არიან დამამოკლებელი სადენებით ან ფილებით (ნახ. 5.14). დამამოკლებლები ეკრანირებული სისტემის თავში ან ბოლოში ყრუდ არის დამიწებული. გარსაცმი შედგება 4-6 მმ სისქის და 10-12 მ სიგრძის სექციებისგან. ფაზაეკრანირებული გამტარის დიამეტრი დამოკიდებულია სალტის საყრდენი იზოლატორის სიმაღლეზე. ეს იზოლატორები (ნახ. 5.15) შეჰყავთ გარსაცმში სპეციალურად გაკეთებული ხვრელების საშუალებით და ამავრებენ

ქანჩებით. მათი ჩამაგრება-შეცვლა ხდება მარტივად, ეკრანირებული სადენის კონსტრუქციის დაშლის გარეშე. იზოლატორებს შორის მანძილი აღნიშნული გამტარის სიგრძეზე შეადგენს 4-5-მ-ს. სალტეებს ამაგრებენ იზოლატორების თავებთან. ეკრანირებული გარსაცმის შიგნით მოძრაობს გამაცივებელი აირი – ჰაერის ან ელევგაზის სახით, ბუნებრივად ან ხელოვნურად – ვენტილატორების საშუალებით. იმისათვის, რომ ტემპერატურის დიდ ფარგლებში ცვლილების ზეგავლენით არ მოხდეს გარსაცმის დაზიანება, მასში გათვალისწინებულია სპეციალური დეფორმაციის კომპენსატორები. სალტეებისკენ მტვრისა და ტენის შეღწევის ასარიდებლად, გამტარი საიმედოდ უნდა იქნას ჰერმეტიზებული.

5.2 იზოლატორები

5.2.1. ზოგადი ცნობები

ელექტროსადგურებისა და ქვესადგურების გამართულ მუშაობას მნიშვნელოვანწილად განაპირობებს მათი საიზოლაციო სისტემების გამართულობა. საიზოლაციო სისტემა, მუშაობის პირობებიდან გამომდინარე, შეიძლება შედგებოდეს სხვადასხვა მასალისაგან. ამასთან, შეიძლება ერთდროულად იქნას გამოყენებული განსხვავებული აგრეგატული მდგომარეობის (მყარი, თხევადი და აირადი) რამდენიმე ნივთიერება. საიზოლაციო სისტემის დანიშნულებაა უზრუნველყოს საჭირო ელექტრული სიმტკიცე სხვადასხვა პოტენციალის მქონე დენგამტარებს შორის ან დენგამტარებსა და მიწას შორის. ელექტრული სადგურის ელექტრული ნაწილი პირობითად შეგვიძლია დავყოთ შემდეგ ნაწილებად:

- სამანქანო დარბაზი, სადაც ტურბინები და გენერატორებია განლაგებული;
- ღია ან დახურული გამანაწილებელი მოწყობილობა, სადაც ამწევი ქვესადგურია განლაგებული, შესაბამისი აპარატურით;
- კაბელი, რომლითაც საგენერატორო დარბაზი უკავშირდება ქვესადგურის ამწევ ძალოვან ტრანსფორმატორს;
- ელექტროგადაცემის ხაზი, რომლითაც ქვესადგური უკავშირდება დანარჩენ ელექტრულ სისტემას.

ამრიგად, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ელექტრულ სადგურში საქმე გვაქვს ოთხი სახის საიზოლაციო სისტემასთან. ესენია:

- გენერატორების ანუ ელექტრული მანქანების საიზოლაციო სისტემა;
- საკაბელო საიზოლაციო სისტემა;
- ქვესადგურის საიზოლაციო სისტემა;
- საჰაერო ელექტროგადაცემის საიზოლაციო სისტემა;

საიზოლაციო სისტემაში გამოყენებულ მყარ დიელექტრიკს უწოდებენ იზოლატორს. იზოლატორები პირობითად შეიძლება გაერთიანებული იქნან ორ დიდ ჯგუფში - სახაზო და

სააპარატო იზოლატორებად. ქვემოთ განხილულია აღნიშნული ჯგუფების იზოლატორების ტიპები, კონსტრუქციები და მათი თავისებურებები.

იზოლატორებისათვის ძირითადად გამოიყენება შემდეგი მასალები:

- დიელექტრიკული მინა;
- ფაიფური;
- პოლიმერული რეზინი;
- კომპოზიტური დიელექტრიკი;
- სილიკონური რეზინი;

ზემოჩამოთვლილთაგან, თავდაპირველად გამოყენებული იყო მხოლოდ ელექტროტექნიკური ფაიფური, რომელსაც გააჩნია მაღალი დიელექტრიკული თვისებები, მაგრამ მისი მექანიკური სიმტკიცე დამოკიდებულია დეფორმაციის სახეზე. კერძოდ, კარგად უძლებს კუმშვას, მაგრამ არასაკმარისად მტკიცეა გადამხრელი და გამჭიმავი დეფორმაციებისადმი. ამასთან, ფაიფური დანარჩენ იზოლატორებთან შედარებით მძიმეა, თუმცა სიიარის გამო კვლავ გრძელდება მისი წარმოება და გამოყენება.

დიელექტრიკულ მინას გააჩნია ფაიფურზე ოდნავ უკეთესი ელექტრული და ბევრად სრულყოფილი მექანიკური მახასიათებლები. იგი კარგად ინარჩუნებს სიმტკიცეს ყველა სახის დეფორმაციისადმი, ამასთან ფაიფურთან შედარებით მსუბუქია და ბევრად ნაკლებად მყიფე. ამიტომ მაღალი საიმედოობის მოთხოვნების შემთხვევაში, მასთან კონკურენციას ვერ უძლებს ფაიფურის იზოლატორი.

პოლიმერული რეზინის, კომპოზიტური დიელექტრიკისა და სილიკონისგან შესრულებულ იზოლატორებს გააჩნიათ თითქმის მინის იზოლატორის შესაბამისი ელექტრული თვისებები. ამასთან, მათ სიმყიფე პრაქტიკულად არ გააჩნიათ, უფრო მეტიც, ისინი ძალიან მოქნილები არიან და ნებისმიერი დეფორმაციის მიმართ, აქვთ ძალიან მაღალი მექანიკური სიმტკიცე. განსაკუთრებულად მედეგი არიან ვიბრაციებისა და ქარების მიმართ და შესაბამისად ეფექტურები არიან ასეთ აგრესიულ პირობებში გამოსაყენებლად. ეს დიელექტრიკები ბევრად მსუბუქები არიან, მინისა და ფაიფურის იზოლატორებთან შედარებით. ბოლო ხანებში პრაქტიკულად აღარ გამოიყენება პოლიმერული იზოლაცია, ვინაიდან აღმოჩნდა, რომ მას საკვებად იყენებენ ზოგიერთი ფრინველები და მნიშვნელოვნად აზიანებენ.

5.2.2. სახაზო იზოლატორები

სახაზო იზოკონსტრუქციის მიხედვით, განასხვავებენ შემდეგი ტიპის იზოლატორებს:

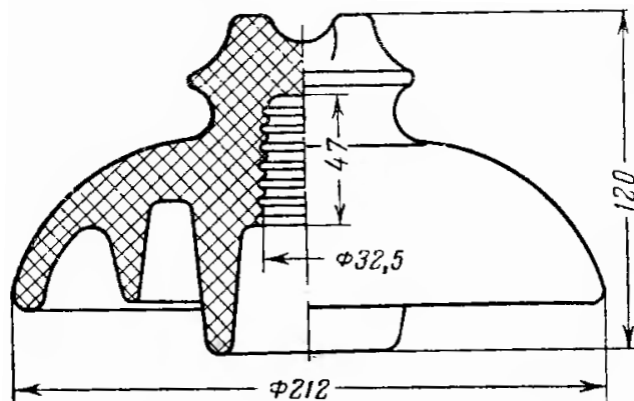
- ჩამოსაცმელი (მანჭვალა) იზოლატორები;
- თევზისებრი საკიდი იზოლატორები;
- ღეროვანი საკიდი იზოლატორები.

5.2.2.1. ჩამოსაცმელი იზოლატორები (ნახ. 5.16) ძირითადად გამოიყენება 6-10 კვ ძაბვებზე. იზოლატორი ჩამოეცმება ან ჩამოეხრახნება ვერტიკალურ მდგომარეობაში მყოფ რეზბიან ღერს

ან კავს, რომელიც გარშემოცმულია სურინჯში გაჟღენთილი ძენძით. აღნიშნული შესრულება სიმტკიცეს ანიჭებს ჩამოსაცმელ იზოლატორს.

სადენის დამაგრება ხდება იზოლატორის ზედა ან გვერდზე გაკეთებულ ღრმულში, სპეციალური მავთულის სამაგრით.

ჩამოსაცმელ იზოლატორს ასრულებენ მკვეთრად გამოწეული და დაბლა დახრილი წიბოებით, რაც უზრუნველყოფს წვიმისგან დაცვას და ზრდის ელექტრულ სიმტკიცეს.



ნახ. 5.16

სახაზო ჩამოსაცმელი იზოლატორი

5.2.2.2. თეფშისებრი საკიდი იზოლატორების (ნახ. 5.17) კორპუსი შეიძლება დაყოფილი იქნას პირობითად „ქუდად“ და „თავად“. თავი გარედან ლითონითაა არმირებული, რომელშიც შიგნით შეყვანილი და ჩამაგრებულია ფოლადის ღერი. ქუდისა და ღერის არმირებისთვის (მტკიცედ დამაგრებისთვის) გამოიყენება მაღალი მარკის ცემენტი, რომლის გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტი უახლოვდება ფაიფურისას. ფაიფურის იზოლატორის გარე და შიდა მხარე გლაზურირებულია ანუ დაფარულია ლაქის მსგავსი ჰიდროფობური (წყალ ამრედი) ფენით.

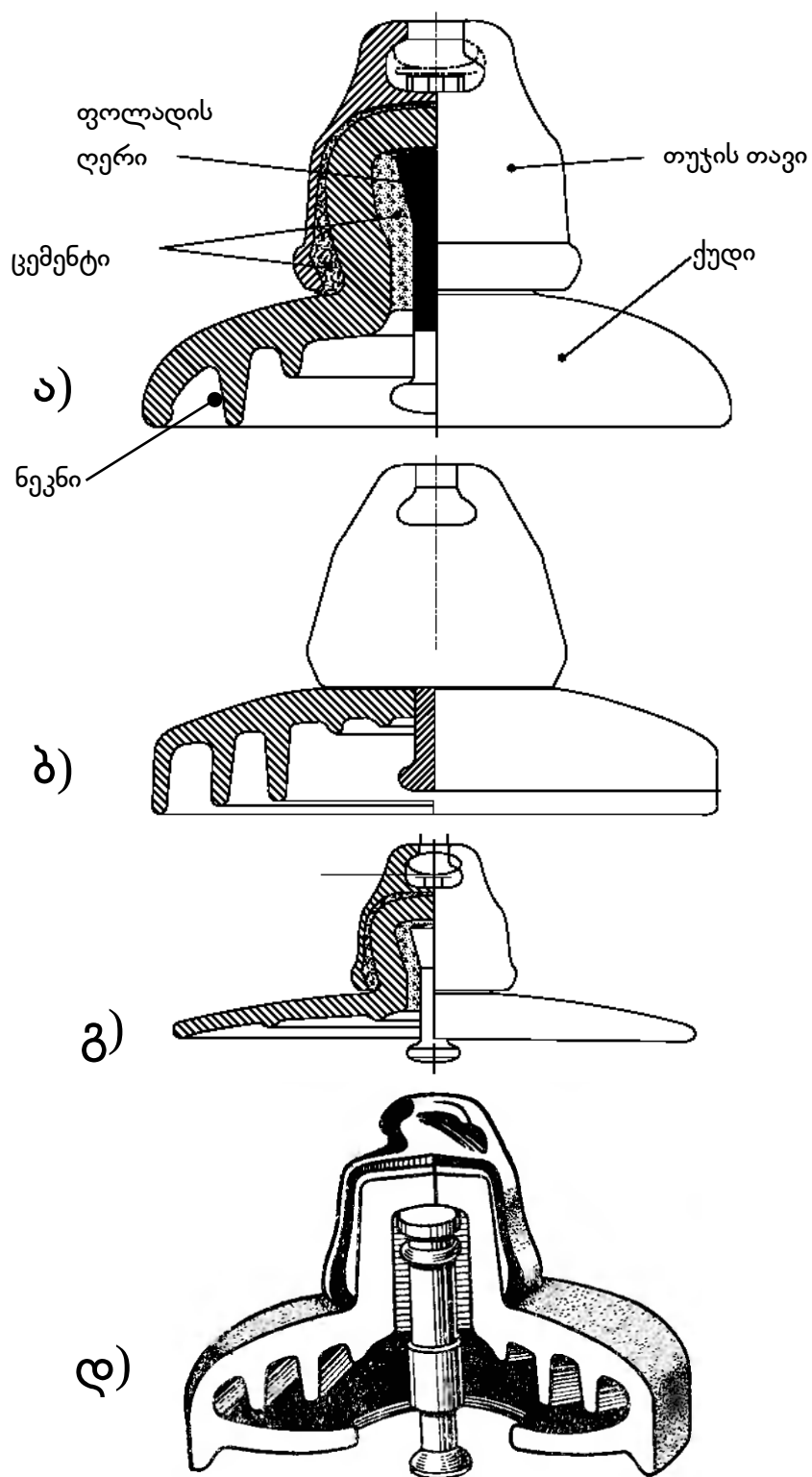
მინის თეფშისებრი იზოლატორი, ფაიფურის იზოლატორთან შედარებით უკეთესი ელექტრომექანიკური თვისებების გამო, მცირე გაბარიტებისაა და აქვს უფრო პატარა ქუდი. ამასთან უფრო დიდ მექანიკურ დატვირთვებს უძლებს.

პოლიმერულ, კომპოზიტურ და სილიკონურ თეფშისებრ იზოლატორებს, ბევრად უკეთესი მექანიკური მედეგობის გამო, მინის იზოლატორებზე ნაკლები მასა და გაბარიტები გააჩნიათ.

თეფშისებრი იზოლატორების ვერტიკალური განლაგებისას მის ზედა მხარეს ასველებს წვიმა, ქვედა კი რჩება მშრალი. ძაბვა, რომელიც მოედება წვიმას, ძირითადად ეცემა იზოლატორის ქვედა მშრალ ზედაპირზე. ამიტომაც იზოლატორის ზედა მხარეს ამზადებენ გლუვს ხოლო ქვედა მხარეს – წიბოებიანს (ნეკნებიანს), რათა გაზრდილი იქნას მშრალი ზედაპირი და, შესაბამისად, იზოლატორის სიმტკიცე (ნახ. 5.17 ა).

თეფშისებრ იზოლატორებს, რომელთაც ქარიან გარემოში უნევთ მუშაობა ამზადებენ აეროდინამიკური ფორმისას (ნახ. 5.17 გ);

თეფშისებრ იზოლატორებს, რომელთაც დაბინძურებულ გარემოში უნევთ მუშაობა ამზადებენ უფრო გრძელი ნეკნებით (ნახ. 5.17 ბ, დ). ამ მიზნით, არ არის გამორიცხული გარე ნეკნის კომბინირებული (ვერტიკალურ-ჰორიზონტალური) შესრულება, შესაბამისად, გაჟონვის დენების გზის კიდევ უფრო გაზრდა და იზოლატორის ქვედა ნაწილში მტვრის შეღწევის გართულება.



ნახ. 5.17.

თევზისებრი საკიდი იზოლატორები

ა)-სტანდარტული, ბ) და დ) დაბინძურებულ გარემოში სამუშაო, გ)-აეროდინამიკური

35 კვ და უფრო მაღალ ნომინალურ ძაბვებზე თევზისებრი იზოლატორების მიმდევრობით შეერთებით მიიღება იზოლატორთა გირლანდა (ნახ. 5.19). შეერთება ხორციელდება ზედა ელემენტის ფოლადის ღერის ჩამაგრებით ქვედა ელემენტის თავის ჩამკეტ ღრეჩოში.

თუკი ერთი იზოლატორული ელემენტის სიმაღლეა h , ხოლო გირლანდა შედგება n რაოდენობის ასეთი ელემენტისაგან, მაშინ გირლანდის სიმაღლე l ტოლი იქნება:

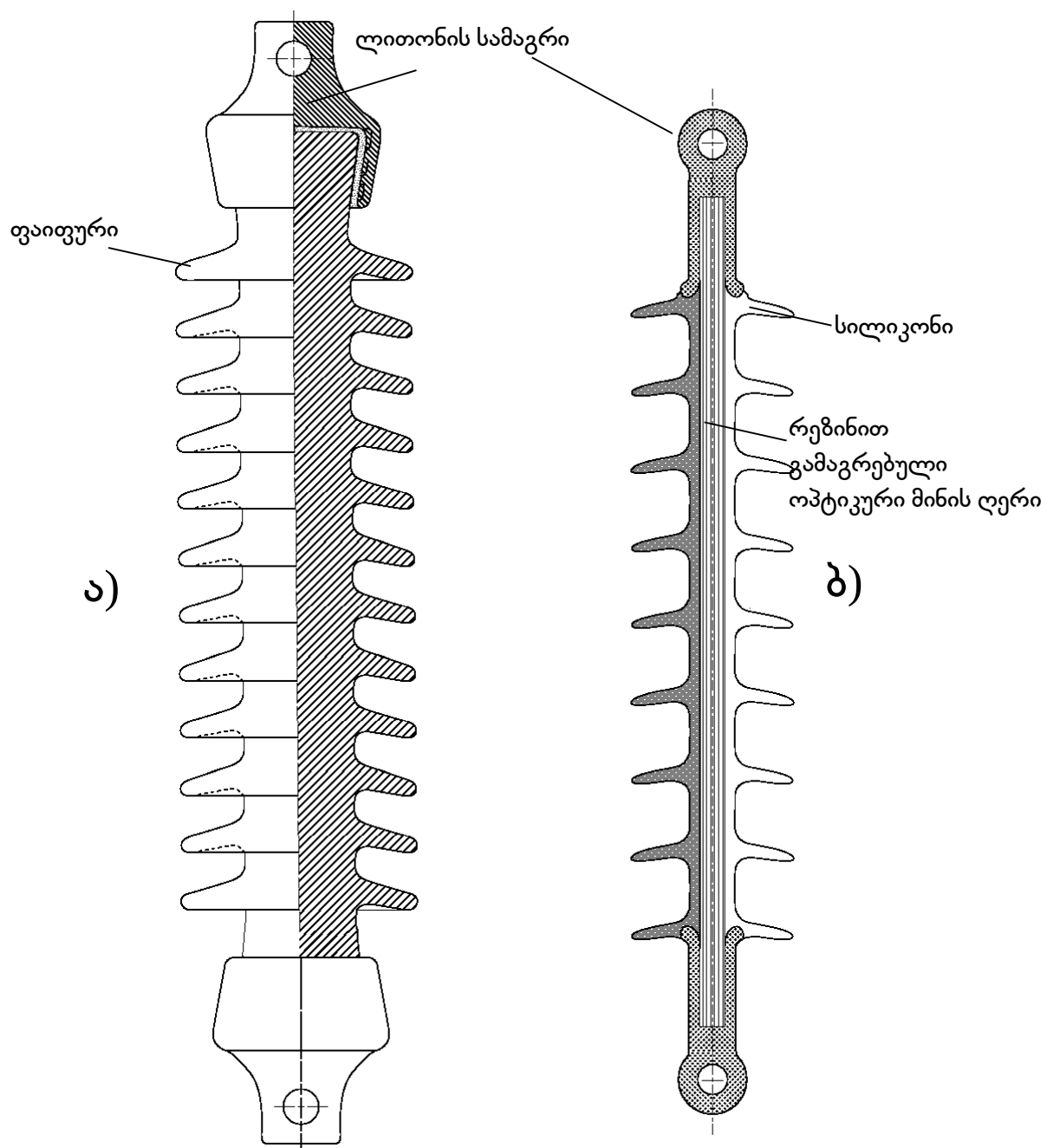
$$l = n h$$

იზოლატორების სახსრული შეერთების წყალობით გირლანდა იძენს მოქნილობას, რაც, ძლიერი ქარების ზემოქმედებით გამოწვეული მნიშვნელოვანი გადახრებისას ამცირებს იზოლატორებზე მოსულ მექანიკურ დატვირთვას და არიდებს სადენების ჩამოწყვეტას.

გირლანდები დამაგრებულნი არიან ანკერულ, შუალედურ ან ბოლო საყრდენებზე. მათ აქვთ ვერტიკალური ორიენტაცია თუ მათზე სადენები უბრალოდ ჩამოკიდებულია და ჰორიზონტალური ორიენტაცია - თუკი ისინი ჭიმავენ სადენებს. განსაკუთრებულად დიდი მასის მქონე სადენების დასამაგრებლად შეიძლება გამოყენებული იქნას პარალელურიად ჩართული $2÷6$ გირლანდა.

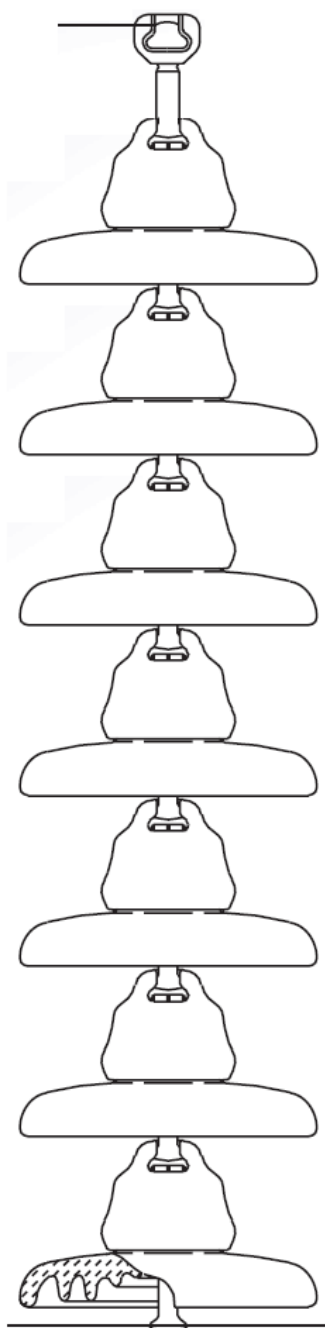
ჩვეულებრივ, გირლანდებისა და საკიდი იზოლატორების ბოლოებზე ხდება უფრო მეტი ძაბვის მოღება, ვიდრე შუა ნაწილზე. ამიტომ მათ 330 კვ და უფრო მაღალ ნომინალურ ძაბვებზე, ელექტრული დაძაბულობის გათანაბრების მიზნით, გირლანდებს ბოლოებში უკეთებენ მაგვრანირებელ რგოლებს.

5.2.2.3. ღეროვანი საკიდი იზოლატორები (ნახ. 5.18) წარმოადგენს მინის, ფაიფურის ან სილიკონური რეზინის ღერს, რომელსაც გააჩნია კონცენტრული ან ბურღისებურად განლაგებული ნეკნები. ღერისებრი იზოლატორის ბოლოები კონუსისებურია, რაც უზრუნველყოფს ნაკეთობის მაღალ მექანიკურ მედეგობას. ცალკეული ასეთი იზოლატორი შეიძლება დამზადდეს 1150 კვ ძაბვამდეც კი, რაც თევზისებური იზოლატორებისაგან შემდგარ გირლანდასთან შედარებით ამცირებს იზოლატორის სიგრძეს და მასას, თუმცა ღეროვანი იზოლატორებს უფრო რთული კონსტრუქცია გააჩნიათ და ძვირია. ამიტომ ისინი გამოიყენება ისეთ ადგილებში, სადაც გადაცემის ხაზების ტრასის ფართი შეზღუდულია. ასეთი იზოლატორების დადებითი მხარეა, რომ გადაფარვა ელექტროდებს შორის თითქმის გამორიცხულია, რასაც ადგილი შეიძლება ჰქონდეს გირლანდური იზოლატორის შემთხვევაში. ამასთან, მისი მნიშვნელოვანი ნაკლია, რომ მინის ან ფაიფურის შესრულების შემთხვევაში, მოკლე შერთვის რკალის ხანგრძლივი ზემოქმედებისას მწყობრიდან გამოდის მთლიანი იზოლატორი. აღსანიშნავია, რომ განსაკუთრებული უპირატესობა გააჩნია სილიკონურ ღეროვან საკიდ იზოლატორს. მას ფაიფურის იზოლატორის ტოლი ელექტრული თვისებები აქვს. ამასთან, მასში გატარებული რეზინით გამაგრებული ოპტიკური მინის ღერი ანიჭებს ძალიან მაღალ მექანიკურ თვისებებს, უფრო მსუბუქია, კომპაქტურია და ოპტიკური კაბელით ინფორმაციის გადაცემის საშუალებას იძლევა.

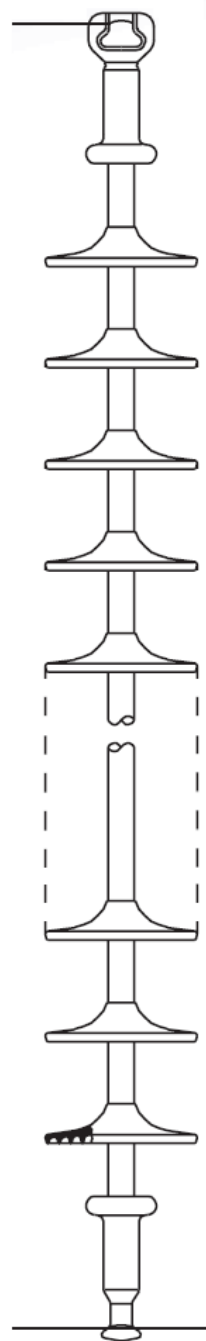


ნახ. 5.18.
საკიდი ღეროვანი იზოლატორები.
ა) ფაიფურის;
ბ) სილიკონის

ა)



ბ)



ნახ. 5.19.

ა) საკიდი გირლანდა,
ბ) მინის ღეროვანი საკიდი იზოლატორი

5.2.3. ქვესადგურების სააპარატო იზოლატორები

ქვესადგურების ღია გამანაწილებელ მოწყობილობებში სახაზო იზოლატორების გარდა, გამოიყენება იზოლატორები, რომელთაც ზოგადად შეიძლება სააპარატო იზოლაცია უწოდოთ. იგი შეიძლება დავყოთ ორ ტიპად: საყრდენ და გამავალ იზოლატორებად.

საყრდენი იზოლატორები გამოიყენება სალტებისა და აპარატების დასამაგრებლად, მაგალითად, გამთიშველის საყრდენ-მაიზოლირებელი კონსტრუქცია ან დენის ტრანსფორმატორის კორპუსის ღრუ საყრდენი იზოლატორი.

გამავალი იზოლატორები გამოიყენება დახურული გამანაწილებელი მოწყობილობის კედლიდან და ტრანსფორმატორის ავზიდან დენგამტარების გამოსაყვანად. მათ ხშირად შემყვან იზოლატორებს და ბუშინგებსაც უწოდებენ.

საყრდენი იზოლატორები, თავის მხრივ, შეიძლება დაყოფილი იქნან ღერისებრ და ჩამოსაცმელ საყრდენ იზოლატორებად.

5.2.3.1 ღერისებრ საყრდენ იზოლატორებში, დიელექტრიკული მასალა – ფაიფური, მინა ან სილიკონი – ასრულებს არა მხოლოდ იზოლატორის, არამედ ძირითადი საყრდენი ელემენტის როლსაც. არმირებული დეტალები გამოიყენება მხოლოდ იზოლატორული ღერის დასამაგრებლად.

ამ ტიპის უმარტივესი იზოლატორები გამოიყენება 10 კვ ნომინალურ ძაბვაზე, დახურულ გამანაწილებელ მოწყობილობაში (ნახ. 5.20 ა). მათ გააჩნიათ საჰაერო სიღრუე, რომელიც გადაკეტილია ფაიფურის ბარიერით, რაც ზრდის გადაფარვის ზედაპირს. ატმოსფერული ზემოქმედებების არარსებობის გამო, იზოლატორის ზედაპირზე სუსტად არის გამოკვეთილი ნეკნები.

ღია გამანაწილებელი მოწყობილობისთვის განკუთვნილ საყრდენ იზოლატორებს (ნახ. 5.20 გ) კი საკმაოდ კარგად აქვთ განვითარებული ნეკნები და ამასთან მათ ქვემოთ მიმართული „საწვიმარებიც“ გააჩნიათ, რაც ხელს უშლის წვიმის შეღწევას ნეკნების ქვედა მხრიდან. ასეთი შესრულების წყალობით ზედა ნეკნები ქვედა ნეკნების ნაწილსაც იცავენ დახრილად დაცემული წვიმის წვეთებისგან (ნახ. 5.20 ბ, ნახ. 5.21 ბ). ნეკნის სიგანის a და ნეკნებს შორის მანძილის l ოპტიმალური თანაფარდობა შემდეგ ზღვარშია მოქცეული:

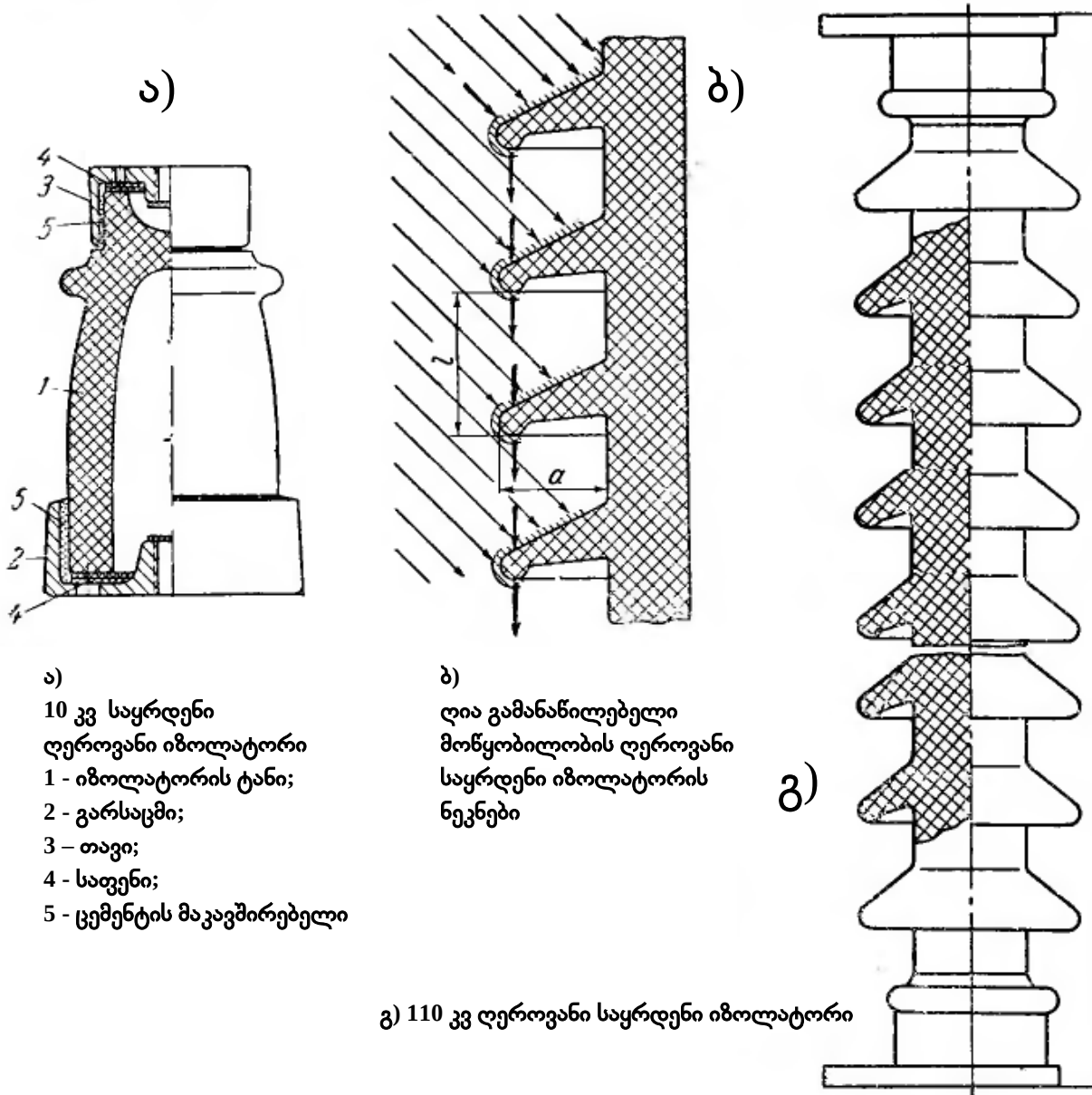
$$0.5 < \frac{a}{l} < 1.0$$

ღერისებრი იზოლატორები შეიძლება დამზადდეს როგორც მონოლითური სხმული სახით, ასევე რამდენიმე, ერთმანეთზე დამაგრებული ღეროვანი იზოლატორის სახით.

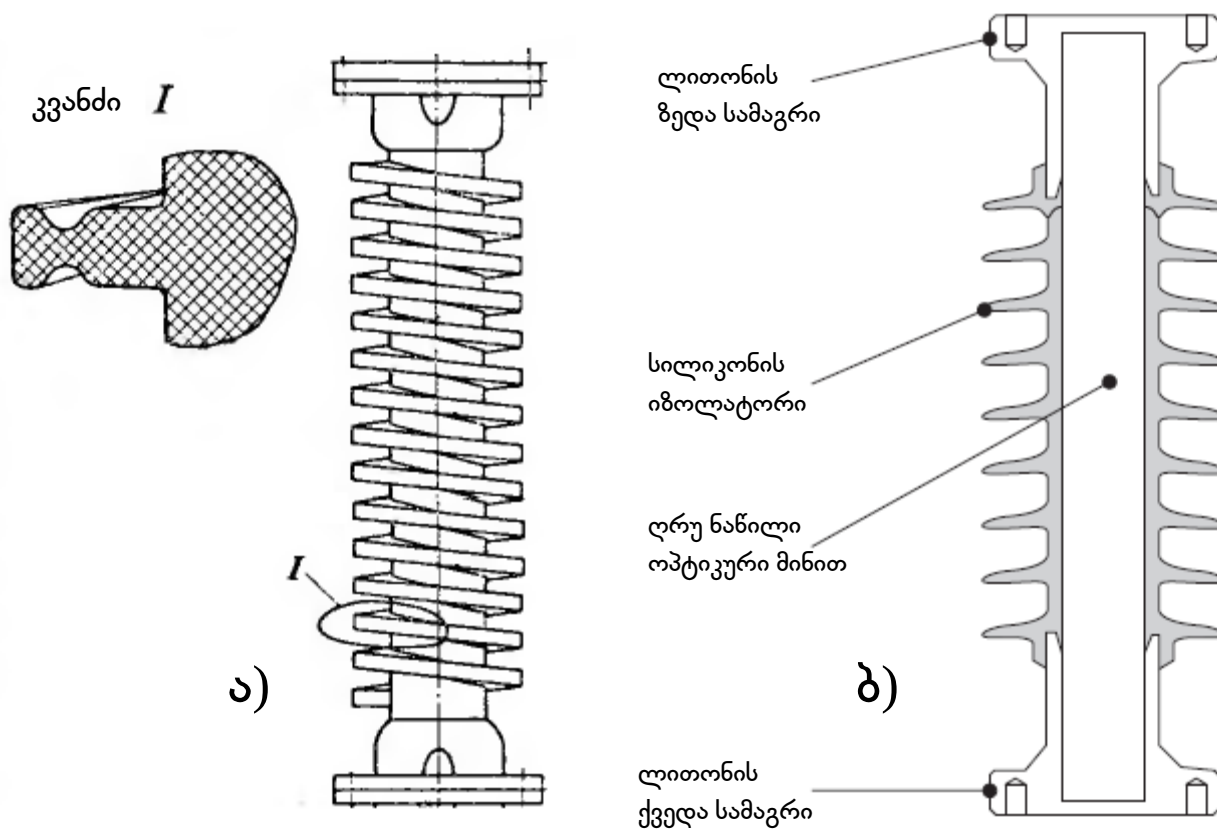
განსაკუთრებულად რაციონალური შესრულება შეიძლება ჰქონდეთ ღეროვან საყრდენ იზოლატორებს - ხრახნისებური ნეკნები (5.21 ა). აღსანიშნავია, რომ ეს ნეკნები აღჭურვილია წყალგამტარი არხით, რაც თანაბრად ანაწილებს ძაბვას იზოლატორის მთელ კორპუსზე, ეფექტურად იცავს წვიმისგან, უფრო მეტიც, წვიმის დროს ფაქტიურად განიცდის ნეკნის ზემო ზედაპირის გადარეცხვა-განმენდას და ზრდის მის ელექტრულ სიმტკიცეს.

ღეროვანი საყრდენი იზოლატორების სახესხვაობას წარმოადგენს საყრდენი ღრუ იზოლატორები (5.23 ა). მათში, ჩვეულებრივ, ათავსებენ 110 კვ და უფრო მაღალი ნომინალური ძაბვის დენის ტრანსფორმატორებს, ძაბვის ტრანსფორმატორებს ან გადაძაბვის არანრფივ შემზღუდველებს. ღრუ იზოლატორებს განსაკუთრებით მკაცრი მოთხოვნები აქვთ

წაყენებული მექანიკური სიმტკიცისადმი. შესაბამისად, იმავე ნომინალურ ძაბვაზე და იგივე მასალის შემთხვევაში, სტანდარტული ღეროვანი იზოლატორის სიმაღლე, მაგრამ გაზრდილი დიამეტრი ექნებათ. ეს, ერთი მხრივ, გამოწვეულია მის ღრუში ზემოაღნიშნული აპარატურის განლაგების შესაძლებლობით და, მეორე მხრივ, ამ აპარატურისთვის საჭირო მექანიკური სიმტკიცის შექმნის საჭიროებით. ისინიც, მოთხოვნებისამებრ, შეიძლება დამზადდნენ, სილიკონისგან, მინისგან ან ფაიფურისგან.



ნახ. 5.20
ღეროვანი საყრდენი იზოლატორები

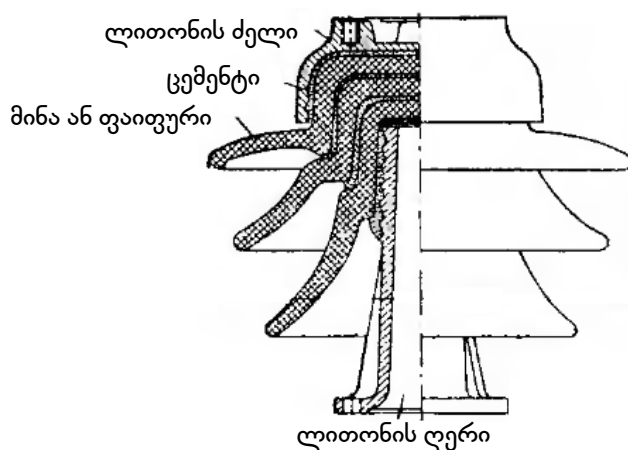


ნახ. 5.21

ღეროვანი საყრდენი იზოლატორები

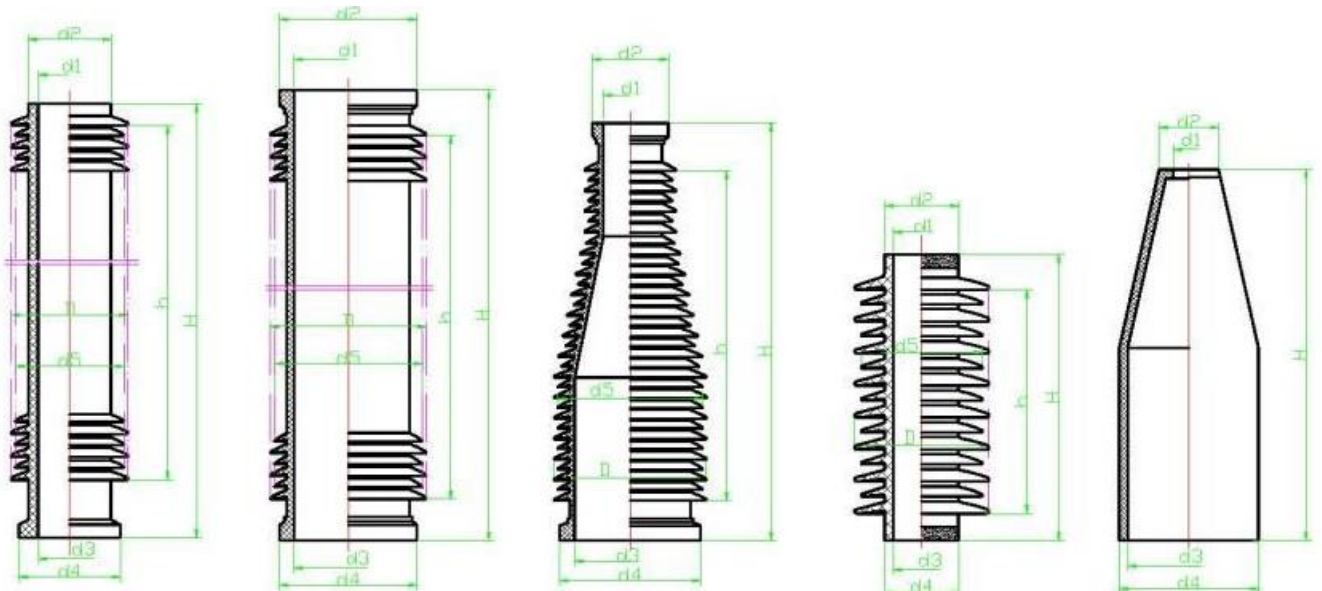
ა) ფაიფურის ან მინის, ხრახნისებრი ნეკნებით;

ბ) პოლიმერული იზოლაციით



ნახ. 5.22

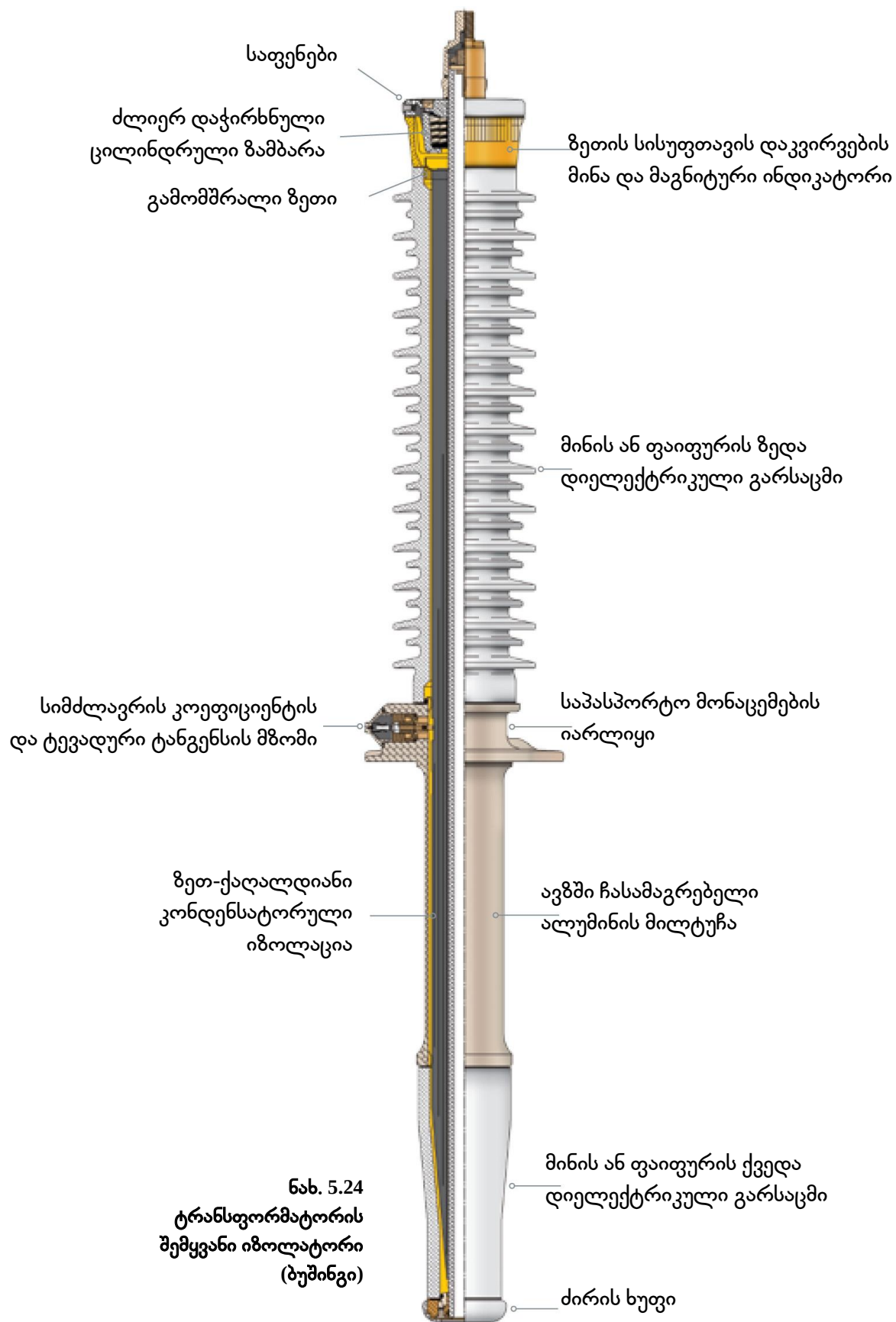
საყრდენ ჩამოსაცმელი იზოლატორი



ნახ. 5.23

საყრდენი ღრუ იზოლატორები.

5.2.3.2 გამავალი იზოლატორებიდან განსაკუთრებით საპასუხისმგებლოა ძალოვანი ტრანსფორმატორების შემყვანი იზოლატორების ანუ ბუშინგების შესრულება, ვინაიდან მათ, არა მხოლოდ მაღალ ძაბვებთან, არამედ მათში გაყრილ გამტარებში გამავალ დიდ დენებთანაც უწევთ მუშაობა. ბუშინგების (ნახ. 5.24,) ზედა ნაწილი, რომელიც წარმოადგენს მინის, ფაიფურის ან სილიკონის დიელექტრიკს, სპეციალური მილტუჩას საშუალებით მაგრდება ტრანსფორმატორის ავზში. ბუშინგში და, შესაბამისად, ტრანსფორმატორის ავზში ტენის შეღწევის აღსაკვეთად აღნიშნულ იზოლატორს თავზე აქვს გაკეთებული ჰერმეტიკული ხუფი. ტემპერატურის ზემოქმედებით გამოწვეული ზეთის მოცულობის კომპენსირებისთვის ხუფის ქვემოთ დამაგრებულია ძლიერ დაჭირხნული ზამბარა. მის ქვემოთ, კიდევ ერთ ჰერმეტიკულ ბარიერს ქმნის გამომშრალი ზეთის რეზინისებური ფენა. ბუშინგის ქვედა ნაწილშიც შედარებით მოკლე მინის (ფაიფურის ან სილიკონის) დიელექტრიკია. ზედა და ქვედა მხარეებს შორის არსებული მილტუჩა მზადდება ალუმინისაგან, რომელიც უზრუნველყოფს კოროზიამდევობასა და ჩამინებასთან ეფექტურ კავშირს. ბუშინგის ზემოთ მოთავსებულია ზეთის სისუფთავის დასაკვირვებელი მინის ფანჯარა და მისი სისუფთავის მაგნიტური ინდიკატორი. ტრანსფორმატორის ავზის ზედაპირის სიახლოვეში განლაგებულია დიელექტრიკული დანაკარგების კუთხის ტანგენსის და სიმძლავრის კოეფიციენტის მაჩვენებლები. დიელექტრიკული თვისებების ასამაღლებლად და უკეთესი გაცივებისთვის ბუშინგი გავსებულია ზეთით ან წნევის ქვეშ მყოფი ელევანით. ამასთან, გამტარზე კონცენტრული ცილინდრების სახით განლაგებულია ქაღალდის ან მუყაოს ბარიერები. ეს ემსახურება დამატებითი ტევადობების შექმნას და ძაბვის თანაბარ გადანაწილებას ბუშინგის მთელ სიგრძეზე. ბუშინგის ძირიც, მისი ზემო ნაწილის მსგავსად, დახურულია ხუფით. ამრიგად, ტრანსფორმატორის შემყვანი იზოლატორი წარმოადგენს დამოუკიდებელ ავზს და იზოლაციის დამოუკიდებელ სისტემას.





ნახ. 5.25 საყრდენი იზოლატორები



ნახ. 5.26. ზეშეცვანი იზოლატორები (ბუშინგები)



ნახ. 5.27. საკიდი (სახაზო) იზოლატორები

იზოლატორებმა უნდა დააკმაყოფილონ რიგი მოთხოვნებისა, რომლებიც განსაზღვრავენ მათ ელექტრულ და მექანიკურ მახასიათებლებს.

ელექტრულ მახასიათებლებს განეკუთვნებიან:

- ნომინალური ძაბვა;
- გარღვევის ძაბვა;
- სამრეწველო სიხშირის განმუხტვის და მაქსიმალური დასაშვები ძაბვები;

მექანიკურ მახასიათებლებს ეკუთვნიან:

• მინიმალური დამანგრეველი დატვირთვის ძალა (ნ), რომელიც მოდებულია იზოლატორის თავზე მის მართობულად;

• სიმტკიცე, ანუ იზოლატორის თავზე, მართობულად მოდებული ძალის შეფარდება, იზოლატორის თავის გადახრასთან ვერტიკალური ღერძისადმი (ნ/მმ).

5.3. ელექტრული აპარატურის შერჩევა

ელსადგურებისა და ქვესადგურების მუშაობისას არ არის გამორიცხული სხვადასხვა ავარიების წარმოქმნა. ამ ავარიების ლიკვიდაცია უნდა მოახდინონ რელეური დაცვის სისტემებმა, რომელთა მოქმედებას სჭირდება გარკვეული დრო. ამრიგად, აღნიშნული დროის განმავლობაში ელსადგურსა და ქვესადგურში არსებული მოწყობილობები განიცდიან ავარიით გამოწვეულ მავნე ზემოქმედებებს. მაშასადამე, ეს მოწყობილობები უნდა იქნან შერჩეულნი იმგვარად, რომ გაუძლონ ყველაზე უფრო საშიშ ავარიებს მაქსიმალური დროის განმავლობაში. სწორედ ასეთ - ყველაზე სახიფათო ავარიებს წარმოადგენენ მოკლე შერთვები (მშ).

მშ ეს არის ავარია, რომელიც წარმოიქმნება სხვადასხვა პოტენციალის მქონე დენგამტარი ნაწილების ექსპლუატაციით გაუთვალისწინებელი კომუტაციის (შეხების) შედეგად. ამრიგად, შეიძლება წარმოიქმნას ფაზებს შორისი (ორფაზა და სამფაზა) და ფაზებსა და მიწას შორისი (ერთფაზა და ორფაზა მიწაზე) მშ-ები.

მოკლე შერთვის სახეებიდან ყველაზე უფრო სახიფათოა სამფაზა მშ. ამ დაზიანების დროს ხდება მაქსიმალური სიდიდის ავარიული დენების, მაქსიმალური ტემპერატურისა და მაქსიმალური სიდიდის მექანიკური ძალების წარმოქმნა. სწორედ ამიტომ არის, რომ მოწყობილობებს არჩევენ სამფაზა მშ დენის მიხედვით.

მშ-ების დროს დენები დაუზიანებელ ფაზებში იზრდება და ნომინალურ მნიშვნელობებს რამდენიმეჯერ აჭარბებს. მათი გავლის შედეგად, დანაკარგები იზრდება და გამტარებსა და კონტაქტებში ტემპერატურა მკვეთრად მატულობს. რამაც შეიძლება გამოიწვიოს იზოლაციის დაძველება ან დაშლა, კონტაქტების მიდუღება ან გამოწვა, გამტარებისა და სალტეების მექანიკური სიმტკიცის დაკარგვა და ა.შ. ელექტრულმა მოწყობილობებმა კი, როგორც აღვნიშნეთ, უნდა გაუძლონ ავარიულ ზემოქმედებებს, მათ შორის, მშ თერმულ ზემოქმედებას. მოწყობილობის ან გამტარის უნარს - გაუძლონ მშ დენის თერმულ ზემოქმედებას დაუზიანებლად და ნორმალური მუშაობის კონდიციების დაუკარგავად - უწოდებენ *თერმულ მედეგობას*.

მშ დენების გავლა ასევე იწვევს გამტარებს შორის მნიშვნელოვანი მექანიკური ძალების წარმოქმნას. ამიტომ დენგამტარი ნაწილები, მოწყობილობები და მანქანები იმგვარად უნდა იყვნენ შესრულებულნი, რომ გაუძლონ ასეთი ძალების ზემოქმედებას, ანუ უნდა გააჩნდეთ საკმარისი მექანიკური მედეგობა.

აღსანიშნავია, რომ 110 კვ და უფრო მაღალ ნომინალურ ძაბვებზე, საჭირო საიზოლაციო შუალედების უზრუნველსაყოფად, მანძილები ფაზებს შორის და ფაზებსა და მიწას შორის მნიშვნელოვნადაა გაზრდილი. ამიტომ ამ შემთხვევაში ფაზების ურთიერთქმედების ძალები შესაძლებელია უგულებელყოფილი იქნას. სამაგიეროდ, მაღალი ძაბვის ზემოქმედების გამო იზრდება ელექტრული ველის დაძაბულობა გამტარების ირგვლივ. განსაკუთრებით გასათვალისწინებელია გვირგვინისა და ატმოსფერული გადამეტაბვის მავნე ზემოქმედებების არიდება აღნიშნულ ნომინალურ ძაბვებზე.

5.4. ელექტრული აპარატების და გამტარების გახურება ნორმალურ რეჟიმში

ენერგეტიკული დანადგარების მუშაობისას მათ გამტარ ნაწილებსა და იზოლაციაში აღვილი აქვს ენერგიის დანაკარგებს, ესენია: გამტარებში გამავალი დენის კვადრატის პროპორციული დანაკარგები, საიზოლაციო მასალებში (დიელექტრიკებში) ძაბვის კვადრატის პროპორციული დანაკარგები, ტრანსფორმატორების და ელექტრული მანქანების მაგნიტგამტარებში ჰისტერეზისით და გრივალური დენებით გამოწვეული დანაკარგები, დანაკარგები მაგნიტურ ველში მოთავსებულ მასიურ ფერომაგნიტურ დეტალებში. ყველა ეს დანაკარგი გამოიყოფა სითბოს სახით. იგი ნაწილობრივ შთაინთქმება აპარატების და გამტარების მიერ და იწვევს მათ გახურებას, ნაწილობრივ კი გადაეცემა გარემოს (ჰაერს). გამტარების და აპარატების გახურების პროცესი მეტად რთულია. მათი საბოლოო ტემპერატურა დამოკიდებულია დანაკარგების სიმძლავრეზე, გარემოში სითბოს გაცემის პირობებზე და აპარატის მუშაობის რეჟიმზე. ნორმალურ რეჟიმში, გამტარების და აპარატების გახურების პროცესის შესწავლისას განასხვავებენ ორ შემთხვევას: (1) ხანგრძლივ რეჟიმს და (2) ხანმოკლე რეჟიმს. ხანგრძლივი რეჟიმის ქვეშ იგულისხმება დამყარებული რეჟიმი, ხანმოკლე რეჟიმი კი მშ რეჟიმი.

იმისათვის, რომ უზრუნველვყოთ იზოლაციის მუშაობის ეკონომიურად მიზანშეწონილი ხანგრძლივობა, ელექტრული კონტაქტების მუშაობის საიმედოობა და არ დაუშვათ ლითონების მექანიკური სიმტკიცის დაქვეითება, მუშაობის ნორმალურ რეჟიმებში გამტარებისა და აპარატების ტემპერატურას ზღუდავენ. მაგალითად, შენობაში მომუშავე (მყოფი) ალუმინისა და სპილენძის არაიზოლირებული გამტარებისათვის ნორმალურ, ხანგრძლივ რეჟიმში დასაშვებ ტემპერატურად მიიღებენ $+70^{\circ}\text{C}$.

სხეულების გახურებისას თავს იჩენს თბოცვლის პროცესი - სითბოს გადატანა სხეულის გახურებული ნაწილებიდან ნაკლებად გახურებულ ნაწილებისაკენ და გარემოში. განასხვავებენ თბოცვლის სამ სახეს: თბოგამტარობას, კონვექციას და თბურ გამოსხივებას.

თბოგამტარობას უწოდებენ სითბოს გავრცელებას მყარ სხეულებში. კონვექციას უწოდებენ მყარი სხეულიდან სითბოს გაცემის პროცესს თხევად ან აირად გარემოში. თბურ გამოსხივებას უწოდებენ ელექტრომაგნიტური ტალღებით სითბოს გადაცემის პროცესს გახურებული სხეულებიდან ნაკლებად გახურებული სხეულებისაკენ, თუ ისინი აირის გარემოთი არიან გამოყოფილი ერთმანეთისაგან.

გამტარის დენით გახურებისას მისი ტემპერატურა ერთნაირია მთელ სიგრძეზე, ამიტომ სითბოს გადაცემას თბოგამტარობის გზით ამ შემთხვევაში აღვილი არ აქვს. თბოცვლა წარმოებს მხოლოდ გამტარის ზედაპირიდან კონვექციისა და გამოსხივების სახით.

გამტარების თბური ანგარიშის არსია, მოცემული კონსტრუქციისა და კვეთის გამტარისათვის, ხანგრძლივი და ნორმალური რეჟიმისათვის დასაშვები ტემპერატურების მხედველობაში მიღებით, განსაზღვრული იქნას მაქსიმალური დასაშვები დენი გარემოს მოცემული ტემპერატურის დროს.

დადგენილია სხვადასხვა გარემო ტემპერატურები, რომლებისთვისაც განსაზღვრავენ დასაშვები დენების მაქსიმალურ მნიშვნელობებს. ამ ტემპერატურებს გარემოს ნორმალურ ტემპერატურას უწოდებენ და მათი მნიშვნელობები მოცემულია ქვემოთ:

ჰაერის სადენისათვის $+25^{\circ}\text{C}$

ჰაერის აპარატებისათვის $+35^{\circ}\text{C}$

მიწა $+15^{\circ}\text{C}$

წყალი $+15^{\circ}\text{C}$

დამყარებულ თბურ რეჟიმში გამტარში გამოყოფილი მთელი სითბო

$$\Phi = I^2 R \quad (5.2)$$

გადაეცემა გარემოს

სადაც

I = გამტარში გამავალი დენია (ა),

R = გამტარის აქტიური წინაღობა (ომი),

Φ = თბური ნაკადი (ვტ).

(5.2) ფორმულიდან შეიძლება დადგინდეს გამტარის დასაშვები დენი, გარემოს მოცემული ტემპერატურის დროს.

$$I_{\text{დას}} = \sqrt{\frac{\Phi}{R}} \quad (5.3)$$

აღსანიშნავია, რომ როგორც Φ , ასევე R წარმოადგენენ ტემპერატურის ფუნქციებს. აქედან გამომდინარე, გამტარისათვის დასაშვები დენის განსაზღვრისათვის საჭიროა დადგინდეს მისი აქტიური წინაღობა და მისი ზედაპირიდან გამოყოფილი თბური ნაკადი, გამტარის დასაშვები ტემპერატურისა და გარემოს ნორმალური ტემპერატურის დროს.

თუ გამტარი არაიზოლირებულია, ანუ შიშველია და იმყოფება ჰაერში, მაშინ ჯამური თბური ნაკადი შეიძლება გავიანგარიშოთ როგორც კონვექციის Φ_k და გამოსხივების Φ_g თბური ნაკადების ჯამი:

$$\Phi = \Phi_k + \Phi_g \text{ (ვტ)} \quad (5.4)$$

კონვექციისა და გამოსხივების ნაკადების გაანგარიშების დროს უნდა გავითვალისწინოთ გამტარი იზოლირებულია თუ არა; დახურულ შენობაშია იგი, თუ ღია ცის ქვეშ. მაგალითად, დახურული გამანაწილებელი მანქანობილობის სალტებიდან კონვექციით გაცემული თბური ნაკადი ტოლია:

$$\Phi_k = F_k G_k \text{ (ვტ)} \quad (5.5)$$

სადაც

F_k = სალტის ზედაპირის ფართობი (მ^2),

G_k = თბური ნაკადის ზედაპირული სიმკვრივე თავისუფალი კონვექციის დროს (ვტ/ მ^2).

$$G_k = 1.81 a (\tau_k - \tau_{\text{გ}})^{1.25} \quad (5.6)$$

აქ

a = სალტის სიმაღლის განმსაზღვრელი კოეფიციენტი,

τ_k = გამტარის (სალტის) ზედაპირის ტემპერატურა ($^{\circ}\text{C}$),

$\tau_{\text{გ}}$ = გარემოს (ჰაერის) ტემპერატურა ($^{\circ}\text{C}$).

გამოსხივების გზით გაცემული თბური ნაკადი ტოლია

$$\Phi_g = F_g G_g \text{ (ვტ)} \quad (5.7)$$

სადაც

F_g = სალტის გამოსხივების ზედაპირის ფართობი (მ^2),

G_g = გამოსხივებით გაცემული თბური ნაკადის სიმკვრივე (ვტ/მ^2)

$$G_g = 5.7 \times 10^{-8} \times \varepsilon \times [(273 + \tau_b)^4 - (273 + \tau_a)^4] \quad (5.8)$$

აქ

ε = გამოსხივების ზედაპირის სიშავის ხარისხია, რომელიც აბსოლუტურად შავი სხეულისათვის 1-ის ტოლია, ემალის საღებავით შეღებილი ალუმინის სალტისათვის $0.6 \div 0.8$ -ია, ხოლო პოლირებული ალუმინის სალტისათვის, კი უდრის 0.02 -ს. ე.ი. სალტის შეღებვა იწვევს სითბოს გამოსხივების მატებას და, აქედან გამომდინარე, დასაშვები დენის ზრდას.

გამტარის წინააღობასა და ტემპერატურას შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება:

$$R = \frac{\rho l}{q} \frac{\delta + \tau_b}{\delta + \tau_a} \quad (5.9)$$

სადაც

l = გამტარის სიგრძეა (მ),

ρ = მისი კუთრი წინააღობაა ($\text{ომი} \cdot \text{მმ}^2 / \text{მ}$),

q = განივკვეთი (მმ^2),

δ = ტემპერატურის განზომილების მქონე კოეფიციენტი, რომელიც ალუმინისათვის უდრის 236°C , სპილენძისათვის კი 242°C .

თუ (5.4)-დან (5.9)-ის ჩათვლით გამოსახულებებს გავითვალისწინებთ (5.3)-ში, მივიღებთ:

$$I_{\text{დას. max}} = \sqrt{\left(1.81 \times a F_g (\tau_b - \tau_a)^{1.25} + 5.7 \times 10^{-8} F_g \varepsilon [(273 + \tau_b)^4 - (273 + \tau_a)^4]\right) \frac{q(\delta + \tau_b)}{\rho l (\delta + \tau_a)}} \quad (5.10)$$

ამრიგად (5.10) წარმოადგენს დასაშვები დენის ცალსახა დამოკიდებულებას გამტარის წინააღობაზე, კვეთზე, სიგრძესა და გარემო ტემპერატურებზე. თუკი (5.10)-ში შევიტანთ ზღვრულ დასაშვებ ტემპერატურებს $\tau_a = 25^\circ\text{C}$ და $\tau_b = 70^\circ\text{C}$, მივიღებთ მაქსიმალური დასაშვები დენის მნიშვნელობას.

რაც შეეხება იზოლირებული გამტარებისა და კაბელების თბურ გაანგარიშებას, იგი გაცილებით რთულია, ვინაიდან გარემოსა და გამოსხივების ზედაპირის შორის არსებობს იზოლაციის ფენა. განსაკუთრებით რთულია კაბელების თბური გაანგარიშება, რადგან რთულია მათი კონსტრუქცია და მხედველობაში მისაღებია კაბელის ჩანცობის პირობები.

ექსპლუატაციის და პროექტირების პრაქტიკაში ფართოდ იყენებენ დასაშვები დენების ცხრილებს სხვადასხვა კონსტრუქციის კაბელებისა და გამტარებისათვის. ეს ცხრილები შედგენილია კაბელების და გამტარების ნორმირებული ტემპერატურისათვის. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, შიშველი არაიზოლირებული გამტარებისათვის (მათი გამოყენებისას შენობაში) ნორმალური ხანგრძლივი რეჟიმისას დასაშვები (ნორმირებული) ტემპერატურაა 70°C . პლასტმასის და რეზინის იზოლაციის მქონე გამტარებისა და კაბელებისათვის დასაშვები დენების მნიშვნელობები გაანგარიშებულია გამტარების დასაშვები 55°C ტემპერატურისათვის.

კაბელებისათვის დასაშვები ტემპერატურის მნიშვნელობა დამოკიდებულია ნომინალური ძაბვის მნიშვნელობაზეც. მაგალითად, თუ კაბელის ნომინალური ძაბვაა 3 კვ, მისი დასაშვები ტემპერატურა შეადგენს 80°C , 6 კვ ძაბვის კაბელისათვის 65°C , 10 კვ ძაბვის კაბელისათვის 60°C და 20-35 კვ ძაბვის კაბელებისათვის, კი 50°C .

მაგალითი 5.1

გავიანგარიშოთ დახურულ გამანაწილებელ შენობაში არსებული 2.5 მ სიგრძის 50×5 კვეთის სპილენძის გამტარის მიერ გამოსხივებული თბური ნაკადი, თუ მისი ზედაპირი პოლირებულია და ტემპერატურაა 55°C, ხოლო ჰაერის ტემპერატურაა 10°C. სალტის სიმაღლის კოეფიციენტი $a = 1$.

ამოხსნა

თბური ნაკადის ზედაპირული სიმკვრივე თავისუფალი კონვექციის დროს, (5.6) გამოსახულების თანახმად

$$G_{\text{კ}} = 1.81 a (\tau_{\text{ბ}} - \tau_{\text{ჰ}})^{1.25} = 1.81 \times 1 \times (55 - 10)^{1.25} = 116.45 (\text{ვტ}/\text{მ}^2)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ სალტის ზომებია: $h = 50 \text{ მმ} = 0.05 \text{ მ}$, $b = 5 \text{ მმ} = 0.005 \text{ მ}$, $l = 2.5 \text{ მ}$, კონვექციის სრული ზედაპირი იქნება:

$$F_{\text{კ}} = 2(bh + bl + hl) = 2 \times (0.005 \times 0.05 + 0.005 \times 2.5 + 0.05 \times 2.5) = 0.2755 (\text{მ}^2)$$

კონვექციით გაცემული თბური ნაკადი, (5.5) გამოსახულების თანახმად, ტოლია:

$$\Phi_{\text{კ}} = F_{\text{კ}} G_{\text{კ}} = 0.2755 \times 116.45 = 32.08 (\text{ვტ})$$

გამოსხივებით გაცემული თბური ნაკადის სიმკვრივე, (5.8) გამოსახულების თანახმად

$$G_{\text{გ}} = 5.7 \times 10^{-8} \times \varepsilon \times [(273 + \tau_{\text{ბ}})^4 - (273 + \tau_{\text{ჰ}})^4] = 5.7 \times 10^{-8} \times 0.02 \times [(273 + 55)^4 - (273 + 10)^4] = 5.88 (\text{ვტ}/\text{მ}^2)$$

გამოსხივების სრული ზედაპირი

$$F_{\text{გ}} = F_{\text{კ}} = 0.2755 (\text{მ}^2)$$

გამოსხივების გზით გაცემული თბური ნაკადი, (5.7) გამოსახულების თანახმად, ტოლია

$$\Phi_{\text{გ}} = F_{\text{გ}} G_{\text{გ}} = 0.2755 \times 5.88 = 1.62 (\text{ვტ})$$

გამოსხივების სრული ნაკადი, (5.6) გამოსახულების თანახმად, იქნება

$$\Phi = \Phi_{\text{კ}} + \Phi_{\text{გ}} = 32.08 + 1.62 = 33.7 (\text{ვტ})$$

მაგალითი 5.2

გავიანგარიშოთ 3.0 მ სიგრძის 30×4 კვეთის ალუმინის პოლირებული გამტარის მაქსიმალური დასაშვები დენი თუ მისი ზედაპირის დასაშვები ტემპერატურაა 70°C, ხოლო ჰაერის ტემპერატურაა 25°C. სალტის სიმაღლის კოეფიციენტი $a = 1$.

ამოხსნა

თუ გავითვალისწინებთ, რომ სალტის ზომებია $h = 30 \text{ მმ} = 0.03 \text{ მ}$, $b = 4 \text{ მმ} = 0.004 \text{ მ}$, $l = 3.5 \text{ მ}$, კონვექციის სრული ზედაპირი იქნება:

$$F_{\text{კ}} = 2(bh + bl + hl) = 2 \times (0.004 \times 0.03 + 0.004 \times 2.5 + 0.03 \times 2.5) = 0.17024 (\text{მ}^2)$$

გავითვალისწინოთ, რომ პოლირებული ალუმინის სალტისთვის ზედაპირის სიშავის ხარისხი $\varepsilon = 0.02$, ალუმინის კუთრი გამტარობაა 0.028 (ომი · მმ² / მ) და კოეფიციენტი $\delta = 236 \text{ }^{\circ}\text{C}$

მაქსიმალური დასაშვები დენი, (5.10) გამოსახულების თანახმად, იქნება:

$$\begin{aligned} I_{\text{დას. max}} &= \sqrt{\left(1.81 \times a F_{\text{კ}} (\tau_{\text{ბ}} - \tau_{\text{ჰ}})^{1.25} + 5.7 \times 10^{-8} F_{\text{გ}} \varepsilon [(273 + \tau_{\text{ბ}})^4 - (273 + \tau_{\text{ჰ}})^4]\right) \frac{q(\delta + \tau_{\text{ბ}})}{\rho l(\delta + \tau_{\text{ჰ}})}} \\ &= \sqrt{\left(1.81 \times 1 \times 0.17024 \times (70 - 25)^{1.25} + 5.7 \times 10^{-8} \times 0.17024 \times 0.02 \times [(273 + 70)^4 - (273 + 25)^4]\right) \times} \\ &\quad \times \frac{120 \times (236 + 70)}{0.028 \times 3 \times (236 + 25)} = 249.22 (\text{ა}) \end{aligned}$$

5.5. მშ დენების თერმული მოქმედება

მშ დენების გავლისას, როგორც ზემოთ იქნა აღნიშნული, ხდება სითბოს დიდი რაოდენობის გამოყოფა. რასაც შეიძლება მოწყობილობებისა და გამტარების დაზიანება მოყვეს. ამიტომ დაზიანების ასარიდებლად მოწყობილობების შერჩევა უნდა მოხდეს ისე, რომ მშ დენმა არ გადაახუროს ისინი.

განვსაზღვროთ მშ დროს დენების ზემოქმედების შედეგად გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა. დროის მცირე შუალედში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ტოლია:

$$dQ = I_{\text{მშ}}^2 \cdot R \cdot dt \quad (5.11)$$

სადაც

$I_{\text{მშ}}$ = მშ დენის მოქმედი მნიშვნელობაა t დროის მომენტში;

R = გამტარის აქტიური წინაღობაა;

ვინაიდან მშ-ის დრო ძალიან მცირეა, $0.1 \div 0.5$ წმ, სადენი ვერ ასწრებს სითბოს უდიდესი ნაწილის გაცემას და შეიძლება დავუშვათ, რომ მთელი სითბო იხარჯება გამტარის გახურებაზე, ანუ:

$$dQ = m \cdot c \cdot d\tau \quad (5.12)$$

სადაც

m = გამტარის მასაა;

c = მისი კუთრი სითბოტევადობა;

$\tau = \tau_2 - \tau_1$ = გახურება ანუ ტემპერატურის აწევა გარემოს τ_1 ტემპერატურასთან

შედარებით;

ამრიგად, მშ-ის გავლენით გახურების განტოლება შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგი სახით:

$$I_{\text{მშ}}^2 \cdot R \cdot dt = m \cdot c \cdot d\tau \quad (5.13)$$

უკანასკნელ ფორმულაში გავითვალისწინოთ, რომ:

$$m = \lambda q l \quad (5.14)$$

და

$$R = \frac{\rho l}{q} \quad (5.15)$$

სადაც

λ = გამტარის სიმკვრივეა;

q = განივკვეთი;

l = სიგრძე;

ρ = კუთრი წინაღობა;

ცხრილში 5.1 მოცემულია სხვადასხვა მასალის გამტარის კუთრი წინაღობები და კუთრი წონები (სიმკვრივები).

ცხრილი 5.1

ნივთიერება	კუთრი წინაღობა (ომი×მმ²/მ)	სიმკვრივე (ტონა/მ³)
ალუმინი	0.028	2.70
ვოლფრამი	0.055	19.25
რკინა	0.098	7.87
ოქრო	0.023	19.32
სპილენძი	0.0175	8.94
ვერცხლი	0.016	10.50
ქრომი	0.027	7.19

ამრიგად, გახურების განტოლებას ექნება სახე:

$$I_{გვ}^2 \frac{\rho l}{q} dt = \lambda q l c dt \quad (5.16)$$

გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ:

$$\frac{1}{q^2} I_{გვ}^2 dt = \frac{\lambda c}{\rho} dt \quad (5.17)$$

აღნიშნული განტოლების ორივე მხარე გავაინტეგრირებთ: მარცხენა მხარე 0-დან $t_{გამ}$ -მდე (მშ-ის გამორთვის დრო), მარჯვენა მხარე 0-დან $\tau_{გამ}$ (გადახურების საბოლოო მნიშვნელობა მშ-ის გამორთვის მომენტში):

$$\frac{1}{q^2} \int_0^{t_{გამ}} I_{გვ}^2 dt = \int_0^{\tau_{გამ}} \frac{\lambda c}{\rho} dt \quad (5.18)$$

მაშასადამე, $\tau_{გამ}$ არის მშ დროს სადენისთვის დასაშვები ტემპერატურა, (5.18) განტოლების ამოხსნის მიზანი შემდეგნაირად შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ: მოცემული სიდიდის მშ დენის გასვლისას, რა მინიმალური განივკვეთის უნდა იყოს გამტარი, რომ მისი ტემპერატურა არ გახდეს დასაშვებზე მეტი.

(5.18) განტოლების მარჯვენა მხარის ინტეგრალქვეშა მამრავლს ვუწოდოთ მშ დენის თბური იმპულსი

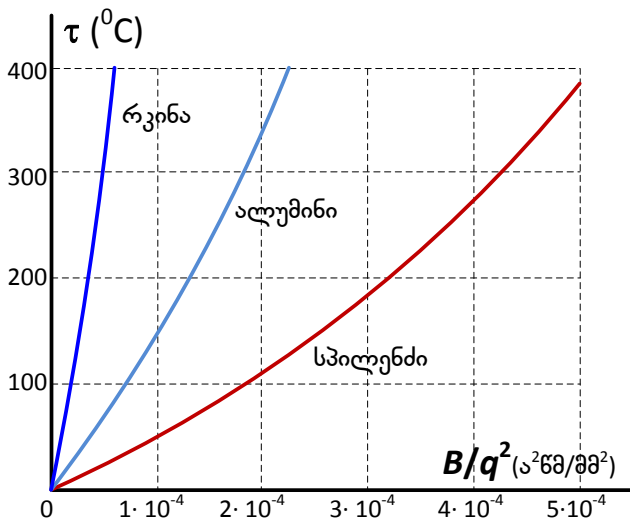
$$B_{გვ} = \int_0^{t_{გამ}} I_{გვ}^2 dt \quad (5.19)$$

მშ დენი დროის ფუნქციაა. იგი დამოკიდებულია ენერგოსისტემის ელემენტების ტიპებზე, კონსტრუქციასა და ქსელის კონფიგურაციაზე. ანალიზის გამარტივების მიზნით თვლიან, რომ თბური იმპულსს ქმნის სიდიდით მშ დენის პერიოდული მდგენელის მოქმედი მნიშვნელობის ტოლი დენი $I_{გვ p}$, რომლის მოქმედების დრო ტოლია მშ გამორთვის დროისა $t_{გამ}$ და აპერიოდული მდგენელის ქრობის მუდმივას T_a ჯამისა:

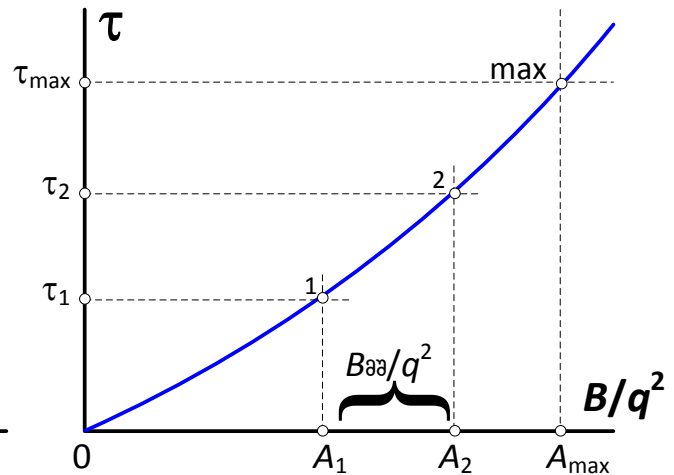
$$B_{გვ} = I_{გვ p}^2 (T_a + t_{გამ}) \quad (5.20)$$

მისი სიდიდე პროპორციულია მშ დენის გავლით სადენის გახურებისას გამოყოფილი ენერგიისა. გახურების განტოლების მარჯვენა მხარეში ρ , თავის მხრივ, გახურების ფუნქციაა. ამიტომ გაინტეგრირების თავიდან აცილების მიზნით, საინჟინრო ანგარიშებში იყენებენ გამტარის

ტემპერატურის ხვედრით თბურ იმპულსზე $A = B/q^2$ დამოკიდებულების $\tau = f(A)$ მრუდებს (ნახ. 5.28-ა, ბ).



ა)



ბ)

ნახ. 5.28

ამ მრუდების გამოყენებისას გასათვალისწინებელია, რომ გამტარების საწყისი ტემპერატურა, ჩვეულებრივ, ნულისაგან განსხვავებულია. იგი დამოკიდებულია გარემო ტემპერატურასა და მშ-მდე არსებულ დატვირთვის დენზე. ამრიგად, გამტარი მშ-ის დაწყებამდე განიცდის საწყისი თბური იმპულსის ზემოქმედებას. ამ ფაქტორის მხედველობაში მიღებით, გამტარის ავარიამდელი τ_1 ტემპერატურის მიხედვით (ნახ. 5.28-ა, ბ), $\tau = f(A)$ მრუდზე განსაზღვრავენ სიდიდეს $A_1 = B_1/q^2$ (აღნიშნულ მრუდზე წერტილი „1“ შეესაბამება მშ დენის მიერ გამტარის გახურების დასაწყისს). შემდეგ, ვიცით რა $B_{გვ}$ თბური იმპულსის სიდიდე და ნორმალური ტემპერატურის შესაბამისი ხვედრითი იმპულსი A_1 , ვსაზღვრავთ გახურების საბოლოო τ_2 ტემპერატურის შესაბამის ხვედრით იმპულსს A_2 . იგი წარმოადგენს დატვირთვის დენითა და მშ დენით გამოწვეული ხვედრითი იმპულსების ჯამს:

$$A_2 = A_1 + A_{გვ}$$

სადაც მშ-ით გამოწვეული თბური იმპულსი

$$A_{გვ} = \frac{B_{გვ}}{q^2}$$

ანუ გვექნება

$$A_2 = A_1 + \frac{B_{გვ}}{q^2} \quad (5.21)$$

ნახ. 5.28-ბ-ის მრუდზე მაქსიმალურ დასაშვებ τ_{max} ტემპერატურის შესაბამება სიდიდე A_{max} იმისათვის, რომ ტემპერატურამ არ გადააჭარბოს τ_{max} სიდიდეს, უნდა შესრულდეს პირობა $A_2 < A_{max}$. ამრიგად, შეგვიძლია დავწეროთ:

$$A_1 + \frac{B_{გვ}}{q^2} < A_{max} \quad (5.22)$$

(5.22)-დან გამტარის მინიმალური განივკვეთი უნდა იყოს:

$$q_{\min} > \frac{B_{\text{გვ}}}{\sqrt{A_{\max} - A_1}}, \text{ ან} \quad (5.23)$$

$$q_{\min} > I_{\text{გვ}} \sqrt{\frac{T_a + t_{\text{გვ}}}{A_{\max} - A_1}} \quad (5.24)$$

ვინაიდან ყოველ კონკრეტულ გამტარს შეესაბამება განსაზღვრული სიდიდის A_1 და $A_{\max}$, ანგარიშის გამარტივების მიზნით, შემოაქვთ აღნიშვნა $C = \sqrt{A_{\max} - A_1}$, მაშინ მინიმალური კვეთი ტოლი იქნება:

$$q_{\min} > \frac{B_{\text{გვ}}}{C} \quad (5.25)$$

მაგალითად, ალუმინისთვის $C = 91 \cdot \text{წმ}^{0.5}/\text{მმ}^2$, ხოლო სპილენძისთვის $C = 167 \cdot \text{წმ}^{0.5}/\text{მმ}^2$

ახლა ვცადოთ გამტარის განივკვეთის განსაზღვრა უშუალოდ ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით. მშ თხური იმპულსის გამოსათვლელად კვლავ ვისარგებლოთ გამოყენებული დაშვებებით და „თერმული დენის“ მნიშვნელობა შევითანოთ გახურების განტოლებაში:

$$\frac{1}{q^2} I_{\text{გვ}}^2 (T_a + t_{\text{გვ}}) = \int_0^{\tau_{\text{გვ}}} \frac{\lambda C}{\rho} d\tau \quad (5.26)$$

განტოლების მარჯვენა მხარეში გავითვალისწინოთ, რომ კუთრი წინაღობა ტემპერატურის ფუნქციაა:

$$\rho = \rho_0 (1 + k\tau) \quad (5.27)$$

სადაც

ρ_0 = მასალის კუთრი წინაღობაა 20°C ტემპერატურაზე;

k = მასალის კუთრი წინაღობის ტემპერატურული ცვლილების კოეფიციენტი. სპილენძისა და ალუმინის გამტარებისთვის $k \approx 0.004$

მაშასადამე, გახურების განტოლება შეიძლება შემდეგნაირად იქნას ჩანწერილი:

$$\frac{1}{q^2} I_{\text{გვ}}^2 (T_a + t_{\text{გვ}}) = \int_0^{\tau_{\text{გვ}}} \frac{\lambda C}{\rho_0 (1 + k\tau)} d\tau \quad (5.28)$$

ანუ

$$\frac{1}{q^2} I_{\text{გვ}}^2 (T_a + t_{\text{გვ}}) = \frac{\lambda C}{\rho_0 k} \int_0^{\tau_{\text{გვ}}} \frac{1}{(1 + k\tau)} d(1 + k\tau) \quad (5.29)$$

გაინტეგრების შემდეგ მივიღებთ:

$$\frac{1}{q^2} I_{\text{გვ}}^2 (T_a + t_{\text{გვ}}) = \frac{\lambda C}{\rho_0 k} \ln(1 + k\tau_{\text{გვ}}) \quad (5.30)$$

საიდანაც საბოლოოდ გვექნება:

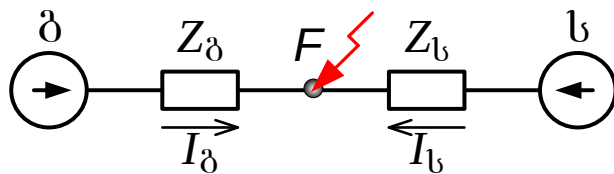
$$q_{\min} > I_{\text{გვ}} \sqrt{\frac{\rho_0 k (T_a + t_{\text{გვ}})}{\lambda C \ln(1 + k\tau_{\text{გვ}})}} \quad (5.31)$$

ამრიგად, მივიღეთ სადენის მინიმალური განივკვეთის ცალსახა დამოკიდებულება მის ტემპერატურასა და სამფაზა მშ დენის სიდიდეზე.

5.5.1 მშ დენის თბური იმპულსის განსაზღვრის მეთოდები

ჯამური თბური იმპულსი შეიძლება წარმოდგენილ იქნას მშ დენის პერიოდული და აპერიოდული მდგენელების მიერ გამოწვეული იმპულსების ალგებრულ ჯამად.

$$B = B_p + B_a \quad (5.32)$$



ნახ. 5.29

მშ თბური იმპულსის გამოსათვლელი ეკვივალენტური სქემა

მშ დენის თერმული იმპულსის განსაზღვრად შეიძლება გამოყენებულ იქნას ნახ. 5.29-ზე ნაჩვენები ორსხივიანი სქემა, რომელის შტოები წარმოადგენს სადგურის ეკვივალენტური გენერატორისა (გ) და სისტემის (ს) წიაღობების (Z_G და Z_L).

თერმული იმპულსის პერიოდული მდგენელი გამოითვლება ფორმულით:

$$B_p = \int_0^{t_{\text{გა}}} (I_{G,p} + I_{L,p})^2 dt = \int_0^{t_{\text{გა}}} I_{G,p}^2 dt + 2 \int_0^{t_{\text{გა}}} I_{G,p} I_{L,p} dt + \int_0^{t_{\text{გა}}} I_{L,p}^2 dt \quad (5.33)$$

ამ ფორმულაში სისტემიდან წამოსული მშ დენის პერიოდული მდგენელი $I_{L,p}$ მუდმივ სიდიდელ შეიძლება ჩაითვალოს, ხოლო გენერატორის ანალოგიური მდგენელი $I_{G,p}$, აგზნების სისტემის ზემოქმედების გამო დროში შემცირებადი სიდიდეა. თუ ამ შემცირებას გავითვალისწინებთ კოეფიციენტებით $k_1 = f(t)$ და $k_2 = f(t)$, გვექნება:

$$B_p = (I_{G,p}^2 + 2k_1 I_{G,p} I_{L,p} + k_2 I_{L,p}^2) t_{\text{გა}} \quad (5.34)$$

თერმული იმპულსის აპერიოდული მდგენელი ნახ. 5.29-ზე მოცემული ორსხივიანი სისტემისთვის დროში მიიღევა დროის მუდმივებით $T_{G,a}$ და $T_{L,a}$. ამასთან, $T_{G,a} > T_{L,a}$. ამრიგად

$$B_a = \int_0^{t_{\text{გა}}} \left(\sqrt{2} I_{G,p} e^{-t_{\text{გა}}/T_{G,a}} + \sqrt{2} I_{L,p} e^{-t_{\text{გა}}/T_{L,a}} \right)^2 dt =$$

$$= I_{G,p}^2 T_{G,a} \left(1 - e^{-2t_{\text{გა}}/T_{G,a}} \right) + I_{L,p}^2 T_{L,a} \left(1 - e^{-2t_{\text{გა}}/T_{L,a}} \right) + \frac{4 I_{G,p} I_{L,p}}{1/T_{G,a} + 1/T_{L,a}} \left(1 - e^{-\frac{t_{\text{გა}}}{1/T_{G,a} + 1/T_{L,a}}} \right) \quad (5.35)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ჩვეულებრივ, $T_{G,a} = 0.09 \div 0.45$ წმ, $T_{L,a} = 0.04 \div 0.2$ წმ და $t_{\text{გა}} = 0.1 \div 0.4$ წმ, მაშინ ბოლო გამოსახულების ფრჩხილებში არსებული წევრები ახლოს იქნება 1.0-თან და გამოსახულებაც მიიღებს უფრო მარტივ სახეს:

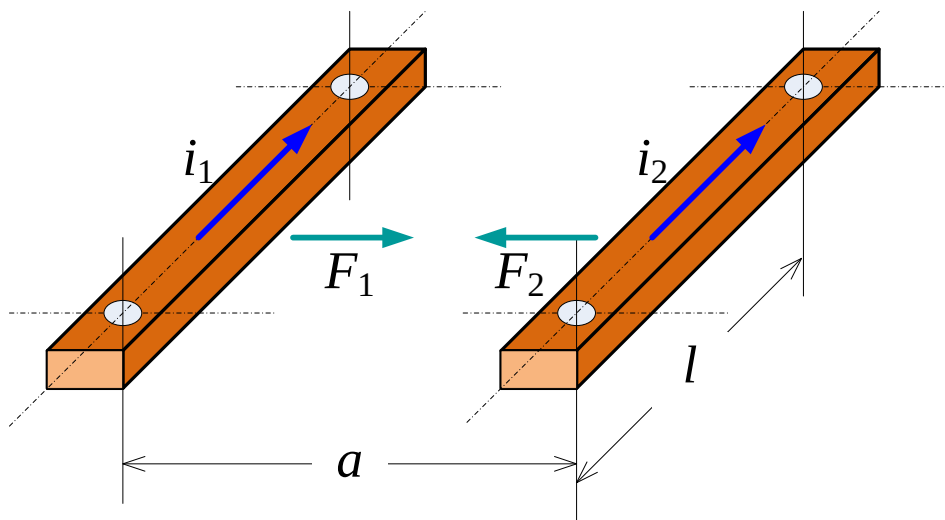
$$B_a = I_{G,p}^2 T_{G,a} + I_{L,p}^2 T_{L,a} + \frac{4 I_{G,p} I_{L,p}}{1/T_{G,a} + 1/T_{L,a}} \quad (5.36)$$

აღსანიშნავია, რომ თერმული იმპულსის გაანგარიშება უნდა მოხდეს დაზიანების წერტილის ადგილმდებარეობის გათვალისწინებით. იმ შემთხვევაში, თუ დაზიანების წერტილი ელექტრულად შორსაა ელსადგურისგან, მაშინ გენერატორების დენების მდგენელები შეიძლება

უგულებელყოფილ იქნას და ზემოთ მოყვანილ ფორმულებში იფიგურირებს მხოლოდ სისტემის მდგენელი.

5.5.2. მუდგნის ელექტროდინამიკური მოქმედება

გამტარებში დენის გავლისას წარმოიქმნება ელექტროდინამიკური ძალები. დენების ერთნაირი მიმართულებისას ამ ძალების ზემოქმედებით გამტარები მიიზიდებიან, სხვადასხვა მიმართულებისას - განიზიდებიან.



ნახ. 5.30

სადენებზე მოქმედი ძალები დენების ერთი მიმართულებით გავლისას

ძალის სიდიდე, რომლითაც ურთიერთქმედებს ორი პარალელურად განლაგებული დენიანი გამტარი (ნახ. 5.30), თითოეულის სიგრძით l და დაშორებით a , გამოითვლება ფორმულით:

$$F = k \frac{l}{a} i_1 i_2 \quad (5.37)$$

თუკი დენები გამოსახულნი იქნებიან ამპერებში, ძალა - ნიუტონებში, გამტართა სიგრძე და მათი დაშორება - მეტრებში, მაშინ კოეფიციენტი $k = 2 \cdot 10^{-7}$.

მსგავსად მათში გამავალი ცვლადი დენებისა, სამუაზა გამტარების ურთიერთქმედების ძალებსაც გააჩნიათ დროში ცვლადი სიდიდე და მიმართულება. ვცადოთ მათი გამოსახულებების დადგენა.

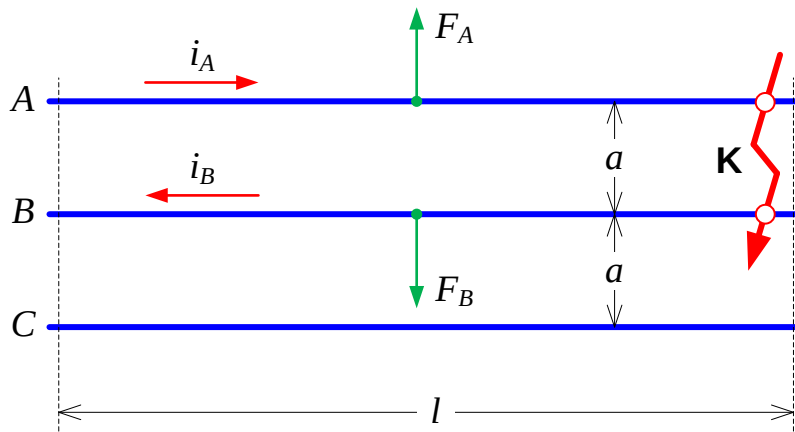
ანალიზის სიმარტივისთვის, ვთქვათ, რომ A, B, C ფაზების სადენები ჰორიზონტალურად და ერთმანეთის პარალელურადაა განლაგებული.

ორი მეზობელი ფაზის (A, B) ან (B, C) გადამოკლების შემთხვევაში დაზიანებულ ფაზებში გაივლიან სიდიდით ტოლი და ნიშნით საპირისპირო დენები, ანუ

$$i_A = -i_B \quad (5.38)$$

4.1 ქვეთავის (4.3) ფორმულის მიხედვით A ფაზის ავარიული დენის მყისა მნიშვნელობა შეიძლება გამოსახული იქნას შემდეგი ფორმით:

$$i = I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi_{\text{ფაზ}}) - I_m \sin(\alpha - \varphi_{\text{ფაზ}}) e^{-t/T_a} \quad (5.39)$$



ნახ. 5.31

ელექტროდინამიკური ძალები ორფაზა მოკლე შერთვის შემთხვევაში

თუ გავითვალისწინებთ რომ, რეალურ ქსელებში $\varphi_{\text{ფაზ}} \rightarrow 90^\circ$ და მივიჩნივთ, რომ ძაბვის ფაზური კუთხე $\alpha = 0$, მაშინ (5.39) მიიღებს სახეს:

$$i_A = I_m (e^{-t/T_a} - \cos \omega t) \quad (5.40)$$

ვინაიდან A და B ფაზებზე მოქმედებს სიდიდით ტოლი და განსხვავებული ნიშნის ძალები, ამიტომ შეგვიძლია დავწეროთ

$$F_A = -F_B = k \frac{l}{a} i_A i_B \quad (5.41)$$

სადაც (5.39) – (5.41) გამოსახულებებში

$$k = 2 \cdot 10^{-7}$$

l = ფაზების გამტარების სიგრძეა (მ);

a = მეზობელ ფაზებს შორის მანძილი (მ);

I_m = ორფაზა მშ დენის პერიოდული მდგენელის ამპლიტუდაა (ა);

F_A და F_B = შესაბამისად A და B ფაზებზე მოქმედი ძალებია (ნ).

თუ (5.38)-სა და (5.40)-ს შეტანით (5.41)-ში გვექნება:

$$|F_A| = k \frac{l}{a} I_m^2 [e^{-2t/T_a} - 2e^{-t/T_a} \cos \omega t + \cos^2 \omega t]$$

გავითვალისწინოთ, რომ

$$\cos^2 \omega t = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos 2\omega t$$

მივიღებთ

$$|F_A| = k \frac{l}{a} I_m^2 \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos 2\omega t - 2e^{-t/T_a} \cos \omega t + e^{-2t/T_a} \right] \quad (5.42)$$

გამოსახულების ფრჩხილებს გარეთა ნაწილი

$$F_m = k \frac{l}{a} I_m^2 \quad (5.43)$$

წარმოადგენს ფაზებზე მოქმედი ძალის ამპლიტუდურ მნიშვნელობას და იგი დროში უცვლელი სიდიდეა.

(5.42)-დან ჩანს, რომ ფაზებზე მოქმედი ელექტროდინამიკური ძალა შეიცავს ოთხ მდგენელს:

(1) $F_1 = F_m/2$ = მუდმივი მდგენელი;

(2) $F_2 = F_m / 2 \cdot \cos 2\omega t$ = 100 ჰც სიხშირით ცვლადი პერიოდული მდგენელი;

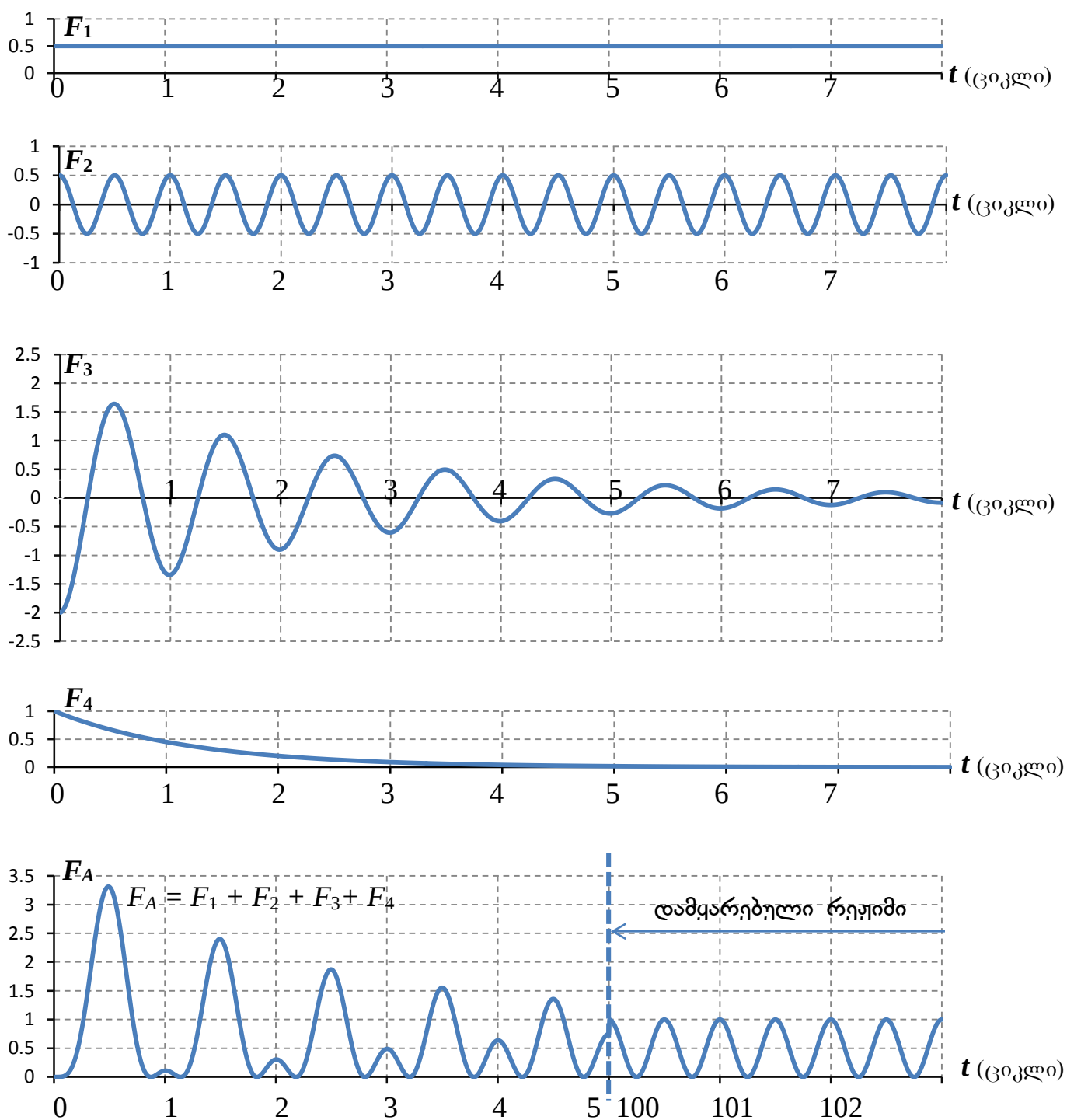
(3) $F_3 = -2F_m e^{-t/T_a} \cos \omega t$ = 50 ჰც სიხშირის ცვლადი, T_a დროის მუდმივათი ექსპონენციალურად მიღევადი მდგენელი;

(4) $F_4 = F_m e^{-2t/T_a}$ = $T_a/2$ დროის მუდმივათი ექსპონენციალურად მიღევადი მდგენელი.

ნახ. 5.32-ზე მოცემულია ელექტროდინამიკური ძალის ზემოთ ნახსენები მდგენელებისა და ჯამური ძალის დროში ცვლილების მრუდები, როდესაც $F_m=1$ და $T_a=0.05$ წმ.

ვინაიდან F_3 და F_4 დროში მიღევადი ფუნქციებია, ამიტომ 50 ჰც სიხშირის მდგენელი დამყარებულ რეჟიმში აღარ იარსებებს და სადენებზე იმოქმედებს მხოლოდ 100 ჰც სიხშირის ძალა, ანუ $t \rightarrow \infty$ შემთხვევაში (5.42) იქნება:

$$|F_A| = k \frac{l}{a} I_m^2 \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos 2\omega t \right] \quad (5.44)$$



ნახ. 5.32

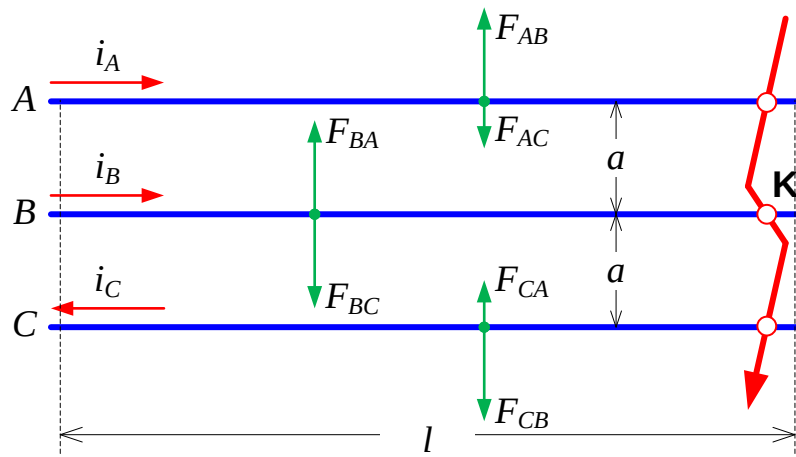
ელექტროდინამიკური ძალისა და მისი მდგენელების დროში ცვლილების მრუდები
ორთაზა მშ შემთხვევაში

სამფაზა მშ შემთხვევაში ფაზებში გამავალი ავარიული დენები შეიძლება წარმოდგენილი იქნას შემდეგი ფორმით:

$$\begin{cases} i_A = I_m [e^{-t/T_a} - \cos \omega t] \\ i_B = I_m [e^{-t/T_a} - \cos(\omega t + 2\pi/3)] \\ i_C = I_m [e^{-t/T_a} - \cos(\omega t - 2\pi/3)] \end{cases} \quad (5.45)$$

ახლაც დავუშვათ, რომ A , B , C ფაზების სადენები ჰორიზონტალურად და ერთმანეთის პარალელურადაა განლაგებული.

სამფაზა მშ დროს დენების მნიშვნელობა იზრდება, მაგრამ სისტემა რჩება სიმეტრიული, ამიტომ დროის ნებისმიერ მომენტში რომელიმე ორ ფაზაში იქნება ერთი მიმართულების, ხოლო მესამე ფაზაში განსხვავებული მიმართულების დენი. ვთქვათ, ამ დენებს გააჩნიათ ნახ. 5.33-ზე ნაჩვენები მიმართულებები.



ნახ. 5.33

ელექტროდინამიკური ძალები სამფაზა მოკლე შერთვის შემთხვევაში

შუა B ფაზაზე მოქმედებს F_{BA} და F_{BC} ძალები. მათ გააჩნიათ საპირისპირო ნიშნები, რადგან საპირისპირო მიმართულებისაა მათი გამომწვევი, განაპირა A და C ფაზების i_A და i_C დენები. ამრიგად:

$$F_B = F_{BA} - F_{BC} = k \frac{l}{a} (i_B i_A - i_B i_C) \quad (5.46)$$

რაც შეეხება განაპირა A და C ფაზებზე მოქმედ ძალებს, ისინი ტოლია:

$$F_A = F_{AB} - F_{AC} = k \frac{l}{a} (i_A i_B - \frac{1}{2} i_A i_C) \quad (5.47)$$

$$F_C = F_{CB} - F_{CA} = k \frac{l}{a} (i_C i_B - \frac{1}{2} i_C i_A) \quad (5.48)$$

ვინაიდან განაპირა გამტარები ერთმანეთთან 2-ჯერ მეტად არიან დაცილებულნი, ვიდრე მეზობელი გამტარები, ამიტომ ისინი ერთმანეთზე ზემოქმედებენ 2-ჯერ მცირე ძალით მეზობელი გამტარებთან შედარებით. მაშასადამე, (5.47) და (5.48) ფორმულების შესაბამის წევრებს გააჩნიათ მამრავლი $1/2$.

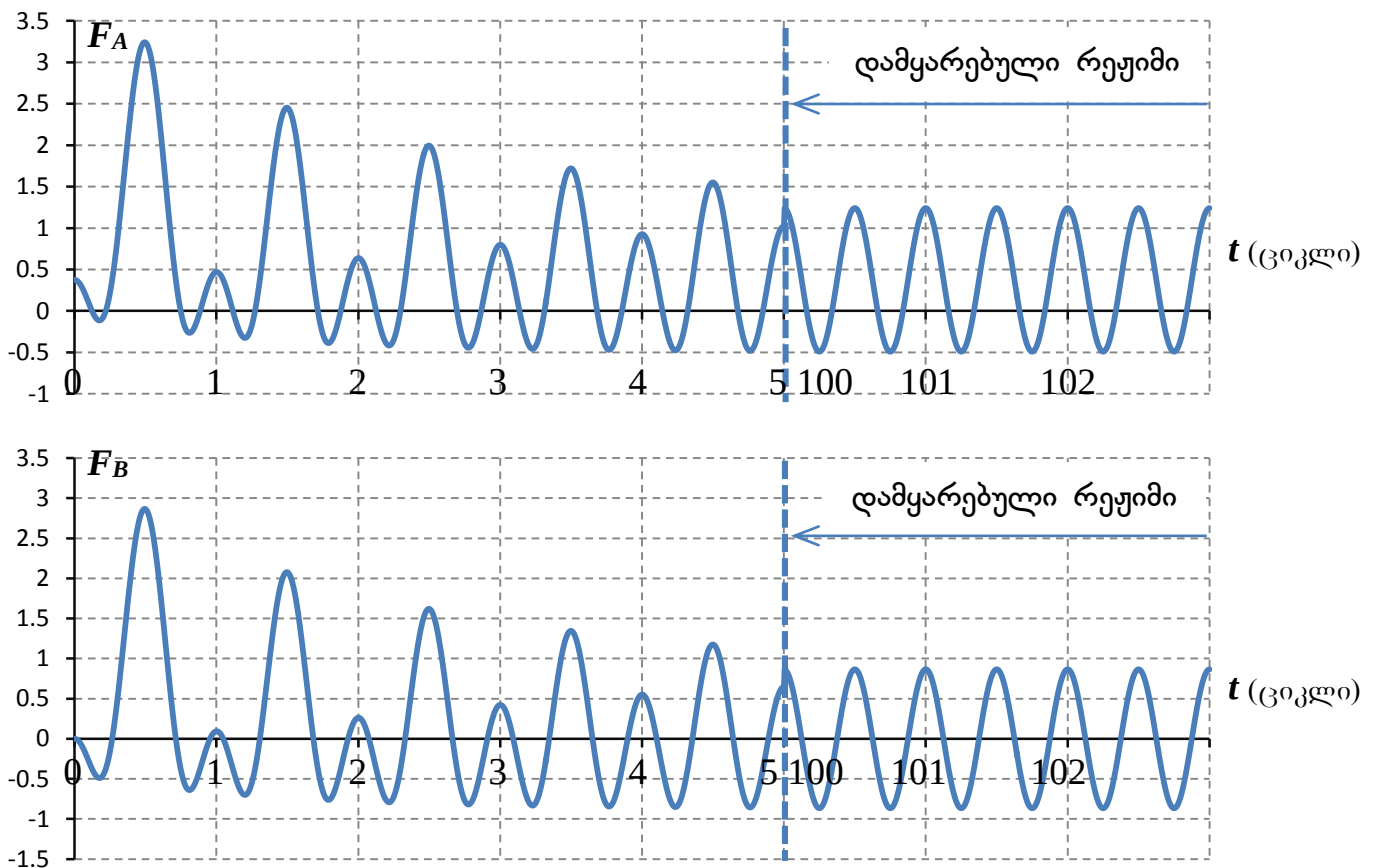
დენების (5.45) გამოსახულების (5.46)-(5.48) გამოსახულებებში შეტანით, შუა B ფაზაზე მოქმედი ძალისთვის მივიღებთ:

$$F_B = k \frac{l}{a} I_m^2 \left[\frac{\sqrt{3}}{2} \cos 2\omega t - \sqrt{3} e^{-t/T_a} \cos \omega t + \frac{\sqrt{3}}{2} e^{-2t/T_a} \right] \quad (5.49)$$

ხოლო განაპირა განაპირა A და C ფაზებზე მოქმედი ძალებისთვის:

$$F_A = F_C = k \frac{l}{a} I_m^2 \left[\frac{3}{8} + \frac{\sqrt{3}}{4} \cos 2\omega t - \frac{2\sqrt{3}+3}{4} e^{-t/T_a} \cos \omega t + \frac{2\sqrt{3}+3}{8} e^{-2t/T_a} \right] \quad (5.50)$$

ნახ. 5.33-ზე მოცემულია A (C) და B ფაზების ელექტროდინამიკური ძალების დროში ცვლილების მრუდები, როდესაც $F_m=1$ და $T_a=0.05$ წმ.



ნახ. 5.34

ელექტროდინამიკური ძალების დროში ცვლილების მრუდები
სამუშაო მშ შემთხვევაში

დამყარებულ რეჟიმში, აპერიოდული მდგენელების მიღების შემდეგ, (5.49) გამოსახულება შუა B ფაზაზე მოქმედი ძალისთვის მიღებს სახეს:

$$F_B = k \frac{l}{a} I_m^2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cos 2\omega t \quad (5.51)$$

ხოლო განაპირა A და C ფაზებისთვის (5.50) გამოსახულება მიიღებს სახეს:

$$F_A = F_C = k \frac{l}{a} I_m^2 \left[\frac{3}{8} + \frac{\sqrt{3}}{4} \cos 2\omega t \right] \quad (5.52)$$

როგორც (5.51) და (5.52) გამოსახულებებიდან ჩანს, დამყარებულ რეჟიმში შუა B ფაზაზე მოქმედ ძალას გააჩნია მხოლოდ პერიოდული მდგენელი, რომელიც ირხევა 100 ჰც სიხშირით, ხოლო $A(C)$ ფაზას გააჩნია ორი მდგენელი - (ა) მუდმივი და (ბ) მის გარშემო ასევე 100 ჰც სიხშირით რხევადი პერიოდული მდგენელი.

სასაღტეო კონსტრუქციის შერჩევა ელექტროდინამიკურ მედეგობაზე. სასაღტეო კონსტრუქცია, რომელიც შედგება საღტეებისაგან, იზოლატორებისა და საყრდენებისაგან, რომელზეც იზოლატორებია დაყენებული, წარმოადგენს დრეკად სისტემას. იგი დროში ცვლადი ელექტრომექანიკური ძალების ზემოქმედებით მოდის რხევით მოძრაობაში. საღტეები განიცდიან ღუნვას და ძალები გადაეცემა იზოლატორებს, რომლებზეც საღტეებია დამაგრებული. სასაღტეო კონსტრუქციის ელექტროდინამიკური მედეგობის კრიტერიუმად მიღებულია მაქსიმალური დაძაბულობა საღტის მასალაში და მაქსიმალური დატვირთვა იზოლატორზე გარდამავალ რხევით პროცესში, რომლებიც არ უნდა აღემატებოდნენ სათანადო დასაშვებ სიდიდეებს.

მაქსიმალური ძალა, რომელმაც შეიძლება ზემოქმედება მოახდინოს სასაღტეო კონსტრუქციაზე, წარმოიქმნება სამფაზა მშ დარტყმის დენის მოქმედებისას და იგი ტოლია:

$$F_{\max} = k \frac{l}{a} i_{\text{ფ}}^{(3)2} \quad (5.53)$$

სასაღტეო კონსტრუქციის ელექტრომედეგობის შემოწმება შესაძლებელია გაანგარიშებით, თუ ცნობილია მისი ზომები, საღტეებისა და იზოლატორების პარამეტრები და მშ დენების სიდიდეები. თუ გაანგარიშების შედეგად საღტის მასალაში მაქსიმალური დაძაბულობა და იზოლატორებზე მოქმედი მაქსიმალური დატვირთვა სჭარბობენ იმ სიდიდეებს, რომლებიც ცხრილში 5.2-ია მოცემული, მაშინ საჭიროა სასაღტეო კონსტრუქციის პარამეტრების შეცვლა და გაანგარიშების თავიდან ჩატარება.

ცხრილი 5.2

საღტის მასალა	დამანგრეველი დაძაბულობა (პა)	დასაშვები დაძაბულობა (პა)	დრეკადობის მოდული (პა)
ალუმინი	117.6×10^6	82.3×10^6	7×10^{10}
სპილენძი	254×10^6	171.5×10^6	10×10^{10}

საღტეების მასალაში დაძაბულობისა და იზოლატორებზე დატვირთვის გაანგარიშება ხდება შემდეგი დაშვებების გათვალისწინებით:

- განიხილება 3 ფაზა მშ არამილევადი პერიოდული მდგენელით;
- სამივე ფაზა განლაგებულია ერთ სიბრტყეში და კონსტრუქცია სიმეტრიულია;
- სხვადასხვა ფაზის საღტეების სიახლოვის ეფექტი უგულებელყოფილია;
- იზოლატორები აბსოლუტურად მყარია და საყრდენი კი - აბსოლუტურად ხისტი.
- მშ ჩართვის ფაზა მიიღება ისეთი, რომ ელექტროდინამიკური ძალა იყოს მაქსიმალური.

საღტეებში დაძაბულობისა და იზოლატორებზე დატვირთვების გაანგარიშების მეთოდიკა დამოკიდებულია საღტეების საკუთარი რხევის სიხშირეზე. ერთ სიბრტყეში განლაგებული მრავალ მალანიანი გამტარებისთვის საღტეების საკუთარი სიხშირე (ჰც)

$$f_{\text{საკ}} = \frac{4.73^2}{2 \cdot \pi \cdot l^2} \sqrt{\frac{E \cdot J}{m}} \quad (5.54)$$

სადაც

l = სალტის მალის სიგრძე (მ);

J = სალტის განივკვეთის ინერციის მომენტი იმ ღერძის მიმართ, რომელიც პერპენდიკულარულია სალტის რხევის სიბრტყისა (სმ^4);

q = სალტის განივკვეთი (სმ^2)

m = ერთი მ სიგრძის მასალის მასა (კგ);

E = მასალის დრეკადობის მოდული

(5.42), (5.49) და (5.50) გამოსახულებების თანახმად, ელექტროდინამიკური ძალები დროში იცვლება 50 და 100 ჰც სიხშირით. ამიტომ სალტეების საკუთარი რხევის სიხშირეები, რომლებიც ახლოსაა აღნიშნულ სიდიდეებთან საშიშია რეზონანსის წარმოქმნის თვალსაზრისით (ნახ. 5.35). ამის გამო მიღებულია, რომ თუ საკუთარი რხევის სიხშირე 200 ჰერცზე ნაკლებია, სალტეების და იზოლატორების ელდინამიკური მედეგობის შემოწმება უნდა ჩატარდეს სალტეების რხევების მხედველობაში მიღებით. ამ შემთხვევაში დაძაბულობა (პა) გაიანგარიშება ფორმულით:

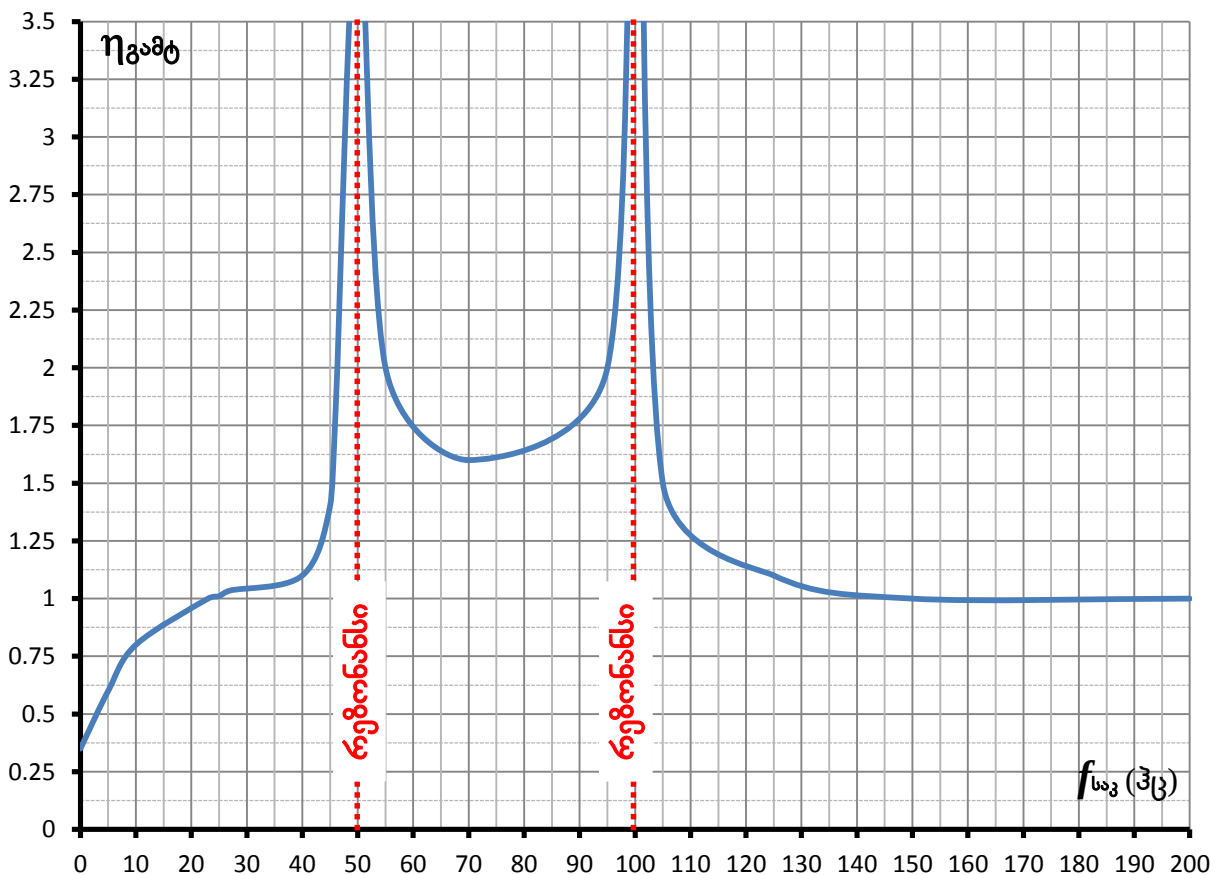
$$\sigma = \frac{l^2 \cdot I_{\text{მზ.,max}}^2 \cdot \eta_{\sigma} \cdot 10^{-7}}{5 \cdot a \cdot W} \quad (5.55)$$

$I_{\text{მზ.,max}}$ = სამფაზა მზ დენის პერიოდული მდგენელის ამპლიტუდური მნიშვნელობა (ა);

W = სალტის წინაღობის მომენტი (მ^3);

η_{σ} = სალტის მასალის დაძაბულობის დინამიკური კოეფიციენტი, რომელიც

განისაზღვრება შემდეგი ნახაზიდან;



ნახ. 5.35

გამტარის დინამიკური დატვირთვის კოეფიციენტის დამოკიდებულება საკუთარ სიხშირეზე

თუ სალტეების საკუთარი რხევის სიხშირე 200 ჰც-ზე მეტია, მაშინ სალტეებში დაძაბულობისა და იზოლატორებზე დატვირთვის გაანგარიშება შეიძლება ჩატარდეს სალტეების რხევების მხედველობაში მიუღებლად. ეს გვაძლევს საშუალებას ელექტროდინამიკური ძალა განვიხილოთ, როგორც სტატიკური დატვირთვა და დაძაბულობა (პა) შეიძლება გაანგარიშებულ იქნას ფორმულით:

$$\sigma = \frac{\sqrt{3} \cdot I^2 \cdot i_{\text{ფ}}^2 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot a \cdot W} \quad (5.56)$$

“ორზოლიანი” სალტეების პაკეტში, რომელშიც თითო ფაზა შედგება საერთო იზოლატორზე მოთავსებული სწორკუთხა გამტარების წყვილისგან, მშდროს წარმოიქმნება ორი სახის დინამიკური ძალები:

1. მეზობელი ფაზების დენების ურთიერთქმედებით $F_{\text{ფ}}$; და

2. ერთი ფაზის ორი ზოლის დენების ურთიერთქმედებით $F_{\text{ზ}}$.

ამრიგად, ორზოლიანი სალტის მასალაში დაძაბულობა განისაზღვრება ჯამით:

$$\sigma = \sigma_{\text{ფ}} + \sigma_{\text{ზ}} \quad (5.57)$$

$\sigma_{\text{ფ}}$ -ს გაანგარიშება ხდება 200 ჰც-ზე მეტი საკუთარი სიხშირის მქონე ერთზოლიანი სალტის მსგავსად, იმ განსხვავებით, რომ $W = 2W_{\text{ზ}}$, სადაც $W_{\text{ზ}}$ ერთი ზოლის წინაღობის მომენტია.

ვინაიდან ზოლებს შორის მანძილი მცირეა, ამიტომ ზოლების ურთიერთქმედების ძალა ბევრჯერ აღემატება ფაზების ურთიერთქმედების ძალას.

სასალტეო კონსტრუქციის სიმტკიცის გასაზრდელად ზოლებს შორის ამაგრებენ შუასადებებს (ნახ. 5.39). ისინი ზრდიან სასალტეო კონსტრუქციის საკუთარ სიხშირეს, რაც ზოლებშორისი დაძაბულობის გაანგარიშების საშუალებას იძლევა რხევების მხედველობაში მიღების გარეშე:

$$\sigma_{\text{ზ}} = \frac{F_{\text{ზ}} l_{\text{შ}}}{2b^2 h} \quad (5.58)$$

სადაც

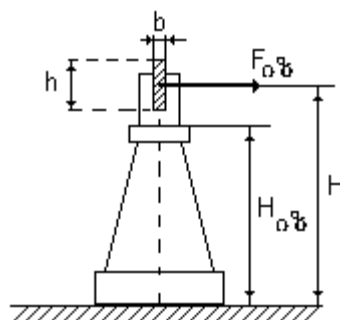
$F_{\text{ზ}} = 1$ მ სიგრძის სალტის ზოლზე მოქმედი ძალაა (ნ/მ);

$l_{\text{შ}} =$ შუასადებებს შორის მანძილია (მ);

b და $h =$ სალტის ერთი ზოლის განივკვეთის ზომები;

აქ

$$F_{\text{ზ}} = \frac{i_{\text{ფ}}^2 \cdot 10^{-7}}{4 \cdot b} \quad (5.59)$$



ნახ. 5.36

იზოლატორზე (ნახ. 5.36) მოქმედი ძალა (6), როდესაც საკუთარი რხევის სიხშირე 200 ჰც-ზე მეტია, შეიძლება გამოთვლილი იქნას ფორმულით:

$$F_{\text{ობ}} = \sqrt{3} \frac{l}{a} \frac{H}{H_{\text{ობ}}} i_{\text{ღ}}^2 \cdot 10^{-7} \quad (5.60)$$

სადაც

l = მალის სიგრძე (მ);

a = ფაზებს შორის მანძილი (მ);

H = მანძილი იზოლატორის ფუძიდან სალტის დამაგრების წერტილამდე (მ);

$H_{\text{ობ}}$ = იზოლატორის სიმაღლე (მ)

$i_{\text{ღ}}$ = დარტყმის დენის ამპლიტუდური სიდიდე (ა);

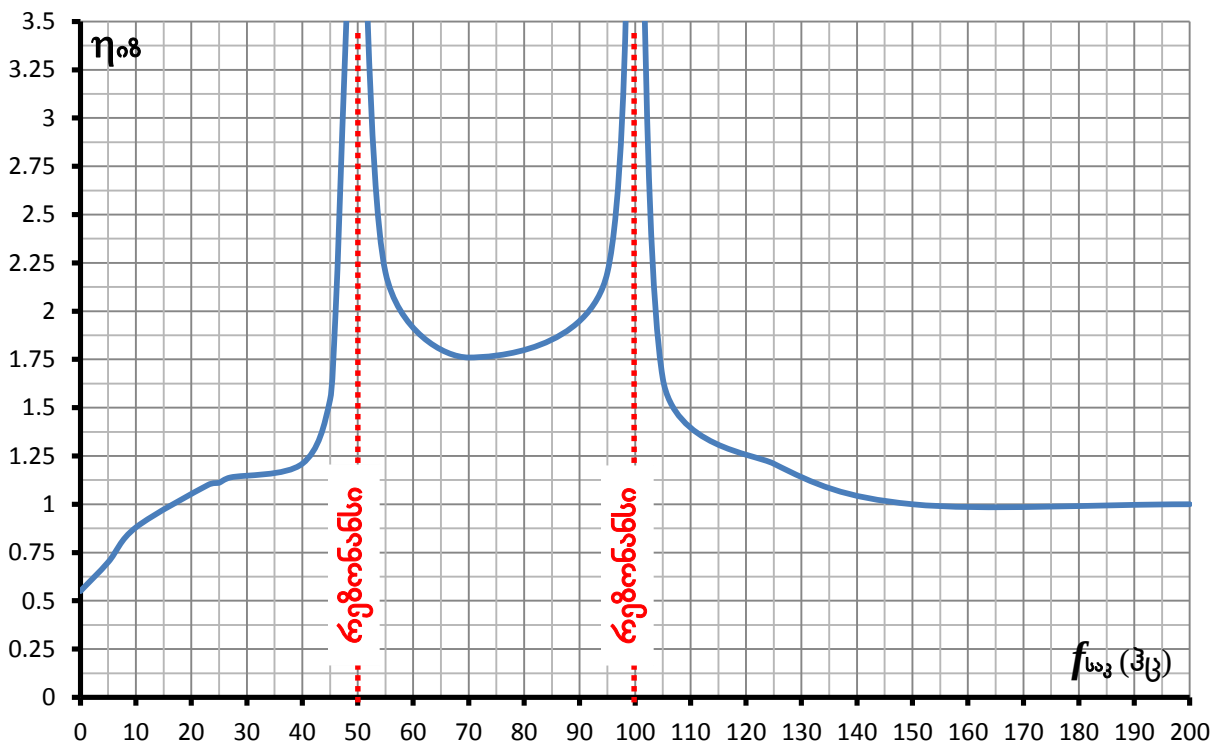
იზოლატორზე მოქმედი ძალა (6), როდესაც საკუთარი რხევის სიხშირე 200 ჰც-ზე ნაკლებია, შეიძლება გამოთვლილი იქნას ფორმულით:

$$F_{\text{ობ}} = \frac{2l \cdot I_{\text{მზ, max}}^2 \cdot \eta_{\text{ობ}} \cdot 10^{-7}}{a \cdot H_{\text{ობ}}} \quad (5.61)$$

სადაც

$\eta_{\text{ობ}}$ = იზოლატორის დინამიკური დატვირთვის კოეფიციენტი და მისი სიდიდე აიღება

ნახ. 5.37 -ზე მოცემული მრუდიდან;

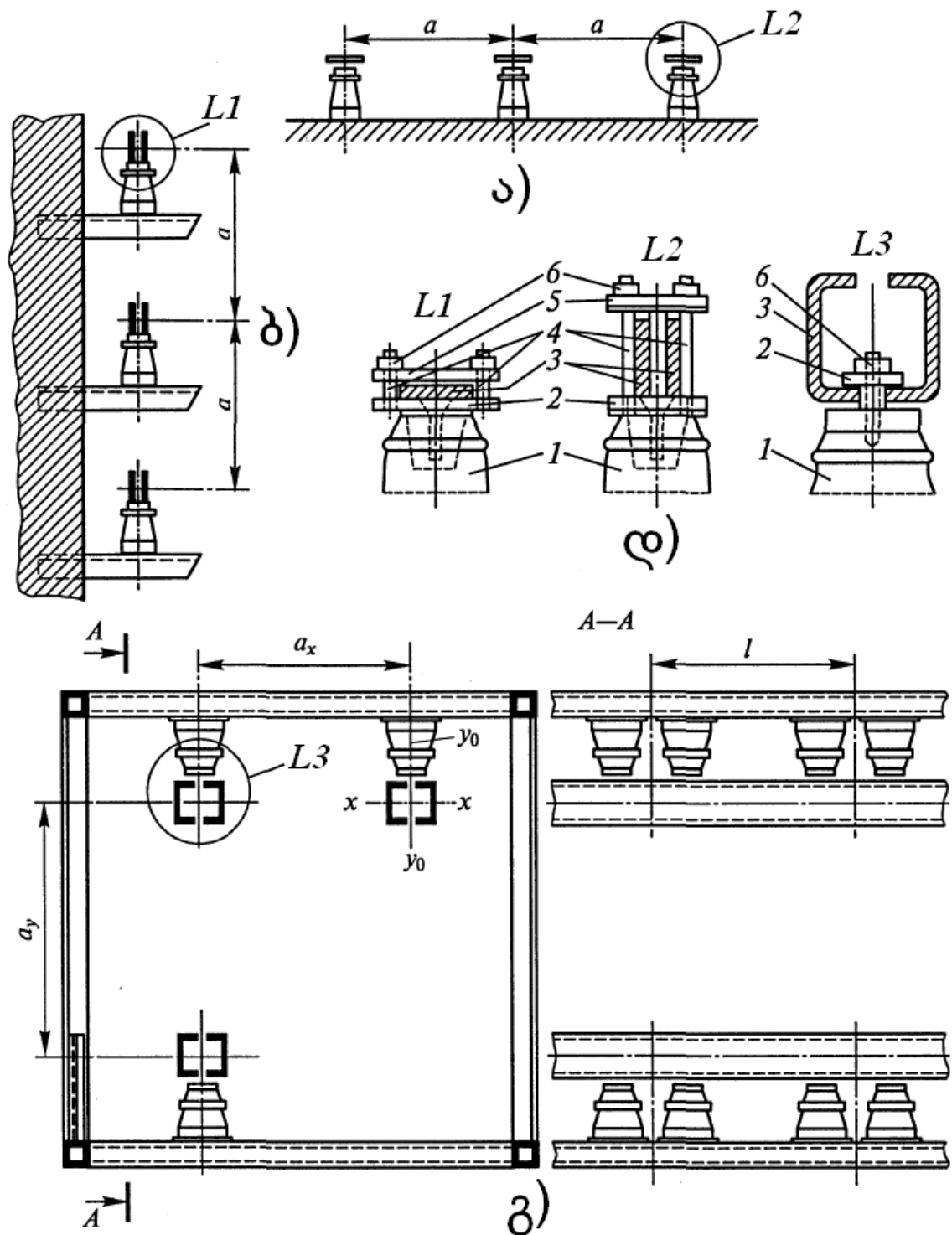


ნახ. 5.37

იზოლატორის დინამიკური დატვირთვის კოეფიციენტის დამოკიდებულება სალტის საკუთარ სიხშირეზე

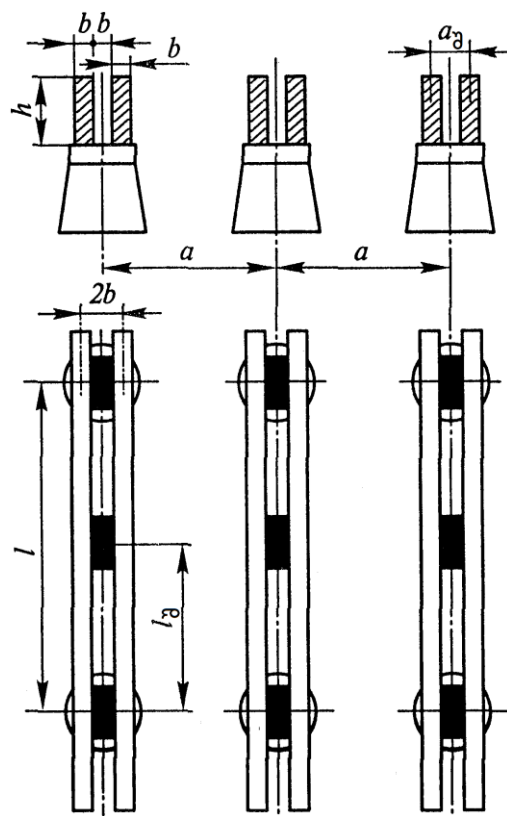
იზოლატორი ითვლება ელექტროდინამიკურად მედეგად, თუ მასზე მოქმედი ძალა ნაკლები აღმოჩნდა დასაშვებ ძალაზე, რომელიც თავის მხრივ დამანგრეველი ძალის 60%-ს შეადგენს, ანუ თუ შესრულდა პირობა

$$F_{\text{ობ}} < F_{\text{დაშ}} = 0.6 F_{\text{დამ}} \quad (5.62)$$

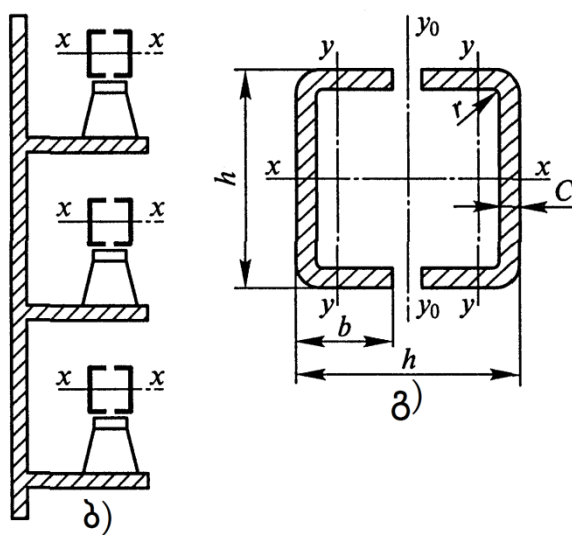
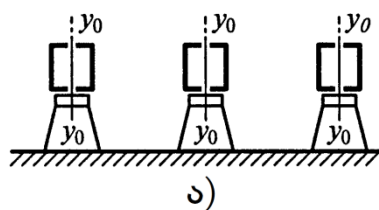


ნახ. 5.38

ხისტი სალტეების განლაგება - ჰორიზონტალური, ბ - ვერტიკალური, გ - სამკუთხედის წვერებზე, დ - ჩამაგრება L1, L2, L3 კვანძებში; 1 - საყრდენი იზოლატორი, 2 - ფოლადის სადები, 3 - სალტე, 4 - განმზღვრენი მილი, 5 - ალუმინის სადები, 6 - სარჯი

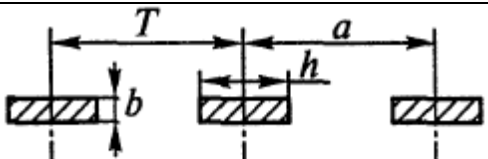
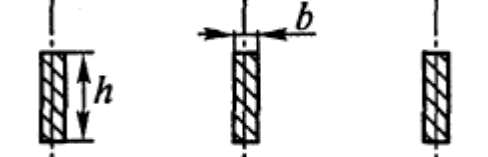
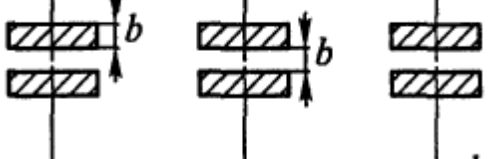
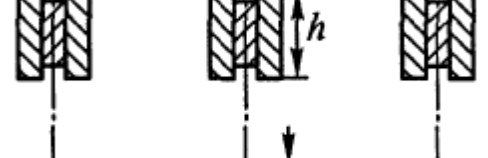
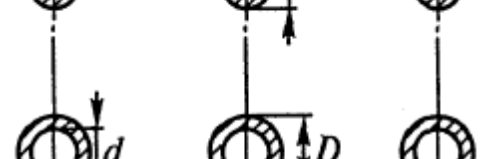
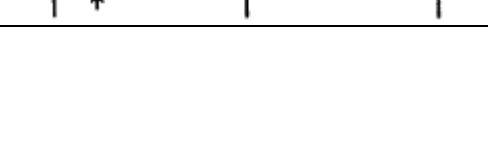


ნახ. 5.39



ნახ. 5.40

ცხრ 5.3. ინერციის და წინალობის მომენტები სხვადასვა კვეთის ხისტი სალტეებისთვის

სალტეების განლაგება	ინერციის მომენტი J (სმ ⁴);	წინალობის მომენტი W (სმ ³);
	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^3}{6}$
	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^3}{6}$
	$\frac{bh^3}{6}$	$\frac{bh^3}{3}$
	$\frac{bh^3}{6}$	$\frac{bh^3}{3}$
	$0.72bh^3$	$1.44bh^3$
	$\frac{\pi d^3}{64}$	$\frac{\pi d^3}{32}$
	$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$	$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$

მაგალითი 5.3

შევარჩიოთ გენერატორებისთვის სპილენძის სალტეები და იზოლატორები, თუ სალტეები განლაგებულია ერთ სიბრტყეში, მათი სიგრძეა $l = 2.5$ მ, ხოლო მეზობელ სალტეებს შორის მანძილია $a = 0.7$ მ, გენერატორების ნომინალური სიმძლავრეა 306 მგვა, ნომინალური ძაბვაა 20 კვ, სამუშაო მშ დენის პერიოდული მდგენელი ტოლია 90.31 კა და დარტყმის დენი - 252.88 კა (იხ. მაგალითი 4.1 ნახ. 4.7)

ამოხსნა

ა) შევარჩიოთ სალტეები

1. გენერატორის ნომინალური დენი

$$I_{\text{ნომ}} = \frac{S_{\text{ნომ}}}{\sqrt{3}U_{\text{ნომ}}} = \frac{306 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 20 \times 10^3} = 8833 \text{ ა}$$

2. თერმული მედეგობის პირობიდან გამომდინარე, თუ ჩავთვლით, რომ მშ დენის აპერიოდული მდგენელის ქრობისა და მშ-ის გამორთვის ხანგრძლივობები $T_a \approx t_{\text{გამ}} \approx 0.5$ წმ, სპილენძის სალტის მინიმალური კვეთი უნდა იყოს:

$$q_{\min} > \frac{I_{\text{მშ}} \sqrt{T_a + t_{\text{გამ}}}}{C} \approx \frac{90.31 \times 10^3 \times \sqrt{0.5 + 0.5}}{167} \approx 541 \text{ მმ}^2$$

ამ ორ პირობას ერთდროულად ასრულებს ცხრილ დ5-ში მოცემული, $h=200$ მმ, $b=90$ მმ, $c=10$ მმ, $r=14$ მმ გაბარიტების, $q = 3435 \text{ მმ}^2$ კვეთის, $I_{\text{დას}} = 9900 \text{ ა}$ დასაშვები დენის, $J_{y0-y0} = 422 \text{ სმ}^3$ წინაღობის მომენტისა და $W_{y0-y0} = 4220 \text{ სმ}^4$ ინერციის მომენტის მეორე სპილენძის კოლოფისებური ხისტი გამტარი.

3. შევამოწმოთ აღნიშნული გამტარი მექანიკურ მედეგობაზე. გავითვალისწინოთ, რომ სპილენძის სიმკვრივე $\lambda = 8940 \text{ კგ/მ}^3$ (ცხრილი 5.1), დრეკადობის მოდული $E = 10 \cdot 10^{10} \text{ პა}$ (ცხრილი 5.2), მაშინ შერჩეული სპილენძის სალტის $l_0 = 1$ მ სიგრძის მასა:

$$m = \lambda v = \lambda q l_0 = 3435 \times 10^{-6} \times 8940 \times 1 = 30.71 \text{ კგ}$$

სალტის საკუთარი სიხშირე

$$f_{\text{საგ}} = \frac{4.73^2}{2 \cdot \pi \cdot l^2} \sqrt{\frac{E \cdot J}{m}} = \frac{4.73^2}{2 \times 3.1416 \times 2.5^2} \sqrt{\frac{10 \times 10^{10} \times 4220 \times 10^{-8}}{30.71}} = 211.16 \text{ ჰც}$$

ვინაიდან $f_{\text{საგ}} > 200 \text{ ჰც}$, სალტის დაძაბულობა იანგარიშება ფორმულით:

$$\sigma = \frac{\sqrt{3} \cdot l^2 \cdot i_{\text{დ}}^2 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot a \cdot W} = \frac{\sqrt{3} \times 2.5^2 \times (252.88 \times 10^3)^2 \times 10^{-7}}{10 \times 0.7 \times 422 \times 10^{-6}} = 23.43 \times 10^6 \text{ პა}$$

ვინაიდან სრულდება პირობა $\sigma < 82 \times 10^6 \text{ პა}$, ამიტომ სალტე ითვლება მექანიკურად მედეგად.

ბ) სალტეების დასამაგრებლად შევარჩიოთ ОФ -20-4250-KB ტიპის საყრდენი იზოლატორები, ნომინალური ძაბვით 20 კვ, სიმაღლით 305 მმ, დამანგრეველი ძალით 42.5 კნ. სალტის ცენტრიდან იზოლატორის ძირამდე მანძილი ტოლია:

$$H = H_{\text{იზ}} + c + \frac{h}{2} = 305 + 10 + \frac{200}{2} = 415 \text{ მმ}$$

იზოლატორის მართობულად მოქმედი მაქსიმალური ძალა

$$F_{\text{იზ}} = \sqrt{3} \frac{l}{a} \frac{H}{H_{\text{იზ}}} i_{\text{ვ}}^2 \cdot 10^{-7} = \sqrt{3} \times \frac{2.5}{0.7} \times \frac{415}{307} \times (252.88 \times 10^3)^2 \times 10^{-7} = 53470.6 = 53.47 \text{ კნ}$$

როგორც ვხედავთ, მაქსიმალური ძალა აღემატება დამანგრეველ ძალას. ამიტომ, ჩვეულებრივი ხისტი სალტის მაგიერ შევარჩიოთ ТЭН-20-12500-400 УХЛ1 ტიპის ეკრანირებული გამტარი (ცხრილი დ-6). ეს გამტარი გათვლილია დასაშვებ ნორმალური დენზე 12500 ა, მშპერიოდული დენზე 160 კა და დარტყმის დენზე 400 კა. ამრიგად, შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ ეს მონაცემები აკმაყოფილებს როგორც თერმული, ასევე ელექტრომექანიკური მედეგობის პირობებს. იზოლატორების ცალკე გაანგარიშება აღარ არის საჭირო, ვინაიდან ისინი შედიან ფაბრიკაციის სადენის ერთიან კომპლექტში. ამ კომპლექტში კი ისინი გათვლილი არიან მშპ დენების იმავე ზემოქმედებაზე, რაზეც - აღნიშნული სადენის ძირითადი გამტარები. შერჩეული ფაბრიკაციის გამტარის გაბარიტები: გარე დიამეტრი $D=890$ მმ; ფაბრიკაციის მანძილი $A=1400$ მმ, მანძილი ღერძიდან კოჭამდე $H=668$ ერთი ფაზის 1 მ სიგრძის მასა 100 კგ (ნახ. 5.15)

5.6. დრეკადი სადენების შემოწმება გვირგვინის ანთებაზე

110 კვ და უფრო მაღალ ძაბვაზე, დრეკადი სადენებისა და სალტეებზე შეიძლება ადგილი ჰქონდეს გვირგვინის მოვლენას. იგი წარმოადგენს განმუხტვას, რომელსაც იწვევს ელექტრული ველის დიდი დაძაბულობა. გვირგვინის მიმდინარეობა ხასიათდება ტკაცუნის ხმითა და გვირგვინისებური ნათებით. ასეთ დროს დენგამტარის გარშემო ხდება ჰაერის იონიზაცია, რაც იწვევს ენერგიის დამატებით დანაკარგებს, ელექტრომაგნიტურ რხევებს, რადიოხმაურს და ოზონის წარმოქმნას. ამ უკანასკნელს კონტაქტებსა და შეერთებებზე გააჩნია უარყოფითი ზეგავლენა. მოქნილი გამტარის კარგად შერჩევის შემთხვევაში გვირგვინის ზემოქმედება ანუ გამტარის ირგვლივ ელექტრული ველის დაძაბულობა უნდა იქნას შეზღუდული დასაშვებ სიდიდემდე.

ელექტრული ველის დაძაბულობა, რომელზეც აინთება გვირგვინი, გამოითვლება ფორმულით:

$$E_0 = 30.3m \left(1 + \frac{0.299}{\sqrt{r_0}} \right) \text{ (კვ/სმ)} \quad (5.63)$$

სადაც

$m \approx 0.82$ = ხორკლიანობის კოეფიციენტი,

r_0 = სადენის რადიუსია (სმ).

რეალური დაძაბულობა სადენის გარშემო გამოითვლება ფორმულით:

$$E = \frac{0.354 U_{\text{ნომ}}}{r_0 \lg \frac{D_{\text{ს.გ.}}}{r_0}} \quad (\text{კვ/სმ}) \quad (5.64)$$

სადაც

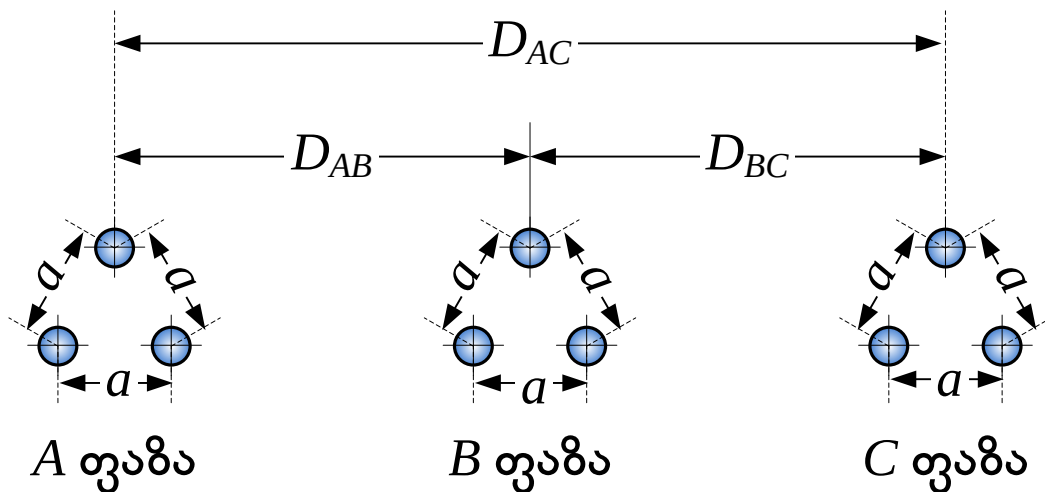
U = ნომინალური ხაზური ძაბვა (კვ);

$D_{\text{ს.გ.}} = \sqrt[3]{D_{AB} \cdot D_{BC} \cdot D_{AC}}$ = ფაზებს შორის საშუალო გეომეტრიული მანძილია (სმ),

რომელიც სხვადასხვა ნომინალური ძაბვებისთვის მოცემულია ცხრ 5.4-ში.

ცხრილი 5.4

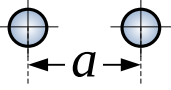
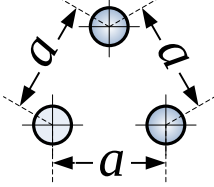
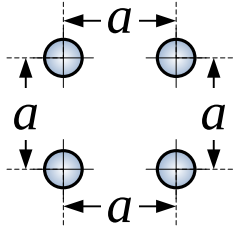
$U_{\text{ნომ}}$ (კვ)	110	220	330	400	500
$D_{\text{ს.გ.}}$ (სმ)	150	250	400	500	700



220 კვ და უფრო მაღალი ნომინალური ძაბვების გამანაწილებელ მოწყობილობებში გამოიყენება ე.წ. გახლეჩილი ფაზები (ნახ. 5.5). თითოეული ფაზის სადენის n ნაწილად გახლეჩის შემდეგ, გამტარებს ირგვლივ ელექტრული ველის დაძაბულობა მკვეთრად მცირდება და საწყისი r_0 რადიუსის მაგივრად მიიღება წარმოსახვითი ეკვივალენტური რადიუსის $r_{\text{გვ}}$ მქონე გამტარი. ასეთ შემთხვევაში დაძაბულობა გახლეჩილფაზებიანი გამტარის გარშემო გამოითვლება ფორმულით:

$$E = k \frac{0.354 U_{\text{გ}}}{nr_0 \lg \frac{D_{\text{ს.გ.}}}{r_{\text{გვ}}}} \quad (\text{კვ/სმ}) \quad (5.65)$$

ცხრილი 5.5

დასახელება	გახლეჩილ ფაზაში გამტართა რიცხვი n		
	2	3	4
			
k	$1 + 2 \frac{r_0}{a}$	$1 + 2\sqrt{3} \frac{r_0}{a}$	$1 + 3\sqrt{2} \frac{r_0}{a}$
$r_{\text{შპ}} \text{ (სმ)}$	$\sqrt{r_0 a}$	$\sqrt[3]{r_0 a^2}$	$\sqrt[4]{\sqrt{2} r_0 a^3}$

ცხრ 5.9-ში a არის გახლეჩილი ფაზის სადენებს შორის მანძილი. მისი მნიშვნელობები სხვადასხვა ნომინალურ ძაბვებზე მოცემულია ცხრ 5.6-ში.

ცხრილი 5.6

$U_{\text{ნომ}} \text{ (კვ)}$	110	220	330	400	500
$a \text{ (სმ)}$	20	30	40	45	50

სადენზე გვირგვინი არ აინთება, თუ ელექტრული ველის რეალური დაძაბულობა, გარკვეული მარაგის გათვალისწინებით, ნაკლები იქნება გვირგვინის ანთების დაძაბულობაზე, თუ ანუ შესრულდა პირობა:

$$E < 0.84E_0 \quad (5.66)$$

წინააღმდეგ შემთხვევაში, სადენი უნდა გახლეჩილი იქნას უფრო მეტ ნაწილად, და თუ მაინც იგივე განმეორდა, უნდა აღებული იქნას მეტი კვეთის სადენი და კვლავ შემოწმდეს გვირგვინის არ ანთების პირობა.

მაგალითი 5.4

შევარჩიოთ მოქნილი გამტარი 500 კვ ნომინალური ძაბვის სალტეებისთვის, თუ მასთან დაკავშირებულია ორი გენერატორი, თითოეულის ნომინალური სიმძლავრით 306 მგვა.

ამოხსნა

1. სალტეში გამავალი მაქსიმალური დასაშვები დენი, რომელიც იანგარიშება გენერატორის ჯამური ნომინალური სიმძლავრისა და ნომინალური ძაბვის 95%-ის პირობებში, ტოლია

$$I_{\text{შუშა max}} = \frac{S_{\text{ნომშ}}}{\sqrt{3} \times 0.95 U_{\text{ნომ}}} = \frac{2 \times 306 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 0.95 \times 500 \times 10^3} = 743.87 \text{ ა}$$

2. თერმული მედეგობის პირობიდან გამომდინარე, თუ ჩავთვლით, რომ მშ დენის აპერიოდული მდგენელის ქრობისა და მშ-ის გამორთვის ხანგრძლივობები $T_a \approx t_{\text{გამ}} \approx 0.5$ წმ, ალუმინის სალტის მინიმალური კვეთი უნდა იყოს:

$$q_{\min} > \frac{I_{\text{მშ}} \sqrt{T_a + t_{\text{გამ}}}}{C} \approx \frac{8.87 \times 10^3 \times \sqrt{0.5 + 0.5}}{91} \approx 97.47 \text{ მმ}^2$$

შევარჩიოთ AC-400 ($>97.47 \text{ მმ}^2$) მარკის, 835 ა (>743.87 ა) დასაშვები დენის 2.78 სმ გარე დიამეტრის მქონე ალუმინის მოქნილი გამტარი და შევამოწმოთ გვირგვინზე.

ელექტრული ველის დაძაბულობა, რომელზეც აინთება გვირგვინი, ტოლია

$$E_0 = 30.3m \left(1 + \frac{0.299}{\sqrt{r_0}} \right) = 30.3 \times 0.82 \times \left(1 + \frac{0.299}{\sqrt{1.39}} \right) = 31.15 \text{ (კვ/სმ)}$$

რეალური დაძაბულობა სადენის გარშემო

$$E = \frac{0.354 U_{\text{გომ}}}{r_0 \lg \frac{D_{\text{ს.გ.}}}{r_0}} = \frac{0.354 \times 500}{1.39 \times \lg \frac{700}{1.39}} = 47.13 \text{ (კვ/სმ)}$$

გვირგვინის არ ანთების პირობა $E < 0.84E_0$ არ სრულდება. ამიტომ ვცადოთ, იგივე კვეთის $n=2$ -ად გახლეჩილი სადენის გამოყენება. გვექნება გახლეჩილი ფაზის სადენებს შორის მანძილი $a=50$ სმ (ცხრილი 5.6). ვიანგარიშოთ ეკვივალენტური რადიუსი და k კოეფიციენტი (ცხრილი 5.5)

$$k = 1 + 2 \frac{r_0}{a} = 1 + 2 \times \frac{1.39}{50} = 1.0556$$

$$r_{\text{გგ}} = \sqrt{r_0 a} = \sqrt{1.39 \times 50} = 8.34 \text{ (სმ)}$$

ამ შემთხვევაში რეალური დაძაბულობა სადენის გარშემო იქნება:

$$E = k \frac{0.354 U_6}{nr_0 \lg \frac{D_{\text{ს.გ.}}}{r_{\text{გგ}}}} = 1.0556 \times \frac{0.354 \times 500}{2 \times 1.39 \times \lg \frac{700}{8.34}} = 33.09 \text{ (კვ/სმ)}.$$

არც ახლა შესრულდა გვირგვინის არ ანთების პირობა, ამიტომ ვცადოთ, იგივე კვეთის, $n=3$ -ად გახლეჩილი სადენის გამოყენება. ამ შემთხვევაში (ცხრილი 5.5)

$$k = 1 + 2\sqrt{3} \frac{r_0}{a} = 1 + 2 \times \sqrt{3} \times \frac{1.39}{50} = 1.0963$$

$$r_{\text{გგ}} = \sqrt[3]{r_0 a^2} = \sqrt[3]{1.39 \times 50^2} = 15.15 \text{ (სმ)}$$

$$E = k \frac{0.354 U_6}{nr_0 \lg \frac{D_{\text{ს.გ.}}}{r_{\text{გგ}}}} = 1.0963 \times \frac{0.354 \times 500}{3 \times 1.39 \times \lg \frac{700}{15.15}} = 25.5 \text{ (კვ/სმ)}.$$

ამ შემთხვევაში სრულდება გვირგვინის არ ანთების პირობა:

$$E = 25.5 \text{ კვ} < 0.84E_0 = 26.17 \text{ კვ}$$

ამრიგად, 500 კვ სალტისთვის შევარჩიეთ AC-400 მარკის სამად გახლეჩილი სადენი.

5.7. ძალოვანი კაბელები

ზოგადი ცნობები. ძალოვანი კაბელი შედგება ერთი ან რამდენიმე ერთმანეთისაგან იზოლირებული მრავალძარღვა სადენისგან. ტენისგან, კოროზიისგან და მექანიკური დაზიანებისგან დასაცავად, კაბელის იზოლაციას უკეთებენ დამცავ გარსს და ფოლადის ჯავშანს. ამ ელემენტების გარდა, კაბელი შეიძლება შეიცავდეს ეკრანს, დამცავი დამინების სადენებს და შემავსებლებს.

საკაბელო ხაზებს საჰაერო ხაზებთან შედარებით გააჩნიათ შემდეგი უპირატესობები:

- გამორიცხულია ატმოსფერული გადამეტებები;
- გამორიცხულია ქარისა და ყინულის ზემოქმედება;
- მინიმუმამდეა დაყვანილი ადამიანთა დაზიანების შესაძლებლობა.

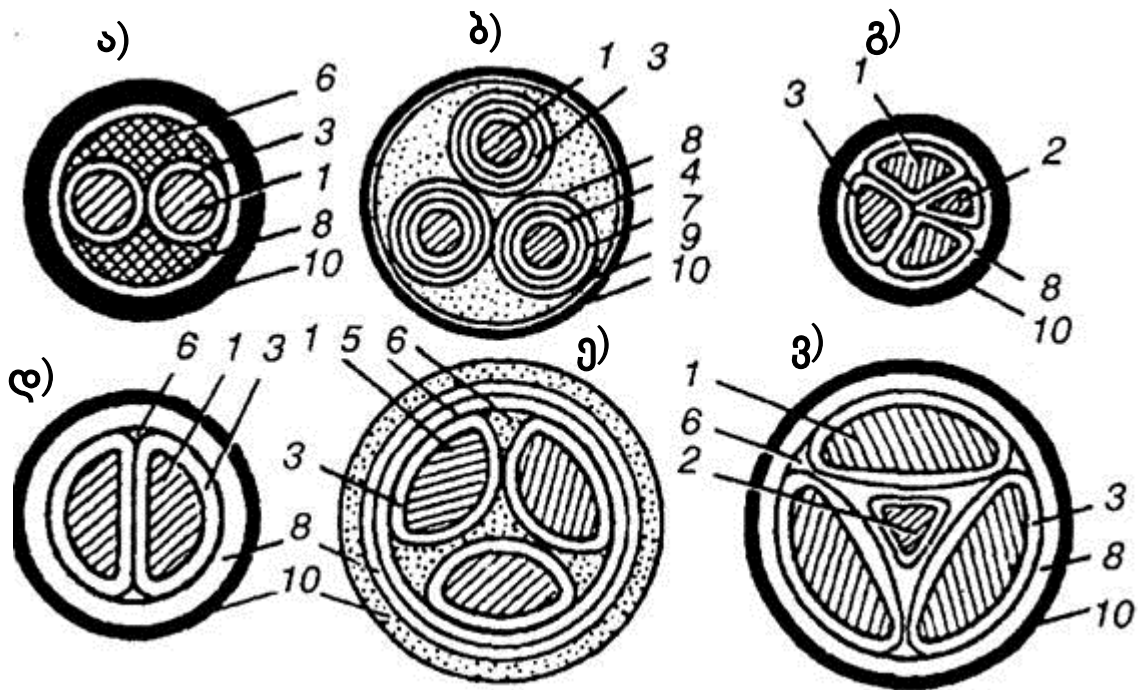
საკაბელო სადენებსა და ხაზებს საჰაერო ხაზებთან შედარებით გააჩნია შემდეგი ნაკლოვანებები:

- ძვირია;
- რთულია მისი მონტაჟი და რემონტი;
- იგივე სიმძლავრის გატარებისას საკაბელო ხაზებში ლითონის ხარჯი მეტია.

ზემოაღნიშნული უპირატესობებისა და ნაკლოვანებების გათვალისწინებით, კაბელებს გამოიყენებენ ისეთ ადგილებში სადაც საჰაერო ხაზების აგება შეუძლებელია ან უსაფრთხოების ზომების გამო მიზანშეუწონელია, მაგალითად, დასახლებულ პუნქტებში, წყალქვეშ, სამრეწველო საწარმოთა ტერიტორიაზე და ა.შ. ასევე კაბელური შეერთებები გამოიყენება რიგ შემთხვევებში ელექტრული სადგურის სინქრონული გენერატორების სალტების დასაკავშირებლად ამწევ ტრანსფორმატორებთან; ასევე 110 – 500 კვ ნომინალური ძაბვის ქვესადგურებში – ამწევი ტრანსფორმატორის დასაკავშირებლად გამანაწილებელ მოწყობილობასთან, თუკი ადგილობრივი პირობების გამო სალტებით ან მრავალძარღვა სადენით დაკავშირება შეუძლებელია.

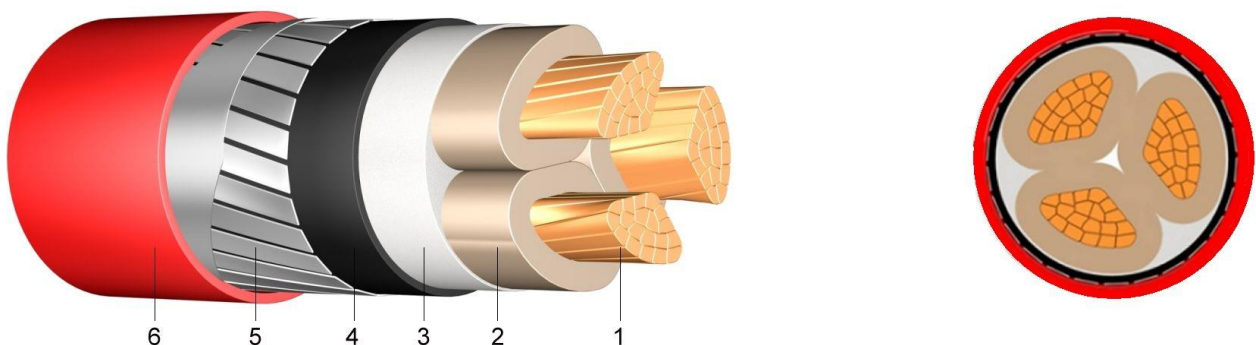
ძალოვანი კაბელები შეიძლება დაყოფილი იქნას შემდეგი ნიშნების მიხედვით:

- სადენის მასალის მიხედვით - სპილენძის ან ალუმინის;
- სადენების იზოლაციის მასალის მიხედვით - ქაღალდის, პლასტმასის ან რეზინის;
- გარსაცმის მასალის მიხედვით - ლითონის, პლასტმასის ან რეზინის;
- მექანიკური დაზიანებისაგან დაცვის ხერხის მიხედვით - ჯავშნიანი და უჯავშნო;
- ნომინალური ძაბვის მიხედვით - მაღალი ძაბვის (1 კვ-ზე ზემოთ) და დაბალი ძაბვის (1 კვ-მდე);
- ერთ გარსაცმში მოთავსებული სადენების მიხედვით - ერთსადენა, ორსადენა, სამსადენა, ოთხსადენა და მრავალსადენა;
- შიგა იზოლაციის მიხედვით - მშრალ და ზეთით გაჟღენთილი იზოლაციის მქონედ;
- სადენის ფორმის მიხედვით - მრგვალი, სეგმენტური, სამკუთხა.
- დენის სახის მიხედვით - ცვლადი დენის და მუდმივი დენის კაბელებად;



ნახ. 5.41

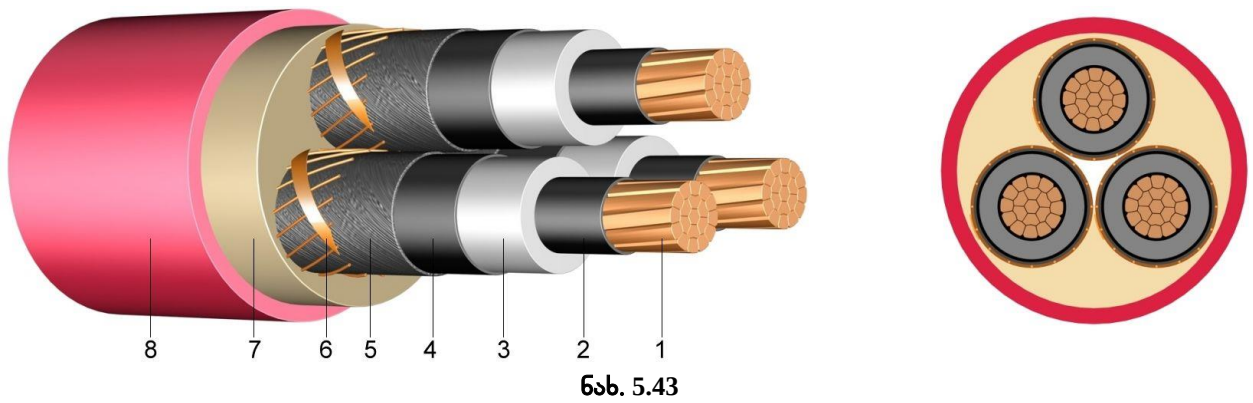
- ა) - ორძარღვა კაბელი, რგოლისებრი დენგამტარებით;
 ბ) - სამძარღვა კაბელი, რგოლისებრი დენგამტარებით სარტყელისებური იზოლაციითა და ცალკეული გარსაცმებით;
 გ) - ოთხძარღვა კაბელი სექტორული ფორმის გამტარებით;
 დ) - ორძარღვა კაბელი, სეგმენტური დენგამტარებით;
 ე) - სამძარღვა კაბელი, სეგმენტისებური დენგამტარებით სარტყელისებური იზოლაციითა და ცალკეული გარსაცმებით;
 ვ) - ოთხძარღვა კაბელი სამკუთხა ფორმის გამტარებით;
- 1 - მრავალძარღვა დენგამტარი; 2 - ნულოვანი გამტარი; 3 - დენგამტარის იზოლაცია; 4 - მრავალძარღვა დენგამტარის ეკრანი; 5 - სასარტყელე იზოლაცია; 6 - შემავსებელი; 7 - დენგამტარის იზოლაციის ეკრანი; 8 - გარსაცმი; 9 - ჯავშანსაფარი; 10 - დამცავი გარე საფარი.



ნახ. 5.42

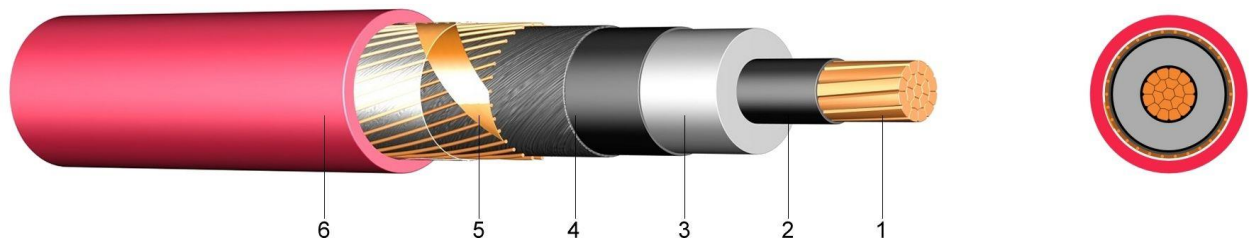
(N)YFGY ტიპის სამძარღვა კაბელი, სეგმენტური დენგამტარებით

- 1 სპილენძის მრავალძარღვა გამტარი
 2 გამტარის იზოლაცია, პოლივინილქლორიდის მასალის (PVC-DIV4)
 3 გამტარების რეზინის გარსაცმი
 4 შიგა გარსაცმი, პოლივინილქლორიდის (PVC-DMV5)
 5 გალვანიზებული ბრტყელი ფოლადის ძარღვები და მათზე დახვეული ფოლადის ლენტის ჯავშანი
 6 გარე გარსაცმი, პოლივინილქლორიდის (PVC), წითელი ფერის



N2XSEY ტიპის სამძარღვა კაბელი, რგოლისებრი დენგამტარებით

- 1 სპილენძის მრავალძარღვა გამტარი
- 2 ნახევარგამტარის მასალის შივა ფენა
- 3 ბადის ტიპის პოლიეთილენის შივა იზოლაცია
- 4 ნახევარგამტარის მასალის გარე ფენა
- 5 ნახევარგამტარული ლენტა
- 6 სპილენძის ბადისებრი ეკრანი
- 7 კაბელის ღერების შემაერთებელი, შემავსებელი მასალა
- 8 გარე გარსაცმი, პოლივინილქლორიდის (PVC), წითელი ფერის



N2XSY ტიპის ერთძარღვა კაბელი, რგოლისებრი დენგამტარებით

- 1 სპილენძის მრავალძარღვა გამტარი
- 2 ნახევარგამტარის მასალის შივა ფენა
- 3 ბადის ტიპის პოლიეთილენის შივა იზოლაცია
- 4 ნახევარგამტარული ლენტა
- 5 სპილენძის ბადისებრი ეკრანი
- 6 გარე გარსაცმი, პოლივინილქლორიდის (PVC), წითელი ფერის



ABB-ს ფირმის XPLE ტიპის ერთძარღვა კაბელი, წყალქვეშა რგოლისებრი დენგამტარებით



ნახ. 5.46

ABB-ს ფირმის XPLE ტიპის სამძარღვა კაბელი, წყალქვეშა რგოლისებრი დენგამტარებით

კაბელების ჩადების გავრცელებული მეთოდებია - (ა) თხრილებში მოთავსება, (ბ) მილებში განლაგება, (გ) არხებში მოთავსება, (დ) გვირაბებში განლაგება.

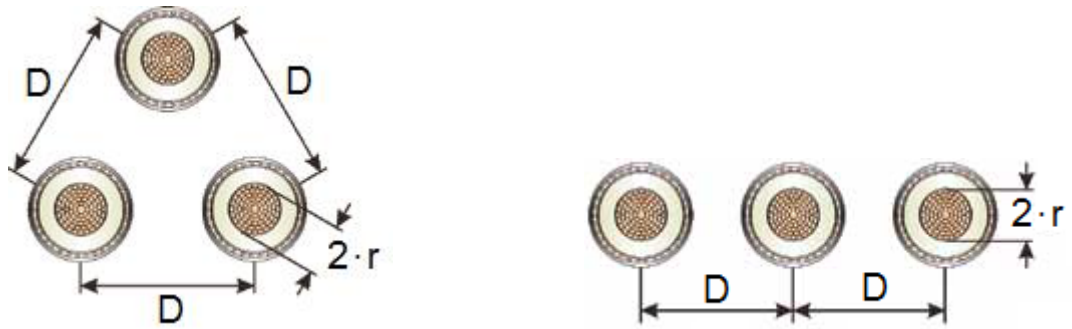
თხრილებში მოთავსება - კაბელების ჩადების ყველაზე მარტივი და იაფი მეთოდია, არ მოითხოვს დიდ ძალისხმევასა და უზრუნველყოფს კარგ პირობებს კაბელების გაცივებისთვის. ამ შემთხვევაში, თუკი თხრილის ტრასას სხვა კომუნიკაციები არ კვეთავს, კაბელებს ათავსებენ 0.7 მ სიღრმეზე. თუკი კაბელების ნომინალური ძაბვა 10 კვ ან ნაკლებია, მაშინ ერთ თხრილში აწყობენ არა უმეტეს 6 კაბელს; თუკი ნომინალური ძაბვაა 35 კვ ერთ თხრილში კაბელების რაოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს ორს. ამასთან ასეთ თხრილებში დასაშვებია ერთ კონაში გაერთიანებული 4-მდე კონტროლის კაბელის ჩადება. თხრილის ფსკერზე ყრიან ფხვიერ მიწას და ალაგებენ კაბელებს. მათ კვლავ მიწას აყრიან და მსუბუქად ტკეპნიან. ეს ღონისძიება ემსახურება, ერთი მხრივ, ქვებისაგან და სხვა საგნებისგან კაბელის დაზიანების არიდებას, მეორე მხრივ, ზედაპირის გრუნტთან კარგ შეხებას – კაბელის გაცივების პირობების გაუმჯობესების მიზნით. კაბელზე დაყრილ მიწაზე ალაგებენ აგურის ან ბეტონის ფილების დამცავ ფენას, რის შემდეგაც თხრილს ავსებენ მიწით და ზედაპირს უბრუნებენ საწყის ფორმას. რკინიგზის ან სხვა მაგისტრალის კვეთისას, დაზიანების ასარიდებლად, კაბელებს ატარებენ ბეტონის ბლოკებში.

მილებში განლაგების დროს იცავენ ყველა პირობას, რაც თხრილებში განლაგებისას გამოიყენებოდა, მაგრამ დამატებით რამდენიმე კაბელს ატარებენ მოქნილი და მკვრივი პლასტმასის მილში, რომელიც დამატებით დაცვას ქმნის კაბელებისთვის გარე დაზიანებების მიმართ.

გვირაბების მოწყობას იყენებენ, როდესაც ელსადგურებში, ქვესადგურებში და დიდი სიმძლავრის საწარმოებში 20-ზე მეტი კაბელი გადის ერთი მიმართულებით. ასეთი შესრულება უზრუნველყოფს საკაბელო ხაზების მაღალ საიმედოობას, მაგრამ ჯდება ყველაზე ძვირი.

თუ კაბელების რაოდენობა შედარებით მცირეა, აწყობენ ე.წ. **საკაბელო არხებს**.

ერთძარღვა კაბელებისგან შემდგარ სამ სადენს განლაგებენ ან ერთ სიბრტყეში, ან სამკუთხედის წვეროზე (ნახ. 5.47). მათ ეკრანებს ამიწებენ ან კაბელის მხოლოდ ერთ ბოლოში, ან ორივე ბოლოში, ანდა ორივე ბოლოსა და შუა ნაწილის ორ წერტილში, იმის მიხედვით თუ როგორია კაბელის სიგრძე და დაინტექტირებული მაცივრულირებელი დენები.

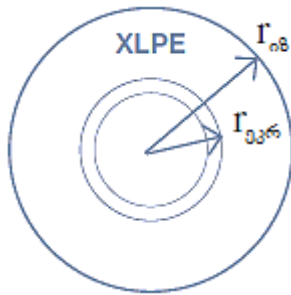


ნახ. 5.47

ერთსადენა კაბელების (მარცხნივ) სამკუთხა და სიბრტყეზე (მარჯვნივ) განლაგება

კაბელების შერჩევა ხდება:

- ნომინალური ძაბვის $U_{\text{ნომ}}$ მიხედვით;
- ელექტრული ველის დაძაბულობის მიხედვით;



$$E_{\text{იზ}} = \frac{U_{\text{იზ}}}{r_{\text{იზ}} \ln \frac{r_{\text{იზ}}}{r_{\text{გვრ}}}} \quad (5.67)$$

$$E_{\text{გვრ}} = \frac{U_{\text{გვრ}}}{r_{\text{გვრ}} \ln \frac{r_{\text{იზ}}}{r_{\text{გვრ}}}} \quad (5.68)$$

- ხანგრძლივად დასაშვები დენის $I_{\text{დას}}$ მიხედვით ხანგრძლივად დასაშვებ ტემპერატურაზე (დაახლოებით 65-90°C);
- 1 წმ-ის განმავლობაში მოქმედი მოკლე შერთვის დენის მიხედვით $I_{\text{შა}}$;
- მექანიკური მედეგობის მიხედვით. ძალა, რომელიც მოქმედებს ორი მეზობელი კაბელის სადენს შორის ტოლია:

$$F = \frac{0.2 i_{\text{ღ}}^2}{D} \quad (5.69)$$

სადაც

F = ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა (კნ/მ);

$i_{\text{ღ}}$ = მშ დარტყმის დენი (კა);

D = მანძილი ორი მეზობელი სადენის ცენტრს შორის (მ);

$r_{\text{იზ}}$ = იზოლაციის რადიუსი (მმ);

$r_{\text{გვრ}}$ = ეკრანის რადიუსი (მმ);

$E_{\text{იზ}}$ = იზოლაციაზე მოქმედი ელექტრული ველის დაძაბულობა (კვ/მმ);

$E_{\text{გვრ}}$ = ეკრანზე მოქმედი ელექტრული ველის დაძაბულობა (კვ/მმ);

კატალოგებში ჩვეულებრივ მოცემულია მხოლოდ ნომინალური ძაბვა, დასაშვები დენი და მშ დენი. დანარჩენი პარამეტრები იანგარიშება ქარხანა-დამამზადებლის მიერ.

თავი VI

მაღალი ძაბვის აპარატები

6.1 მაღალი ძაბვის აპარატების კლასიფიკაცია

ელექტრულ სადგურებსა და ქვესადგურებზე მრავალი სხვადასხვა დანიშნულების, ტიპის და კონსტრუქციის ელექტრული აპარატი გამოიყენება. მუშა წრედის მიხედვით ეს აპარატები შეიძლება დაჯგოთ ორ ჯგუფად: *პირველადი*, ანუ *ძალოვანი წრედების აპარატები* და *მეორეული* ანუ *მართვის, დაცვის, კონტროლის და სიგნალიზაციის აპარატები*.

პირველადი წრედების ელექტრული აპარატები კლასიფიცირდებიან შემდეგი მაჩვენებლების მიხედვით:

- ნომინალური ძაბვის მიხედვით – დაბალი (1000 ვოლტამდე) და მაღალი ძაბვის (1000 ვოლტი და მეტი) აპარატები. მეორეული წრედების აპარატები მთლიანად მიეკუთვნებიან დაბალი ძაბვის აპარატებს.

- დაყენების ადგილის მუშაობის პირობების მიხედვით – ღია ცის ქვეშ და შენობაში მუშაობისათვის განკუთვნილი მაღალი ძაბვის ელექტრული აპარატები. ღია ცის ქვეშ მომუშავე აპარატები განიცდიან მზის რადიაციის, წვიმის, თოვლის და ქარის ზემოქმედებას. ეს აპარატები უნდა მუშაობდნენ -40°C დან $+40^{\circ}\text{C}$ -მდე ტემპერატურის პირობებში. შენობაში მომუშავე აპარატები არ განიცდიან ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორების ზეგავლენას, მაგრამ მათ მუშაობა უხდებათ გაზრდილი ტენიანობის პირობებში. მათთვის ტემპერატურის ცვლილების დასაშვები ზღვრებია $+25^{\circ}\text{C}$ დან $+40^{\circ}\text{C}$

- დანიშნულების მიხედვით მაღალი ძაბვის აპარატები შეიძლება დაჯგოთ შემდეგ ჯგუფებად:

1. *საკომუტაციო აპარატები*. ამ ჯგუფში შედის ელექტრული აპარატები, რომელთა დანიშნულებაა პირველად წრედებში განახორციელონ ჩართვის, გამორთვის ან გადართვის ოპერაციები ანუ კომუტაცია. ეს აპარატებია მაღალი ძაბვის ძალოვანი ამომრთველები, დატვირთვის ამომრთველები, გამთიშველები, განმაცალკევებლები და მოკლედ ჩამრთველები.

2. *გამზომი აპარატები*. ესენი არიან დენის და ძაბვის მზომი ტრანსფორმატორები.

3. *დამცავი აპარატები*. მათ მიეკუთვნებიან მცლელელები და დნობადი მცველები. მცლელელები მიერთებულნი არიან დასაცავ ობიექტსა და მიწას შორის. ისინი გადამეტძაბვის იმპულსს ატარებენ მიწაში და იცავენ ობიექტებს საშიში ძაბვის ზემოქმედებისაგან. დნობადი მცველები მიერთებულნი არიან დასაცავი ობიექტების მიმდევრობით, დასაშვებზე მეტი დენის გავლისას ისინი ხერხდებიან, იწვებიან და ამ გზით იცავენ მოწყობილობებს გადატვირთვებისაგან (დასაშვებზე მეტი დენებისგან).

4. *რეაქტორები* წარმოადგენენ ინდუქციურ კოჭებს, რომლებიც ზღუდავენ საშიშ დენებს ან ძაბვებს დასაშვებ მნიშვნელობამდე. დენშემზღუდი რეაქტორები ირთვება დასაცავი ობიექტის მიმდევრობით და თავისი დიდი ინდუქციური წინააღობის წყალობით ზღუდავს ავარიულ დენებს. ასეთი რეაქტორების სახესხვაობებია მაგლუვებელი და რკალმჭრობი რეაქტორები (იხ. პუნქტი 6.4), პუნტური რეაქტორები ირთვება დასაცავ ობიექტსა და მიწას შორის, იგი ფაქტიურად წარმოადგენს რეაქტიული სიმძლავრის მძლავრ მომხმარებელს და ზღუდავს ძაბვას დასაშვებ მნიშვნელობამდე.

6.2 მაღალი ძაბვის ამომრთველები

6.2.1 ზოგადი ცნობები

ამომრთველი არის მექანიკური მოწყობილობა, რომლის დანიშნულებაცაა ელექტრული წრედების ჩართვა-გამორთვა, როგორც ნორმალურ, ასევე ავარიულ რეჟიმებში. შეგვიძლია ვთქვათ: ეს არის მოწყობილობა, რომელსაც აქვს უნარი, უმოკლეს შესაძლო დროში, იდეალური გამტარიდან გარდაიქმნას იდეალურ იზოლატორად და პირიქით. ამომრთველების საიმედო მუშაობაზე დიდად არის დამოკიდებული ელსადგურების, ქვესადგურებისა და მთლიანად ენერგოსისტემის საიმედოობა.

მაღალი ძაბვის წრედის განყვეტისას კონტაქტებს შორის წარმოიქმნება ძლიერი განმუხტვა რკალის სახით. ამ რკალის ჩაქრობის მიზნით, ამომრთველები აღჭურვილები არიან სპეციალური რკალმქრობი მოწყობილობებით (კამერებით). ეს განაპირობებს ამომრთველის პრინციპულ განსხვავებას სხვა საკომუტაციო აპარატებისაგან.

ამომრთველებისათვის ყველაზე უფრო საპასუხისმგებლო ოპერაციას წარმოადგენს მშ-ის დიდი დენების ამორთვა, რომლებიც თანამედროვე ელექტრულ დანადგარებში რამდენიმე ათეულ კილოამპერს აღწევენ.

ამომრთველები უნდა აკმაყოფილებდნენ შემდეგ მოთხოვნებს:

- სისტემის მუშაობის მდგრადობის შენარჩუნებისათვის ამომრთველი უნდა იყოს სწრაფმოქმედი, რათა რაც შეიძლება სწრაფად (რამდენიმე ნახევარპერიოდის განმავლობაში) ამორთოს მშ-ის დენი;

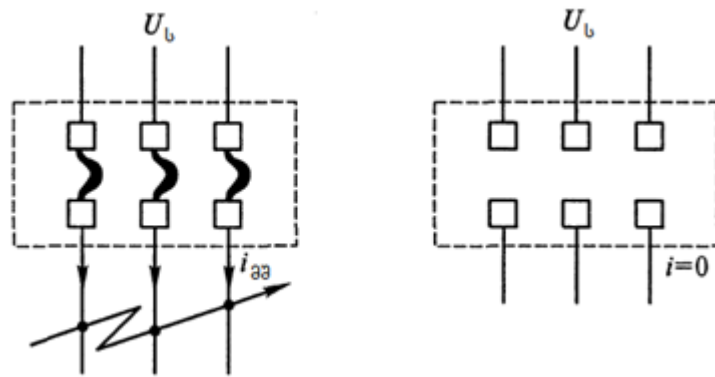
- უზრუნველყოფდეს ამორთვის შემდეგ სწრაფ ავტომატურ განმეორებით ჩართვას;
- მისი კონსტრუქცია უნდა იყოს მარტივი, ექსპლუატაციისათვის მოსახერხებელი და უზრუნველყოფდეს საკონტაქტო სისტემის დათვალიერებისა და რევიზიის სიმარტივეს;
- უზრუნველყოფდეს ნომინალური დენების მრავალჯერად ჩართვას და გამორთვას;
- ჩართულ მდგომარეობაში შეუზღუდავი დროის განმავლობაში უნდა უძლებდეს ნომინალური დენისა და ძაბვის ზემოქმედებას;

ვიდრე უშუალოდ ამომრთველების კონსტრუქციებს განვიხილავთ, საჭიროა გავეცნოთ რკალთან და მის ქრობასთან დაკავშირებულ ძირითად პროცესებს.

6.2.2 რკალი და მისი ქრობა.

მაღალი ძაბვის ამომრთველით დენის წრედის ამორთვისას მისი კონტაქტები სცილდებიან ერთმანეთს, მაგრამ დენის წრედი არ წყდება, ვინაიდან გახსნილ კონტაქტებს შორის ჩნდება ელექტრული რკალი. ელექტრული რკალი წარმოადგენს იონიზირებული აირის სვეტს, რომელიც მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედებით კარგი გამტარი ხდება. თუ წრედში დენი მცირეა, მაშინ ამომრთველის კონტაქტების გახსნისას ჩნდება მხოლოდ ნაპერწკალი და წრედის ამორთვის პროცესი მთავრდება კონტაქტების მაქსიმალურად დაცილების შემდეგ. თუ წრედში დენი დიდია, მაშინ კონტაქტების გახსნისას ჩნდება რკალი, რომლის ჩასაქრობად და წრედის ამოსართველად სპეციალური რკალმქრობი მოწყობილობაა საჭირო. ნაპერწკლისა და რკალის მოქმედების სხვადასხვაობა შეიძლება აიხსნას იმით, რომ მცირე დენების დროს

კონტაქტების ტემპერატურა დაბალია, არ ხდება მათი ლღობა, კონტაქტებს შორის შუალედი არ არის გაუღენთილი ლითონის ორთქლით, იგი ცუდი გამტარია და ამიტომ ნაპერწკალი მალე ქრება.



ნახ. 6.1

ა) რკალის არსებობისას, ბ) რკალის ჩაქრობის შემდეგ

დიდი დენების დროს კონტაქტების ტემპერატურა იმდენად დიდია, რომ კონტაქტების ლითონი ლღვება და კონტაქტებს შორის შუალედი იჟლინდება ლითონის ორთქლით, რაც ამ შუალედს კარგ გამტარად ხდის და რკალს შეუძლია იარსებოს მცირე ძაბვის დროსაც კი.

რკალის სვეტის მაღალი გამტარობა აიხსნება, პირველ რიგში, თერმოიონიზაციით, რომლის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ მაღალი ტემპერატურის გამო აირის მოლეკულების სიჩქარე მატულობს, მათი შეჯახებათა რიცხვი იზრდება და სათანადოდ იზრდება დადებითად დამუხტული იონების და უარყოფითად დამუხტული ელექტრონების რიცხვიც. აირი იქცევა პლაზმად, რომლის გამტარობა ლითონის გამტარობას უახლოვდება. რადგან ამომრთველის გახსნილ კონტაქტებს შორის მოდებულია ძაბვა (ე.ი. ეს ძაბვა მოდებულია პლაზმაზე), თავისუფალი ელექტრონები გადაადგილდებიან ანოდისაკენ, ხოლო იონები კათოდისაკენ. ეს კი ნიშნავს, რომ პლაზმაში გადის დენი. მოძრავი ელექტრონების შეჯახებისას ნეიტრალურ მოლეკულებთან წარმოიქმნებიან ახალი დამუხტული ნაწილაკები ე.წ. დარტყმითი იონიზაციის გამო. ახალი ელექტრული ნაწილაკები წარმოიქმნებიან აგრეთვე ელექტრული ველის ზემოქმედებით კათოდიდან ელექტრონების ამოგლეჯით (ე.წ. ავტოელექტრონული ემისიის გამო) და გახურებული კათოდიდან ელექტრონების ამოფრქვევით (თერმოელექტრონული ემისია).

რაც უფრო დიდია დენი რკალში, მით უფრო ინტენსიურია თერმოიონიზაციის პროცესი, ნაკლებია რკალის წინაღობა და მისი არსებობისათვის ნაკლები ძაბვაა საჭირო, ე.ი. რაც უფრო დიდია დენი, მით უფრო ძნელია რკალის ჩაქრობა.

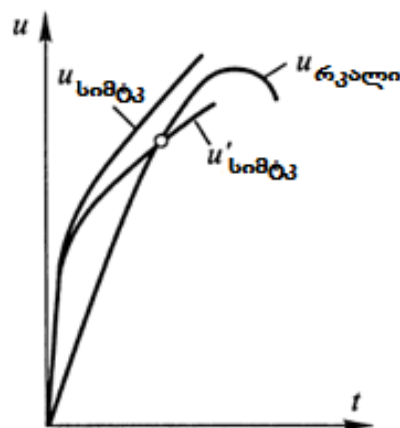
ზემოთ ჩამოთვლილ პროცესებთან ერთად პლაზმაში მიმდინარეობს დეიონიზაციის პროცესი, რეკომბინაცია და ელექტრონებისა და იონების დიფუზია. დადებითი და უარყოფითი იონები, დადებითი იონები და ელექტრონები შეჯახების დროს ერთიანდებიან და წარმოქმნიან ნეიტრალურ მოლეკულებს. ამრიგად ხდება იონების ნეიტრალიზაცია. ამ პროცესს რეკომბინაციას უწოდებენ. რეკომბინაციის ინტენსიურობა დამოკიდებულია პლაზმის ტემპერატურაზე. პლაზმის ტემპერატურის გაზრდა ამცირებს რეკომბინაციის ალბათობას და, პირიქით, მისი გაცივება ზრდის რეკომბინაციის ინტენსიურობას.

ცნობილია, რომ აირის მოცულობაში დამუხტული იონების არათანაბარი კონცენტრაციის დროს ხდება მათი გადაადგილება ნაკლები კონცენტრაციის არეში. აგრეთვე ცნობილია,

რომ დენის სიმკვრივე, ე.ი. დამუხტული ნაწილაკების სიმკვრივე რკალის სვეტის ცენტრში გაცილებით მეტია, ვიდრე მის პერიფერიაზე. ამიტომ ადგილი აქვს ელექტრონების და იონების დიფუზიას რკალის სვეტიდან მის გარშემო მყოფ არეში, რაც რეკომბინაციასთან ერთად იწვევს პლაზმის დეიონიზაციას და გამტარობის დაქვეითებას.

ამგვარად, რკალში ერთდროულად მიმდინარეობს ორი ურთიერთსაწინააღმდეგო პროცესი – იონიზაცია და დეიონიზაცია. თუ თერმოიონიზაციითა და დარტყმითი იონიზაციით გამოწვეული იონების წარმოქმნის სიჩქარე აჭარბებს ან ტოლია რეკომბინაციით და დიფუზიით გამოწვეულ იონების გაქრობის სიჩქარეს, მაშინ რკალი მდგრადი იქნება და არ ჩაქრება. იმისათვის, რომ რკალი ჩაქრეს, საჭიროა იონების გაქრობის სიჩქარემ გადააჭარბოს მათი წარმოქმნის სიჩქარეს. ცვლადი დენის წრედში დენი ყოველ ნახევარპერიოდში გადადის ნულოვან მნიშვნელობაზე, რაც იწვევს რკალის ჩაქრობას. დენის მიახლოებებისას ნულოვან მნიშვნელობასთან მცირდება თერმოიონიზაციის ინტენსივობა და რკალი რამდენადმე აღრე ქრება. მომდევნო ნახევარპერიოდში რკალი ისევ აინთება. რკალის ჩაქრობის შემდეგ წარმოიქმნება უდენო პაუზა (ნახ. 6.3), რომლის დროსაც იწყება კონტაქტებს შორის წარმოქმნილი შუალედის დეიონიზაციის პროცესის მკვეთრი აქტივიზაცია. ეს პროცესი მიმდინარეობს ძალიან სწრაფად, მაგრამ არა მყისიერად. დეიონიზაციის პროცესის პარალელურად მიმდინარეობს ამომრთველის გახსნილ კონტაქტებზე ძაბვის ქსელის ძაბვამდე აღდგენის პროცესი, რომლის ხასიათი დამოკიდებულია წრედის პარამეტრებზე (R , L , G და C).

თუ ამომრთველში გამოყენებული არ არის რაიმე სპეციალური მოწყობილობა, საკონტაქტო შუალედის დეიონიზაციის პროცესის სისწრაფე ჩამორჩება კონტაქტებზე ძაბვის აღდგენის სისწრაფეს. საკონტაქტო შუალედის გამრღვევი ანუ მისი სიმტკიცის $u_{\text{სიმტკ}}$ ძაბვა, რომელიც ახასიათებს საკონტაქტო შუალედის მდგომარეობას, დენის ნულოვან მნიშვნელობაზე პირველი გადასვლის შემდეგ ნაკლებია კონტაქტებზე რკალის აღდგენისთვის საჭირო $u'_{\text{რკალი}}$ ძაბვაზე (ნახ. 6.3). ამიტომ შუალედი გაირღვევა და რკალი განმეორებით აინთება. მომდევნო ნახევარპერიოდის შემდეგ დენი ისევ მიაღწევს ნულოვან მნიშვნელობას და აღწერილი პროცესი განმეორდება, ოღონდ ახლა მანძილი კონტაქტებს შორის მეტი იქნება. ასე გაგრძელდება მანამ, სანამ კონტაქტებს შორის მანძილი არ მიაღწევს ისეთ მნიშვნელობას, რომლის დროსაც $u_{\text{სიმტკ}} > u'_{\text{რკალი}}$ და დენის მომდევნო ნულოვან მნიშვნელობაზე გადასვლისას რკალი აღარ აინთება.



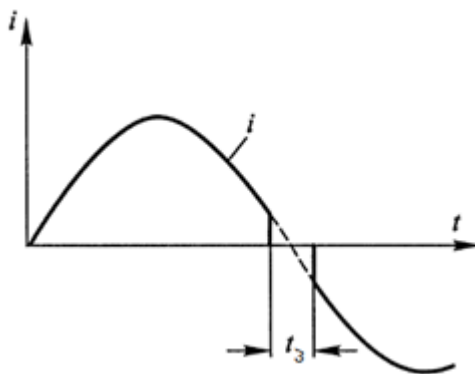
ნახ. 6.2

ცვლადი დენის რკალის ქრობის პირობები

ამრიგად, რკალის ქრობის ამოცანა დაიყვანება ისეთი პირობების შექმნამდე, რომ კონტაქტებს შორისი ელექტრული შუალედის სიმტკიცე $u_{\text{სიმტკ.}}$ მეტი აღმოჩნდეს მათ შორის ელექტრული სიმტკიცის შესაბამის $u_{\text{რკალი}}$ ძაბვაზე.

ცვლადი დენის წრედში რკალი წარმოადგენს თავისებურ ბუნებრივ გამომრთველ ელემენტს, რომლიც მიგვითითებს წრედის გამორთვის მომენტს, რომელიც უნდა დაემთხვეს დენის ნულოვან მნიშვნელობაზე ბუნებრივ გადასვლას.

თუ ამომრთველის საკონტაქტო შუალედის დეიონიზაციის ინტენსიფიკაციის ისეთ ღონისძიებას მივმართავთ, რომ გამრღვევი ძაბვის გაზრდის სისწრაფემ გადააჭარბოს კონტაქტებზე ძაბვის აღდგენის სისწრაფეს, მაშინ დენის პირველივე გადასვლისას ბუნებრივ ნულოვან მნიშვნელობაზე რკალი ჩაქრება და განმეორებით აღარ აინთება.

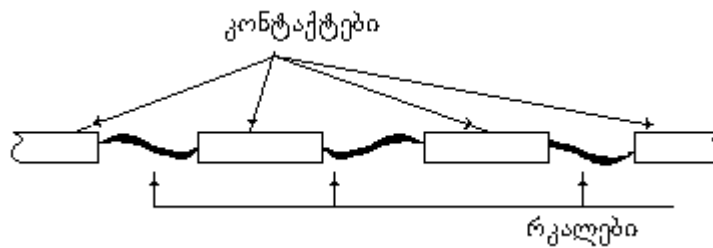


ნახ. 6.3. უდენო პაუზა

შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ თეორიულად ცვლადი დენის ამომრთველში რკალის არსებობის ყველაზე უფრო ხელსაყრელი ხანგრძლივობა შეადგენს ნახევარ პერიოდს. უფრო სწრაფი ამორთვა გამოიწვევს დენის წყვეტას მის ბუნებრივ ნულოვან მნიშვნელობაზე გადასვლამდე და აქედან გამომდინარე გადამეტაბვას ქსელში.

ზემოთ თქმულიდან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ცვლადი დენის ამომრთველით დენის წრედის ამორთვა და რკალის ჩაქრობა დამოკიდებულია ორი პროცესის, საკონტაქტო შუალედის ელექტრული სიმტკიცის აღდგენისა და კონტაქტებზე ძაბვის აღდგენის თავისებურ ურთიერთ შეჯიბრებაზე. იმისათვის, რომ საკონტაქტო შუალედი ხელმეორედ არ გაირღვეს კონტაქტებზე აღდგენილი ძაბვის მიერ, საჭიროა რაც შეიძლება სწრაფად მოვახდინოთ ამ შუალედიდან დამუხტული ნაწილაკების მოცილება, ე.ი. მოვახდინოთ მისი დეიონიზაცია. საკონტაქტო შუალედის დეიონიზაციის პროცესის დასაჩქარებლად და მისი ელექტრული სიმტკიცის აღსადგენად გამოიყენებენ სპეციალურ ხერხებს.

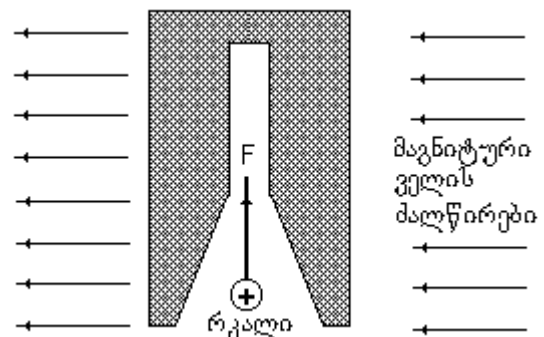
6.2.2.1 რკალის ქრობა 1 კვ-ზე დაბალი ძაბვის აპარატებში. რკალის ქრობა მოკლე რკალებად დაყოფით.



ნახ. 6.4

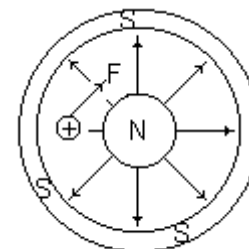
თუკი კონტაქტების გახსნისას წარმოქმნილ გრძელ რეაქსს შევზიდავთ ლითონის ფურცლებისგან შემდგარ რეაქსმქრობ გისოსებში, მაშინ იგი დაიყოფა n რაოდენობის მოკლე რეაქსად. ცნობილია რომ მუდმივი დენის შემთხვევაში ერთი მოკლე რეაქსის ძაბვა 20-25 ვ-ს შეადგენს, ხოლო ცვლადი დენის შემთხვევაში 150-250 ვ-ს. ამიტომ თუკი ცხაურების რიცხვს ისეთს ავიღებთ რომ შესრულდეს პირობა $nU_{გრ} > U_{რ}$, მაშინ რეაქსი ჩაქრება.

რეაქსის ქრობა ვიწრო ხვრელებში. თუ რეაქსს მაგნიტური ველის მეშვეობით გავდევნით რეაქსმქრობი მოწყობილობის ვიწრო ხვრელში, მაშინ რეაქსი, შეეხება რა მაღალი თბოგამტარობის და თბომედეგობის მქონე მასალისაგან დამზადებულ მოწყობილობის კედლებს, დაიწყებს ინტენსიურ გაცივებას. გაძლიერდება დამუხტული ნაწილაკების დიფუზია გარემოში. ეს იწვევს რეაქსის სწრაფ დეიონიზაციას და მის ჩაქრობას (ნახ. 6.5).



ნახ. 6.5

რეაქსის ქრობა მაგნიტურ ველში მოძრაობით. თუ რეაქსს რადიალურ მაგნიტურ ველში მოვათავსებთ, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ. 6.6. მაშინ „მარცხენა ხელის წესის“ თანახმად, რეაქსი დაიწყებს ბრუნვას. რეაქსის სწრაფი ბრუნვა და მისი შესება რეაქსმქრობი მოწყობილობის კედლებთან იწვევს მის გაცივებას და დეიონიზაციას.



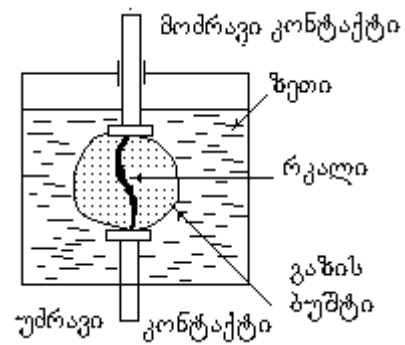
ნახ. 6.6

6.2.2.2 რეაქსის ქრობა 1 კვ-ზე მაღალი ძაბვის აპარატებში. რეაქსის ქრობა მაღალი წნევის აირებში. 2 მპა წნევის დროს ჰაერის ელექტრული სიმტკიცე გაცილებით მეტია, ვიდრე ნორმალური ატმოსფერული წნევის შემთხვევაში. ჰაერის ეს თვისება გამოიყენება საჰაერო ამომრთველებში. ასეთი ამომრთველები ფართოდ იყო გავრცელებული ელექტრულ სისტემებში.

რეაქსის ქრობა ზეთში. თუკი რეაქსმქრობი აპარატის კონტაქტები მოთავსებულია ზეთში, მაშინ მათი გახსნისას წარმოქმნილი რეაქსი, მისი მაღალი ტემპერატურის ზეგავლენით იწვევს ზეთის ინტენსიურ აორთქლებას, დაშლას და რეაქსის გარშემო აირის ბუშტის წარმოქმნას, რომელშიც წნევა სწრაფად იზრდება და ხელს უწყობს რეაქსის გაცივებასა და დეიონიზაციას. წარმოქმნილი გაზების 80%-მდე წარმოადგენს წყალბადს, რომელსაც გააჩნია კარგი

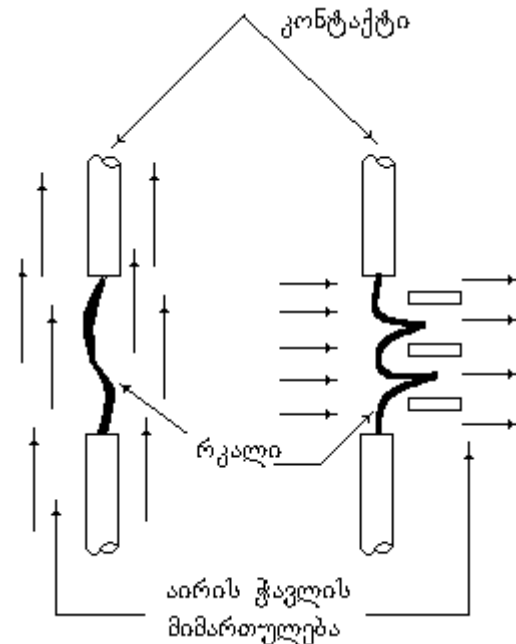
რკალმქრობი თვისებები – ძალიან მსუბუქია და მაღალი თბოგამტარობა გააჩნია – ამიტომ რკალთან შეხების შემდეგ მას სწრაფად აართმევს სითბოს და სწრაფადვე მოძრაობს ზეთის ზედაპირისკენ (ნახ. 5.4 დ).

ჰაერგაზური შებერვა. რკალის ქრობის პირობები უმჯობესდება თუკი მის პერპენდიკულარულად ან კონტაქტებისა და რკალის გასწვრივ მოვახდენთ გაზების მიმართულ შებერვას. ამით ხდება ძლიერი დიფუზია, აირის ნაწილაკები ინტენსიურად ხვდებიან რკალის სვეტში და ხელს უწყობენ მის ჩაქრობას. აღნიშნული მეთოდი ძირითადად გამოიყენება საჰაერო ამომრთველებში.



ნახ. 6.7

დენის წრედის მრავალჯერადი განწყვეტა. საჰაერო და ზეთიან ამომრთველებში 500 კვ და უფრო მაღალ ძაბვაზე, დენის პირდაპირი ჩაქრობა ზოგჯერ მიზანშეუწონელია, რადგან დიდი ენერგიის გატარების შემთხვევაში რკალის სივრცის დეიონიზაცია რთულდება. ამიტომ ყოველ ფაზაში გამოიყენება რკალის მრავალჯერადი განწყვეტა. ასეთ ამომრთველებს გააჩნიათ რამდენიმე რკალმქრობი კამერა, რომელთაგან თითოეული გათვლილია ნომინალური ძაბვის ნაწილზე. 500-750 კვ ძაბვის შემთხვევაში შეიძლება იყოს 12 წყვეტა, ე.ი. თითო წყვეტა გათვლილია 42-63 კვ ძაბვაზე.



ნახ. 6.8

რკალის ქრობა ვაკუუმში. ცნობილია, რომ აირის გაიშვიათება იწვევს მისი ელექტრული სიმტკიცის მკვეთრ ამაღლებას. აირის ეს თვისება გამოიყენება ე.წ. ვაკუუმური ტიპის ამომრთველებში. ასეთი ამომრთველის კონტაქტები მოთავსებულია ვაკუუმში. მათი გახსნის შემდეგ ანთებული რკალი ჩაქრება და დენის ბუნებრივ ნულოვან მნიშვნელობაზე გადასვლის შემდეგ ხელმეორედ არ აინთება, იმის გამო, რომ საკონტაქტო შუალედი ძალიან სწრაფად იძენს მაღალ ელექტრულ სიმტკიცეს.

რკალის ქრობა ელევგაზში. ექვსფტორიანი გოგირდი SF_6 წარმოადგენს აირს, რომელსაც ელევგაზს უწოდებენ. მას საუკეთესო რკალმქრობი თვისებები აქვს. მისი ელექტრული სიმტკიცე, ჰაერთან და წყალბადთან შედარებით, გაცილებით მაღალია. ელევგაზს ამომრთველების გარდა სხვა აპარატებშიც იყენებენ.

რკალის ქრობის მეთოდების მიხედვით, მაღალი ძაბვის ქსელებში გამოიყენება საჰაერო, ზეთიანი, ელევანური და ვაკუუმური ამომრთველები. აღსანიშნავია, რომ ამათგან პირველი-ორი ტიპის ამომრთველები შედარებით ადრე იქნა გამოყენებული. ტექნოლოგიების განვითარების შედეგად სულ უფრო და უფრო სრულყოფილი ხდებოდა ელევანური და ვაკუუმური ამომრთველები, რომელთა მიერ დანყებულობა და გრძელდება საჰაერო და ზეთიანი ამომრთველების ჩანაცვლება.

6.2.3 ამომრთველების ძირითადი პარამეტრები

1. გამორთვის ნომინალური დენი $I_{\text{გამ.ნომ}}$ – მშ დენის უდიდესი მოქმედი მნიშვნელობა, რომელიც შეუძლია ამორთოს ამომრთველმა, მისი გამართული მუშაობისას;

2. გამორთვის დენის აპერიოდული მდგენელის დასაშვები ფარდობითი შემცველობა – მშ დენის აპერიოდული მდგენელის შეფარდება გამორთვის ნომინალურ დენთან, გამოსახული პროცენტებში:

$$\beta = \frac{i_{\text{ა.ნომ}}}{I_{\text{გამ.ნომ}}} \cdot 100\% \quad (6.1)$$

3. ოპერაციის ციკლი – მოცემული დროის ინტერვალებით, ამომრთველის მიერ შესრულებული კომუტაციური ოპერაციების მიმდევრობა;

4. მედეგობა გამჭოლი დენებისადმი – ამომრთველმა ჩართულ მდგომარეობაში, დაზიანების გარეშე, უნდა გაუძლოს მშ დენების თერმულ და მექანიკურ ზემოქმედებას, ჩვეულებრივ, ამომრთველმა უნდა გაუძლოს $2.55 I_{\text{გამ.ნომ}}$ სიდიდის დენს;

5. ჩართვის ნომინალური დენი $I_{\text{ჩარ.ნომ}}$ – მშ დენი, რომელიც შეუძლია ამომრთველს ჩართოს, ნომინალურ ციკლში, ნომინალური ძაბვის დროს, კონტაქტების მიღულებისა და სხვა დაზიანების გარეშე;

6. გამორთვის საკუთარი დრო – დროის ინტერვალის ბრძანების მიწოდებიდან რკალმქრობი კონტაქტების შეხების შეწყვეტამდე;

7. გამორთვის დრო – დროის ინტერვალის გამორთვის ბრძანების მიწოდებიდან რკალის სრულ ჩაქრობამდე;

8. ჩართვის დრო – დროის ინტერვალის ჩართვის ბრძანების მიწოდებიდან წრედში დენის გაჩენამდე;

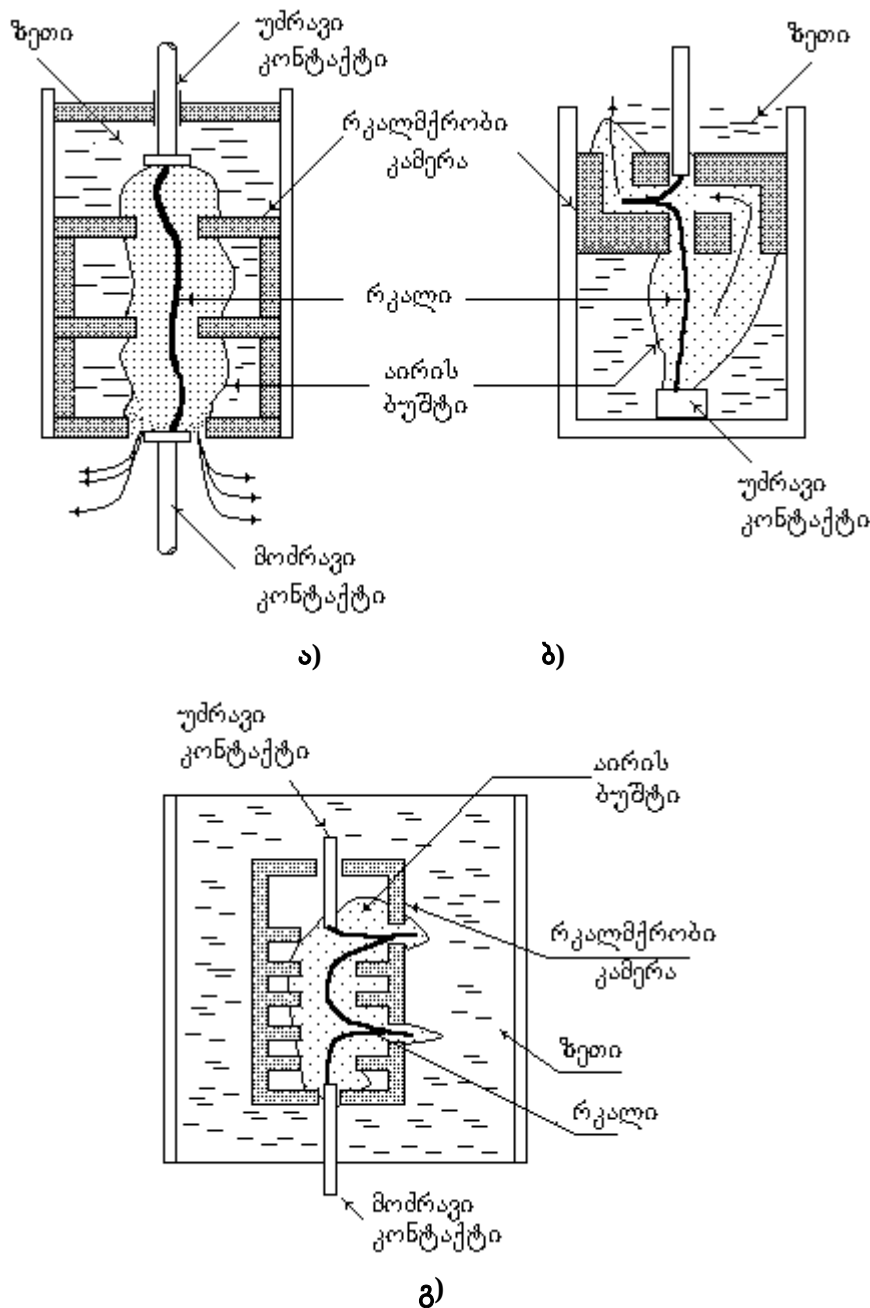
9. ნომინალური ძაბვა $U_{\text{გამ}}$ – იმ ქსელის ნომინალური ძაბვა, რომლის უბნების გამორთვაც უნდა უზრუნველყოს ამომრთველმა;

10. აღდგენის ძაბვის პარამეტრები – განისაზღვრება ამომრთველის რკალმქრობი სისტემის RLC პარამეტრებით.

6.2.4 ზეთიანი ამომრთველები

ზეთიანი ამომრთველები იყოფა ორ ჯგუფად – (1) დიდ მოცულობიან და (2) მცირე-მოცულობიან ზეთიან ამომრთველებად. რკალის სვეტის დეიონიზაციის ხერხები ამ ორივე ამომრთველში ერთნაირია. განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ დიდმოცულობიან ზეთიან

ამომრთველებში ზეთი ორ ფუნქციას ასრულებს. იგი წარმოადგენს ძირითად იზოლატორს დენგამტარ ნაწილებს შორის და რკალის ჩასაქრობად აირის მაგენერირებელ ნივთიერებას. მცირემოცულობიან ზეთიან ამომრთველებში ზეთს მხოლოდ რკალის ჩაქრობის ფუნქცია აკისრია, იზოლაციად კი მყარი დიელექტრიკები გამოიყენება.



ნახ. 6.9

ზეთიან ამომრთველებში, უმეტესწილად, გამოიყენებენ რკალმქრობ მოწყობილობებს ავტოშებერვით. მათში აირის წარმოქმნა და წნევის აწევა რკალის მოქმედების არეში ხორციელდება რკალში გამოყოფილი ენერგიის ხარჯზე. ასეთი რკალმქრობი მოწყობილობები სხვა ტიპის რკალმქრობ მოწყობილობებისაგან სიმარტივით და მაღალი ეფექტურობით

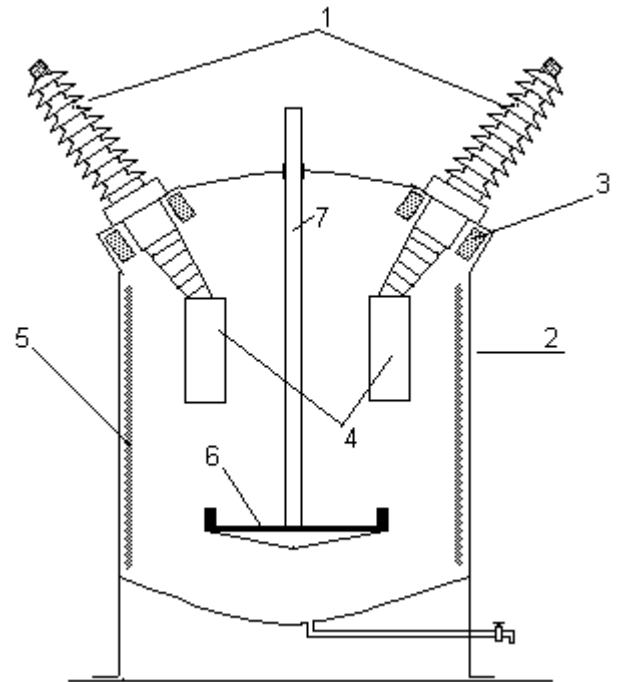
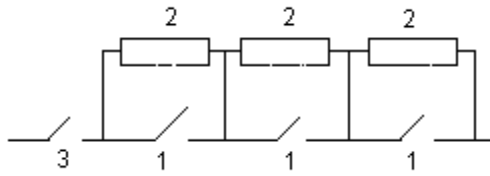
გამოირჩევიან. ამავე დროს, უნდა ავლნიშნოთ, რომ რკალმქრობი მოწყობილობები ავტოშებერვით მით უფრო ეფექტიურად მუშაობენ, რაც უფრო დიდია დენი რკალში. მცირე დენების ამორთვის დროს ზეთის დაშლისას წარმოქმნილი აირის წნევა შეიძლება არ იყოს მაღალი, რაც იწვევს შებერვის ეფექტურობის დაქვეითებას და რკალის ქრობის პროცესის გაჭიანურებას. ამიტომ ზოგიერთ ამომრთველში მცირე დენების დროს რკალის ჩასაქრობად ზეთით იძულებით შებერვას იყენებენ.

ზეთიან ამომრთველებში სპეციალური რკალმქრობი მოწყობილობების გამოყენება ნაკარნახევაა მათი ამორთვის უნარიანობის გაზრდის საჭიროებით. თანამედროვე ზეთიანი ამომრთველების რკალმქრობი მოწყობილობები შეიძლება დამზადდეს გრძივი (ნახ. 6.9-ა), განივი (ნახ. 6.9 ბ) და შერეული (ნახ. 6.9-გ) შებერვის ტიპის.

განვიხილოთ ნახ. 6.9-ა-ზე ნაჩვენები გრძივი შებერვის რკალმქრობი მოწყობილობა. რკალმქრობი მოწყობილობა დამზადებულია საიზოლაციო მასალისაგან და დამაგრებულია ამომრთველის კორპუსში. მოწყობილობის ზედა ნაწილში მოთავსებულია ამომრთველის უძრავი კონტაქტი. ამომრთველის ჩართულ მდგომარეობაში, მოძრავ საკონტაქტო ღეროს უკავია ზედა მდგომარეობა და ის აწვება უძრავ კონტაქტს. ამომრთველის ამორთვის პროცესში მოძრავი კონტაქტი იწეებს მოძრაობას ქვემოთ, იკარგება შეხება მოძრავ და უძრავ კონტაქტებს შორის და ინთება რკალი. რკალი შლის ზეთს. მართალია, დაშლილი ზეთის რაოდენობა დიდი არ არის, მაგრამ დიდია წარმოქმნილი აირის რაოდენობა. მაგალითად, 1 გრამი ზეთის დაშლა იძლევა 1500 სმ³ აირს. იმის გამო, რომ რკალმქრობი მოწყობილობის მოცულობა მცირეა, მასში მკვეთრად იწევს წნევა. მაღალი წნევის გამო მცირდება რკალის განივკვეთი, აირი ინტენსიურად აცივებს რკალს. შემდეგ მოძრავი კონტაქტი გამოდის რკალმქრობი კამერიდან. კამერაში, დიდი წნევის გამო, აირი და ზეთის ნაწილი დიდი სისწრაფით გამოიღვებებიან კამერიდან. თავისი მოძრაობის გზაზე ისინი კვლავ აცივებენ რკალს. რკალის ჩაქრობის შემდეგ საკონტაქტო ღერო აგრძელებს მოძრაობას ქვევით, სანამ არ შეიქმნება ისეთი შუალედი კონტაქტებს შორის, რომელიც უზრუნველყოფს საჭირო საიზოლაციო მანძილს. ნახ. 6.11-ზე ნაჩვენებია Y-220 ტიპის დიდმოცულობიანი ამომრთველის ერთი პოლუსის ჭრილი. ამომრთველის პოლუსის მზიდ კონსტრუქციას წარმოადგენს ავზი 2. ამომრთველს სამივე ფაზას აქვს ორ-ორი რკალმქრობი კამერა 4. ავზში ზემოდან ჩაშვებულია ორი მაღალი ძაბვის ზეთიანი შემყვანი 1. ავზის შიდა ზედაპირი იზოლირებულია ფიბრის 5 და ხის მასალით. მოძრავი კონტაქტები მოთავსებულია გამტარ ტრავერსაზე 6. ეს ტრავერსა დამაგრებულია საიზოლაციო ღეროზე 7 და მისი მეშვეობით მოძრაობს ზემოთ ან ქვემოთ.

საიზოლაციო ღერო დაკავშირებულია ამძრავ მექანიზმთან. ამომრთველის რკალმქრობი მოწყობილობა წარმოადგენს მრავალჯერადი წყვეტის მექანიზმს კამერას და მასში სამი მიმდევრობით ჩართული კონტაქტების სისტემაა მოთავსებული. იმისათვის, რომ მიმდევრობით ჩართულ კონტაქტებს შორის აღდგენილი ძაბვა თანაბრად განაწილდეს, მათ პარალელურად მიერთებულია რეზისტორები, როგორც ეს ნაჩვენებია

ნახ. 6.10-89.

**ԵՅԵ. 6.10**

Y-220 ტიპის დიდმოცულობიანი ამომრთველი

ამომრთველის ამორთვისას ჯერ გაიხსნება კონტაქტები 1, ხოლო შემდეგ - კონტაქტები 3. ასეთ ამომრთველს დიდი გაბარიტები და მასა აქვს. სამივე ფაზის მასა (უზეთოდ) შეადგენს 22 ტონას, ზეთის მასა კი - 27 ტონას.

დიდმოცულობიანი ზეთიანი ამომრთველების კონსტრუქცია მარტივია, რაც აადვილებს მათ დამზადებასა და ექსპლუატაციას. მათი ღირებულება არ არის მაღალი, მათ აქვთ მაღალი ამორთვის უნარი. ამ ამომრთველების ღირსებას წარმოადგენს დენის ტრანსფორმატორების ჩაშენების შესაძლებლობა.

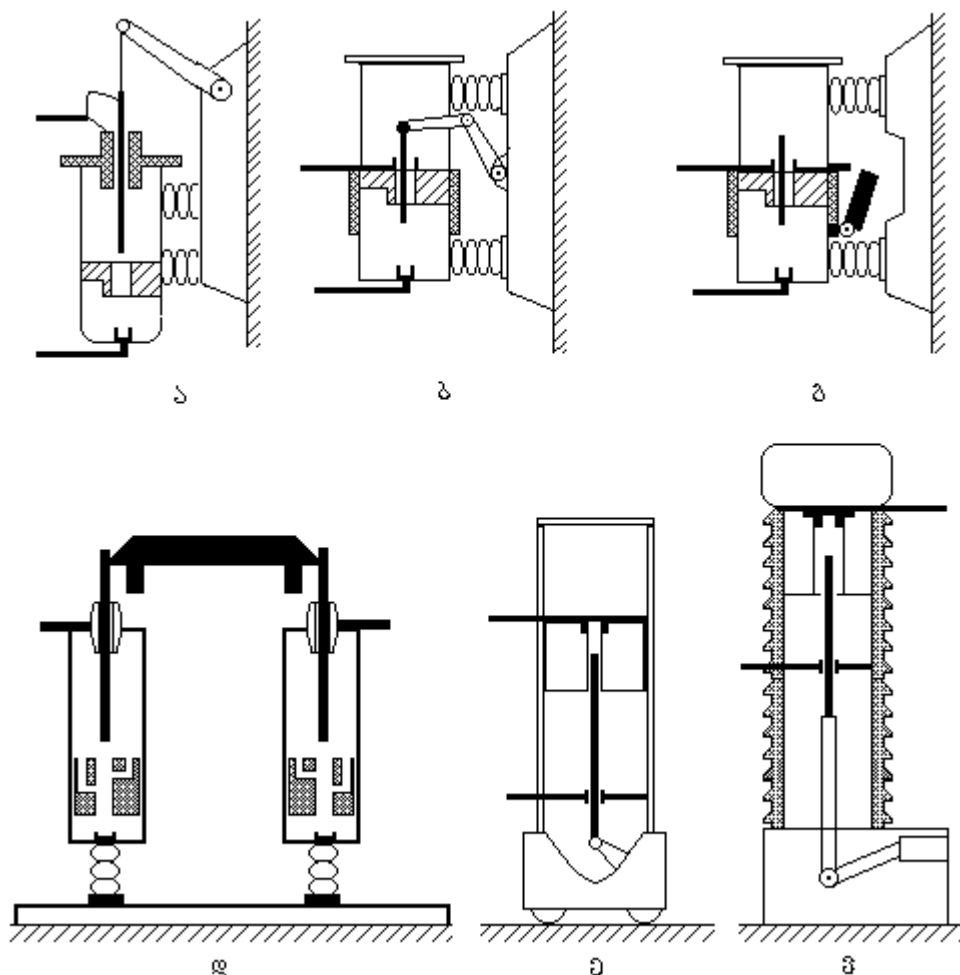
აღნიშნულ ღირსებებთან ერთად, დიდმოცულობიან ამომრთველებს მთელი რიგი ნაკლოვანებებიც აქვთ. ზეთიანი ამომრთველების მთავარი ნაკლოვანებაა ხანძრისა და აფეთქების საშიშროება, ვინაიდან მათში გამოყენებული მინერალური ზეთი კარგად იწვის, ხოლო მისი დაშლის დროს წარმოქმნილმა გაზებმა შეიძლება ფეთქებადი ნარევი შექმნან. ზეთის დიდი მოცულობა ართულებს და ახანგრძლივებს ამომრთველის რემონტს. ამომრთველებს დიდი მასა აქვთ, რაც ართულებს მათ გადატანას და მონტაჟს. დიდმოცულობიანი ზეთიანი ამომრთველებით შეუძლებელია სწრაფმოქმედი განმეორებითი ჩართვის განხორციელება.

ზემოაღნიშნული ნაკლოვანებების გამო დიდმოცულობიანი ზეთიანი ამომრთველები თანდათან გამოიდევნიან სრულყოფილი მჭირემოცულობიანი ზეთიანი ამომრთველებით.

მცირემოცულობიანმა ზეთიანმა ამომრთველებმა ფართო გავრცელება ჰპოვეს როგორც დახურულ, ასევე ღია გამანაწილებელ მონყობილობებში. დიდმოცულობიანი ზეთიანი ამომრთველებისაგან განსხვავებით, მცირემოცულობიან ზეთიან ამომრთველებში ზეთს მხოლოდ რკალის ჩაქრობის ფუნქცია აკისრია და ის არ ასრულებს იზოლაციის როლს. ამომრთველის პოლუსებს შორის იზოლაციის ფუნქციას ასრულებს ჰაერი, ხოლო პოლუსებსა და მიწას შორის – ფაიფური ან სხვა საიზოლაციო მასალა. მცირემოცულობიანი ზეთიანი ამომრთველების დიდ

ღირსებას წარმოადგენს ზეთის მცირე მოცულობა, მცირე გაბარიტები და წონა. ისინი გაცილებით ნაკლებად საშიშნი არიან ხანძრისა და აფეთქების თვალსაზრისით.

ყველაზე ფართოდ გავრცელებული მცირემოცულობიანი ზეთიანი ამომრთველების კონსტრუქციული სქემები მოცემულია 6.12 ნახ-ზე.



ნახ. 6.12. მცირემოცულობიანი ზეთიანი ამომრთველები

6-10 კვ დახურულ გამანაწილებელ მოწყობილობებში უმეტესად საკიდი ტიპის ამომრთველებს იყენებენ (ნახ. 6.12 ა და 6.12 ბ). ასეთი ამომრთველების კორპუსი ფაიფურის იზოლატორების მეშვეობით საერთო ჩარჩოზე მაგრდება. ამომრთველის ერთ პოლუსში გათვალისწინებულია კონტაქტების მხოლოდ ერთი წყვილი და ერთი რკალმქრობი კამერა. დიდი დენების გაწყვეტის შემთხვევაში გამოიყენებენ ამომრთველებს ორი წყვილი კონტაქტით. ერთი წყვილი წყვეტს დენს და მას რკალმქრობი ჰქვია, მეორე კი მხოლოდ ატარებს მუშა დენის უდიდეს ნაწილს. ამ კონტაქტებს მუშა კონტაქტები ჰქვია. ასეთი ამომრთველები ნაჩვენებია ნახ. 6.12-გ-სა და ნახ. 6.12-დ-ზე. 35-110 კვ ძაბვებზე გამოიყენება ნახ. 6.12-ე-სა და ნახ. 6.12-ვ-ზე ნაჩვენები ამომრთველები.

6.2.5 საჰაერო ამომრთველები

საჰაერო ამომრთველებში რკალის ქრობის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ რკალი ინტენსიურად ცივდება ჰაერის ნაკადით. გარდა ამისა, დაჭირხნილი ჰაერის ნაკადი ავიწროვებს რკალის განივკვეთს, მისი საკონტაქტო ზედაპირიდან გამოაქვს რკალის წვის პროდუქტები, რომლებიც კარგ გამტარ არეს ქმნიან. ამ პროდუქტების ადგილს იკავებს არაიონიზებული, მაღალი ელექტრული სიმტკიცის დაჭირხნილი ჰაერი, რომელიც უძლებს კონტაქტებს შორის აღდგენილ ძაბვას.

ასეთი რკალმქრობი კამერები უზრუნველყოფენ ჰაერის ნაკადით რკალის განდევნას ღრუ კონტაქტების შიდა ზედაპირზე, რაც კონტაქტების მუშა ზედაპირების კარგ მდგომარეობაში ყოფნას უზრუნველყოფს. სხვადასხვა კონსტრუქციის საჰაერო ამომრთველებში ჰაერის წნევა შეადგენს 10-40 ატმოსფეროს. ამომრთველის ამორთულ მდგომარეობაში კონტაქტებს შორის მანძილი სულ რაღაც 25-35 მმ-ია. დადგენილია, რომ ერთი წყვეტის მქონე რკალმქრობი მოწყობილობის მუშაობის ოპტიმალური პირობები 20 ატმოსფერო წნევის დროს შეიძლება უზრუნველყოფილი იქნას 50-60 კვ ძაბვაზე. თუ ჰაერის წნევას გავზრდით 40 ატმოსფერომდე, მაშინ რკალმქრობი მოწყობილობის მუშაობის ოპტიმალური პირობები უზრუნველყოფილი იქნება უკვე 110-125 კვ ძაბვაზე. უფრო მაღალი ძაბვებისათვის საჰაერო ამომრთველებს ამზადებენ წრედის მრავალჯერადი წყვეტით, რაც ადვილად განსახორციელებელია რკალმქრობი მოწყობილობების მიმდევრობითი ჩართვით.

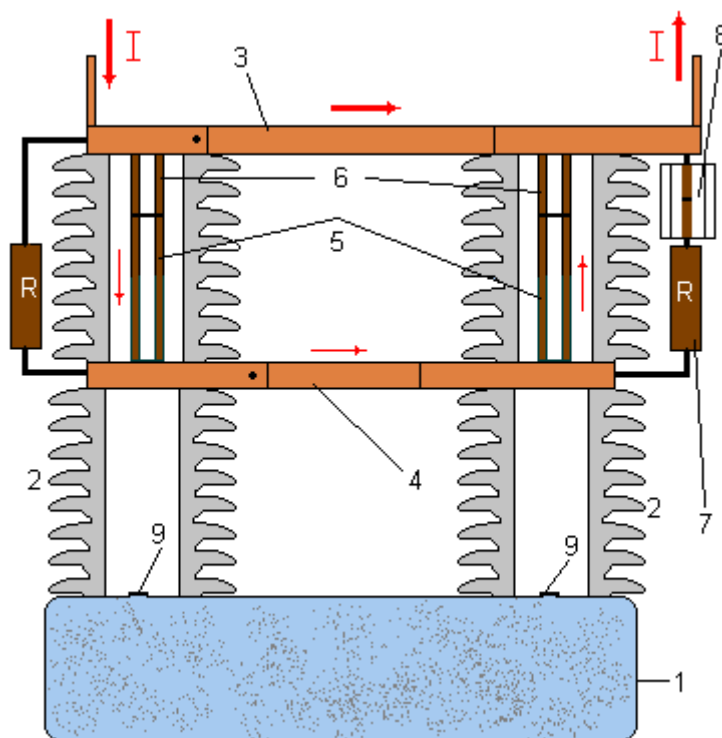
ვინაიდან საჰაერო ამომრთველებში რკალი ქრება შეკუმშული ჰაერის ჭავლით, სადგურებსა და ქვესადგურებში, სადაც მათ იყენებენ, უნდა იყოს შეკუმშული ჰაერის მეურნეობა: კომპრესორები, შეკუმშული ჰაერის რეზერვუარები და მილსადენები, რომელთა საშუალებით ჰაერი მიწოდდება ამომრთველებს.

გავრცელებული იყო სხვადასხვა კონსტრუქციული შესრულების საჰაერო ამომრთველი. კონსტრუქცია დამოკიდებული იყო ნომინალურ ძაბვაზე, გამოსართავ (ნომინალურ) დენზე და რკალმქრობ კამერაში დაჭირხნილი ჰაერის მიწოდების მეთოდზე.

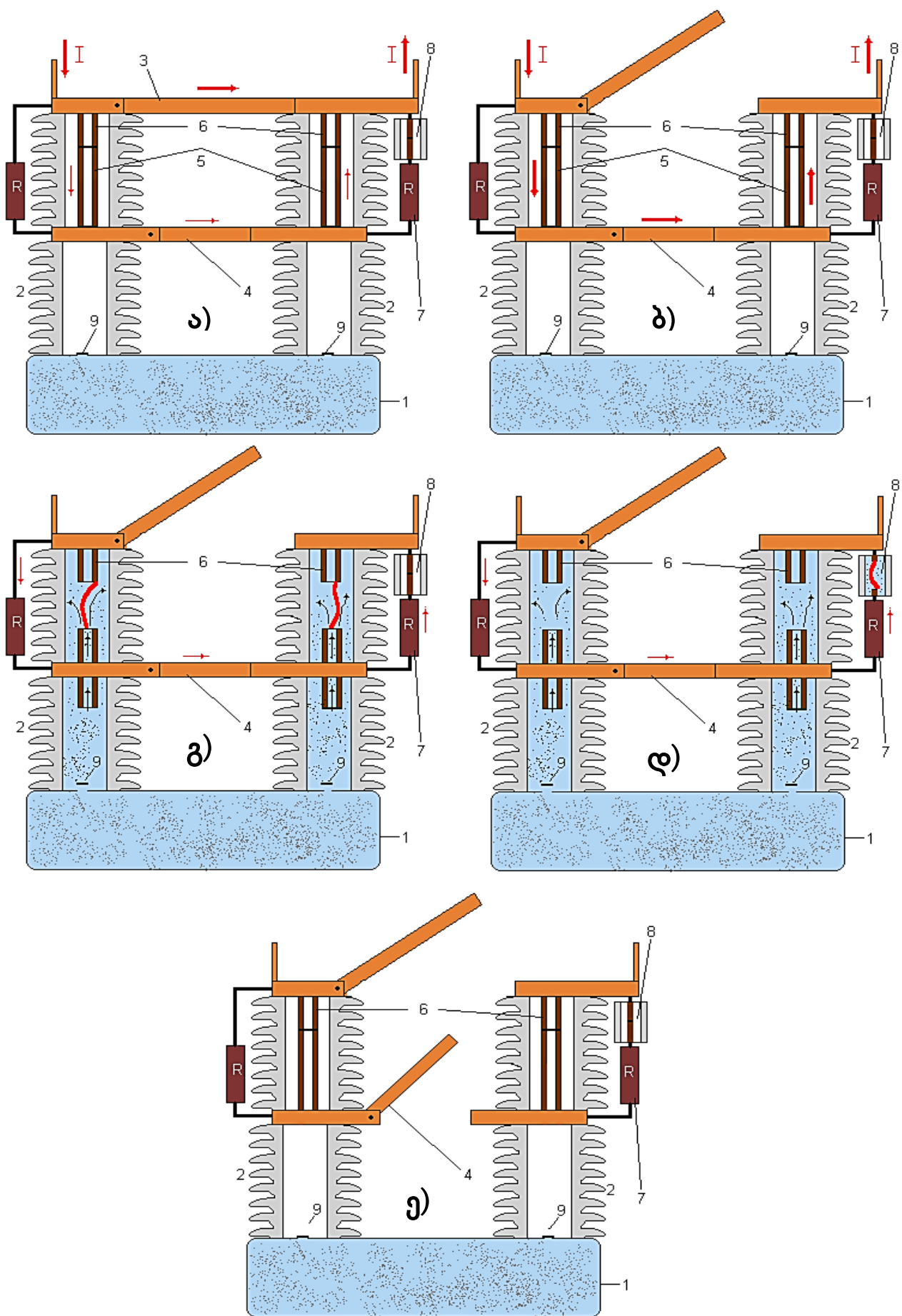
ქვემოთ მოცემულია რამდენიმე საჰაერო ამომრთველის კონსტრუქციული შესრულება და მოქმედების პრინციპი.

1. **BBГ ტიპის ამომრთველი** განკუთვნილია დიდი, 20 000 ა-მდე ნომინალური, დენებისათვის. ის გამოიყენება მძლავრი გენერატორების და ტრანსფორმატორების წრედებში. ამომრთველი (ნახ. 6.13) აწყობილია რეზერვუარზე-1, რომელშიც ინახება შეკუმშული ჰაერის მარაგი. ღრუ იზოლაციურებზე-2 დადგმულია რკალმქრობი კამერები უძრავი-6 და მოძრავი კონტაქტებით-5. ამომრთველს აქვს განმაცალკეველები-3 და გამთიშველი-4. დენის ძირითადი ნაწილი გადის 3 განმაცალკეველით. არის აგრეთვე დამატებითი კონტაქტები-8.

რკალის ქრობა მიმდინარეობს შემდეგნაირად: ჯერ გაიხსნება განმაცალკეველის დანა (ნახ. 6.14-ბ). რკალი არ აინთება, რადგან წრედი არ გაწყდა, დენი გადის რკალმქრობი კონტაქტებით-5 და გამთიშველით. შემდეგ გაიხსნებიან ძირითადი კონტაქტები-5-6 და სარქველები-9 (ნახ. 6.14-გ). შეკუმშული ჰაერი, ღრუ კონტაქტების გავლით, შევა რკალმქრობ კამერაში და ჩააქრობს რკალს. ამავე დროს, გაიხსნება დამატებითი კონტაქტი-8 (ნახ. 6.14-დ). ანთებული რკალი სუსტია, ვინაიდან დენი შეზღუდულია R წინაღობებით და ადვილად ქრება ჰაერის მცირე ჭავლით. შემდეგ იხსნება გამთიშველის დანა-4 და ამორთვის პროცესი ამით მთავრდება. სარქველები-9 ჩაიკეტება, ჰაერის მიწოდება შეწყდება და რკალმქრობი კონტაქტები-5-6 შეიკვრება (ნახ. 6.14-ე). ამომრთველის ხელახლა ჩასართველად ჩაირთვებიან განმაცალკეველის და გამთიშველის დანები 3 და 4.



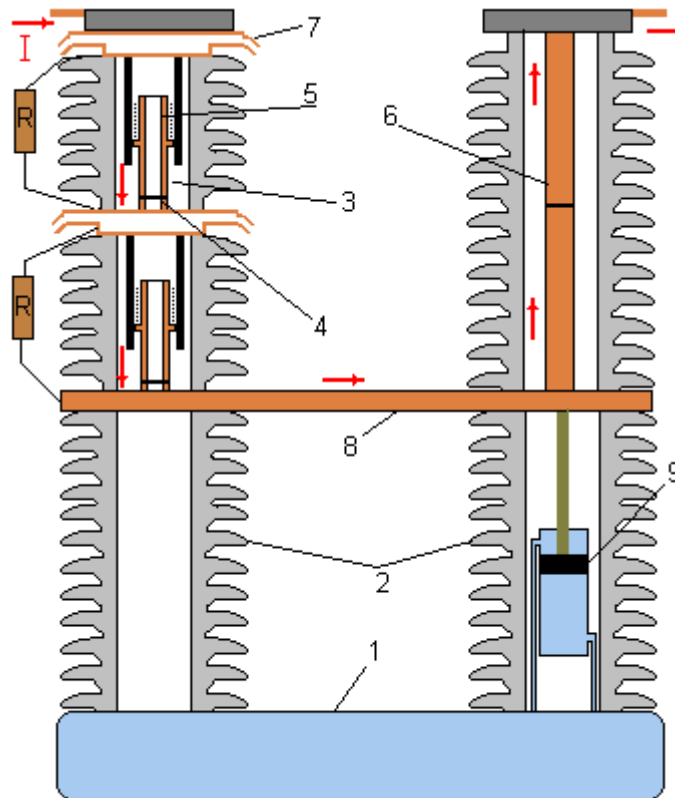
ნახ. 6.13
BBГ-20 ტიპის საჰაერო ამომრთველი



ნახ. 6.14

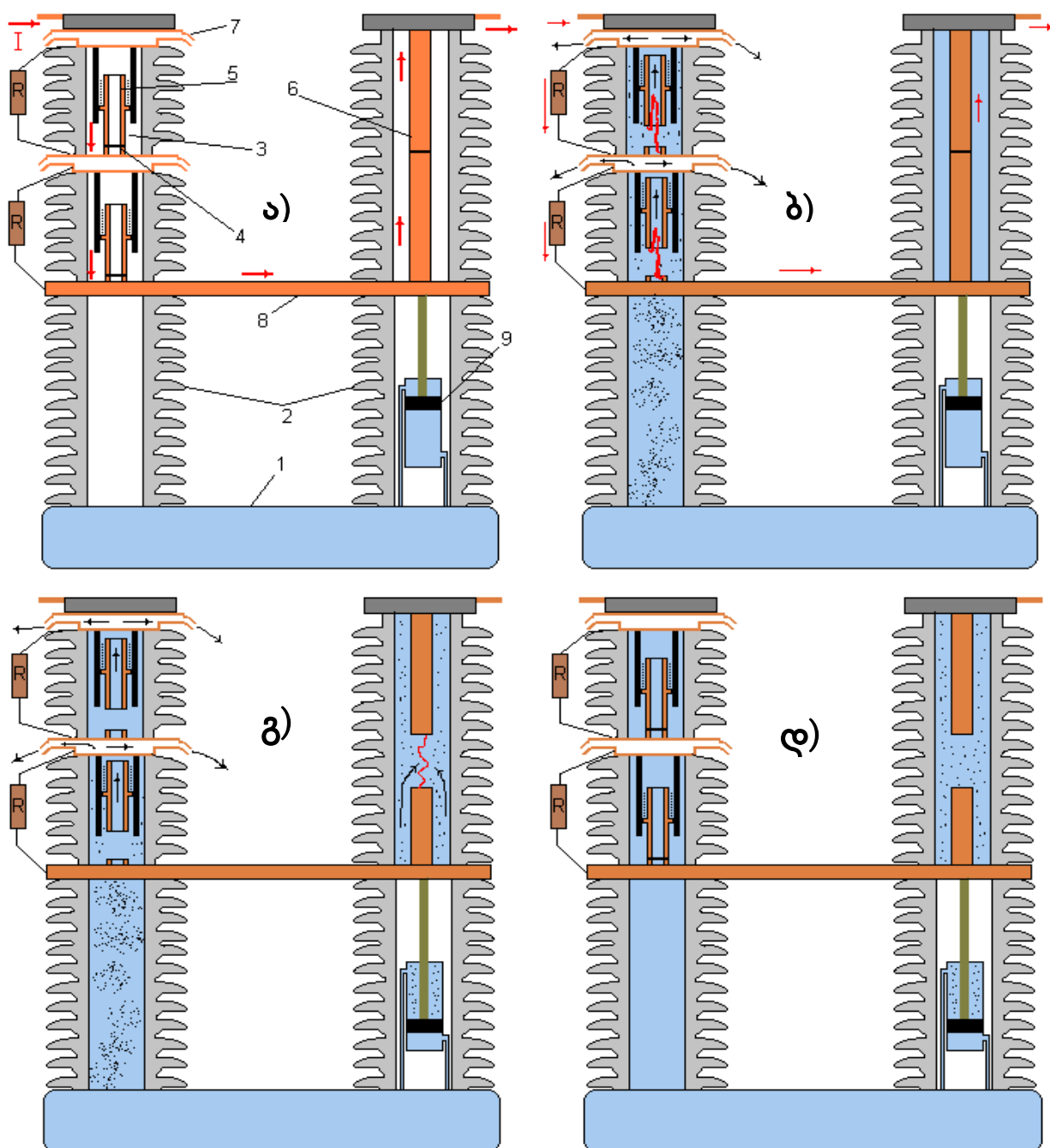
რკალის ქრობა BBI-20 ტიპის საპაერო ამომრთველში

2. BBH ტიპის საჰაერო ამომრთველი განკუთვნილია 110÷500 კვ ნომინალური ძაბვებისათვის. ნახ. 6.15-ზე მოცემულია BBH ტიპის 110 კვ ნომინალური ძაბვის ამომრთველი. ამომრთველი ორი ღრუ იზოლატორის-2 საშუალებით დამონტაჟებულია შეკუმშული ჰაერის რეზერვუარზე-1. მას აქვს ორი რკალმჭრობი კამერა-3, უძრავი-4 და მოძრავი-5 ღრუ კონტაქტებით. მოძრავ კონტაქტს-5 აქვს დგუშის ფორმა და მას შეუძლია გადაადგილება დენგამტარ ცილინდრებში. ღრუ კონტაქტების შიდა სივრცე დაკავშირებულია გარემოსთან.



ნახ. 6.15
BBH-20 ტიპის საჰაერო ამომრთველი

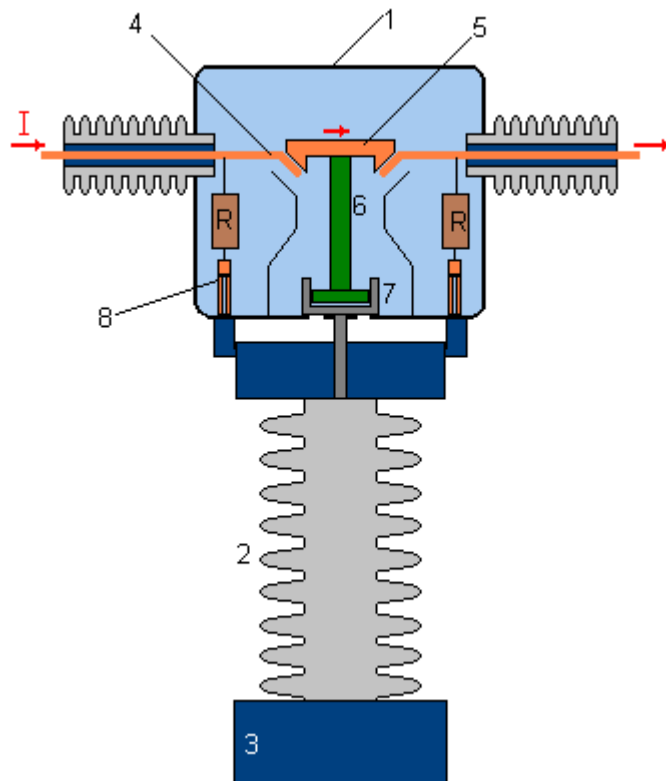
რკალის ქრობა BBH-20 ტიპის საჰაერო ამომრთველში (ნაჩვენებია ნახ. 6.16-ზე) იწყება კამერებში შეკუმშული ჰაერის მიწოდებით. შეკუმშული ჰაერი აწევა დგუშებს და სწევს მოძრავ კონტაქტებს-5 ზევით. ჰაერი, კონტაქტის გავლით, გაედინება გარეთ და თავის გზაზე აქრობს წარმოქმნილ რკალებს. რკალების ჩაქრობის შემდეგ იხსნება განმაცალკეველები-6 და წარმოქმნილი რკალი ქრება ჰაერის ნაკადში. ამის შემდეგ, რკალმჭრობ კამერებში ჰაერის მიწოდება წყდება და ისინი ზამბარებით ისევ იკვრებიან. განმაცალკეველებში, ჰაერი რჩება წნევის ქვეშ და უზრუნველყოფს კონტაქტებს შორის იზოლაციას.



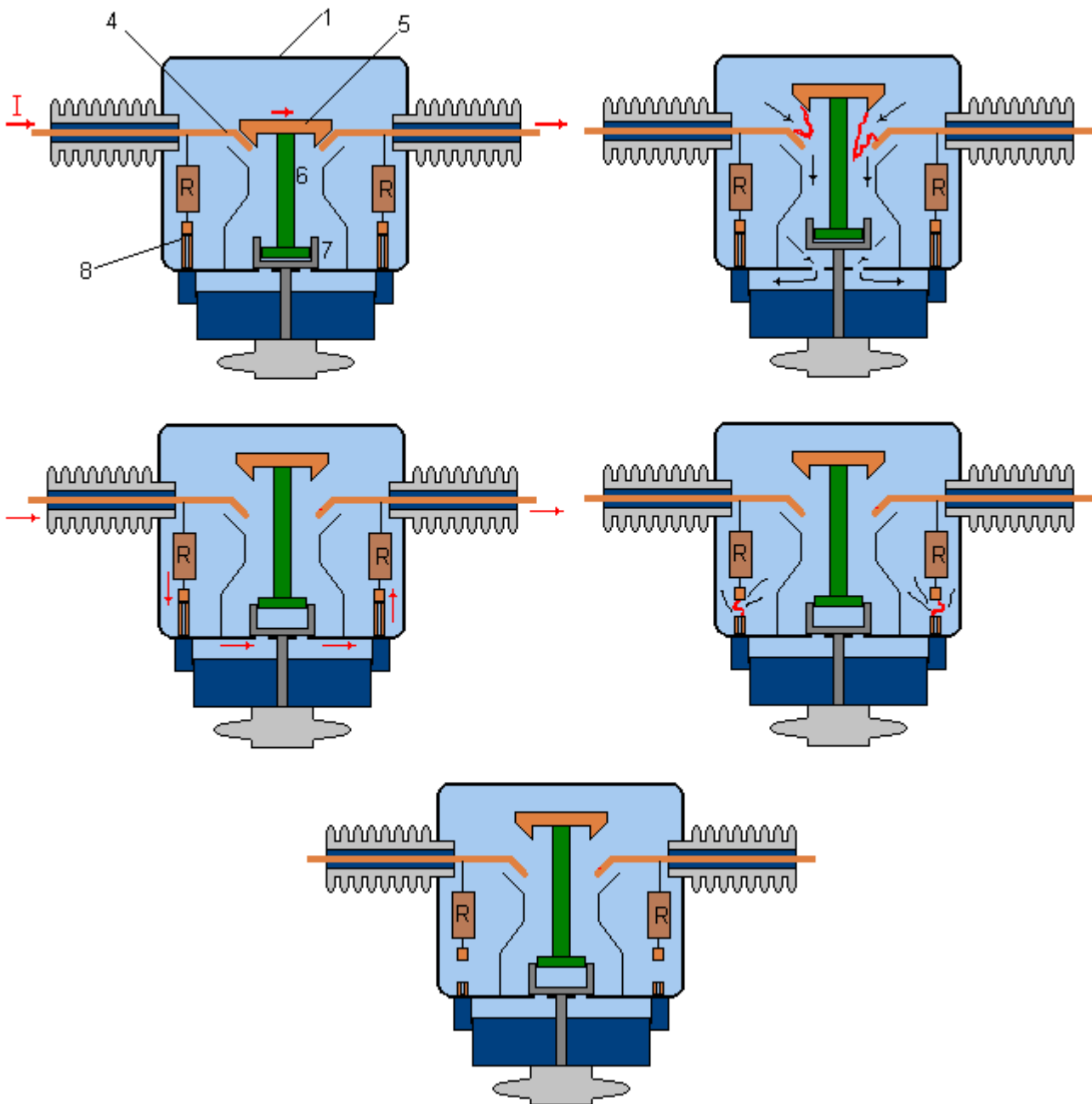
ნახ. 6.16
რკალის ქრობა BBH-20 ტიპის საპყერო ამომრთველში

BBB-ტიპის ამომრთველი მოდულური ტიპისაა. ნახ. 6.17-ზე ნაჩვენები ამომრთველი განკუთვნილია 110 კვ ძაბვისათვის. 220 კვ ძაბვის წრედებში იღებენ ორ ასეთ ამომრთველს, ჩართულს მიმდევრობით, 330 კვ-სათვის იღებენ სამს და ა.შ. ამომრთველი დადგმულია იზოლატორზე-2 და შედგება ლითონის რეზერვუარისაგან-1, რომელშიც მოთავსებულია საკონტაქტო სისტემა. რეზერვუარში ყოველთვის არის შეკუმშული ჰაერი 20 ატმოსფეროს წნევის ქვეშ.

გამორთვის დროს (ნახ. 6.18) ცილინდრი-7 დგუშით-6 გადაადგილდება ზემოთ. მოძრავი კონტაქტი -5 იხსნება. ამ კონტაქტსა და უძრავ კონტაქტებს-4 შორის ინთება რკალი. ამავე დროს, ცილინდრის-7 აწევის გამო იხსნება სარქველები და შეკუმშული ჰაერი გაედინება გარეთ. თავის გზაზე ჰაერის ჭავლი აქრობს რკალებს. ამის შემდეგ ცილინდრი-7 ხურავს სარქველებს. დენი, რომელიც შეზღუდულია R წინაღობებით, გადის დამატებითი კონტაქტებით-8. ეს კონტაქტები იხსნება, ასევე იხსნება მათი სარქველებიც (არ არის ნაჩვენები) და წარმოქმნილი რკალები ჩაქრებიან შეკუმშული ჰაერის ჭავლით. ამის შემდეგ სარქველები იკეტება. ამომრთველი გამორთულია, ხოლო წნევა მასში - შენარჩუნებული.



ნახ. 6.17
BBB-20 ტიპის საჰაერო ამომრთველი



ნახ. 6.18

რკალის ქრობა BBF-20 ტიპის საჰაერო ამომრთველში

საჰაერო ამომრთველების თვისებები. საჰაერო ამომრთველების ღირსებებია:

1. მაღალი დენების ამორთვის უნარი;
2. გამორთვის მაღალი სიჩქარე;

ნაკლოვანებებია:

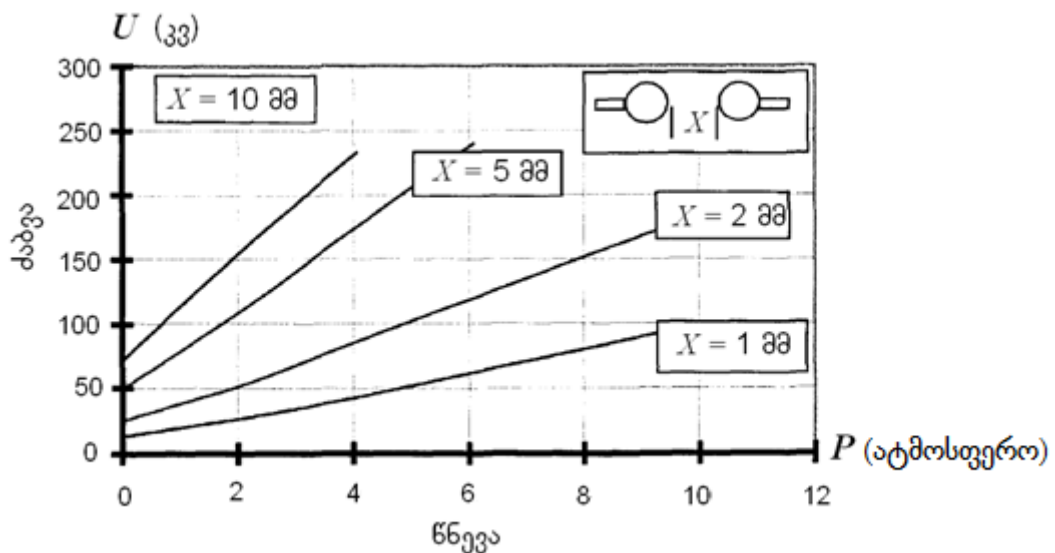
1. კომპრესორისა და საჰაერო მეურნეობის საჭიროება;
2. კონსტრუქციის სირთულე;
3. სიძვირე;
4. დიდი ხმაური გამორთვისას;

6.2.6 ელევგაზური ამომრთველები

ზოგადი ცნობები. ელევგაზი არის ქიმიურად ძალიან სტაბილური, არა აალებადი, არა დამჟანგავი, არა მომწამვლავი, უფერო და უსუნო აირი. მისი მოლეკულური მასაა 146.06 და წარმოადგენს ერთ-ერთ ყველაზე დიდ მასიან აირს.

ელევგაზი წარმოადგენს შესანიშნავ აირად დიელექტრიკს. თანაბარ პირობებში, ჰაერთან შედარებით, ორჯერ მეტი დიელექტრიკული სიმტკიცე გააჩნია, ხოლო 3 ატმოსფერო წნევის დროს მისი ელექტრული სიმტკიცე ზეთისას უტოლდება. ელევგაზი, ამასთან ერთად, ხასიათდება საუკეთესო თბოგატარების უნარით.

ნახ. 6.19-ზე მოცემულია ელევგაზის დიელექტრიკული სიმტკიცის დამოკიდებულება მის წნევაზე, კონტაქტებს შორის სხვადასხვა X მანძილის შემთხვევაში, საიდანაც ჩანს, $X=10$ მმ კონტაქტების დაცილების შემთხვევაში, 4 ატმოსფერო წნევის დროს ელევგაზის ელექტრული სიმტკიცე 230 კვ-ს შეადგენს, ანუ სხვა სიტყვებით 230 კვ/სმ-ს უდრის, რაც ბევრად აღემატება ზეთისას.



ნახ. 6.19

ელევგაზის დიელექტრიკული სიმტკიცის დამოკიდებულება წნევაზე

ელევგაზი არა მხოლოდ კარგი დიელექტრიკია, არამედ მას, თავისი ელექტროუარყოფითობის გამო, გააჩნია ელექტრონების შთანთქმის შესანიშნავი თვისებაც. სწორედ ამით აიხნება წრედის ეფექტურად გამორთვისა და რკალის ქრობის შემდეგ, ელევგაზის ელექტრული სიმტკიცის ძალიან სწრაფი აღდგენის უნარი.

ელევგაზს შეუძლია მიიერთოს ელექტრონები ძალიან დაბალ ტემპერატურაზე, ამასთან, ძალიან დიდი რაოდენობისა და ენერგიის. ამიტომ იგი წარმოადგენს შესანიშნავ რკალმქრობ გარემოს.

რკალის ქრობის პროცესი. როდესაც რკალის ტემპერატურა გადააჭარბებს 500°C -ს, იწყება ელევგაზის დისოციაციის ანუ ნივთიერების დაშლის პროცესი. რისი საფუძველიც შეიძლება გახდეს ნაპერწკლის წარმოქმნა ან რკალის ანთება. შედეგად, 3000°C -ზე SF_6 -ის მოლეკულები დაიშლება ფტორისა და გოგირდის იონებად. აღსანიშნავია, რომ რკალის ცენტრალური ნაწილის ტემპერატურა, მისი ქრობის დროს, აჭარბებს $10\,000^{\circ}\text{C}$ -ს. მისი ქრობის შემდეგ კი რკალის მიმდებარე სივრცე ცივდება და დაახლოებით 1000°C -ზე დაშლილი აირი თითქმის სრულად რეკომბინირდება (აღდგება) ელევგაზად. მხოლოდ ძალიან უმნიშვნელო ნაწილი იონებისა შევა

რეაქციაში სხვა ნივთიერებებთან. ელევგაზის გარემოში დენის განყვეტა ხდება დაახლოებით 2500°C-ზე, როდესაც საჰაერო ამომრთველისთვის იგივე ტემპერატურა შეადგენს თითქმის 6500°C-ს, რაც ელევგაზურ ამომრთველებში აუმჯობესებს გაცივების ეფექტურობას და ხელს უწყობს ძაბვის სწრაფ აღდგენას.

ელევგაზური ამომრთველები შეიძლება დაჯგუფებულნი იქნან: რკალმქრობ კამერაში არსებულ წნევათა რეზერვუარების რიცხვის მიხედვით – ერთწნევიან და ორწნევიან ამომრთველებად; კორპუსის დამინების მიხედვით – ძაბვის ქვეშ მყოფ და დამინებულ კორპუსიან ამომრთველებად; რკალის ქრობის ტექნოლოგიის მიხედვით – თვითმქრობ და ავტოშემბერ ამომრთველებად.

ძაბვის ქვეშ მყოფ ავზიანი ელევგაზური ამომრთველის ძირითადი ნაწილებია:

- ერთი ან მეტი რკალმქრობი კამერა;
- საყრდენი იზოლატორი;
- თითო ფაზაზე ერთი ან სამივე ფაზაზე ერთი ამძრავი მექანიზმი.
- საყრდენი მოწყობილობა (დგარი).

ასეთი ამომრთველების ერთაზა და სამაზა შესრულება და მისი ნაწილები მოცემულია ნახ. 6.20-ზე. ციფრებით აღნიშნულია შემდეგი დეტალები: 1 - რკალმქრობი კამერა, 2 - საყრდენი იზოლატორი, 3 - დგარი, 4 - ამძრავი მოწყობილობა, 5 - გამწყვეტი მექანიზმი (გამთიშველი), 6 - გაზის საკონტროლო მაჩვენებელი (მოპირდაპირე მხარეს), 7 - ამძრავი ღერო, 8 - მდგომარეობის მაჩვენებელი, 9 - გამათანაბრებელი ტევადობა (საჭიროებისას), 10 - ჩაშენებული აქტიური წინაღობები (საჭიროებისას), 11 - პირველადი შემყვანები.

რკალმქრობი კამერის საიზოლაციო გარსაცმი დამზადებულია ფაიფურის ან კომპოზიტური დიელექტრიკული მასალისაგან, რომელიც გავსებულია SF₆-ის აირით და იმყოფება ძაბვის ქვეშ. სწორედ აქედან წარმოდგება ტერმინი „ცოცხალი“. ერთ ამომრთველს შეიძლება გააჩნდეს ორი ან მეტი რკალმქრობი კამერა.

საყრდენი იზოლატორის დანიშნულებაა მაღალი ძაბვის შემყვანებიდან და ამომრთავი მოწყობილობიდან მიწამდე საკმარისი იზოლაციის უზრუნველყოფა. იგი წარმოადგენს კომპოზიტური მასალისაგან ან ფაიფურისაგან დამზადებულ ღრუიან გარსაცმს და გავსებულია ელევგაზით. საყრდენ იზოლატორსა და ამომრთავ მოწყობილობაში ელევგაზის თანაბარი წნევა და ერთიანი ატმოსფეროა.

იზოლირებული ამძრავი ღერო (იგივე მუშა იზოლატორი) წარმოადგენს ამძრავ მოწყობილობასა და ძირითად კონტაქტებს შორის დამაკავშირებელი სისტემის ნაწილს. იგი ჩამონტაჟებულია საყრდენ იზოლატორში.

ამძრავი მოწყობილობა, გამომრთავ ზამბარასთან ერთად, აგროვებს ამომრთველის გამორთვისა და ჩართვისათვის საჭირო ენერგიას. მას გააჩნია მიწის პოტენციალი და ასევე შეიცავს მეორეულ სადენს, რომლის საშუალებითაც უკავშირდება ენერგოსისტემის მართვისა და დაცვის წრედს.

დგარის სტრუქტურა. განარჩევენ დგარის ორ ტიპს:

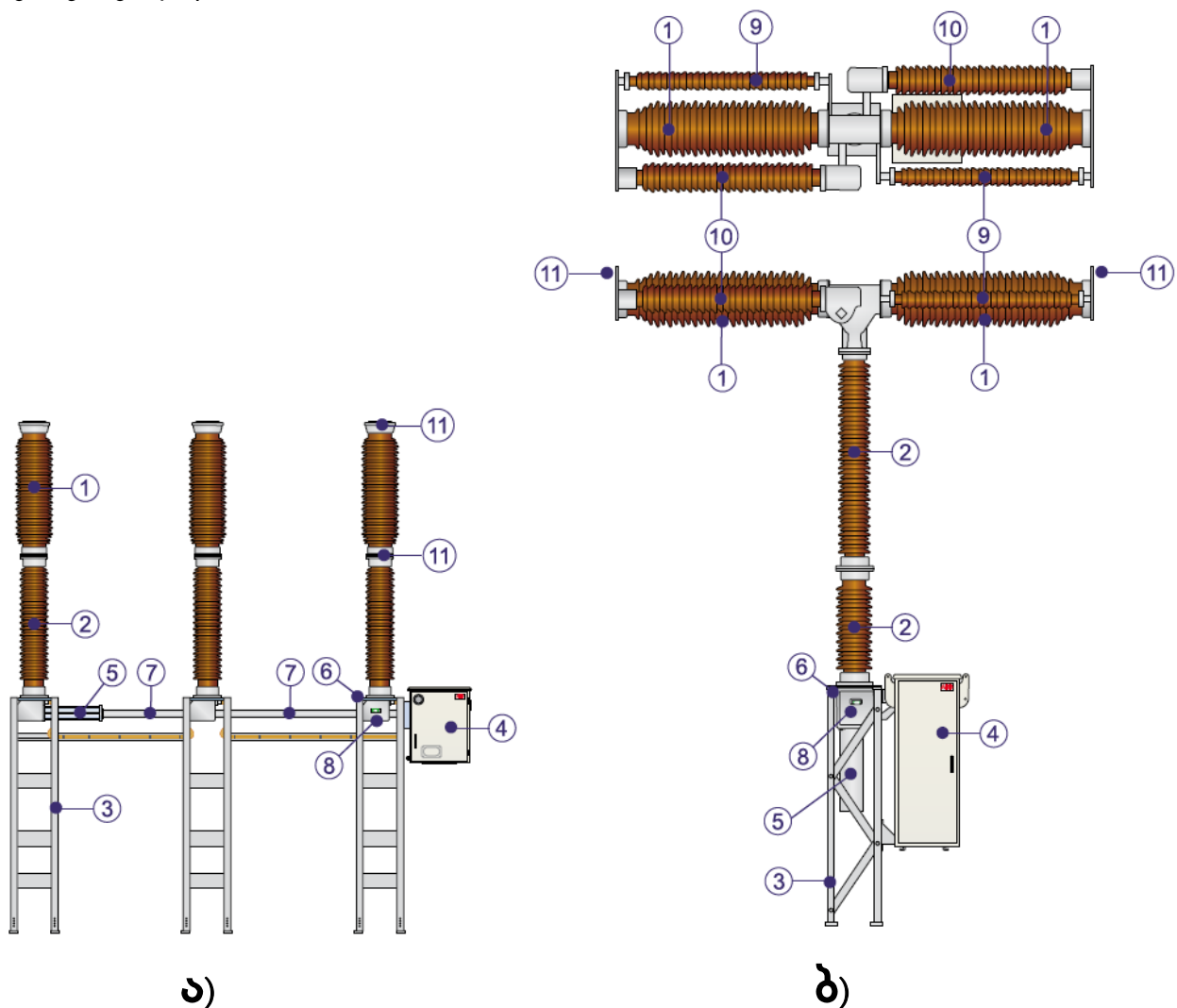
- სამსვეტიანი დგარი. ამ შემთხვევაში თითო ამომრთველი საკუთარ დგარზეა განლაგებული;

- ერთსვეტიანი დგარი. აქ კი ამომრთველის სამი ფაზა განლაგებულია საერთო სვეტზე, რომელსაც გააჩნია ორი საყრდენი ფეხი.

დგარები, ჩვეულებრივ, მზადდება, ცხელად ნაგლინი გალვანიზირებული ფოლადისაგან.

გამათანაბრებელი ტევადობები შეიძლება გამოყენებული იქნას 420 კვ-ზე მაღალ ნომინალურ ძაბვებზე, მაშინ, როდესაც ამომრთველს გააჩნია ორი ან მეტი ამომრთავი მოწყობილობა. ამ შემთხვევაში პოტენციალები რკალმქრობი კამერების გასწვრივ არათანაბრად ნაწილდება, რის თავიდან ასაცილებლად, ამ კამერების პარალელურად რთავენ 900 – 1600 პფ გამათანაბრებელ ტევადობებს, თითო რკალმქრობ კამერაზე.

ჩაშენებული აქტიური წინაღობები. შეიძლება გამოყენებული იქნას 420 კვ-ზე მაღალ ნომინალურ ძაბვებზე, უქმ სვლაზე მყოფი ხაზის ჩართვისას ან ხაზის ავტომატური განმეორებითი ჩართვისას წარმოქმნილი ძაბვის პერიოდული (რხევითი) მდგენელის შესამცირებლად.



ნახ. 6.20

- ა) ABB-ის ფირმის სამფაზა ამომრთველი, თითო ფაზაზე თითო შემზღუდველი;
- ბ) ABB-ის ფირმის ერთფაზა ამომრთველი, თითო ფაზაზე ორი შემზღუდველი.

აღსანიშნავია, რომ ABB-ისა და ზოგიერთი წამყვანი ფირმის ცოცხალ კამერიან ამომრთველებს, ახალი ტექნოლოგიების განვითარების წყალობით, გამათანაბრებელი

ტევადობები და ჩაშენებული აქტიური წინაღობები აღარ ესაჭიროებათ, რაც ამცირებს ამომრთველის გაბარიტებს და აიოლებს მათ ტრანსპორტირებას. ამავდროულად, ასეთი ტიპის ამომრთველები, მთლიან კორპუსში შეიცავენ რა გამთიშველებსაც, რომლებიც ამომრთველების კამერის ძირს არიან განლაგებულნი, უზრუნველყოფენ ადგილის მნიშვნელოვან ეკონომიას და განსაკუთრებით ეფექტურია ისეთ ქვესადგურებში გამოსაყენებლად, სადაც ადგილი აქვს სივრცის სიმცირეს.

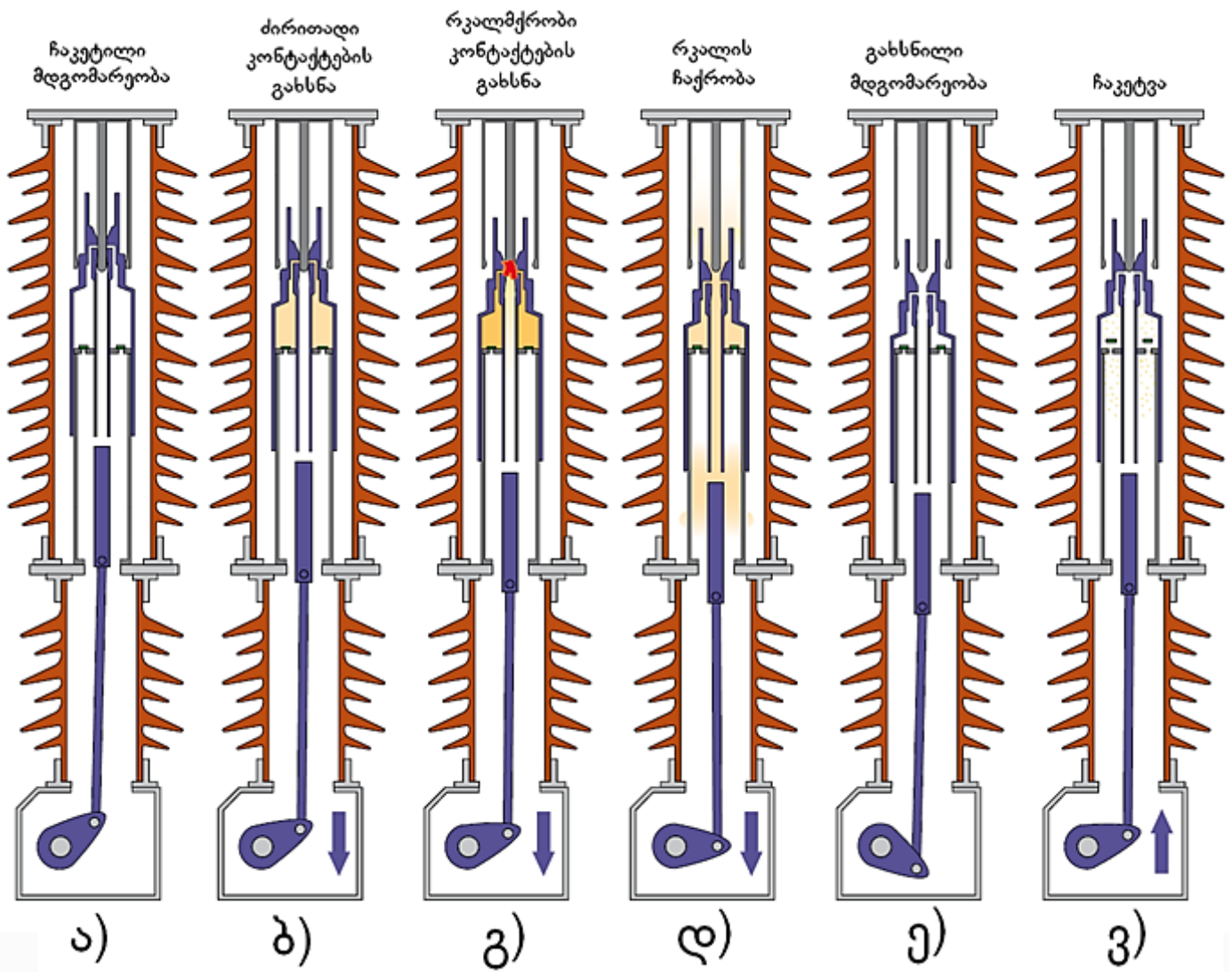
ორწნევიან ელევაზურ ამომრთველებს, ჩვეულებრივ, გააჩნიათ დამინებულავზიანი შესრულება. ნომინალური ძაბვის მიხედვით, მათ აქვთ ერთი ან სამი ავზი. დაბალი წნევის რეზერვუარის მიმდევრობით განლაგებულია მაღალი წნევის რეზერვუარი, ისე რომ კონტაქტების გახსნისას სინქრონულად იხსნებიან სარქველები, რომელთა გავლით ხდება, რკალის სვეტის მიმართულებით, მაღალი წნევის რეზერვუარიდან ელევაზის ინტენსიური ჭავლის გამოსვლა და მისი ქრობა. ჩვეულებრივ, დაბალი წნევის რეზერვუარის წნევა დაახლოებით 2 ატმოსფეროს შეადგენს, ხოლო მაღალი წნევისა - 17 ატმოსფეროს.

მართალია, ასეთი ამომრთველის მუშაობას უფრო ნაკლები ენერგია სჭირდება, ვიდრე ერთწნევიანს, მაგრამ უფრო მეტი სრული ენერგიაა საჭირო მისი ფუნქციონირებისათვის. საქმე იმაშია, რომ, ჯერ ერთი, საჭიროა წნევათა დონის უზრუნველყოფა რეზერვუარებში, მერე მეორეც, მაღალი წნევის რეზერვუარში საჭიროა ტემპერატურის უზრუნველყოფა ელევაზის თხევად მდგომარეობაში გადასვლის ასაცილებლად, რისთვისაც მაღალი წნევის რეზერვუარში ელექტრული გამხურებლები ყენდება. 2 ატმოსფერო წნევაზე ელევაზის თხევად მდგომარეობაში გადასვლის ტემპერატურა შეადგენს თითქმის 13°C-ს.

ორწნევიანი ელევაზური ამომრთველების კიდევ ერთი ნაკლოვანებაა ელევაზის დიდი მოცულობის საჭიროება და ელევაზის გაჟონვისადმი მიდრეკილება, რაც ასეთი ამომრთველების ნაწილების, განსაკუთრებით კი სარქველების, კონსტრუქციას ართულებს.

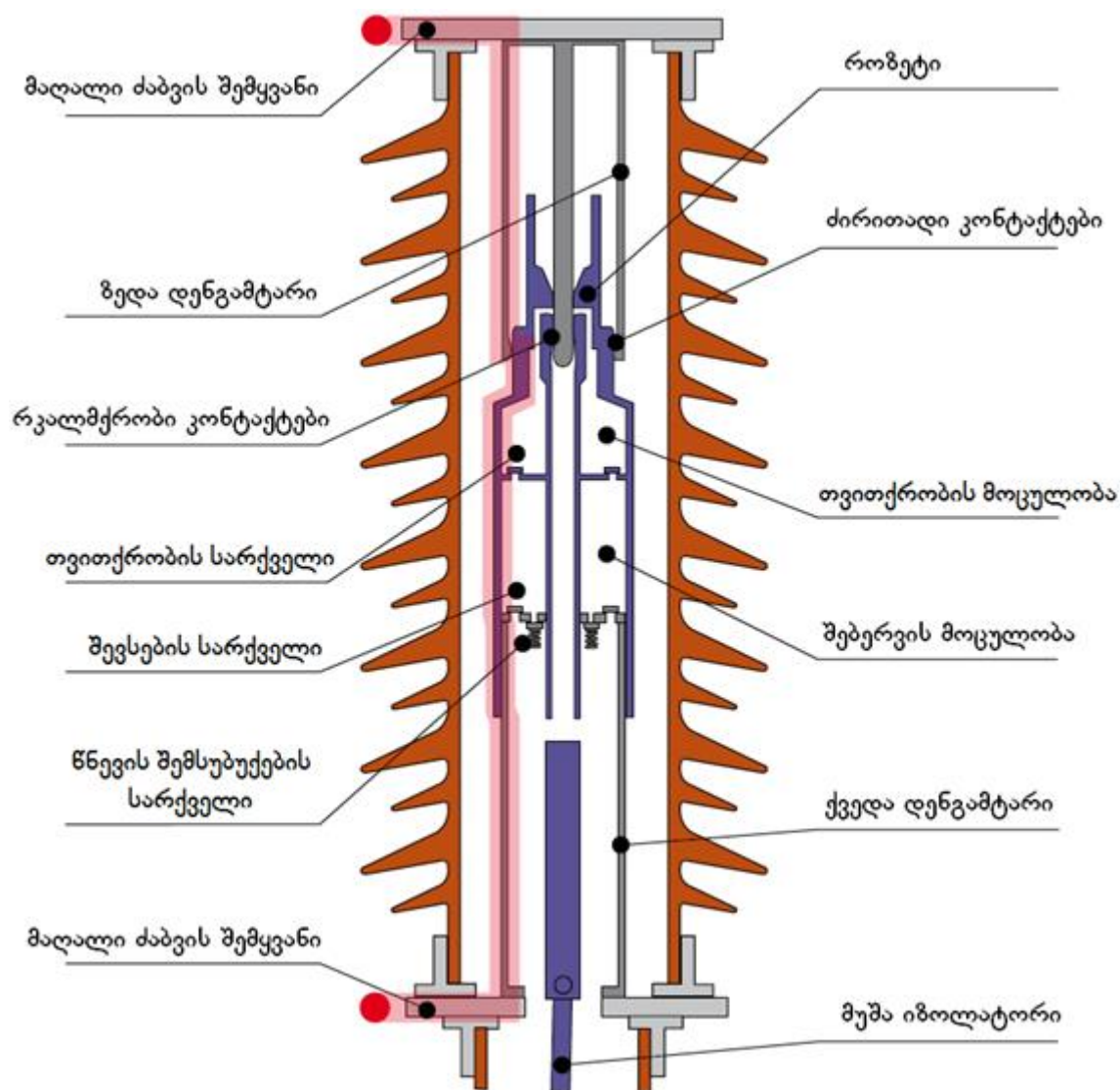
ერთწნევიანი ელევაზური ამომრთველები შეიძლება დაიყოს ავტომატურ და თვითმქრობ ამომრთველებად.

ავტომატური ამომრთველის თავისებურება ის არის, რომ რკალსაქრობი შეხერვისათვის საჭირო წნევის შექმნა ხდება საწნეო ცილინდრის სარქველების გაღებით. წრედის გამორთვის ოპერაციის დროს, კონტაქტების ამოძრავებისთანავე, იწყება აირის დაჭირხვნა. დაჭირხნული აირი წნევით შეუხერავს საიზოლაციო როზეტში, რომელშიც რკალი ანთია.



6.22

თვითმქრობი ელექტრონული ამომრთველები. ჩვეულებრივ, ავტოშემხერ ამომრთველში ჩაქრობისთვის საჭირო წნევას ქმნის ამძრავი მოწყობილობა, რომელსაც მოძრაობაში მოჰყავს ცილინდრული ძირითადი კონტაქტები და სადაწნეო მოცულობას ამცირებს. მაგრამ ამ პროცესს საკმაოდ დიდი ენერგია სჭირდება, რათა კონტაქტების მოძრაობისას გადალახული იქნას სადაწნეო მოცულობაში დაჭირხნული ელექტრული წინააღმდეგობა. ამიტომ ასეთი ამომრთველებისათვის საჭიროა საკმაოდ მძლავრი ჰიდრავლიკური, პნევმატური ან ზამბარიანი ამძრავი მოწყობილობები. იდეალური ვითარება იქნებოდა თუკი თვითონ რკალი შექმნიდა წნევას, ამ შემთხვევაში ამძრავი მოწყობილობის ენერგია დაიხარჯებოდა მხოლოდ კონტაქტების გადაადგილებაზე. თუმცა მაღალ ძაბვაზე ასეთი სიტუაციის შექმნა შეუძლებელი იქნებოდა მცირე დენების გამორთვისას, რადგან ამ დროს მხოლოდ შეზღუდული სიდიდის წნევა წარმოიქმნება, რომელიც საკმარისი არ იქნებოდა რკალის ჩასაქრობად. აღნიშნული პრობლემა გადალახულია ისეთ თვითმქრობ ამომრთველში, სადაც წინასწარ არის წნევა შექმნილი. აღნიშნული ტიპის ამომრთველების მოქმედებისას განხორციელებულია ენერგიის ეკონომია, ავტოშემხერ ამომრთველებთან შედარებით.

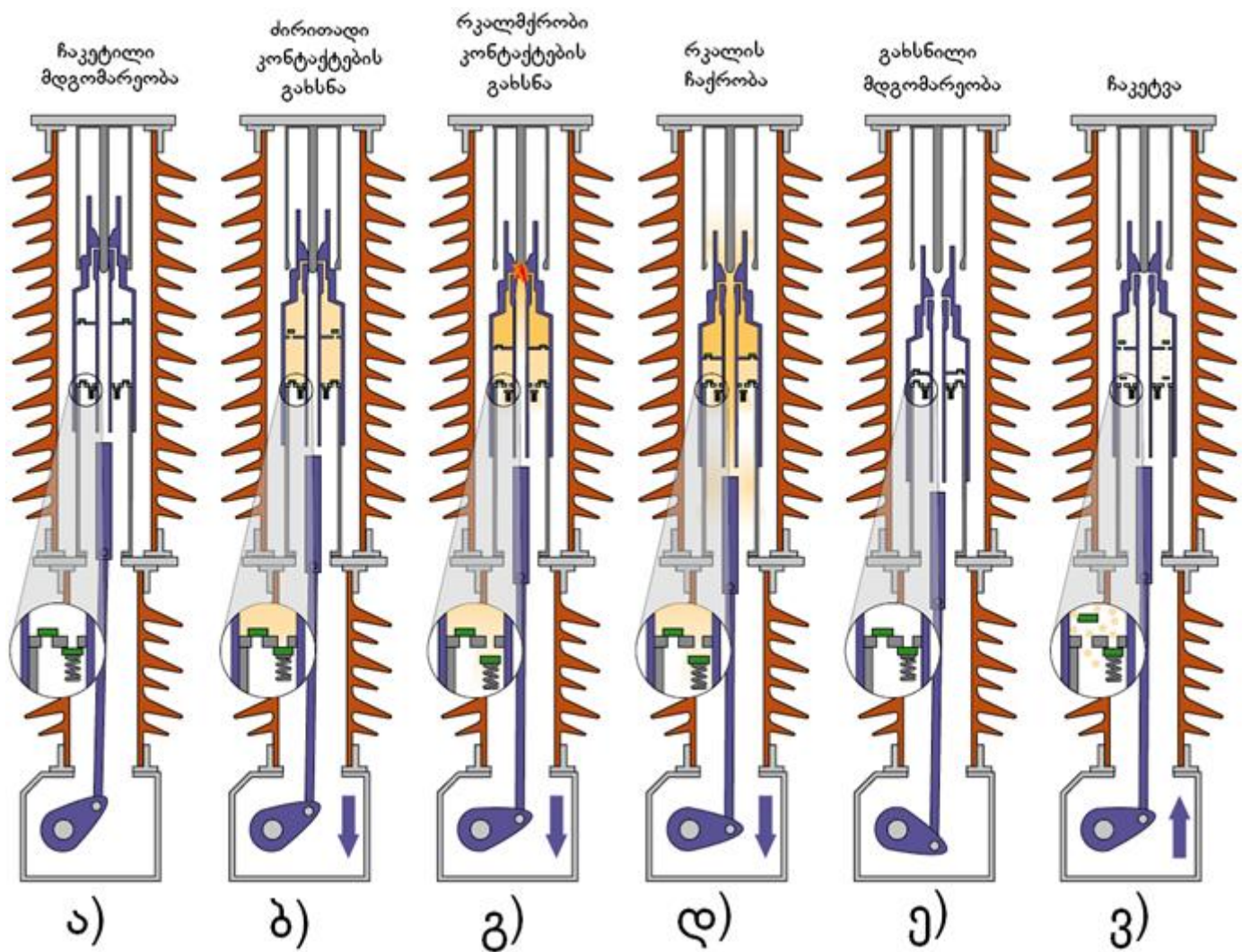


ნახ. 6.23.

ABB-ის ფირმის

თვითმქრობი ელევგაზური ამომრთველის ძირითადი ნაწილები.

ღია წითელი ფერით აღნიშნულია დენის გავლის გზა



ნახ. 6.24

თვითმქრობ ამომრთველში მცირე დენებით გამოწვეული რკალის ქრობა ხდება წინასწარ დაგვროვებული წნევის ხარჯზე. ვინაიდან ასეთი რკალი დენის სიმცირის გამო შედარებით სუსტია, ელევამის მცირე წნევაც საკმარისია მის ჩასაქრობად. დიდი დენების წყვეტისას წარმოქმნილი რკალის ქრობა კი ხდება უშუალოდ იმ ენერგიის ხარჯზე, რომელიც წარმოიქმნება რკალის მიერ ელევამის გახურებით და წნევის აწევით.

ნახ. 6.23-ზე მოყვანილი თვითმქრობი ამომრთველის მოქმედება შეიძლება პირობითად დავყოთ ნახ. 6.24-ზე ნაჩვენებ შემდეგ მდგომარეობებად:

ა) ჩაკეტილი მდგომარეობა. დენი გადის ძირითადი კონტაქტების გზით;

ბ) ძირითადი კონტაქტების გახსნა. მოძრავი კონტაქტები იწევენ ქვედა მიმართულებით მოძრაობას და ძირითადი კონტაქტები იხსნება. წნევა იზრდება როგორც დაწნევის, ასევე თვითქრობის მოცულობებში. დენი გადაერთვება რკალმქრობ კონტაქტებზე.

გ) რკალმქრობი კონტაქტების გახსნის შემდეგ მათ შორის წარმოიქმნება რკალი. რკალის სიმხურვალე იწვევს წნევის გაზრდას თვითქრობის მოცულობაში. როდესაც ამ მოცულობაში წნევა მეტი გახდება, ვიდრე დაწნევის მოცულობაში, მაშინ მათ შორის არსებული თვითქრობის სარქველები დაიხურება (თუკი გასაწყვეტი დენი მცირეა, მაშინ მისი წყვეტისას წარმოქმნილი სუსტი რკალი ვერ ქმნის საკმარის სითბოსა და წნევას, ამიტომ თვითქრობის სარქველები არ ჩაიკეტება და თვითმქრობი ამომრთველი მუშაობს, როგორც ავტოშემხერი ამომრთველი).

დ) რკალის ჩაქრობა. დენი გადავა ნულზე, ელევგაზი თვითქრობის მოცულობიდან დაუბერავს როზეტის გასწვრივ, გააცივებს რკალს და მას ჩააქრობს. დაწნევის მოცულობაში დაგროვებული წნევის ნაჭარბი ქრება წნევის შესუსტების სარქველების გახნით.

ე) კონტაქტების სრული გაღების მიღწევისას მათ მოძრაობას ანელებს და მერე სულ აჩერებს ამძრავი მოწყობილობა;

ვ) კონტაქტების შეკვრისას დაწნევის მოცულობა კლავ შეივსება გაზით და მზად იქნება ხელახალი ოპერაციის განხორციელებისათვის.

დამინებულავზიანი ელევგაზური ამომრთველი, ABB-ის წარმოების, ნომინალური ძაბვით 800 კვ, ნომინალური მუშა დენით 5 კა და ნომინალური ამორთვის დენით 63 კა, მოცემულია ნახ. 6.25-ზე. ამ ძაბვაზე დამინებულავზიან ამომრთველებს გააჩნიათ ცალფაზა შესრულება. შესაბამისი გაბარიტები და დაშორებები მოცემულია ნახ. 6.26-ზე. ამომრთველის გაღვანზებული ფოლადის ავზში მოთავსებულია მიმდევრობით შეერთებული სამი ავტოშემბერი 2 პერიოდიანი რკალმქრობი კამერა. ასეთი ამომრთველების მუშაობა თითქმის იგივე პრინციპზეა დამყარებული, რაც ძაბვის ქვეშ მყოფი ავტოშემბერი ელევგაზური ამომრთველებისა და მათთან შედარებით გააჩნიათ შემდეგი უპირატესობები:

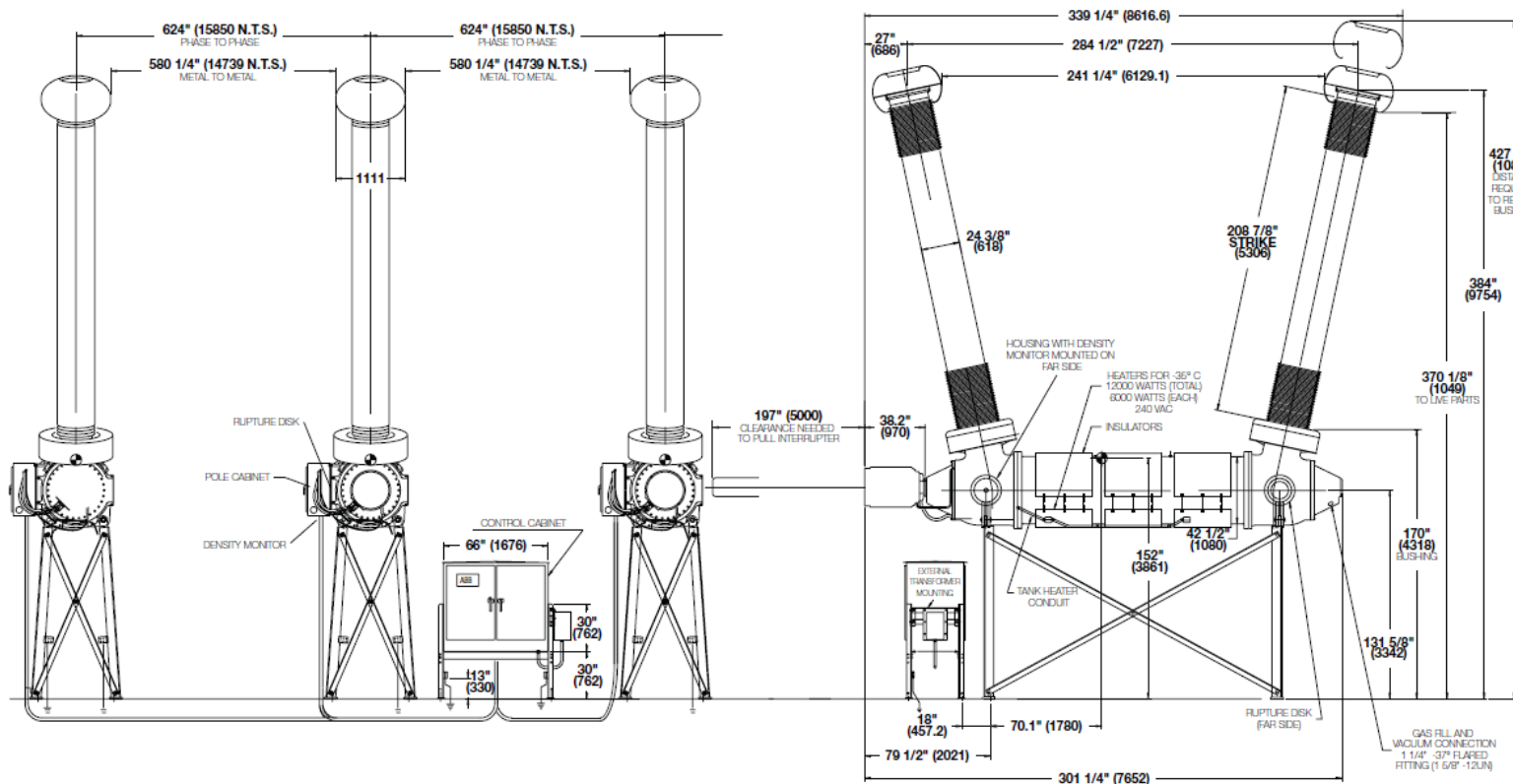
- ავზშია ინტეგრირებული ამძრავი მოწყობილობა;
- ავზზეა დამაგრებული დენის ტრანსფორმატორი, რაც მისი რემონტის და გამოცვლის საშუალებას იძლევა, ამომრთველის გამოურთავად;
- ავზზეა, ასევე, დამაგრებული ელევგაზის წნევის მაჩვენებელი;
- გაადვილებულია ნებისმიერ დეტალამდე მიღწევა, რევიზია, გამოცვლა და რემონტი



ნახ. 6.25.

ABB-ის ფირმის

800 კვ ძაბვის ცალფაზა შესრულების დამინებულავზიანი ელევგაზური ამომრთველი

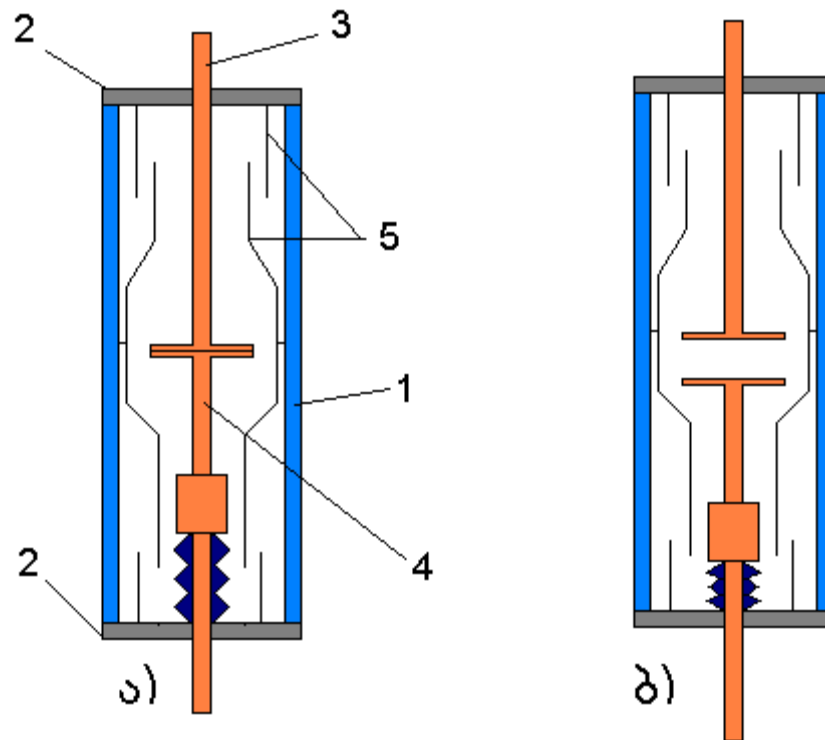


ნახ. 6.26.

800 კვ ძაბვის ცალფაზა ამომრთველებისაგან შემდგარი სამფაზა შესრულების დამინებულაგზიანი ელექტრონული ამომრთველის გაბარიტები

6.2.7 ვაკუუმური ამომრთველები

ზოგადი ცნობები. ვაკუუმურ ამომრთველებს გააჩნიათ დიდი უპირატესობა სხვა ამომრთველებთან შედარებით. ეს განპირობებულია ვაკუუმის განსაკუთრებით ძლიერი დიელექტრიკული და რკალის მფანტავი მახასიათებლებით. ვინაიდან ვაკუუმში არ არსებობს მუხტის გადამტანი, ამიტომ ვერ იარსებებს დენიც. ამრიგად, ვაკუუმის ელექტრული სიმტკიცე გაცილებით მაღალია ნებისმიერი აირის ელექტრულ სიმტკიცეზე. ვაკუუმური გარემოს გარღვევა შესაძლებელია მხოლოდ კონტაქტებიდან ელექტრონების „ამოგლეჯვის“ ხარჯზე, რასაც ძალიან მაღალი ძაბვა სჭირდება.



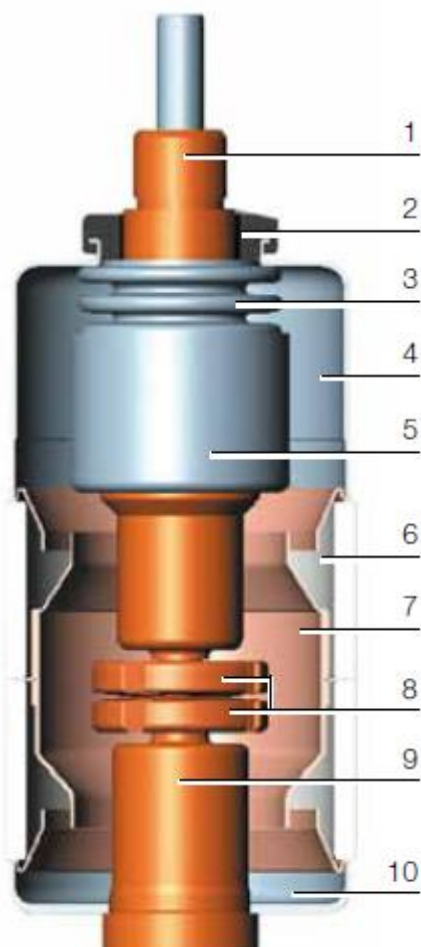
ნახ. 6.27. ვაკუუმური ამომრთველის კონცეპტუალური სქემა.
ა) შეკრული და ბ) გახსნილი კონტაქტებით

ვაკუუმური ამომრთველის რეალქრობი კამერის კონცეპტუალური სქემა მოცემულია ნახ. 6.27-ზე. იგი შედგება მინის ან კომპოზიტური მასალებისგან შესრულებული კორპუსისგან - 1, რომელშიც ღრმა გაიშვიათება ანუ ვაკუუმი შექმნილი; კორპუსის ზედა და ქვედა მხარეებზე მიდუღებულია ლითონის სახურავები - 2, კამერის კორპუსში მოთავსებულია უძრავი - 3 და მოძრავი - 4 კონტაქტები და სპეციალური ლითონის ეკრანები - 5.

ვაკუუმურ ამომრთველებში რეალის ქრობის პროცესი მიმდინარეობს შემდეგნაირად: 3 და 4 კონტაქტების გახსნის პროცესში მათი შეხების ფართი მცირდება და რაღაც მომენტში შეხებაშია მხოლოდ რამდენიმე წერტილი, რომელთა შორისაც სრული დენი თანაბრად ნაწილდება. დენის სიმკვრივე ამ ადგილებში ძალიან დიდია. შეხების წერტილებში გამოიყოფა სითბოს დიდი რაოდენობა, ლითონი ამ წერტილებში ღნება და ორთქლდება. ლითონის ორთქლი წარმოადგენს ძალიან კარგ გამტარს. კონტაქტებს შორის ინთება რეალი, მაგრამ იგი ქრება როგორც კი დენი გადავა თავის ნულოვან მნიშვნელობაზე. ლითონის ორთქლის კონდენსატი დაილექება ეკრანებზე 5. ამასთან, რეალის ქრობის პროცესში ლითონის ეროზია ძალიან უმნიშვნელოა, ხოლო ვაკუუმური ამომრთველების რეალქრობის უნარი ძალიან დიდი - რამდენიმე ასეული ათასი ჩართვა-გამორთვის შესაძლებლობა.

კონტაქტების შესრულება. ვაკუუმური ამომრთველების კონტაქტებს თავდაპირველად ამზადებდნენ ვოლფრამის მასალისაგან. მის ორთქლს გააჩნია საკმაოდ დიდი წინაღობა. ამის გამო კონტაქტების გახსნისას არ არის გამორიცხული დენი ჩაქრეს თავის ბუნებრივ ნულზე გადასვლამდე. დენის ნაადრევი განწყვეტის შედეგად, წარმოიქმნება გადამეტება, რომელიც დენის დროში ცვლილების პროპორციულია $U \equiv \Delta I / \Delta t$. ვინაიდან ვაკუუმურ ამომრთველში რამდენიმე მიკრო წმ-ში ხდება დენის ჩაქრობა (ანუ $\Delta t \rightarrow 0$), თუკი დენი ნულზე არ ჩაქრა, ანუ ΔI მნიშვნელოვანი სიდიდისაა, მაშინ დიდ გადამეტებას ეწეება ადგილი, რამაც შესაძლოა

ამომრთველი და მის მიერ დასაცავი მოწყობილობებიც კი დააზიანოს. ამიტომ ვოლტფრამის მასალა შეცვლილი იქნა სპილენძითა და ფერომაგნიტური ფოლადით.



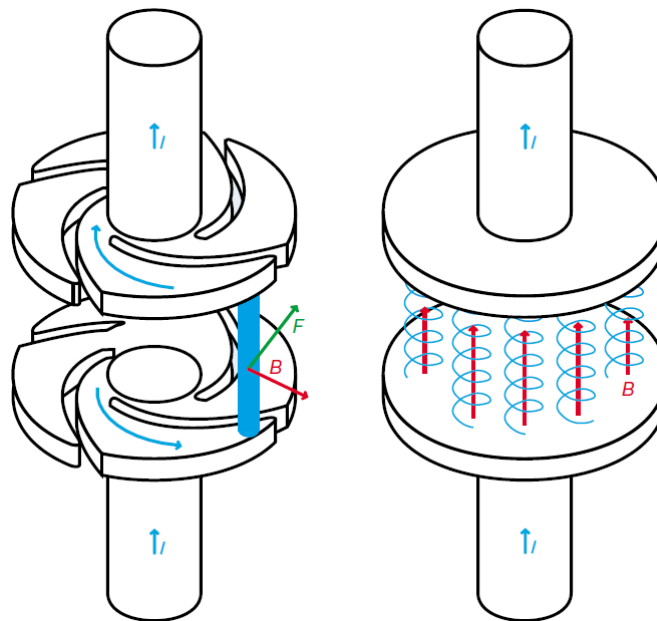
ნახ. 6.28. ABB -ს ფირმის ვაკუუმური ამომრთველების ნაწილები

1 და 9 - მაღალი ძაბვის შემცვანები, 2 - დაგრეხვისაგან დამცავი, 3 - ლითონის სახურავი, 4 და 10 - კორპუსი, 5 და 7 - ეკრანი, 6 - კერამიკური, მინისა ან კომპოზიტური გარსაცმი, 8 - კონტაქტები.



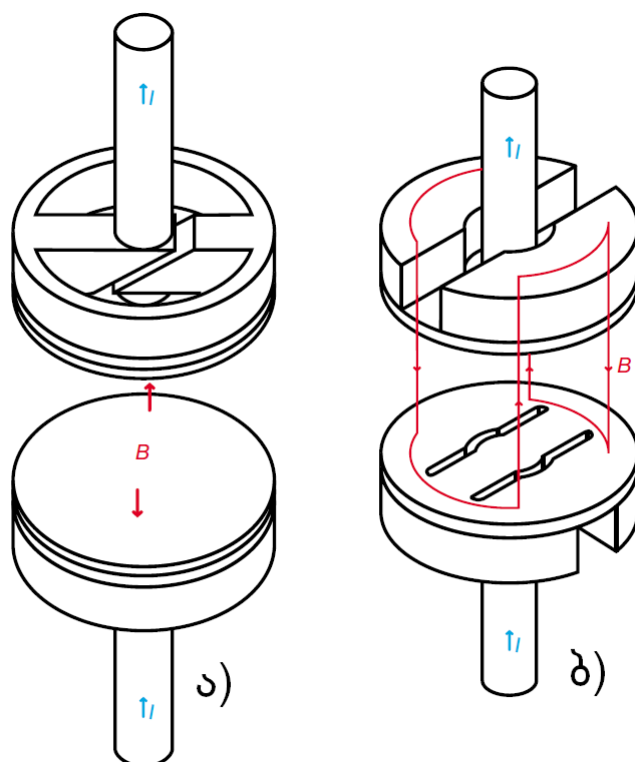
ნახ. 6.29. ABB -ს ფირმის ვაკუუმური ამომრთველები

კონტაქტები რადიალური ველით. განივი ანუ რადიალური ველის შესაქმნელად ძირითადად გამოიყენება სპირალური კონტაქტები (ნახ. 6.30). გაფანტულ მდგომარეობაში რკალის კათოდური ზონები თავისუფლად გადაადგილდება კათოდური ელექტროდის ზედაპირზე, მსგავსად ბრტყელი ზედაპირისა. თუკი ადგილი აქვს დიდი დენის წყვეტას, ამ დენის მიერ შექმნილი მაგნიტური ნაკადი აიძულებს სპირალურ კონტაქტებს შორის წარმოქმნილ რკალს გადაადგილდეს ამ კონტაქტების გასწვრივ 70-150 მ/წმ სიჩქარით, რაც ხდება რკალის სვეტზე დენის მართობულად მოდებული ტანგენციალური (ე.წ. ლორენცის) ძალის გავლენით. რკალი მოძრაობს კონტაქტების ცენტრიდან პერიფერიებისკენ, მცირდება კონტაქტების გაცხელების და ლითონის ორთქლის წარმოქმნის ინტენსიურობა, ბოლოს, რკალიც ქრება.

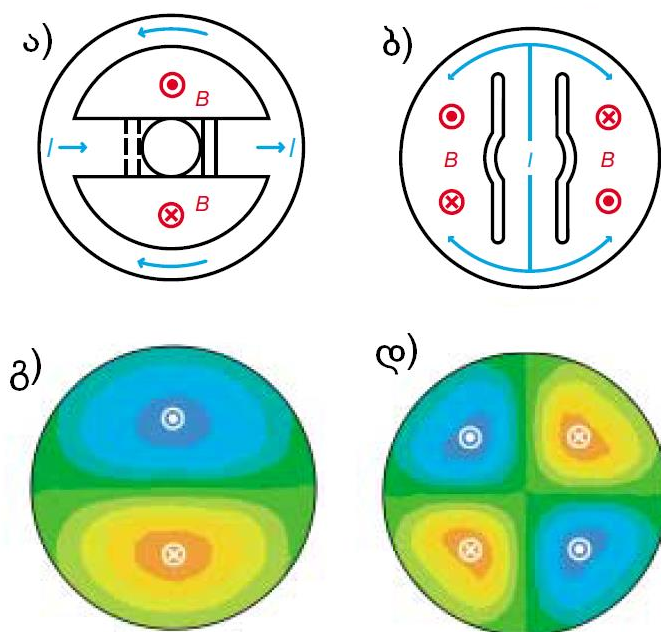


ნახ. 6.30. ABB -ს ფირმის ვაკუუმური ამომრთველების რადიალურ მაგნიტურველიანი ანუ სპირალური (მარჯვნივ) და ბრტყელი (მარცხნივ) კონტაქტები
B - მაგნიტური ნაკადი, F – აზიზტალური ელექტრომაგნიტური ძალა, I - დენი

ბრტყელ ზედაპირიანი კონტაქტების გამოყენების შედეგად, ვაკუუმური ამომრთველების გამორთვის უნარიანობა შეიძლება გაზრდილი იქნას. ამ შემთხვევაში კონტაქტების უკან განლაგებულია კოჭები, რომლებიც ქმნიან დენის პარალელური მიმართულების მქონე მაგნიტურ ველს. კონტაქტების გახსნისას ელექტრონები იწყებენ ბრუნვას მაგნიტური ძალის მიერ შექმნილი ძალის გარშემო, რკალი გადადის გაფანტულ მდგომარეობაში და ელექტროდებისათვის გადაცემული ენერგია მცირდება. ამგვარი კონტაქტების უპირატესობა მდგომარეობს მის შედარებით მარტივ სტრუქტურაში, ხოლო სპირალური კონტაქტების უპირატესობა იმაშია, რომ აქ ჩაკეტილ მდგომარეობაში დენს შეუძლია პირდაპირ კონტაქტების ღერძში გავლა, რაც უზრუნველყოფს ვაკუუმური ამომრთველის დანაკარგების სიმცირეს ნომინალური დენების გატარებისას. გეომატრიული ტიპის კონტაქტების მქონე ვაკუუმურ ამომრთველებს შეუძლიათ 31.5 კა სიდიდის დენის გაწვევით.



ნახ. 6.31. ბიპოლარული (ა) და კვადროპოლარული კონტაქტები (ბ)



ნახ. 6.32. ველის განაწილება ბიპოლარულ (ა), (გ) და კვადროპოლარულ (ბ), (დ) კონტაქტებზე

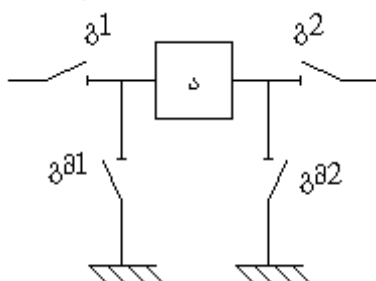
უფრო დიდი დენების გამოსართავად, შემუშავებული იქნა ე.წ. ბიპოლარული და კვადროპოლარული კონტაქტები (ნახ. 6.31 ა, ბ). თითოეული ბიპოლარული კონტაქტის ფირფიტის უკან განლაგებულია კოჭები, რომლებიც საკონტაქტო შუალედში წარმოქმნიან გრძივ (აქსიალურ) მაგნიტურ ველს. ამ შუალედის შუა ნაწილში მაგნიტური ველის სიმჭიდროვე მოცემულია ნახ. 6.32 გ, დ-ზე. კონტაქტის ზედაპირი დაყოფილია ორ ტოლ ნაწილად, რომელთაც საპირისპირო ნიშნის მქონე მაგნიტური ნაკადი განსჯოლავს. ნაკადის სიმკვრივე აღნიშნული ზედაპირების საზღვართან ნულის ტოლია, ხოლო პერიფერიულ ნაწილებთან მნიშვნელოვნად მატულობს.

კვადროპოლარული კონტაქტების შემთხვევაში, ბიპოლარულისგან განსხვავებით, აქსიალური მაგნიტური ველის წარმოქმნისათვის არ გამოიყენება კოჭები. მისი შექმნა ხდება მაგნიტური წრედებისა და საკონტაქტო თევშებში ამოჭრილი ხვრელებით. მაგნიტური წრედები, რომლებშიც გადის ნაკადი, დამზადებულია ფერომაგნიტური მასალისაგან. მაგნიტური პოლუსები იმგვარადაა შესრულებული, რომ ნაკადი ერთი პერიოდის განმავლობაში ოთხჯერ გადაკვეთს საკონტაქტო შუალედს, მაშასადამე, ხდება კვადროპოლარული აქსიალური (ოთხპოლარული გრძივი) მაგნიტური ნაკადის წარმოქმნა. თევშისებრი კონტაქტების ჭრილები, ამ კონტაქტების გახსნისას, აიძულებენ დენის ნაწილს შექმნან ყულფი, რკალის „ფესვების“ კვების მიზნით.

6.3 გამთიშველები

გამთიშველი წარმოადგენს საკომუტაციო აპარატს, რომლის დანიშნულებაც უდენო წრედის ჩართვა-გამორთვა და ხილული წყვეტა-ჩართულობის შექმნა. მას არ გააჩნია რკალმქრობი კამერა და სწორედ ეს არის გამთიშველის ძირითადი განსხვავება ამომრთველისაგან. ამიტომ გამთიშველით დენიანი წრედის გამორთვა ან ჩართვა დაუშვებელია და შეიძლება გახდეს ავარიის განვითარების მიზეზი.

გამთიშველებით ოპერაციების ჩატარების წინ უნდა ვიყოთ დარწმუნებული, რომ მის წრედში მყოფი ამომრთველები ამორთულია. გამთიშველებს, მუშა კონტაქტების (დანების) გარდა, ხშირად აქვთ დამხმარე, დამამინებელი დანები (ნახ.6.33).



ნახ.6.33

მაგალითად, ა ამომრთველის რემონტის ან რევიზიის ჩატარებისათვის ჯერ უნდა ამოირთოს ამომრთველი. ამის შემდეგ ხსნიან გ1 და გ2 გამთიშველებს. უსაფრთხოების წესების თანახმად, დანადგარი, სადაც მუშაობს ხალხი, უნდა იყოს დამინებული. ეს კეთდება გმ1 და გმ2 დამამინებელი დანების მეშვეობით.

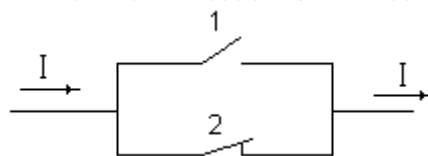
ზემოთქმულის მიუხედავად, არის რამდენიმე გამონაკლისი შემთხვევა, როდესაც ოპერაციები გამთიშველებით დასაშვებია ამომრთველის ამორთვის გარეშე.

1. უქმ სვლაზე მომუშავე ტრანსფორმატორებისა და გადაცემის ხაზების გამორთვა. ამ შემთხვევაში თუკი დენმა რამდენიმე ათეულ ამპერს გადააჭარბა, მაშინ გამთიშველის პოლუსებზე გაჩნდება გრძელი ყულფის ფორმის რკალები, რომელიც შეიძლება ენთოს რამდენიმე ათეული პერიოდის განმავლობაშიც კი. დამინებულ ნაწილებზე რკალის გადასვლის ასაცილებლად, შეზღუდულია გამთიშველების მიერ გამოსართავი ხაზის

სიგრძე და ტრანსფორმატორის სიმძლავრე (იხ. ცხრ). აღნიშნული შეზღუდვები ასევე დამოკიდებულია გამოიშველების კონსტრუქციაზე, ვერტიკალურ ან ჰორიზონტალურ განლაგებაზე, პოლუსებს შორის მანძილზე და გამოსართავი მოწყობილობის ნომინალურ ძაბვაზე;

ნომ. ძაბვა (კვ)	მანძილი პოლუსებს შორის (მ)	დამავნიტების დენი (ა)	ხაზის დამუხტვის დენი (ა)
20 - 35	1.0	2.3	1.0
	2.0	11.0	3.5
110	2.5	8.0	3.0
	3.5	14.5	5.0
150	3.0	2.3	—
	6.0	17.0	—
220	5.0	8.0	—
	6.8	17.0	—

2. გამანაწილებელი მოწყობილობის ერთი სისტემიდან მეორე სისტემაზე გადართვა; ამ შემთხვევაში უნდა არსებობდეს მცირეწინააღმდეგობის პარალელური წრედი, რომ არ მოხდეს დენის წყვეტა გამოიშველით.



ნახ. 6.34

მაგალითად, რაიმე მინაერთის ერთი წრედიდან მეორე წრედზე გადაყვანისას (ნახ. 6.34) ჯერ უნდა ჩაირთოს გამოიშველი-1. გამოიშველი-2-ის დანების გახსნის დროს დენის წყვეტა არ მოხდება. დენს აქვს გზა გამოიშველი-1-ის გავლით. გამოიშველი-2-ის გახსნა არ გამოიწვევს რკალის ანთებას, ვინაიდან მისი დანები იმყოფებიან ერთი და იგივე პოტენციალის ქვეშ.

3. ტრანსფორმატორების ნეიტრალეებისა და რკალმქრობი რეაქტორების გამორთვა, მინაზე მშ-ის არარსებობის პირობებში.

გამოიშველების კონსტრუქცია მარტივია, ასევე მარტივია მათი მუშაობის პრინციპიც. თუმცა, მაღალი ძაბვის დანადგარებში დიდია გამოიშველების რიცხვი და მათ საიმედოობას მუშაობაზე ბევრად არის დამოკიდებული მთელი დანადგარის საიმედოობა. ამიტომ მათი მუშაობის საიმედოობას მეტად მაღალი მოთხოვნები წაყენება. გამოიშველები უნდა აკმაყოფილებდნენ შემდეგ ძირითად მოთხოვნებს:

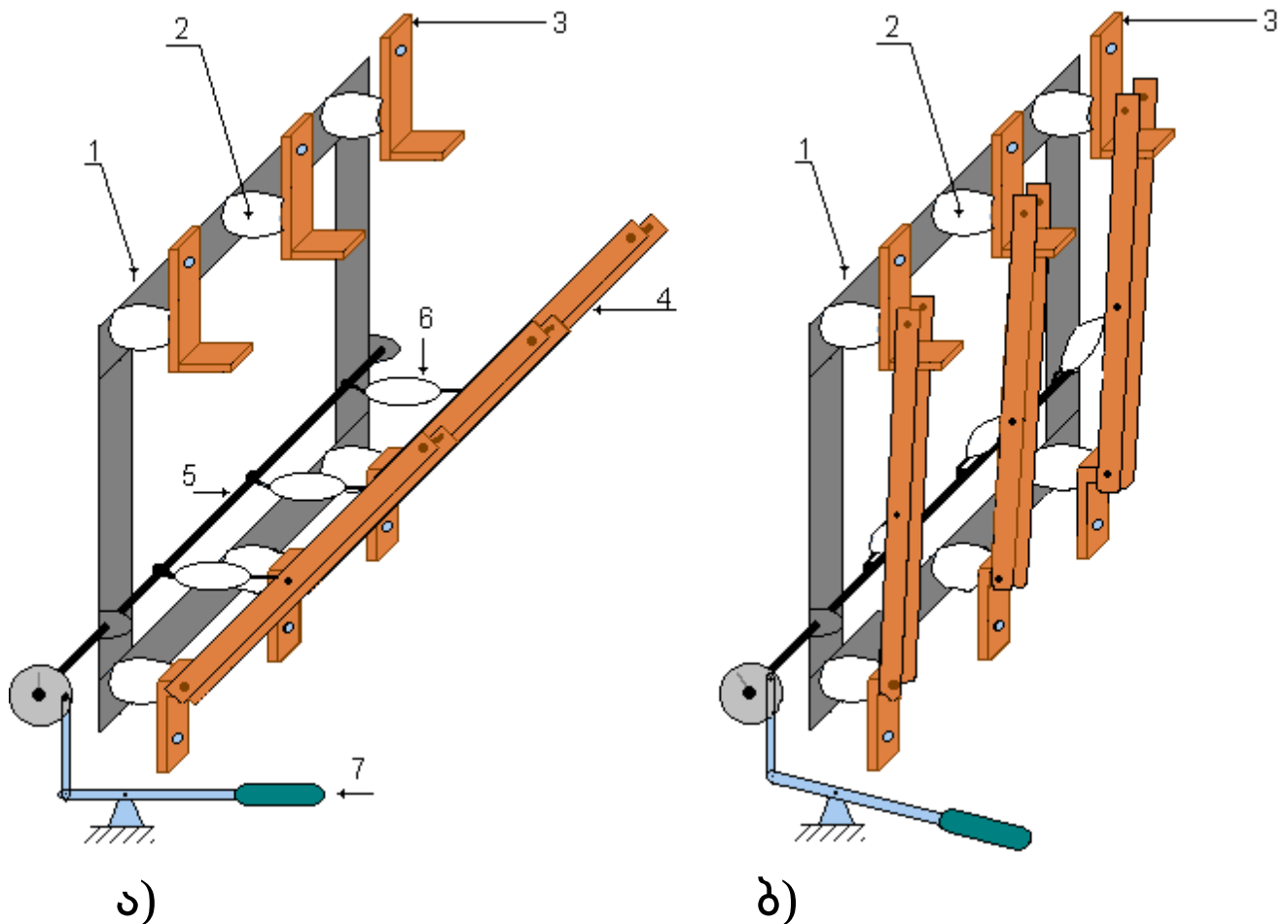
- ისინი უნდა იყვნენ მექანიკურად მედევი;
- მთავარი დანების მიერ ჰაერში შექმნილი წყვეტის ელექტრული სიმტკიცე უნდა სჭარბობდეს მაქსიმალურ იმპულსურ ძაბვას;
- გამოიშველი თერმულად და დინამიკურად მედევი უნდა იყოს გამჭოლი მშ-ს დენების მიმართ;

- მთავარმა დანებმა უნდა უზრუნველყონ საიმედო კონტაქტი მიუხედავად ხელშემშლელი ფაქტორებისა (ქარი, წვიმა, თოვლი, ცინულმოცვა და სხვა);

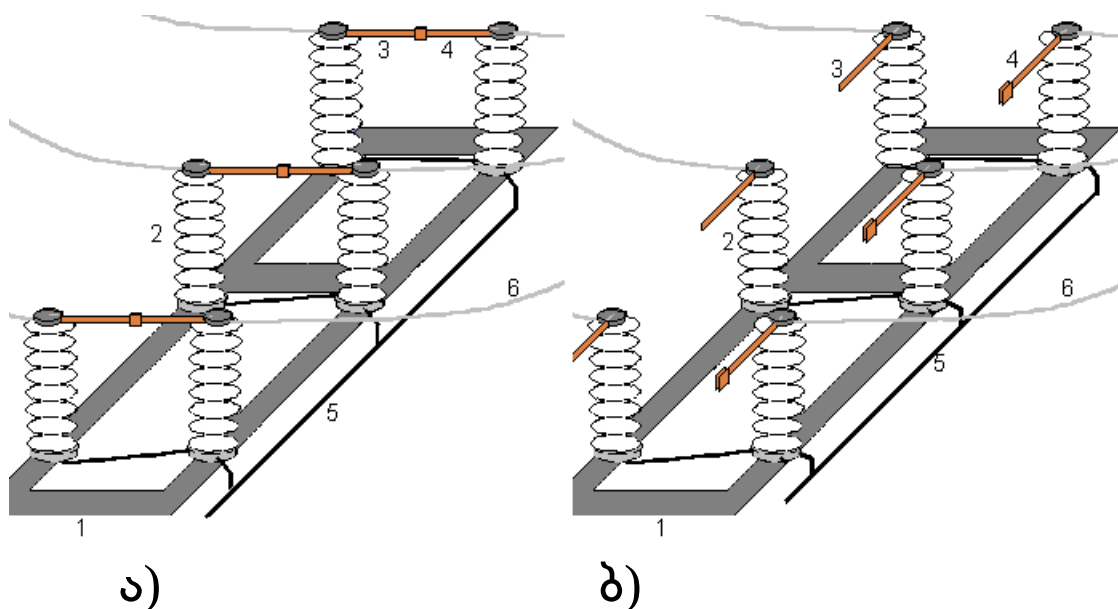
- მთავარი და დამამიწებელი დანები მექანიკურად უნდა იყვნენ დაბლოკირებული ისე, რომ მთავარი დანების ჩართვის შემდეგ შეუძლებელი იყოს დამამიწებელი დანების ჩართვა.

არსებობს სხვადასხვა ტიპის გამთიშველები. ისინი შეიძლება დავყოთ ჯგუფებად შემდეგი ნიშნების მიხედვით: შიგა ან გარე დაყენების; სამ ან ერთპოლუსა; “ მჩეხავი” ან “საბრუნი” დანებით; მგორავი; პენტოგრაფიული ან საკიდი. განვიხილოთ რამდენიმე მათგანი.

ნახ. 6.35-ზე ნაჩვენებია სამპოლუსა გამთიშველი, დანების ვერტიკალური განლაგებით. ლითონის ჩარჩოზე-1 იზოლატორებით-2 დამაგრებულია უძრავი-3 და მოძრავი-4 კონტაქტები. მოძრავი კონტაქტი შედგება ორი დანისაგან, რომლებიც ჩართულ მდგომარეობაში, ზამბარების საშუალებით აწვებიან უძრავ კონტაქტს. გამთიშველის ჩართვა-გამორთვა ხდება სახელურით-7, რომელიც იზოლატორებისა-6 და ღერძის-5 საშუალებით გადასცემს მოძრაობას დანებს.



ნახ. 6.35. ვერტიკალური განლაგების შიგა დაყენების სამპოლუსა გამთიშველი
ა) გახსნილი მდგომარეობა ბ) შეკრული მდგომარეობა,



ნახ. 6.36.

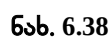
ჰორიზონტალური განლაგების გარე დაყენების სამჰოლუსა გამთიშველი
ა) შეკრული მდგომარეობა ბ) გახსნილი მდგომარეობა

მაღალი ძაბვის შემთხვევაში, კონტაქტებს შორის მანძილი გამორთულ მდგომარეობაში გამოდის დიდი. ამიტომ იყენებენ გამთიშველებს მბრუნავი დანებით. ნახ. 6.36-ზე მოცემულია ჰორიზონტალური განლაგების გარე დაყენების სამჰოლუსა გამთიშველი. გამთიშველის დანები მაგრდება იზოლატორებზე-2, რომლებიც თავის მხრივ ლითონის ჩარჩოზე-1 არიან განლაგებულნი. იზოლატორები, თავის მხრივ, დამაგრებულები არიან ქუროებზე. ქუროები ბერკეტების-5 საშუალებით შეიძლება მოვაბრუნოთ 90 გრადუსით. ამ შემთხვევაში დანები - 3 და 4 მობრუნდებიან ჰორიზონტალურ სიბრტყეში და მოხდება მათი ჩაკეტვა ან გახსნა.

მაღალ ძაბვაზე იყენებენ ჩამოსაკიდ, ე.წ. „პენტოგრაფულ“ გამთიშველებს (ნახ. 6.37). გამთიშველი შედგება იზოლატორზე-1 დამაგრებული კალათისაგან-2, რომელზედაც მიერთებულია სადენი-7. ეს უძრავი კონტაქტია. მოძრავი კონტაქტის როლს ასრულებს ლუბა-9. ლუბა ჩამოკიდებულია იზოლატორების გირლანდაზე-4. გირლანდის აწევა-დაწევა ხდება ბაგირის-5 საშუალებით. ამისათვის გათვალისწინებულია ამძრავი მექანიზმი-8. ჩართულ მდგომარეობაში ლუბა-9 თავსდება კალათში-2. მოძრავი კონტაქტი აღჭურვილია ტვირთით, რაც უზრუნველყოფს მათ საიმედო შეკრულობას.



პენტოგრაფული გარე დაყენების ერთპოლუსა გამოთიშველი
ა) გახსნილი მდგომარეობა ბ) შეკრული მდგომარეობა

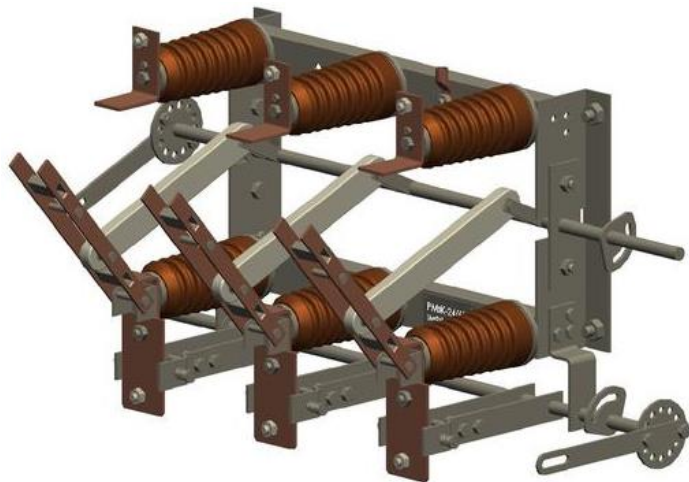


ჰორიზონტალურად განლაგებული გამთიშველი, ჰორიზონტალურად მბრუნავი დანებით



ნახ. 6.39

ჰორიზონტალურად განლაგებული
გამთიშველები, ვერტიკალურად
მოძრავი დანები



ნახ. 6.40

ვერტიკალურად განლაგებული გამთიშველები



ნახ. 6.41

ორმაგი გამთიშველი
შეკრულ მდგომარეობაში



ნახ. 6.42

ორმაგი გამთიშველი
გახსნილ მდგომარეობაში



ნახ. 6.43

ჰორიზონტალურად განლაგებული
გამთიშველები სიმეტრიული
დანებით



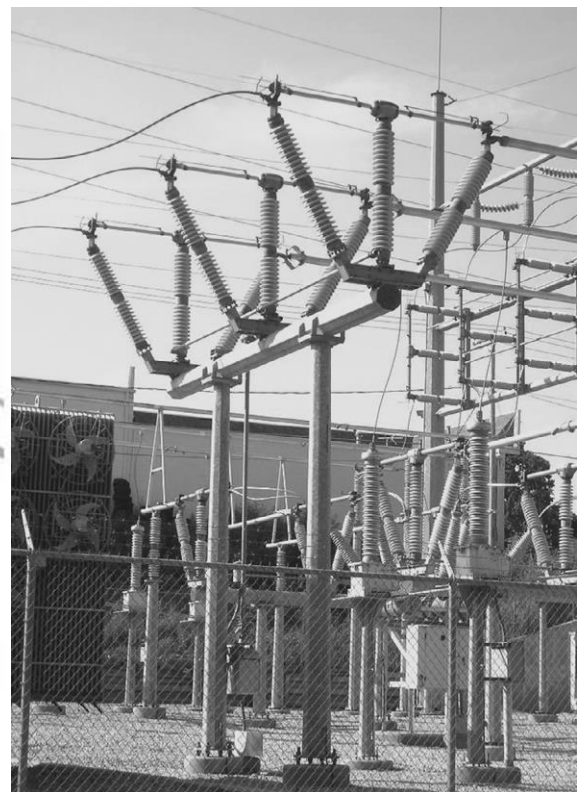
ნახ. 6.44

ჩამოკიდებული გამთიშველები



ნახ. 6.45

V-სებური გამთიშველები



ნახ. 6.46

ორმაგი V-სებური გამთიშველები

6.4 რეაქტორები

რეაქტორი წარმოადგენს სტატიკურ ელექტროტექნიკურ მოწყობილობას, რომელსაც გააჩნია დიდი ინდუქციურობის მქონე კოჭა და რომლის დანიშნულებაცაა დენის შეზღუდვა, მისი ფორმის გაგლეჯება ან ძაბვის შეზღუდვა. დენშემზღუდი და მაგლუვებელი რეაქტორები ირთვება დენის შესაზღუდი ქსელის მიმდევრობით, ხოლო ძაბვის შემზღუდი ანუ შუნტური რეაქტორი - შესაზღუდი ძაბვის სალტესა და მიწას შორის. არსებობს შემდეგი ტიპის რეაქტორები:

- მოკლე შერთვის დენშემზღუდი რეაქტორები;
- რკალმქრობი რეაქტორები ანუ პეტერსონის კოჭები;
- დენის მაგლუვებელი რეაქტორები;
- მაღალი ძაბვის შემზღუდი ანუ მაშუნტებელი რეაქტორები;

თითოეული რეაქტორის დანიშნულება, მოქმედების პრინციპი და კონსტრუქციული თავისებურებები განხილული იქნება შემდეგ ქვეთავებში.

6.4.1 მოკლე შერთვის დენშემზღუდი (მშდშ) რეაქტორი

ამ რეაქტორის დანიშნულებაა მშ დენების შეზღუდვა და ძაბვის გარკვეულ დონეზე შენარჩუნება, რეაქტორებს მიღმა მშ დროს.

მშდშ რეაქტორი წარმოადგენს ინდუქციურ კოჭას, რომელსაც არ გააჩნია მაგნიტური მასალისაგან დამზადებული გულარა. ამიტომ მისი ინდუქციური წინაღობა მუდმივი სიდიდისაა და არ არის დამოკიდებული მშდშ რეაქტორში გამავალ დენზე.

მშდშ რეაქტორი შეიძლება ჩართული იქნას გადაცემის ხაზთან მიმდევრობით, საგენერატორო სალტესა და საკუთარ მომხმარებელს შორის და მცირე სიმძლავრის გენერატორებს შორის.

რეაქტორის ძირითადი პარამეტრია მისი ინდუქციური წინაღობა $X_{\sigma} = \omega L$, სადაც L არის სამფაზა რეაქტორის კოჭის ეკვივალენტური ინდუქციურობა. ეს სიდიდე დამოკიდებულია რეაქტორის ხვიათა რიცხვზე, კოჭას ზომებზე, კოჭების ურთიერთ განლაგებაზე და ერთმანეთისაგან დაცილებაზე. დამამზადებელი ქარხნები იძლევიან რეაქტორების ნომინალური ძაბვის $U_{\text{ნომ}}$ (ვ), დენის $I_{\text{ნომ}}$ (ა) და წინაღობის X_{σ} (ომი) სიდიდეებს.

რეაქტორის ნომინალური წინაღობა, არარეალური, საანგარიშო სიდიდეა და მიიღება ნომინალური ძაბვითა და დენით, ანუ

$$Z_{\text{ნომ}} = \frac{U_{\text{ნომ}}}{\sqrt{3}I_{\text{ნომ}}}$$

მაშინ ნომინალური წინაღობის მიმართ, რეაქტორის ფარდობითი წინაღობა, გამოსახული პროცენტებში, იქნება:

$$X_{\sigma} \% = \frac{X_{\sigma}}{Z_{\text{ნომ}}} \cdot 100\% = X_{\sigma} \frac{\sqrt{3}I_{\text{ნომ}}}{U_{\text{ნომ}}} \cdot 100\% \quad (6.2)$$

რაც უფრო დიდი იქნება რეაქტორის წინაღობა, მით უფრო ნაკლები იქნება მშ დენი. მაგრამ, ამავე დროს, რეაქტორის წინაღობის ზრდასთან ერთად, იზრდება მასზე ძაბვის ვარდნის

სიდიდე ნორმალურ რეჟიმში, რაც უარყოფითად იმოქმედებს მომხმარებლების ნორმალურ მუშაობაზე. ამიტომ რეაქტორის წინალობის სიდიდეს ისეთს აიღებენ, რომ მასზე ძაბვის ვარდნის სიდიდემ არ გადააჭარბოს ნომინალური ძაბვის $1.5 \div 2\%$ -ს.

რეაქტორის დანიშნულების ილუსტრირებისათვის განვიხილოთ ნახ. 6.47-ზე მოყვანილი სქემები. ნახ. 6.47-ა-ზე მოცემულია ელექტროდანადგარის სქემა, რომლის ერთ-ერთ ხაზში ამომრთველის შემდეგ დაყენებულია რეაქტორი. დავუშვათ, ამ სქემის K_1 წერტილში მოხდა სამფაზა მშ. მშ დენის სიდიდე, ძირითადად, გენერატორის წინალობით იქნება განპირობებული.

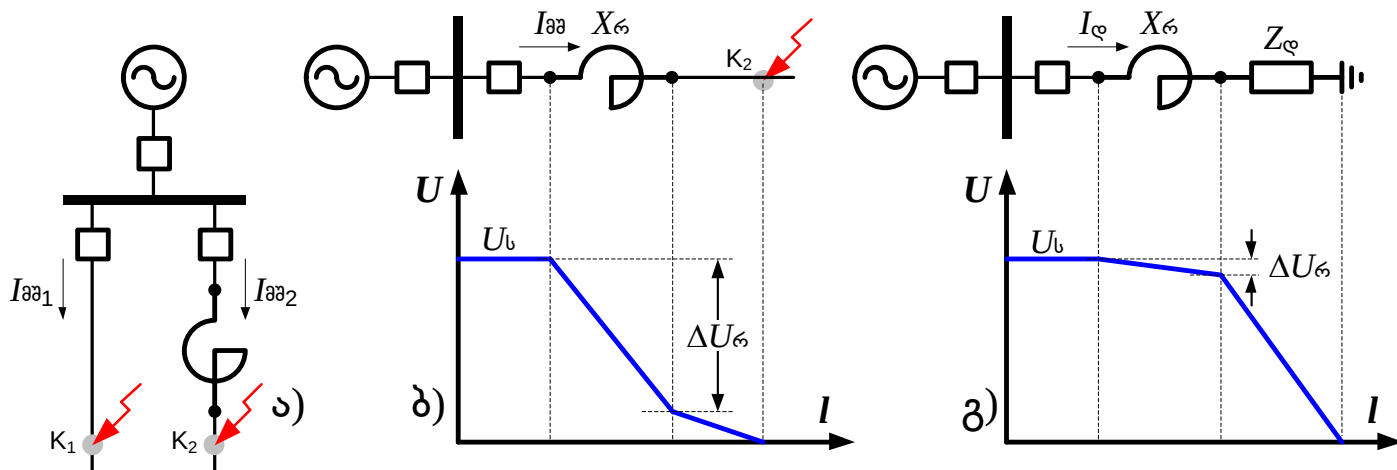
$$I_{\text{მშ1}} = \frac{E''}{\sqrt{3}X_d''} \approx \frac{U_{\text{ნომ}}}{\sqrt{3}X_{\text{გ}}} \quad (6.3)$$

სადაც

$U_{\text{ნომ}}$ = დანადგარის ნომინალური ძაბვა;

$X_{\text{გ}} = X_d''$ გენერატორის ზეგარდამავალი წინალობა;

E'' = გენერატორის ზეგარდამავალ ემძ-ია, რომელიც დაახლოებით ნომინალური ძაბვის ტოლია.



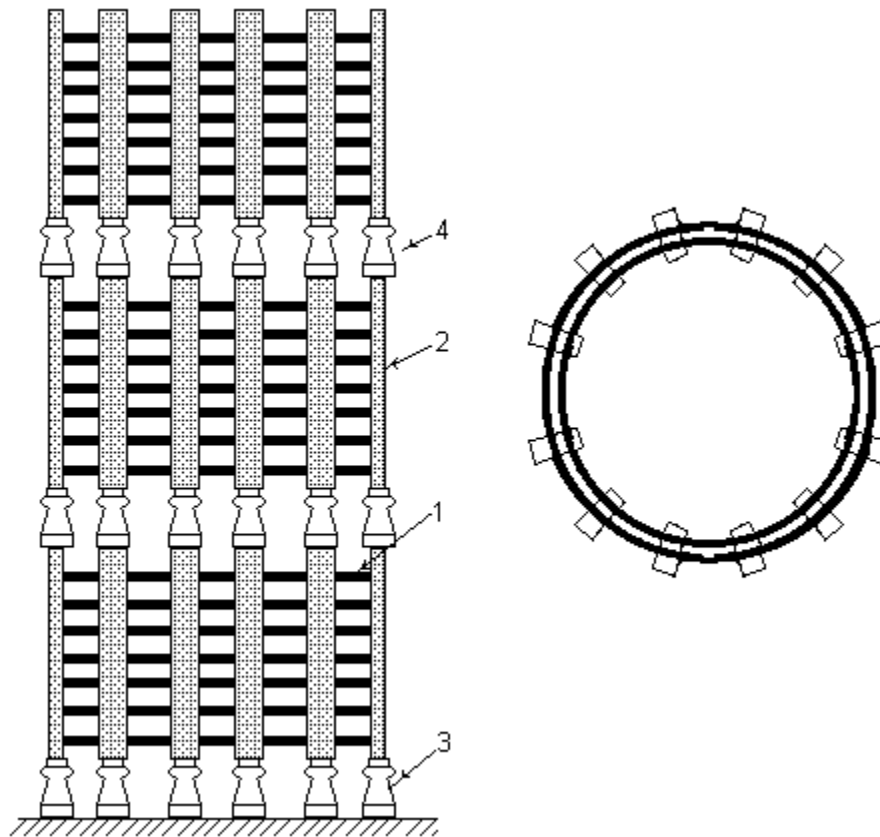
ნახ.6.47

თუ მშ მოხდა K_2 წერტილში, ე.ი. რეაქტორის მიღმა, მაშინ მშ დენი ტოლი იქნება

$$I_{\text{მშ2}} = \frac{U_{\text{ნომ}}}{\sqrt{3}(X_{\text{გ}} + X_{\text{რ}})} \quad (6.4)$$

სადაც $X_{\text{რ}}$ რეაქტორის წინალობაა. მეორე შემთხვევაში მშ დენი გაცილებით ნაკლები იქნება, ვინაიდან რეაქტორის წინალობა ისეა შერჩეული, რომ ის ბევრად სჭარბობს გენერატორის წინალობას. ნახ. 6.47-ბ და ნახ. 6.47-გ-ზე, ნაჩვენებია ძაბვის განაწილება რეაქტორიან წრედში მოკლე შერთვისა და ნორმალურ რეჟიმებში. იმის გამო, რომ რეაქტორის წინალობა ბევრად სჭარბობს გენერატორის წინალობას $X_{\text{რ}} \gg X_{\text{გ}}$, ძაბვის ვარდნა რეაქტორზე დიდია, ხოლო ძაბვა სალტეებზე უახლოვდება ნომინალურს. ეს ამცირებს მშ-ის უარყოფით გავლენას იმ მომხმარებლებზე, რომლებიც იკვებებიან იგივე სალტეებიდან. ნორმალურ რეჟიმში ძაბვის ვარდნა რეაქტორზე მცირეა (ნახ. 6.47-გ), რადგან ძაბვის ვარდნა მთლიანად მოდის დატვირთვაზე. ეს იმით, რომ დატვირთვის სრული წინალობა ბევრად აღემატება რეაქტორის წინალობას: $Z_{\text{დ}} \gg X_{\text{რ}}$.

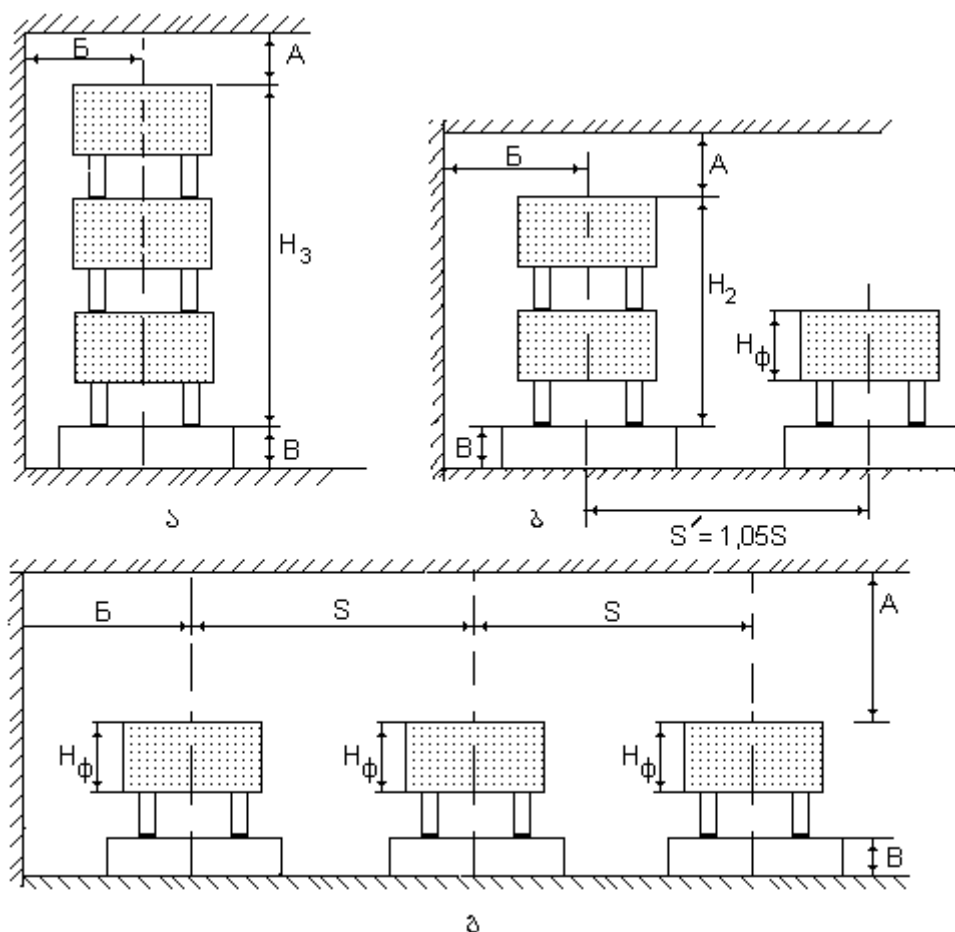
მოკლე შერთვის დენის შემზღუდი რეაქტორი შესდგება სამი ერთნაირი კოჭისაგან. გავრცელებულია ეგრეთწოდებული ბეტონის რეაქტორები, რომლებსაც მშრალი იზოლაცია და ბეტონის კარკასი აქვთ. ბეტონის რეაქტორის სამივე ფაზა ნაჩვენებია ნახ.6.48-ზე.



ნახ. 6.48
დენშემზღუდი რეაქტორის კონსტრუქცია

რეაქტორის გრაგნილს-1 ამზადებენ სპილენძის ან ალუმინის მრავალძარღვა იზოლირებული სადენისაგან. იმისათვის, რომ გრაგნილებს ჰქონდეთ მექანიკური სიმტკიცე, მათ ათავსებენ განსაკუთრებულ ფორმაში და ამ უკანასკნელს ავსებენ ცემენტის ხსნარით. ცემენტის გამაგრების შედეგად მიღებულ ღეროებს-2 ღებავენ და რეაქტორის კოჭას აყენებენ ფაიფურის იზოლატორებზე-3 და 4. რეაქტორის ფაზები შეიძლება დაყენდნენ ვერტიკალურად, საფეხურებად ან ჰორიზონტალურად (ნახ.6.49).

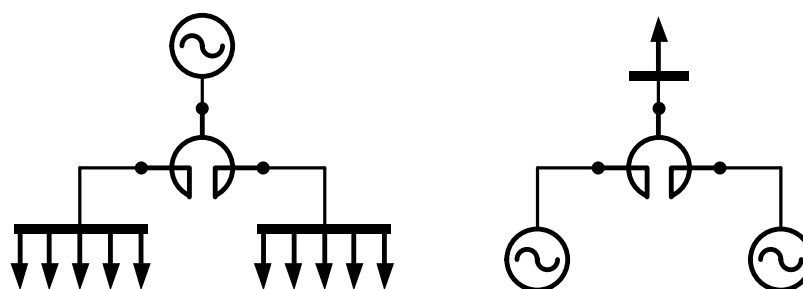
შენობაში რეაქტორების დაყენებისას, შენობის რკინაბეტონის კონსტრუქციები უნდა დავიცვათ რეაქტორების მიერ შექმნილი მაგნიტური ველისაგან. ეს ველი კონსტრუქციებში დააინდუქტირებს დენებს და გამოიწვევს სიმძლავრის დანაკარგებს, რაც გაახურებს მათ. ამიტომ დამამზადებელი ქარხნები ცნობარებში იძლევიან მინიმალურ დასაშვებ ზომებს A, B და B (ნახ. 6.49). სამუშაო რეაქტორის ელექტროდინამიკური მედეგობის უზრუნველყოფისათვის კი ცნობარებში მოცემულია S და H_{Φ} ზომების მინიმალური სიდიდეები.



ნახ.6.49

დენუმზღული რეაქტორების შესაძლო განლაგების ვარიანტები
ა-ვერტიკალური, ბ-საფეხურებრივი, გ-ჰორიზონტალური

გარდა ზემოთ აღწერილი რეაქტორებისა, რომლებსაც ერთმანე რეაქტორებს უწოდებენ, გამოიყენება გაორმაგებული რეაქტორები. ერთმაგი რეაქტორისაგან განსხვავებით, გაორმაგებული რეაქტორის ერთი ფაზა შედგება ორი კოჭისაგან. ეს კოჭები ერთი მიმართულებითაა დახვეული და ისინი ჩართული არიან თანხვედნილად. გაორმაგებულ რეაქტორებს აქვთ სამი გამომყვანი: ორი ნაპირა და ერთი შუა. რეაქტორის ნომინალურ დენად მიღებულია ერთი კოჭის ნომინალური დენი. შუა გამომყვანი გათვლილია ორმაგ ნომინალურ დენზე. გაორმაგებული რეაქტორის გამოყენებისას ენერგიის წყაროს მიაერთებენ საერთო გამომყვანთან, ხოლო მომხმარებლებს - ნაპირა გამომყვანებთან, ან პირიქით, ნახ.6.50.



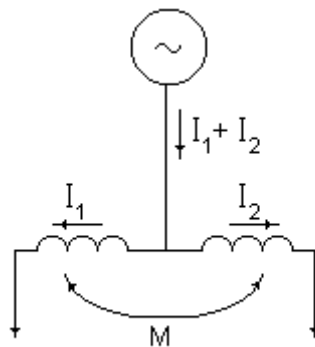
ნახ. 6.50

ორმაგ რეაქტორზე გენერატორებისა და მომხმარებლების მიერთების
შესაძლო ვარიანტები

გაორმაგებული რეაქტორის ნომინალურ წინაღობად მიღებულია ერთი მხარის (კოჭის) წინაღობა, მეორე მხარეში დენის არარსებობის დროს. ე.ი. $X_{\phi} = X_{\phi} = \omega L$. სადაც X_{ϕ} - ერთი კოჭის წინაღობაა; L - ერთი კოჭის ეკვივალენტური ინდუქციურობაა, ფაზების ურთიერთინდუქციურობის მხედველობაში მიღებით.

გაორმაგებული რეაქტორის თავისებურებებს განსაზღვრავს ერთი ფაზის ორ კოჭს შორის მაგნიტური კავშირის არსებობა. ეს კავშირი განისაზღვრება M ურთიერთინდუქციით. თუ რეაქტორს ჩავრთავთ ნახ. 6.51-ზე ნაჩვენები სქემით და მხედველობაში არ მივიღებთ კოჭების აქტიურ წინაღობებს, მაშინ ძაბვის ვარდნა რეაქტორის ერთ მხარეში, ურთიერთინდუქციის მხედველობაში მიღებით, განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$\Delta U_{\phi} = I_1 \omega L - I_2 \omega M \quad (6.5)$$



ნახ. 6.51

ნორმალური რეჟიმის დენები ორმაგ რეაქტორში

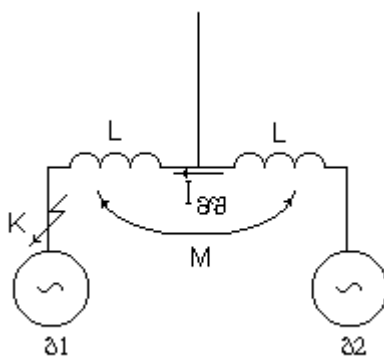
რეაქტორის ექსპლუატაციის დროს მიზანშეწონილია გაორმაგებული რეაქტორების მხრების თანაბარი დატვირთვა. თუ $I_1 = I_2 = I$, მაშინ

$$\Delta U_{\phi} = I \omega L (1 - K_{\phi}) = I X_{\phi} (1 - K_{\phi}) \quad (6.6)$$

სადაც $K_{\phi} = M / L$ არის რეაქტორის მხარეებს შორის კავშირის კოეფიციენტი. იგი ყოველთვის ნაკლებია ერთზე და, ჩვეულებრივ, უდრის $0.4 \div 0.6$ -ს.

დავუშვათ, $K_{\phi} = 0.5$, მაშინ $\Delta U_{\phi} = 0.5 I X_{\phi}$. ნორმალურ რეჟიმში გაორმაგებული რეაქტორის მხარეებზე ძაბვის ვარდნა ორჯერ ნაკლებია იმ ძაბვის ვარდნასთან შედარებით, რომელსაც ადგილი ექნება იმავე წინაღობის მქონე ერთმაგ რეაქტორზე.

განვიხილოთ გაორმაგებული რეაქტორის მუშაობა მშ-ის რეჟიმში. თუ მშ მოხდა რეაქტორის ერთი მხარის მიღმა, მაშინ ამ მხარეში დენი ბევრჯერ გადააჭარბებს მეორე მხარის დენს. ამის გამო დაზიანებულ მხარეში ძაბვის ვარდნა ძირითადად განისაზღვრება ამ მხარის წინაღობით და მშ დენის სიდიდით და ტოლი იქნება $\Delta U_{\phi} = I X_{\phi}$. ე.ი. რეაქტორის წინაღობა გაიზარდება ორჯერ ნორმალურ რეჟიმთან შედარებით, რაც შეამცირებს მშ-ის დენის სიდიდეს. თუ გაორმაგებული რეაქტორი ჩართულია ნახ.6.52-ზე ნაჩვენები სქემით, მაშინ ერთ-ერთი გენერატორის მომჭერებზე მშ-ის დროს რეაქტორის წინაღობა კიდევ უფრო გაიზარდება ნორმალურ რეჟიმთან შედარებით.



ნახ.6.52

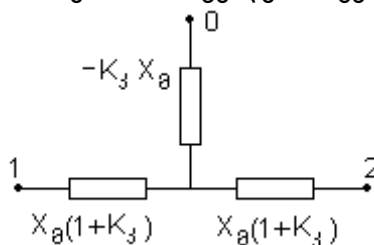
გრძივი მოკლე შერთვის დენი ორმაგ რეაქტორში

ასეთი მშ-ის დროს წარმოქმნილ რეჟიმს გრძივ რეჟიმს უწოდებენ. მშ დენი მხრებში ერთნაირი მიმართულებით გადის. ამიტომ მხრების ურთიერთინდუქცია ამ შემთხვევაში მოქმედებს თვითინდუქციის თანხვედნილად. მაშასადამე, რეაქტორის გრძივი წინაღობა ტოლი იქნება:

$$X_{გრძ} = \omega L + \omega M = \omega L(1 + K_j) = X_a(1 + K_j) \quad (6.7)$$

თუ $K_j = 0.5$, მაშინ $X_{გრძ} = 3X_a$. ე.ი. რეაქტორის მშ რეჟიმის წინაღობა სამჯერ მეტი იქნება მისი ნორმალური რეჟიმის წინაღობაზე. ეს კი მკვეთრად ზრდის მშ-ს დენის შეზღუდვის ეფექტს.

ამრიგად, გაორმაგებული რეაქტორის უპირატესობა, ჩვეულებრივ, ერთმაგ რეაქტორთან, ის არის, რომ მისი ინდუქციური წინაღობა დამოკიდებულია რეაქტორის ჩართვის სქემაზე და იგი შეიძლება იზრდებოდეს ან მცირდებოდეს. გაორმაგებული რეაქტორის ამ თვისებას იყენებენ ნორმალურ რეჟიმში დაბვის ვარდნისა და მშ-ს დენის სიდიდის შესამცირებლად. გაანგარიშებების დროს გაორმაგებულ რეაქტორს სამსხივიანი ჩანაცვლების სქემით წარმოადგენენ (ნახ.6.53).



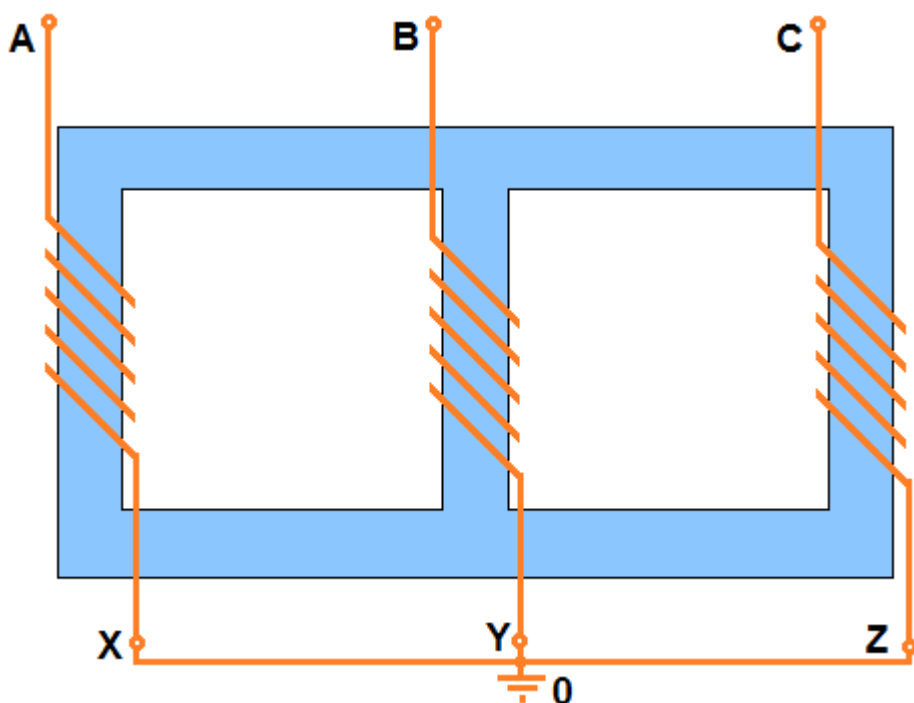
ნახ. 6.53

ორმაგი რეაქტორის ჩანაცვლების სქემა

6.4.2 მაშუნტირებელი რეაქტორები

მაშუნტირებელი რეაქტორები გამოიყენება, ძირითადად, 330 კვ და უფრო მაღალი დაბვის ქსელებში. მათი დანიშნულებაა ქვესადგურებთან მიერთებული ელექტროგადამცემის ხაზების მიერ გენერირებული ჭარბი რეაქტიული სიმძლავრის მოხმარება და ამ გზით დაბვის აწევის შეზღუდვა. მათ რთავენ შესამცირებელი დაბვის სალტესა და მიწას შორის, ანუ სხვა სიტყვებით, „ქსელის პარალელურად“. მაშუნტირებელი რეაქტორი შეიძლება იყოს რეგულირებადი ან არარეგულირებადი.

მაშენებელი რეაქტორის კონსტრუქცია ძალოვანი ტრანსფორმატორის კონსტრუქციის მსგავსია. ისიც არსებობს ცალფაზა ან სამფაზა. მასაც გააჩნია ზეითი გავსებული ავზი, გულარა, რომელზეც დახვეულია გრაგნილები, გამათვართოებელი, რადიატორები, ძაბვის ავტომატური რეგულირების სისტემა და ა.შ. გარეგნულადაც თითქმის შეუძლებელია გარჩევა ძალოვანი ტრანსფორმატორისგან, რომ არა ერთი ძირითადი განსხვავება. სამფაზა ტრანსფორმატორს, ჩვეულებრივ, გააჩნია მაღალი (შეიძლება საშუალოც) და დაბალი ძაბვის შემყვანი იზოლატორები და ნულოვანი გამომყვანი. შუნტური რეაქტორს კი, ვინაიდან განკუთვნილია რეაქტიული სიმძლავრის მოსახმარად, გააჩნია მხოლოდ მაღალი ძაბვის შემყვანები, რომლებიც უერთდება მისი A, B და C გრაგნილების საწყისებს, ხოლო ამ გრაგნილების X, Y და Z ბოლოები დამოკლებულია და შეერთებულია ნულოვანი პოტენციალის მქონე ნეიტრალთან (ნახ. 6.54). ანუ სხვანაირად რომ ვთქვათ, შუნტური რეაქტორის ვარსკვლავად შეერთებული გრაგნილები ჩართულია მაღალ ძაბვასა და მიწას შორის.



ნახ. 6.54

სამფაზა შუნტური რეაქტორის გულარა და გრაგნილები

ამრიგად, შუნტური რეაქტორის მიერ მოხმარებული რეაქტიული სიმძლავრე დამოკიდებულია მის გრაგნილებზე მოდებულ ძაბვასა და გრაგნილის რეაქტიულ წინააღობაზე:

$$Q_{\phi} = \frac{U^2}{X_{\phi}} \quad (6.8)$$

სადაც

Q_{ϕ} = რეაქტორის მიერ მოხმარებული რეაქტიული სიმძლავრეა (მგვარ);

U = რეაქტორის მიერთების წერტილის ძაბვაა (კვ);

X_{ϕ} = რეაქტორის ინდუქციური წინააღობაა (ომი);

როგორც (6.8) გამოსახულებიდან ჩანს, მოხმარებული რეაქტიული სიმძლავრე რეაქტორის მიერთების წერტილის ძაბვის კვადრატის პროპორციულია.



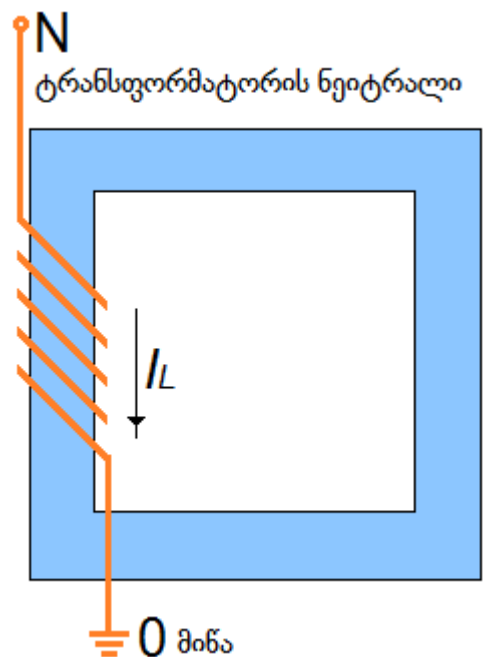
ნახ. 6.55

ABB-ის ფირმის 250 მგვარ სიმძლავრის და 500 კვ ძაბვის, 40-100% რეგულირების ფარგლებში მქონე, სამფაზა შუნტური რეაქტორი

6.4.3 რკალმქრობი რეაქტორები

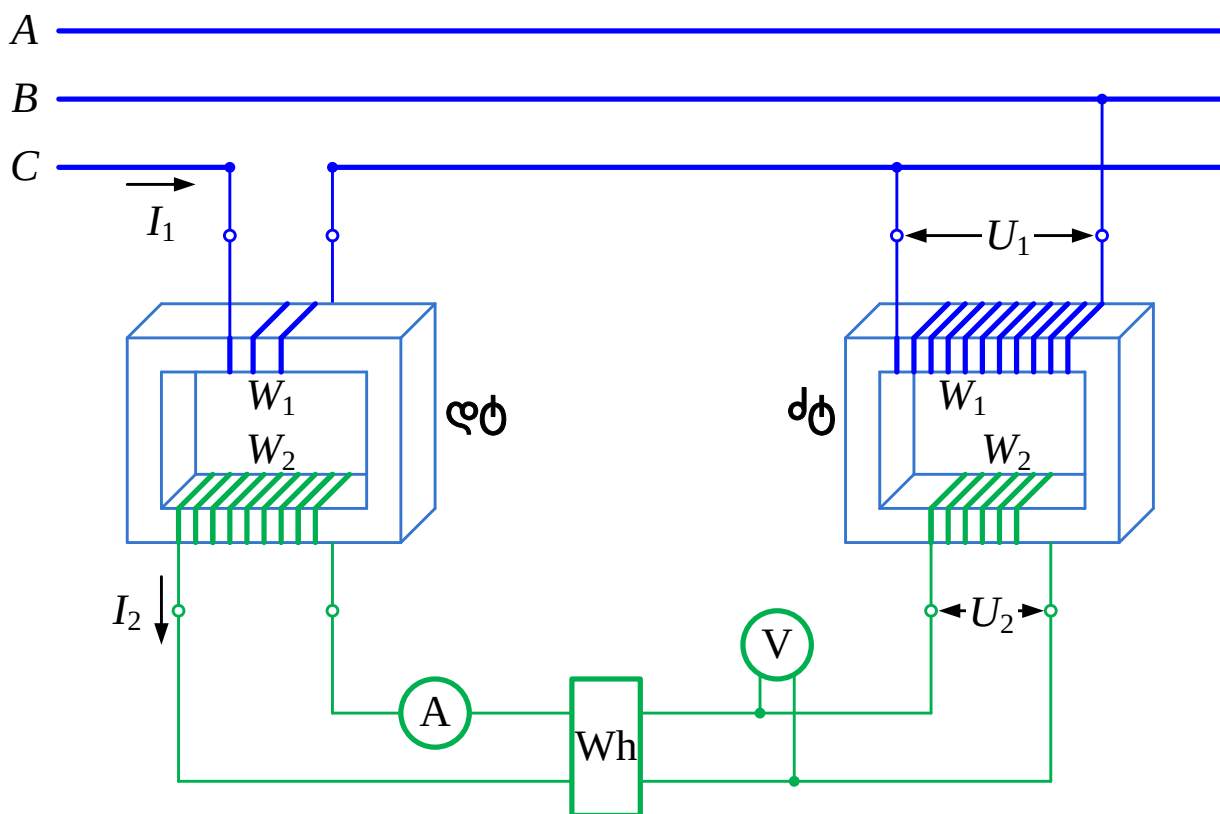
რკალმქრობ რეაქტორებს რთავენ ძირითადად ძალოვანი ტრანსფორმატორების 3, 6, 10, 35 კვ ძაბვის გრადნილების ნეიტრალბსა და ჩამიწების კონტურს შორის (ნახ. 6.56), ისეთ შემთხვევებში, თუკი ერთფაზა ჩამიწების ტევადური დენი გამოდის დაუშვებლად დიდი. რკალმქრობი რეაქტორის (პეტერსონის კოჭის) ჩართვის შემდეგ, ნეიტრალში გამავალი ინდუქტიური დენი აბათილებს მიწაში ფაზების ტევადობებით გამოწვეულ ტევადურ დენებს. ამ მოწყობილობის კონსტრუქცია ერთფაზა ზეთით შევსებული ძალოვანი ტრანსფორმატორის ანალოგიურია. მისი ფუნქციები, დანიშნულება და მოქმედების პრინციპი დეტალურად არის აღწერილი პარაგრაფში 7.11.

ნახ. 6.56



6.5 მზომი ტრანსფორმატორები

ქვესადგურების სალტეებსა და მინაერთებში დენების და ძაბვების უშუალო გაზომვა ვერ ხერხდება, ვინაიდან ასეთ შემთხვევაში მზომი აპარატურის გაბარიტები გამოვიდოდა ძალიან დიდი, კონსტრუქცია - ძალიან რთული და პერსონალისთვის უსაფრთხოება იქნებოდა ძნელად უზრუნველსაყოფი. ყოველივე ზემოაღნიშნულის გამო, დენისა და ძაბვის გასაზომად გამოიყენება მცირე სიმძლავრის ე.წ. „დენისა და ძაბვის ტრანსფორმატორები“. ამ ტრანსფორმატორებს, პირველადი წრედის სიდიდეები დაყავთ უსაფრთხო და გაზომვისათვის მოსახერხებელ სიდიდეებამდე და ელექტრულად განაცალკევებენ ძალოვან და გამზომ წრედებს. დენის ტრანსფორმატორი „დტ“ ირთვება გასაზომი წრედის მიმდევრობით, ხოლო ძაბვის ტრანსფორმატორი „ძტ“ - პარალელურად (ნახ. 6.57).



ნახ. 6.57

მზომი ტრანსფორმატორები

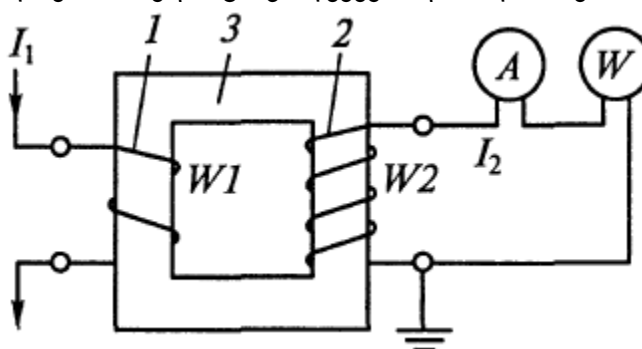
დენისა და ძაბვის ტრანსფორმატორების შესახებ ზოგადი ცნობები, ნომინალური პარამეტრები, მოქმედების პრინციპი, გაზომვის ცდომილება და მისი შემცირების გზები, ნორმალური მუშაობისათვის აუცილებელი პირობები და კონსტრუქციული თავისებურებები მოცემულია ქვეთავებში 6.5.1 და 6.5.2.

აღსანიშნავია, რომ ბოლო ათწლეულების მანძილზე, ინფორმაციული ტექნოლოგიების ინტენსიურ განვითარებას თან მოჰყვა ე.წ. „დენისა და ძაბვის ოპტიკური ტრანსფორმატორების“ შექმნა. ასეთ მონაცობილობებში, თავდაპირველად, ხდება ელექტრომაგნიტური ველის გარდაქმნა სხივურ ტალღებად, ხოლო შემდეგ - ამ ტალღების გარდაქმნა ინფორმაციად დენის და ძაბვის შესახებ. აღნიშნული მონაცობილობები, მართალია, ტრადიციულ მზომ ტრანსფორმატორებთან შედარებით ძვირია, მაგრამ ხასიათდება მაღალი სიზუსტის, მცირე გაბარიტებით და ინფორმაციის მიღების მოხერხებულობით. ჩვენ არ

ჩაველრმავდებით ოპტიკური გადამწოდების მუშაობის და სიგნალების გარდაქმნის თეორიას, 6.5.3 და 6.5.4 ქვეთავებში განხილული იქნება მხოლოდ მათი მუშაობის ზოგადი პრინციპები და კონსტრუქცია.

6.5.1 დენის ტრანსფორმატორები

ზოგადი ცნობები. დენის ტრანსფორმატორი წარმოადგენს ელექტრულ აპარატს, რომლის დანიშნულებაც პირველადი დენის შემცირება სტანდარტული ხელსაწყოების მიერ გაზომვად სიდიდემდე და გასაზომი ძალოვანი წრედის განცალკევება დაბალი ძაბვის წრედისაგან.



ნახ. 6.58. დენის ტრანსფორმატორის პრინციპული სქემა.

დენის ტრანსფორმატორს (ნახ. 6.58) გააჩნია მაგნიტგამტარი-3, პირველადი-1 და მეორეული-2 გრაგნილები. პირველადი გრაგნილი გასაზომი I_1 დენის წრედში ჩაირთვება მიმდევრობით; მეორეულ გრაგნილზე, რომელშიც გადის I_2 დენი, მიერთდება გამზომი და აღრიცხვის ხელსაწყოები, ასევე დაცვისა და ავტომატიკის რელეები.

დენის ტრანსფორმატორის პირველადი ხვიათა რიცხვი, ჩვეულებრივ, მცირეა და ზოგ შემთხვევაში ერთის ტოლია. პირველადი გრაგნილის განივკვეთი უნდა შეესაბამებოდეს გასაზომი ძალოვანი წრედის დენის სიდიდეს, მეორეული გრაგნილის ხვიათა რიცხვი კი დიდია და აღნიშნული გრაგნილი, ჩვეულებრივ, მზადდება 5 ან 1 ა დენზე.

დენის ტრანსფორმატორის ძირითადი პარამეტრია ტრანსფორმაციის ნომინალური კოეფიციენტი, რომელიც წარმოადგენს პირველადი და მეორეული ნომინალური დენების თარღობას:

$$K_{\text{დტ. ნომ}} = \frac{I_{1 \text{ ნომ}}}{I_{2 \text{ ნომ}}} \quad (6.9)$$

თუკი დენის ტრანსფორმატორს ჩავთვლით იდეალურად, მაშინ ზემოაღნიშნული კოეფიციენტი, აგრეთვე, ტოლი იქნება მეორეული W_2 და პირველადი W_1 ხვიათა რიცხვების შეფარდებისა:

$$K_{\text{დტ. ნომ}} = \frac{I_{1 \text{ ნომ}}}{I_{2 \text{ ნომ}}} = \frac{W_2}{W_1} \quad (6.10)$$

დენის ტრანსფორმატორების პირველადი ნომინალური დენების სტანდარტული შკალა მოიცავს დენების მნიშვნელობებს 1-დან 40 000 ამპერამდე. მეორეული გრაგნილის ნომინალური დენი, ჩვეულებრივ, 5 ამპერს ან 1 ამპერს უდრის. ეს მზომი ხელსაწყოებისა და რელეების უნიფიკაციის საშუალებას იძლევა. ვინაიდან $I_1 = K_{\text{დტ. ნომ}} I_2$, ამიტომ დენის ტრანსფორმატორთან მისაერთებელ ხელსაწყოებს აგრადუირებენ პირველადი დენის მიხედვით.

დენის ტრანსფორმატორის მუშაობის თავისებურება ის არის, რომ პირველად გრაგნილში გამავალი დენის სიდიდე არ არის დამოკიდებული მისი მეორეული გრაგნილის მუშაობის რეჟიმზე. მიუხედავად იმისა, მეორეული გრაგნილი მოკლედ ჩართულია თუ გახსნილი, პირველადი გრაგნილის დენი უცვლელი რჩება და მისი სიდიდე განისაზღვრება მხოლოდ ძალოვანი წრედის რეჟიმით. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ დენის ტრანსფორმატორის მეორეულ გრაგნილზე მიერთებული ხელსაწყოების ჯამური წინაღობა ძალზე მცირეა, ამიტომ დენის ტრანსფორმატორის ნორმალური რეჟიმი ახლოსაა მის მოკლე შერთვის რეჟიმთან.

დენის ტრანსფორმატორის მუშაობის პრინციპი. პირველად წრედში გამავალი დენი $\tilde{I}_1$ და მის მიერ მეორეულ გრაგნილში დაინდუქტირებული დენი $\tilde{I}_2$ გადიან W_1 და W_2 გრაგნილებში და ქმნიან შესაბამის დამამაგნიტებელ ძალებს $\tilde{I}_1 W_1$ და $\tilde{I}_2 W_2$. (ბუნებრივია ამ დენებს აქვთ საპირისპირო მიმართულება). ეს დამამაგნიტებელი ძალები, თავის მხრივ, ქმნიან მაგნიტურ ნაკადებს $\tilde{\Phi}_1$ და $\tilde{\Phi}_2$. დამამაგნიტებელი ძალები $\tilde{I}_1 W_1$ და $\tilde{I}_2 W_2$ და შესაბამისი მაგნიტური ნაკადები ქმნიან რეზულტიურ დამამაგნიტებელ ძალასა $\tilde{I}_0 W_1$ და ჯამურ ნაკადს $\tilde{\Phi}_0$.

$$\tilde{I}_1 W_1 - \tilde{I}_2 W_2 = \tilde{I}_0 W_1 \quad (6.11)$$

$$\tilde{\Phi}_1 + \tilde{\Phi}_2 = \tilde{\Phi}_0 \quad (6.12)$$

ნაკადი $\tilde{\Phi}_0$, რომელსაც ტრანსფორმატორის მუშა ნაკადს უწოდებენ, განსჯოლავს ორივე გრაგნილს და მეორეულ გრაგნილში აინდუქტირებს $\tilde{E}_2$ ემ ძალას. ეს ემ ძალა იწვევს მეორეულ გრაგნილში $\tilde{I}_2$ დენს. ნაკადი $\tilde{\Phi}_0$ იქმნება $\tilde{I}_0 W_1$ დამამაგნიტებელი ძალით და, მაშასადამე, დენით $\tilde{I}_0$, რომელიც $\tilde{I}_1$ დენის ნაწილს წარმოადგენს. მას დამაგნიტების დენს უწოდებენ. პირველადი დენის ნაწილი $\tilde{I}_1 - \tilde{I}_0$ ქმნის დამამაგნიტებელ ძალას $(\tilde{I}_1 - \tilde{I}_0) W_1$, რომელიც აკომპენსირებს მეორადი გრაგნილის დამამაგნიტებელ ძალას $\tilde{I}_2 W_2$. ამრიგად, პირველადი დენის $\tilde{I}_1$ ტრანსფორმაცია ხორციელდება $\tilde{\Phi}_0$ ნაკადისა და მისი შემქმელი $\tilde{I}_0$ დამაგნიტების დენის მეშვეობით.

თუ დავუშვებთ, რომ დამამაგნიტებელი დენი 0-ის ტოლია, მაშინ გვექნება

$$\tilde{I}_1 = -\tilde{I}_2 \frac{W_2}{W_1} \quad (6.13)$$

ამ გამოსახულებიდან ჩანს, რომ, დამაგნიტების დენის არარსებობისას, დენის ტრანსფორმატორის პირველადი დენი I_1 უდრის მეორად დენს I_2 გამრავლებულს ტრანსფორმაციის ხვიურ კოეფიციენტზე. ასეთი ტრანსფორმატორი მუშაობს იდეალურად, ე.ი. ცდომილების გარეშე.

დენის ტრანსფორმატორის ცდომილება. რეალურად დენის ტრანსფორმატორის იდეალურად მუშაობა შეუძლებელია. დამაგნიტების დენის არსებობის გამო (6.11)-დან გვექნება:

$$\tilde{I}_1 = -\left(\tilde{I}_2 \frac{W_2}{W_1} + \tilde{I}_0\right) \quad (6.14)$$

ანუ

$$\tilde{I}_1 = -(\tilde{I}_2 K_{\text{დტ. ნომ}} + \tilde{I}_0) \quad (6.14-ა)$$

როგორც (6.14-ა) გამოსახულებიდან ჩანს, დამაგნიტების დენის არსებობის გამო, $K_{\text{დტ. ნომ}} \tilde{I}_2$ -ის მნიშვნელობა რამდენადმე განსხვავდება პირველად გრაგნილში გამავალი დენის სიდიდისაგან როგორც მოდულით, ასევე ფაზით. $K_{\text{დტ. ნომ}} \tilde{I}_2$ და $\tilde{I}_1$ დენების სკალარულ სხვაობას დენურ ცდომილებას უწოდებენ.

$$\Delta I = K_{\text{დტ. ნომ}} I_2 - I_1 \quad (6.15)$$

ცდომილებას გამოსახვენ პროცენტებში

$$\Delta I\% = \frac{K_{\text{დტ. ნომ}} I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100\% \quad (6.16)$$

ეს სხვაობა გამოწვეულია დამაგნიტების დენით. ამ დენის სიდიდე და, მაშასადამე, დენის ტრანსფორმატორის ცდომილებაც დამოკიდებულია დენის ტრანსფორმატორის კონსტრუქციაზე და დანაკარგებზე გულარასა და გრაგნილებში. ვიპოვოთ ცდომილებისა და დამაგნიტების დენის დამოკიდებულება.

დენის ტრანსფორმატორის ცდომილება შეიძლება გაანგარიშებულ იქნას ჩანაცვლების სქემიდან (ნახ. 6.59). პირველად და მეორეულ გრაგნილებს შორის არსებული მაგნიტური კავშირი შეცვლილია ელექტრული კავშირით და მეორეული გრაგნილის ყველა სიდიდე დაყვანილია პირველად გრაგნილზე, ხვიური ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის მეშვეობით:

$$R'_2 = \frac{R_2}{K_{\text{დტ. ხვ}}^2}$$

$$X'_2 = \frac{X_2}{K_{\text{დტ. ხვ}}^2};$$

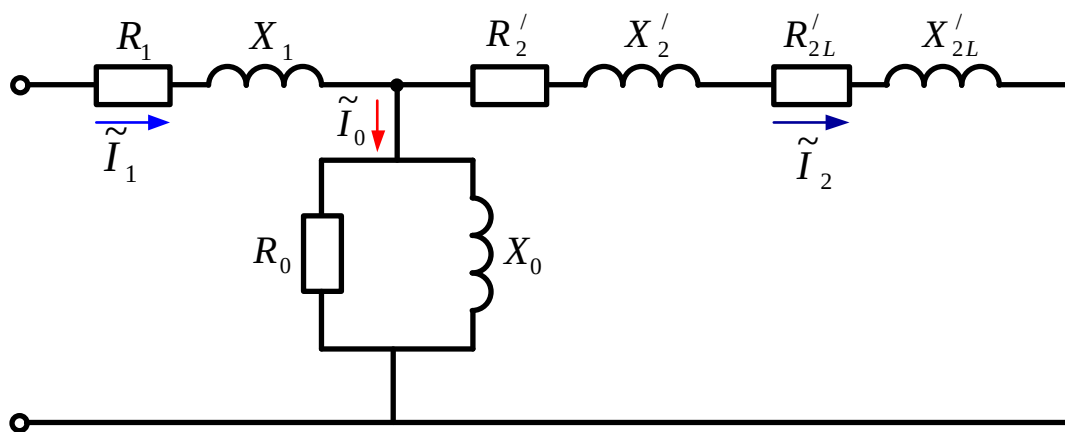
$$R'_{2L} = \frac{R_{2L}}{K_{\text{დტ. ხვ}}^2}$$

$$X'_{2L} = \frac{X_{2L}}{K_{\text{დტ. ხვ}}^2};$$

$$I'_2 = K_{\text{დტ. ხვ}} I_2;$$

$$U'_2 = \frac{U_2}{K_{\text{დტ. ხვ}}}$$

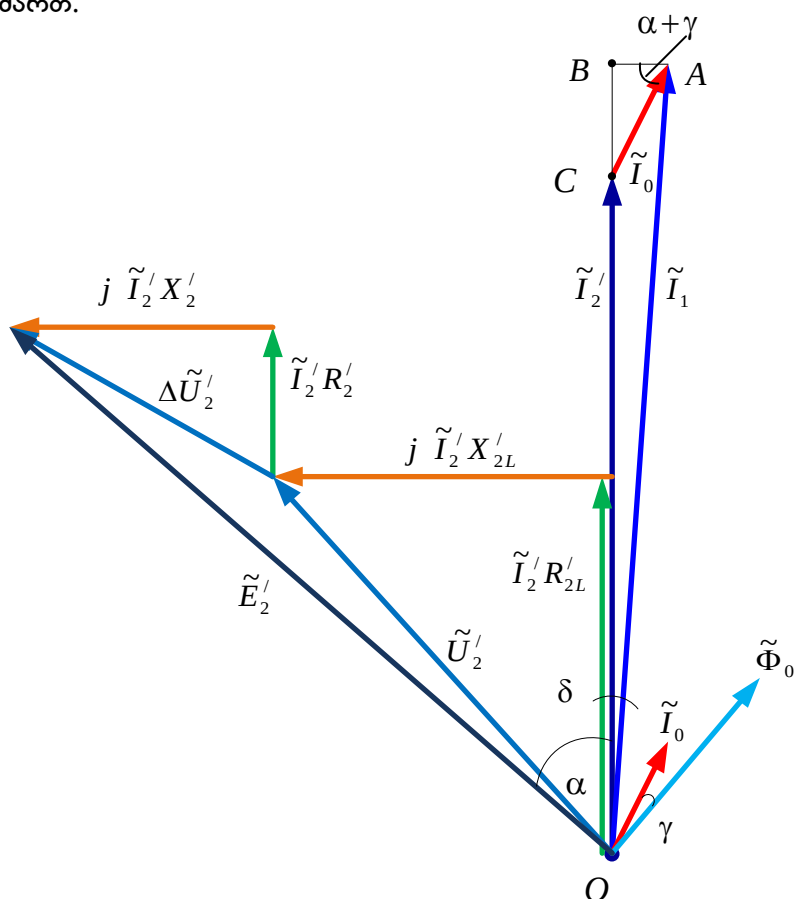
$$E'_2 = \frac{E_2}{K_{\text{დტ. ხვ}}}$$



ნახ. 6.59

დენის ტრანსფორმატორის ჩანაცვლების სქემა

ავავით დენის ტრანსფორმატორის ვექტორული დიაგრამა. საწყის ვექტორად მივიღოთ მეორეული გრაგნილის დენის ვექტორი $\tilde{I}_2'$ და შემოვაბრუნოთ იგი 180° -ით, მისი ფაქტიური მიმართულების მიმართ.



ნახ. 6.60

დენის ტრანსფორმატორის ვექტორული დიაგრამა

$\tilde{E}_2'$ ვექტორი წინ უსწრებს $\tilde{I}_2'$ ვექტორს α კუთხით (ნახ.6.60). დამაგნიტების ნაკადის $\tilde{\Phi}_\delta$ ვექტორი ჩამორჩება მის მიერ შექმნილ $\tilde{E}_2'$ ვექტორს 90° -ით. დამაგნიტების დენი $\tilde{I}_0$, რომელიც ქმნის $\tilde{\Phi}_\delta$ დამაგნიტების ნაკადს, წინ უსწრებს მას γ კუთხით. ეს კუთხე განპირობებულია გულარის ფოლადში დანაკარგებით. პირველადი $\tilde{I}_1$ დენი ვექტორულ დიაგრამაზე ნაპოვნია, როგორც $\tilde{I}_2'$

დენისა და $\tilde{I}_0$ დამაგნიტების დენის ჯამი. ვექტორული დიაგრამიდან ჩანს, რომ $\tilde{I}_0$ დენის არსებობის გამო, დენის ტრანსფორმატორის დაყვანილი მეორეული $\tilde{I}_2'$ დენი, პირველად $\tilde{I}_1$ დენზე, $\Delta\tilde{I}$ სიდიდით ნაკლები გამოდის და დაძრულია მისგან δ კუთხით. ამ კუთხის სიმცირის გამო, $\Delta\tilde{I}$ შეგვიძლია ჩავთვალოთ $\tilde{I}_1$ და $\tilde{I}_2'$ დენების არითმეტიკულ სხვაობად. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, მას დენურ ცდომილებას უწოდებენ. იგი გვიჩვენებს, რამდენად განსხვავდება მეორეული დენის დაყვანილ მნიშვნელობას პირველადი დენისგან. ვექტორული დიაგრამის საფუძველზე შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\Delta I\% = \frac{K_{\text{დტ. ნომ}} I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100\%, \text{ ანუ}$$

$$\Delta I\% = \frac{OC - OA}{OA} \cdot 100\%$$

ვინაიდან კუთხე პირველად და მეორად დენებს შორის მცირეა, (რამდენიმე მეასედი გრადუსი), $OC - OA$ მონაკვეთი შეიძლება შევცვალოთ BC მონაკვეთით, რომელიც, თავის მხრივ, $BC = I_0 \sin(\alpha + \gamma)$. მაშასადამე, დენური ცდომილება ტოლია:

$$\Delta I\% = \frac{I_0 \sin(\alpha + \gamma)}{I_1} \cdot 100\% \quad (6.17)$$

კუთხე δ -ს უწოდებენ დენის ტრანსფორმატორის კუთხურ ცდომილებას, რომელიც გვიჩვენებს, თუ რამდენად არის დაძრული ფაქტიური მეორეული დაყვანილი $\tilde{I}_2'$ დენი ფაქტიური $\tilde{I}_1$ -ის მიმართ. ვექტორული დიაგრამიდან:

$$\delta = \frac{BA}{OA} = \frac{I_0 \cos(\alpha + \gamma)}{I_1} \quad (6.18)$$

როგორც ვხედავთ, ორივე ცდომილება მით ნაკლებია, რაც უფრო მცირეა დამაგნიტების $\tilde{I}_0$ დენი, ანუ რაც უფრო დიდი კვეთის და მაღალი ხარისხისაა გულარა. დენის ტრანსფორმატორის მეორად გრაგნილზე მიერთებული ხელსაწყოები ზრდიან δ კუთხეს და ამით ზრდიან დენურ ცდომილებას. ამიტომ მიერთებული ხელსაწყოების ჯამური წინაღობა არ უნდა აღემატებოდეს დასაშვებს.

ცდომილების განმსაზღვრელი ფორმულებიდან ჩანს, რომ ΔI სიდიდე დამოკიდებულია დამაგნიტების დენისა და γ და α კუთხეების სიდიდეებზე. ეს კუთხეები კი განპირობებულია მეორეული გრაგნილის დატვირთვის წინააღობით და გულარაში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებით. რაც უფრო მცირეა დამაგნიტების დენი, მით უფრო მცირეა დენური და კუთხური ცდომილებები.

დენის ტრანსფორმატორის ცდომილების შემცირების მეთოდები. ა) ცნობილია, რომ დამაგნიტების I_0 დენსა და მაგნიტური ველის H დაძაბულობას შორის არსებობს შემდეგი კავშირი:

$$H \cdot l = I_0 \quad (6.19)$$

სადაც l არის მაგნიტგამტარის საშუალო სიგრძე. ე.ი. მაგნიტგამტარის სიგრძის გაზრდა იწვევს $I_0 W_1$ მაგნიტომამოძრავებელი ძალის გაზრდას, რაც ცდომილების გაზრდას იწვევს. ამიტომ დენის ტრანსფორმატორების დაპროექტების დროს ცდილობენ შეამცირონ l , რაც

შეიძლება მიღწეულ იქნას დენის ტრანსფორმატორის გულარის მაღალი მაგნიტური შეღწევადობის მაგნიტგამტარისაგან დამზადებით.

ბ) დენის ტრანსფორმატორების დამაგნიტების ნაკადი Φ_0 განსაზღვრავს მეორად ემ ძალას

$$E_2 = 4.44 \cdot W_2 \cdot f \cdot \Phi_0 \quad (6.20)$$

რაც უფრო დიდია E_2 , მით მით უფრო დიდი იქნება Φ_0 . და, აქედან გამომდინარე, დიდი იქნება დენის ტრანსფორმატორის ცდომილებაც. ცდომილების შესამცირებლად ცდილობენ შეამცირონ მეორეული წრედის წინალობა, ვინაიდან ამ დროს მცირდება $E_2 = I_2 Z_{2\Sigma}$, სადაც $Z_{2\Sigma}$ არის დენის ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის და მასთან მიერთებული მეორეული წრედის სრული წინალობა.

გ) დენის ტრანსფორმატორის ცდომილების შემცირების ერთ-ერთი ეფექტური საშუალებაა ცდომილების კომპენსაცია ხვიური კორექციის გამოყენებით. თუ $W_2 = W_{2 \text{ ნომ}}$, მაშინ დენის ტრანსფორმატორის ცდომილებას ყოველთვის უარყოფითი ნიშანი აქვს. თუ მეორეული გრაგნილის ხვიათა რიცხვს ავიღებთ $W_{2 \text{ ნომ}}$ -ზე უფრო ნაკლებს, მაშინ ხელოვნურად შევქმნით დადებით ცდომილებას, რომელიც ნაწილობრივ გააკომპენსირებს უარყოფითს. საქმე იმაშია, რომ, როდესაც $W_2 < W_{2 \text{ ნომ}}$, დენის ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი მცირდება, ხოლო მეორეული $I_2 = I_1 W_1 / W_2$ დენი იზრდება და იგი შეიძლება მეტი გახდეს $I_{2 \text{ ნომ}}$ -ზე. ამრიგად, იქმნება დადებითი დენური ცდომილება. ამიტომ, რეალური დენის ტრანსფორმატორებისათვის ხვიათა რიცხვის შეფარდებას ისე ირჩევენ, რომ მოახდინონ დამამაგნიტებელი დენით გამონვეული ცდომილების კომპენსაცია და გაზარდონ დენის ტრანსფორმატორის სიზუსტე, კერძოდ:

$$K_{\text{დტ. ხვ}} > K_{\text{დტ. ნომ}} \text{ ანუ } \frac{W_2}{W_1} > \frac{I_{1 \text{ ნომ}}}{I_{2 \text{ ნომ}}}$$

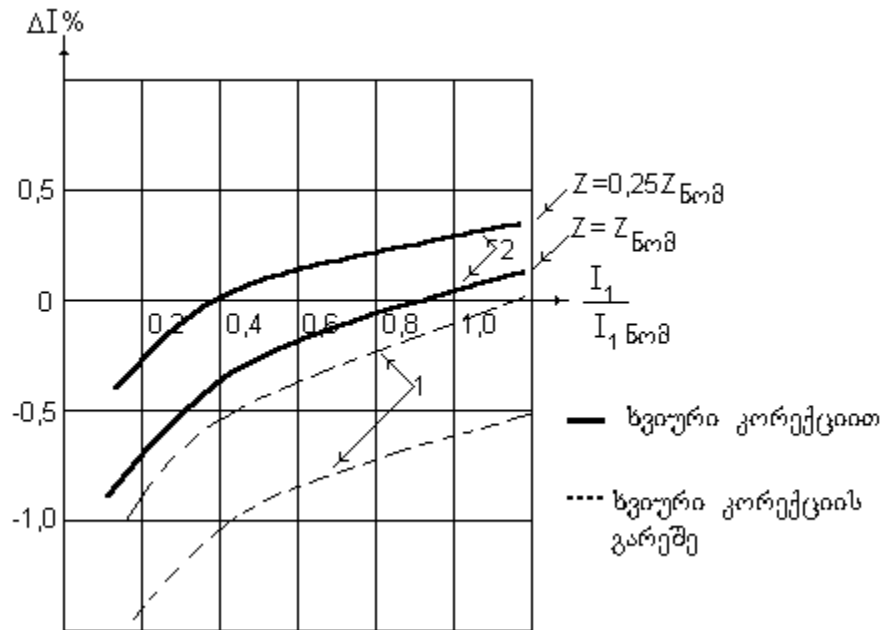
ხვიური კორექციის განსახორციელებლად, იმისათვის, რომ მეორეული გრაგნილის ხვიათა რიცხვი ნაკლები გახდეს ნომინალურ ხვიათა რიცხვზე, დენის ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილს მოაკლებენ რამდენიმე ხვიას, რითაც ხელოვნურად ქმნიან დადებით ცდომილებას. ცდომილების მრუდი გადაადგილდება საკუთარი თავის პარალელურად, ნაკლები ცდომილების არეში, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ. 6.61-ზე.

მაშასადამე, მით უფრო მაღალი კლასის იქნება დენის ტრანსფორმატორი, რაც უფრო ნაკლები სიგრძის ანუ მაღალი მაგნიტური შეღწევადობის იქნება მისი გულარა, მცირე იქნება მისი მეორეული დატვირთვა და სწორად ექნება განხორციელებული ხვიური კორექცია.

დენის ტრანსფორმატორები, ცდომილების მიხედვით, დაყოფილნი არიან კლასებად: 0.1; 0.2; 0.5; 1.0; 5.0 და 10.0. სიზუსტის კლასი მითითებულია მის პასპორტში და იგი გვიჩვენებს გაზომვის სიზუსტეს პროცენტებში პირველადი დენის მიმართ. მაგრამ უნდა გვახსოვდეს, რომ პასპორტში მითითებული სიზუსტის კლასით გაზომვის განხორციელება შეიძლება მხოლოდ გარკვეული პირობების დროს. კერძოდ:

- სიხშირე უნდა იყოს 50 ჰერცი,
- პირველადი დენი უნდა იყოს $I_{1 \text{ ნომ}}$ -ის (100-120)%-ის ფარგლებში; და

- მეორეული წრედის დატვირთვა უნდა იყოს ფარგლებში $0.25 \div 1 Z_{2 \text{ ნომ}} \cdot Z_{2 \text{ ნომ}}$ არის ტრანსფორმატორის მეორეული წრედის ნომინალური წინაღობა, მითითებული პასპორტში.



ნახ. 6.61

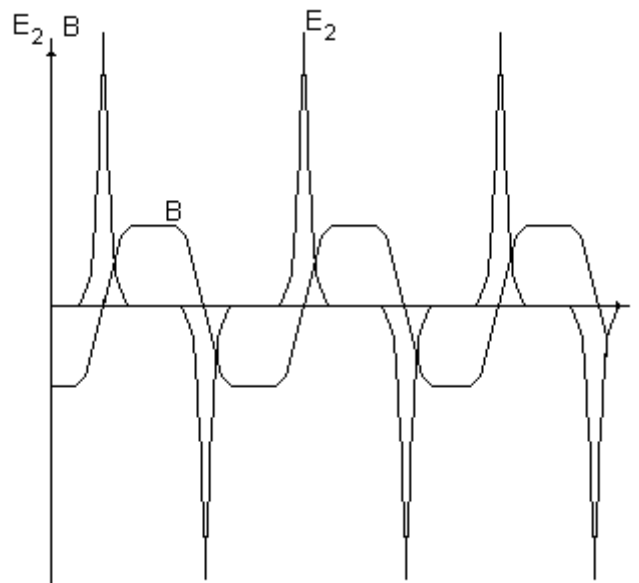
0.1 და 0.2 კლასის დენის ტრანსფორმატორები განკუთვნილი არიან ზუსტი გაზომვებისათვის და მათ გამოიყენებენ განსაკუთრებულად საპასუხისმგებლო აღრიცხვის ობიექტებზე.

1.0, 5.0, 10.0 კლასის დენის ტრანსფორმატორებს გამოიყენებენ გამანაწილებელი მოწყობილობების გამზომი ხელსაწყოების, რელეური დაცვისა და ავტომატიკის ხელსაწყოების მისაერთებლად.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, დენის ტრანსფორმატორების ცდომილება ბევრად არის დამოკიდებული დენის ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის დატვირთვაზე, რომელიც განისაზღვრება მეორეული წრედის სრული Z_2 წინააღობით. Z_2 -ის სიდიდე დამოკიდებულია რელეური დაცვის სქემებზე, დენის ტრანსფორმატორზე მიერთებული ხელსაწყოების რიცხვზე, მათ მიერ მოთხოვნილ სიმძლავრეზე და შემაერთებული სადენების წინააღობაზე. მინიმალურ ცდომილებას ადგილი ექნება მაშინ, როცა მეორეული გრაგნილი დამოკლებულია, ე.ი. დატვირთვა ნულის ტოლია ანუ $Z_2 = 0$ -ს. Z_2 -ის გაზრდა იწვევს მეორეული გრაგნილის ემ ძალის გაზრდას, აქედან გამომდინარე გულარაში ინდუქციისა და დამამაგნიტებელი დენის გაზრდას. ამრიგად, დატვირთვის გაზრდა იწვევს ცდომილების ზრდას. იმისათვის, რომ გაზომვის ცდომილებამ არ გადააჭარბოს დენის ტრანსფორმატორის გარანტირებულ სიზუსტეს, საჭიროა დაცული იქნას პირობა $Z_2 < Z_{2 \text{ ნომ}}$.

დენის ტრანსფორმატორის ცდომილებაზე ზეგავლენას ახდენს პირველადი დენიც. ნორმირებული სიზუსტის კლასი დაცული იქნება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ პირველადი დენი იმყოფება ზღვრებში $(100 \div 120)\% I_{1 \text{ ნომ}}$. უფრო მცირე პირველადი დენის დროს, რომელიც შეესაბამება დამაგნიტების მახასიათებლის საწყის ნაწილში მუშაობას, ცდომილება გამოდის მეტი, ვიდრე სიზუსტის კლასით არის გათვალისწინებული. თუ პირველადი დენი გაიზრდება $120\% I_{1 \text{ ნომ}}$ -ზე მეტად, მაშინ გაიზრდება დამაგნიტების დენიც, რაც გამოიწვევს ცდომილების გაზრდას.

განსაკუთრებული ყურადღების ღირსია დენის ტრანსფორმატორის მუშაობის რეჟიმი მეორეული გრაგნილის წრედის განწყვეტისას. ნორმალურ რეჟიმში $I_0 W_1$ მაგნიტომამოძრავებელი ძალა შეადგენს $I_1 W_1$ -ის მხოლოდ მცირე ნაწილს, ვინაიდან ეს უკანასკნელი თითქმის მთლიანად კომპენსირდება $I_2 W_2$ მაგნიტომამოძრავებელი ძალით. მეორეული წრედის განწყვეტისას განმამაგნიტებელი მეორეული მაგნიტომამოძრავებელი ძალა ქრება. ვინაიდან პირველად წრედში დენი ამ დროს არ შეიცვლება, ამიტომ $I_1 W_1$ პირველადი მაგნიტომამოძრავებელი ძალა მთლიანად დამამაგნიტებელი იქნება. დამამაგნიტებელი ძალის მრავალჯერადი გაზრდა იწვევს ინდუქციის მკვეთრ გაზრდას, მაგნიტოგამტარის გაუღენთვას და ინდუქციის მრუდის დამახინჯებას. ეს კი იწვევს მეორეული გახსნილი გრაგნილის ემ ძალის პიკისებრ ფორმას დიდი ამპლიტუდით ნახ.6.62.



ნახ. 6.62

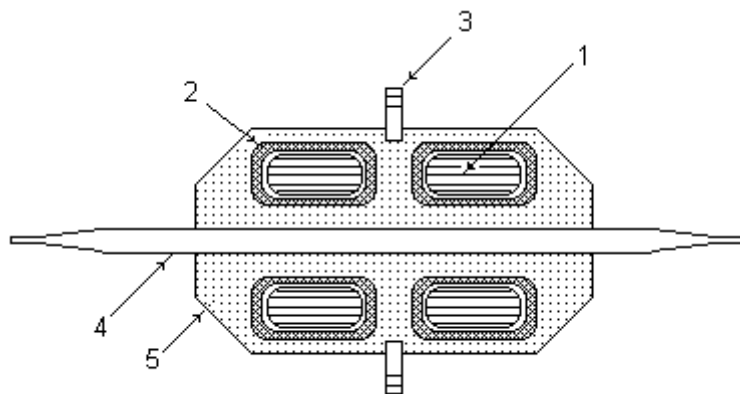
დენის ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის გახსნისას მის მომჭერებზე დაინდუქტირებულმა ემ ძალამ შეიძლება მიაღწიოს ტრანსფორმატორის იზოლაციის და მომსახურე პერსონალის სიცოცხლისათვის საშიშ სიდიდეს. გარდა ამისა, მაგნიტგამტარის გაუღენთვისას მკვეთრად იზრდება აქტიური დანაკარგების სიდიდე, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს დასაშვებზე მეტად გულარის გადახურება და გრაგნილების იზოლაციის დაზიანება.

მეორეული გრაგნილის წრედის გახსნა წარმოადგენს დენის ტრანსფორმატორის ავარიულ რაჟიმს. ამიტომ დენის ტრანსფორმატორის მეორეულ წრედებში მუშაობისას, მისი მეორეული გრაგნილის გამომყვანები აუცილებლად უნდა იქნას დამოკლებული.

დენის ტრანსფორმატორების კონსტრუქციები. სანამ უშუალოდ დენის ტრანსფორმატორის კონსტრუქციებს გავეცნობოდეთ, აღვნიშნოთ, რომ დენის ტრანსფორმატორებში საიზოლაციო სისტემებად შეიძლება გამოყენებულ იქნას ზეთი, ელევგაზი, ეპოქსიდი და სილიკონი. დღეისათვის მაღალი ძაბვის ქსელებში მომუშავე დენის ტრანსფორმატორების უმრავლესობის აქტიური ნაწილი მოთავსებულია ზეთში, რომელიც უზრუნველყოფს საიზოლაციო სისტემის საუკეთესო თერმულ და ელექტრულ თვისებებს. ეპოქსიდური იზოლაციის შემთხვევაში, გრაგნილები და გულარა მოთავსებულია ეპოქსიდისა და კვარცის ქვიშის ნარევის სხმულ იზოლაციაში, რომელიც უზრუნველყოფს კონსტრუქციის მექანიკურ მდგრადობას, გრაგნილებისა და გულარის კარგ

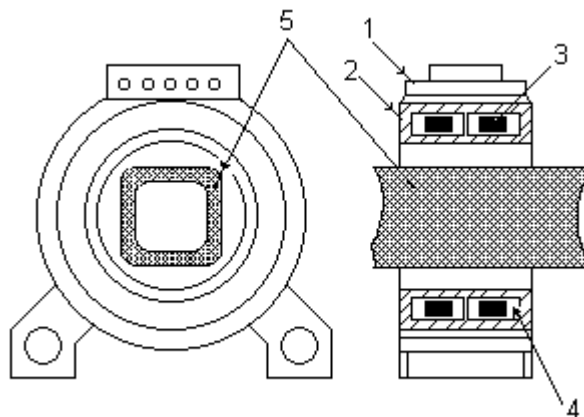
ფიქსაციას და, გარე დაყენების შემთხვევაში, ტენმედევობას. ჩვეულებრივ, ასეთი დენის ტრანსფორმატორები გამოიყენება 110 კვ ნომინალურ ძაბვამდე. ელევანტიან დენის ტრანსფორმატორებში იზოლაციის ფუნქციას ასრულებს არააალებადი, კარგი დიელექტრული და თერმული თვისებების მქონე აირი ელევანტი SF₆, რომელიც 4-5 ატ. წნევაზე უზრუნველყოფს ზეთის ეკვივალენტურ საიზოლაციო თვისებებს. ასეთ დენის ტრანსფორმატორებში მოთავსებულ გრაგნილებსა და გულარას გააჩნიათ ისეთივე შესრულება, როგორც ზეთიან ანალოგებში, თუმცა მაღალი წნევის არსებობა ზრდის მოთხოვნებს ასეთი დენის ტრანსფორმატორების კორპუსისა და საფენების შესრულებისადმი.

სხმულ იზოლაციიანი დენის ტრანსფორმატორები. პირველადი გრაგნილის ხვიათა რიცხვის მიხედვით, განასხვავებენ ერთ და მრავალხვიათ დენის ტრანსფორმატორებს. ერთხვიათი დენის ტრანსფორმატორებში პირველადი გრაგნილი შეიძლება შესრულებული იყოს ერთი ღეროს ან სალტის სახით. ასეთი შესრულების მაგალითს წარმოადგენს ТПОЛ-10 ტიპის დენის ტრანსფორმატორი, ჩამოსხმული იზოლაციით ნახ.6.51.



ნახ. 6.63

ჩამოსხმული იზოლაციის გამოყენება ძალიან ამარტივებს კონსტრუქციას და წარმოების ტექნოლოგიას. ასეთი ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილი ღეროა-4. მაგნიტოგამტარი-1 წრიული ფორმისაა. მასზე დახვეულია მეორეული გრაგნილები-2. სამაგრი რგოლია 3. ეს ყველაფერი თავსდება ფორმაში, რომელშიდაც ასხამენ ეპოქსიდურ ფისს-5 არეულს, კვარცის ქვიშასთან. გაშრობის შემდეგ ფისი იღებს მაღალ ელექტროსაიზოლაციო და მექანიკურ თვისებებს. ე.წ. სასალტეო დენის ტრანსფორმატორს პირველადი გრაგნილი არ გააჩნია. მის როლს ასრულებს ტრანსფორმატორში გაყრილი სალტე, ნახ.6.49.



ნახ. 6.64

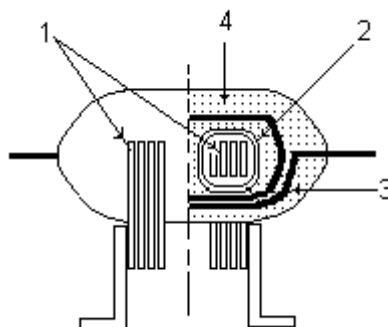


ნახ. 6.65

ABB-ის ფირმის TTR4 (12 კვ ნომინალური ძაბვის) და TTR6 (24 კვ ნომინალური ძაბვის) სხმულ იზოლაციანი დენის ტრანსფორმატორები

დენის ტრანსფორმატორი შედგება ეპოქსიდის კორპუსისაგან-2, ორი გულარისაგან-3 და ორი მეორეული გრაგნილისაგან-4. ტრანსფორმატორი მაგრდება სამაგრიტ-1. პირველადი გრაგნილის მაგივრად გამოყენებულია მასში გაყრილი სალტე-5.

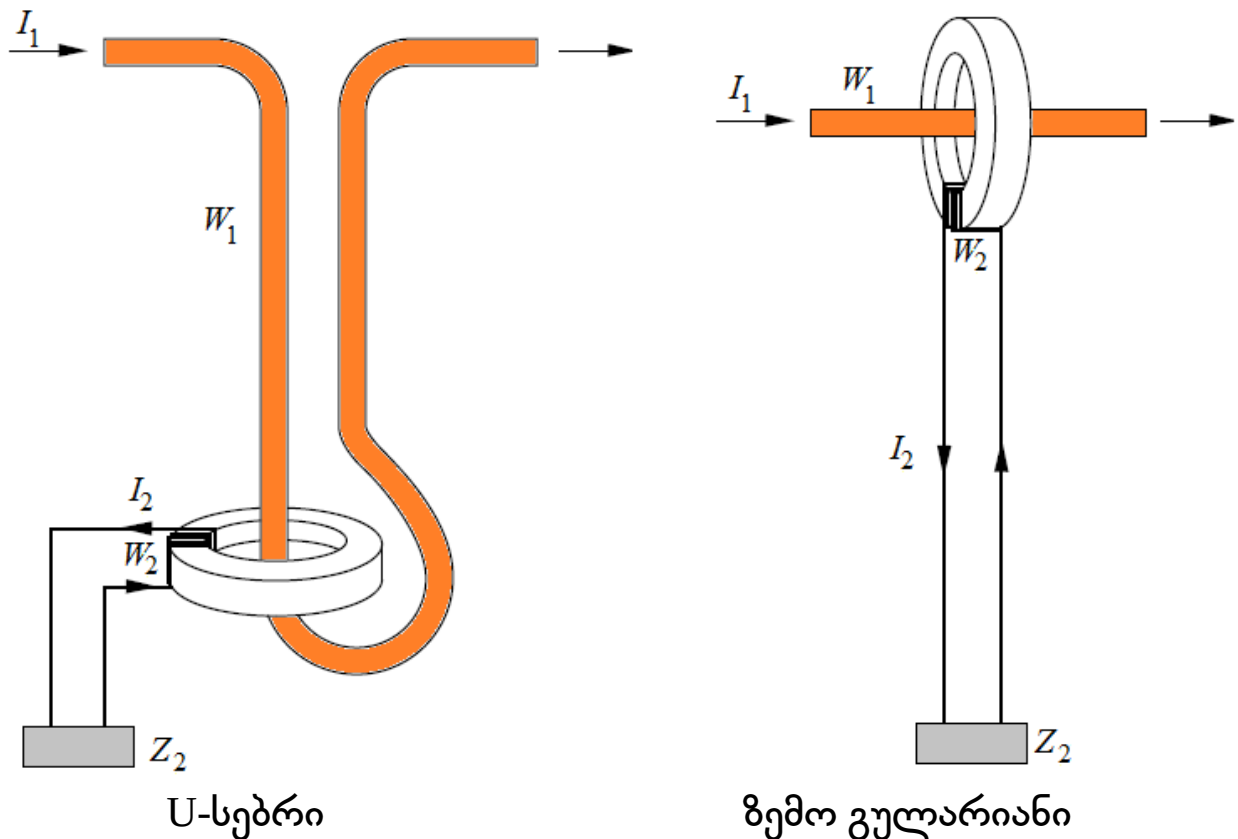
ელექტრულ აპარატებში, ამომრთველებში და ძალოვან ტრანსფორმატორებში აგრეთვე გამოიყენებიან ერთხვიანი დენის ტრანსფორმატორები. მათ ჩაშენებულ დენის ტრანსფორმატორებს უწოდებენ. ამ შემთხვევაში პირველად გრაგნილის როლს აპარატის დენგამტარი ღერო ასრულებს. 400 ამპერამდე პირველადი დენების დროს მაღალი სიზუსტის კლასის მისაღწევად იყენებენ მრავალხვიან პირველად გრაგნილს, ნახ.6.53



ნახ.6.65.

ასეთი დენის ტრანსფორმატორი შედგება ორი, ელექტროტექნიკური ფოლადის ფურცლებისაგან აწყობილი, მაგნიტოგამტარისაგან-1. მაგნიტოგამტარებზე დახვეულია მეორეული გრაგნილები-2 და რამდენიმე ხვიისაგან-3 შემდგარი პირველადი გრაგნილი. ეს ყველაფერი ფიქსირებულია ეპოქსიდის ფისით-4, რომელიც აიზოლირებს ტრანსფორმატორის ყველა ნაწილს ერთმანეთისაგან.

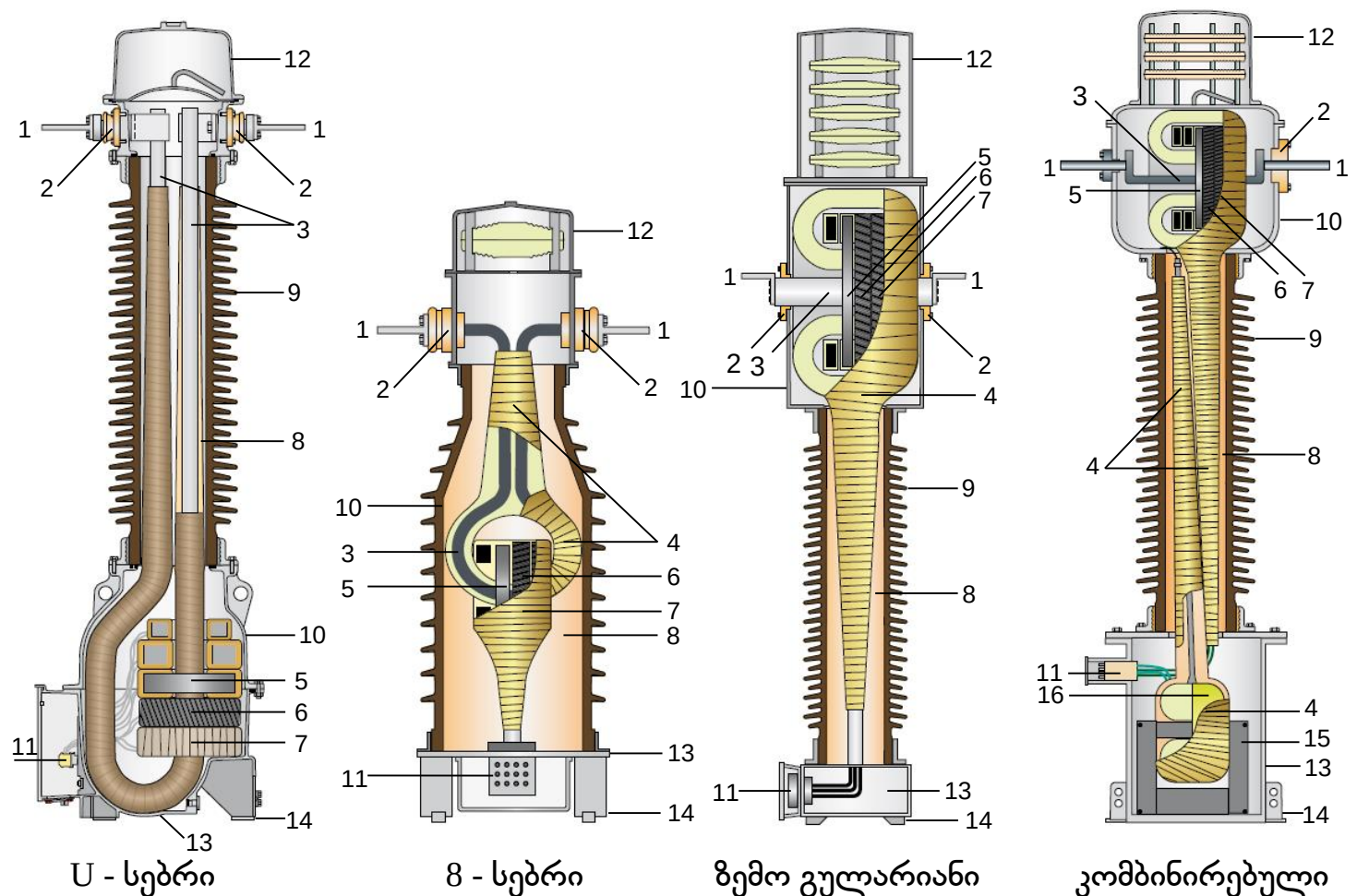
დენის ტრანსფორმატორები ზეთ-ქაღალდის იზოლაციით. 110 კვ და უფრო მაღალ ძაბვებზე, ჩვეულებრივ, გამოიყენება ზეთ-ქაღალდის საიზოლაციო სისტემის მქონე დენის ტრანსფორმატორები. გავრცელებულია ასეთი ტრანსფორმატორების შემდეგი კონსტრუქციები:



ნახ. 6.67

ზეთით შევსებული დენიანი ტრანსფორმატორების აქტიური ნაწილი

1. U-სებრი ანუ თმის სამაგრის ფორმის მქონე პირველად გრაგნილიანი. აქ მაგნიტური გულარა განლაგებულია ავზის ქვემო ნაწილში, მიწის სიახლოვეს. პირველადი გრაგნილი შედგება ერთი ან რამდენიმე ხვიისაგან.
2. ზემო გულარიანი. აქ გულარა განლაგებულია დენის ტრანსფორმატორის ზემო ნაწილში. პირველად გრაგნილს გააჩნია სწორი ღეროს ფორმა ანუ შედგება ერთი ხვიისაგან.
3. 8-სებრი გულარიანი. აქ გულარა განლაგებულია ავზის ცენტრალურ ნაწილში. პირველად გრაგნილს გააჩნია U-ს ფორმა, შედგება ერთი ხვიისგან ან გააჩნია სპირალის ფორმა და შედგება რამდენიმე ხვიისგან. პირველადი გრაგნილის ერთი ან რამდენიმე ხვია ქმნის რგოლს, რომელშიც გაყრილია რგოლისებრი მაგნიტგამტარი, მეორეული გრაგნილებით. 220 კვ და უფრო მაღალ ძაბვაზე შესაძლოა ასეთი დენის ტრანსფორმატორების კასკადური შესრულება, სადაც პირველი საფეხურის მეორეული გრაგნილი კვებავს მეორე საფეხურის პირველად გრაგნილს, მეორე საფეხურის მეორეული გრაგნილი კვებავს მესამე საფეხურის პირველად გრაგნილს და ა.შ.
4. კომბინირებული. აქ ერთ კონსტრუქციაშია გაერთიანებული დენისა და ძაბვის ტრანსფორმატორი. დენის ტრანსფორმატორის გულარა განლაგებულია კორპუსის ზედა ნაწილში, ხოლო ძაბვის ტრანსფორმატორისა – ქვედა ნაწილში.



ნახ. 6.68

1 - პირველადი წრედის შემყვანები; 2 - შემყვანების საფენები; 3 - პირველადი გრაგნილი; 4 და 7 - პირველადი და მეორეული გრაგნილების ქაღალდების იზოლაცია; 5 - მაგნიტური გულარა; 6 - მეორეული გრაგნილი; 8 - ზეთი; 9 - კომპოზიტური კერამიკის ან ფაიფურის ღრუ იზოლატორი; 10 - ავზის კორპუსი; 11 - მეორეული წრედის გამოყვანები; 12 - ავზის სახურავი; 13 - ავზის ძირი; 15 - ძაბვის ტრანსფორმატორის გულარა; 16 - ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილი

6.5.2. ძაბვის ტრანსფორმატორები

ზოგადი ცნობები. ძაბვის ტრანსფორმატორი წარმოადგენს ელექტრულ აპარატს, რომლის დანიშნულებაცაა შეამციროს პირველადი წრედის მაღალი ძაბვა ისეთ სიდიდემდე, რომლის გაზომვა მისახერხებელია სტანდარტული გამზომი ხელსაწყოებით და განაცალკევოს გაზომვის წრედები პირველადი წრედისაგან. ამით უსაფრთხო ხდება მომსახურე პერსონალის მუშაობა.

ისევე როგორც დენის ტრანსფორმატორი, ძაბვის ტრანსფორმატორი შედგება სამი ძირითადი კონსტრუქციული ნაწილისაგან: გულარა, პირველადი და მეორეული გრაგნილები. პირველად გრაგნილს პარალელურად რთავენ პირველად წრედთან, ხოლო

მეორეული გრაგნილის პარალელურად რთავენ გამზომ ხელსაწყოებს და რელეების ძაბვის კოჭებს.

ძაბვის ტრანსფორმატორის ძირითადი პარამეტრია ტრანსფორმაციის ნომინალური კოეფიციენტი.

$$K_{\text{ტფ. ნომ}} = \frac{U_{1 \text{ ნომ}}}{U_{2 \text{ ნომ}}} \quad (6.21)$$

რომელიც წარმოადგენს პირველადი და მეორეული გრაგნილების ნომინალური ძაბვების ფარდობას. აქედან გამომდინარე, ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორეულ გრაგნილზე გაზომილი ძაბვა გამრავლებული ტრანსფორმაციის ნომინალურ კოეფიციენტზე გვაძლევს, გარკვეული ცდომილებით, პირველად გრაგნილზე მოდებულ ძაბვას ანუ პირველადი წრედის ძაბვას $U_1 = K_{\text{ტფ. ნომ}} U_{2 \text{ ნომ}}$.

ძაბვის ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორეული ძაბვები სტანდარტიზებულია. სამფაზა ძაბვის ტრანსფორმატორების პირველადი ნომინალური ძაბვები სიდიდით ემთხვევიან ქსელის ხაზურ ნომინალურ ძაბვებს, ხოლო ერთფაზა ძაბვის ტრანსფორმატორების - ქსელის ფაზურ ძაბვებს.

სამფაზა ძაბვის ტრანსფორმატორების ძირითადი მეორეული გრაგნილების ძაბვა მიღებულია 100 ვოლტის ტოლად, ხოლო ცალფაზა ტრანსფორმატორების - $100/\sqrt{3}$ ვოლტის ტოლად. ეს იძლევა გამზომი ხელსაწყოების და რელეების უნიფიკაციის საშუალებას. იმ გამზომი ხელსაწყოების შკალები, რომლებიც განკუთვნილი არიან ძაბვის ტრანსფორმატორების მეორეულ გრაგნილებთან მისაერთებლად, დაგრაღუირებულია პირველადი ძაბვის (ე.ი. $K_{\text{ტფ. ნომ}} U_{2 \text{ ნომ}}$) სიდიდეებში.

ძაბვის ტრანსფორმატორებს გააჩნიათ გარკვეული ცდომილება. ამ ცდომილების გამო $K_{\text{ტფ. ნომ}} U_{2 \text{ ნომ}}$ გარკვეულწილად განსხვავდება პირველადი წრედის ძაბვისაგან. ცდომილებას გამოსახავენ პროცენტებში:

$$\Delta U\% = \frac{K_{\text{ტფ. ნომ}} U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100\% \quad (6.22)$$

ცდომილების სიდიდე დამოკიდებულია ძაბვის ტრანსფორმატორის გულარის ზომაზე, ფოლადის მაგნიტურ თვისებებზე, გრაგნილების სადენების კვეთზე, გრაგნილების კონსტრუქციაზე, პირველადი ძაბვის სიდიდესა და მეორეულ გრაგნილზე მიერთებულ დატვირთვაზე.

ძაბვის ტრანსფორმატორების გაანგარიშებისას, ცდომილების შემცირების მიზნით, გრაგნილებში დენის სიმკვრივესა და გულარაში ინდუქციის მნიშვნელობას ნაკლებს იღებენ, ვიდრე ძალოვან ტრანსფორმატორებში.

ძაბვის ტრანსფორმატორის ცდომილება ბევრად არის დამოკიდებული მეორეული გრაგნილის დატვირთვაზე, რომლის ზრდასთან ერთად იგი იზრდება. ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის დატვირთვას უწოდებენ მასზე მიერთებული წრედის სრულ სიმძლავრეს (ვა), რომელიც გაიანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$S_2 = \frac{U_{2 \text{ ნომ}}^2}{Z_2} \quad (6.23)$$

$$S_2 = U_{2 \text{ ნომ}} I_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} \quad (6.24)$$

სადაც $U_{2 \text{ ნომ}}$ - მეორეული გრადნილის ნომინალური ძაბვაა; I_2 - მეორეული გრადნილის დენი; P_2 და Q_2 - მეორეულ გრადნილზე მიერთებული ხელსაწყოების მიერ მოხმარებული ჯამური აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეები; Z_2 - მეორეული წრედის სრული წინაღობა.

ძაბვის ტრანსფორმატორთან მიერთებული ხელსაწყოებისა და რელეების რიცხვის ზრდასთან ერთად, მცირდება გარე წრედის წინაღობა (ვინაიდან მათი ძაბვის კოჭები პარალელურად ირთვებიან), შესაბამისად, ტრანსფორმატორის დატვირთვა იზრდება. ძაბვის ტრანსფორმატორების პასპორტებში მოცემულია მეორეული გრადნილის ნომინალური დატვირთვა $S_{2 \text{ ნომ}}$. იგი წარმოადგენს იმ მაქსიმალური დატვირთვის, რომლის დროს ძაბვის ტრანსფორმატორის ცდომილება არ სცილდება კლასით გათვალისწინებულ დასაშვებ ზღვარს.

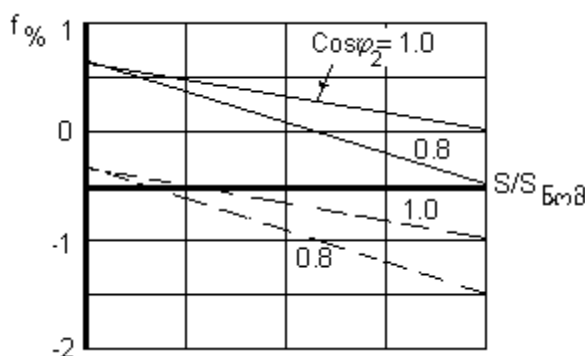
ძაბვის ტრანსფორმატორები, მათი მუშაობის გარკვეული პირობების დროს, დასაშვები ცდომილებების მიხედვით, დაყოფილი არიან რამდენიმე სიზუსტის კლასად. კლასის რიცხვითი მნიშვნელობა მიგვითითებს მაქსიმალურ დასაშვებ ცდომილებაზე, რომელიც ნომინალური ძაბვის მიმართ პროცენტებშია გამოსახული. არსებობს 0.1; 0.2; 0.5; 1.0 და 5.0 კლასის ძაბვის ტრანსფორმატორები.

ძაბვის ტრანსფორმატორი უზრუნველყოფს ძაბვის გაზომვას სიზუსტის კლასით გათვალისწინებული ცდომილებით, კერძოდ თუ:

- სიხშირე 50 ჰერცია,
- პირველად გრადნილზე მოდებული ძაბვა $(0.8 \div 1.2) U_{1 \text{ ნომ}}$ ფარგლებშია;
- მეორეული დატვირთვა $(0.25 \div 1) S_{2 \text{ ნომ}}$ - ის ტოლია; და
- სიმძლავრის კოეფიციენტი 0.8-ზე მეტია.

0.1 და 0.2 კლასის ძაბვის ტრანსფორმატორები გამოიყენებიან განსაკუთრებულად საპასუხისმგებლო აღრიცხვის ობიექტებზე. 0.5 კლასის ძაბვის ტრანსფორმატორები გამოიყენებიან ელექტრული ენერგიის მრიცხველების მისაერთებლად. 1 და 3 კლასის ძაბვის ტრანსფორმატორები კი გამოიყენებიან რელეური დაცვისა და ავტომატიკის აპარატურისა და მართვის ფარგე დაყენებული გამზომი ხელსაწყოების მისაერთებლად.

ისევე როგორც დენის ტრანსფორმატორებში, ძაბვის ტრანსფორმატორებში სიზუსტის გაზრდის მიზნით მიმართავენ ხვიურ კორექციას.

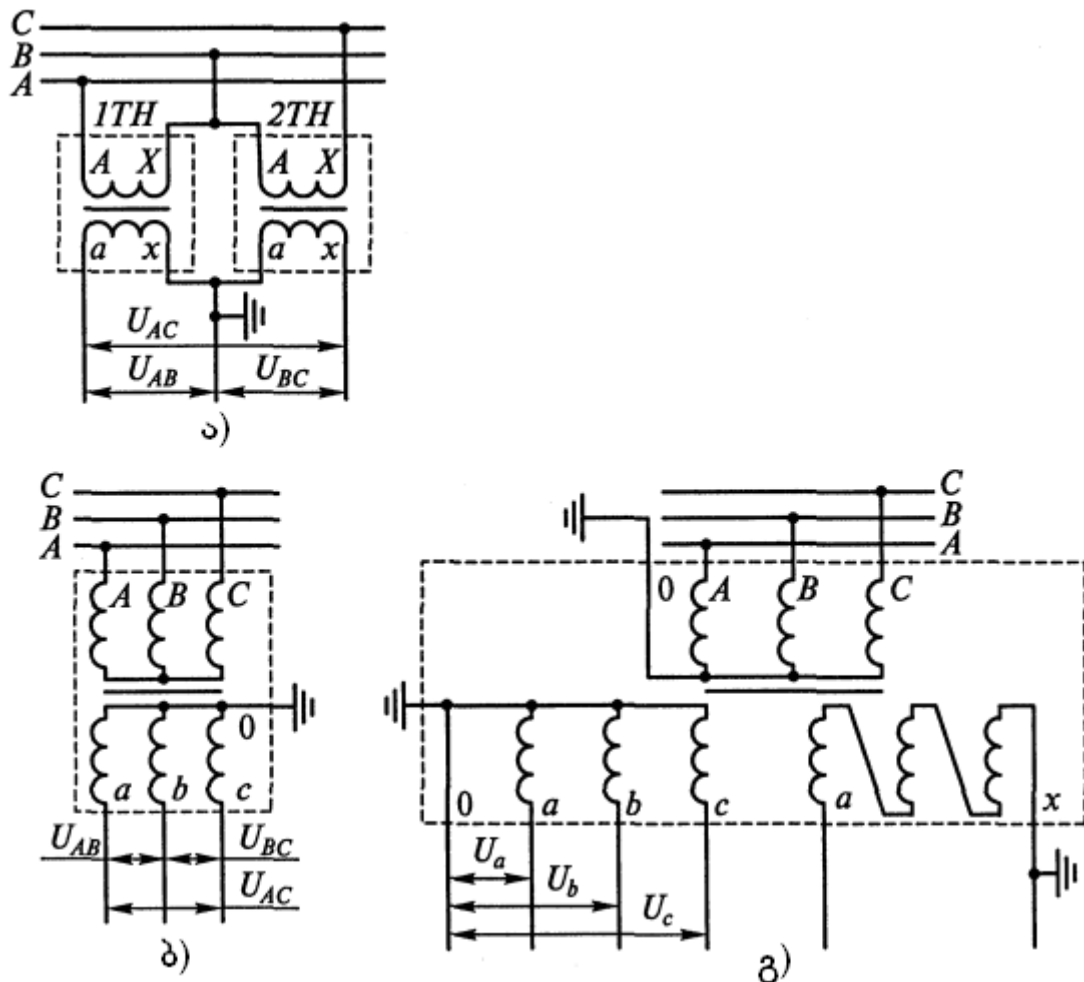


ნახ.6.69

თუ ძაბვის ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტს ავიღებთ ხვიური კოეფიციენტის $K_{ტრ. ნომ} = W_1 / W_2$ -ის ტოლს, მაშინ ცდომილება უარყოფითი იქნება, ვინაიდან

ტრანსფორმატორში დანაკარგების გამო $K_{დგ. ნომ} U_{2 ნომ}$ ყოველთვის ნაკლები იქნება U_1 –ზე. იმისათვის, რომ გაიზარდოს გაზომვის სიზუსტე, ხვიათა რიცხვის შეფარდებას იღებენ ნომინალურ ტრანსფორმაციის კოეფიციენტზე ნაკლებს, რისთვისაც რამდენიმე ხვით ამცირებენ პირველადი გრაგნილის ხვიათა რიცხვს. შედეგად, ცდომილების მახასიათებლები გადაადგილდებიან თავის თავის პარალელურად, ზემოთ, დადებითი ცდომილების არესაკენ (უწყვეტი მრუდები ნახ. 6.69)

ძაბვის ტრანსფორმატორის შეერთების სქემები. დანიშნულებიდან გამომდინარე, შეიძლება გამოყენებული იქნას ძაბვის ტრანსფორმატორები გრაგნილთა სხვადასხვა შეერთებით. სამი ფაზათაშორისი ძაბვების გასაზომად, შეიძლება გამოყენებული იქნას ორი ცალფაზა ძაბვის ტრანსფორმატორი, რომელთა გრაგნილები სამკუთხედის სქემით არის შეერთებული (ნახ. 6.70 ა), ასევე სამფაზა ორგრაგნილა ძაბვის ტრანსფორმატორი, გრაგნილების ვარსკვლავა შეერთებით (ნახ. 6.70 ბ), ხოლო მიწის მიმართ ძაბვის გასაზომად შეიძლება გამოყენებული იქნას სამი ცალფაზა ძაბვის ტრანსფორმატორი, გრაგნილების შეერთებით ვარსკვლავი/ვარსკვლავი/ღია სამკუთხედი Y_0, Y_0, D (ნახ. 6.70 გ). აქ ვარსკვლავად შეერთებული მეორეული გრაგნილი გამოიყენება მზომი ხელსაწყოების მისაერთებლად, ხოლო ღია სამკუთხედი შეერთების მქონეზე აერთებენ მიწაზე მშ-ისგან დაცვის რელეებს.



ნახ. 6.70

ძაბვის ტრანსფორმატორების შეერთების სქემები

ძაბვის ტრანსფორმატორების კონსტრუქციები. ძაბვის ტრანსფორმატორებს, დენის ტრანსფორმატორების მსგავსად, შეიძლება გააჩნდეთ სხმული იზოლაცია (როცა მათი

პირველადი ნომინალური ძაბვა ნაკლებია 35 კვ-ზე) ან მათი აქტიური ნაწილი შეიძლება მოთავსებული იყოს ზეთში (110 კვ და ზემოთ).

ძაბვის ტრანსფორმატორები შეიძლება დაყოფილ იქნას ორ ძირითად ტიპად: ინდუქციურ და ტევადურ ძაბვის ტრანსფორმატორებად. პირველი მათგანის მოქმედება ემყარება კლასიკური ძალოვანი ტრანსფორმატორის მოქმედების პრინციპს, ხოლო ტევადური ძაბვის ტრანსფორმატორს (ტძტ) (ნახ. 6.71) გააჩნია გარკვეული თავისებურებები. კერძოდ, ტძტ შედგება ორი ნაწილისგან – ტევადური ძაბვის გამყოფი (ტძგ) და შუალედური ინდუქციური ძაბვის ტრანსფორმატორი (შიძტ). შიძტ-ის ძაბვის დონე არის დაახლოებით $22/\sqrt{3}$ კვ, ხოლო ტევადური ძაბვის ტრანსფორმატორის ძაბვის დონეს განსაზღვრავს ტძგ. ჩვეულებრივ, ინდუქციურ ძტ-ს ამზადებენ შედარებით დაბალ ძაბვაზე და მაღალ ძაბვას „საკუთარ თავზე ღებულობს“ ძტგ.

ძტგ-ის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი ტოლია:

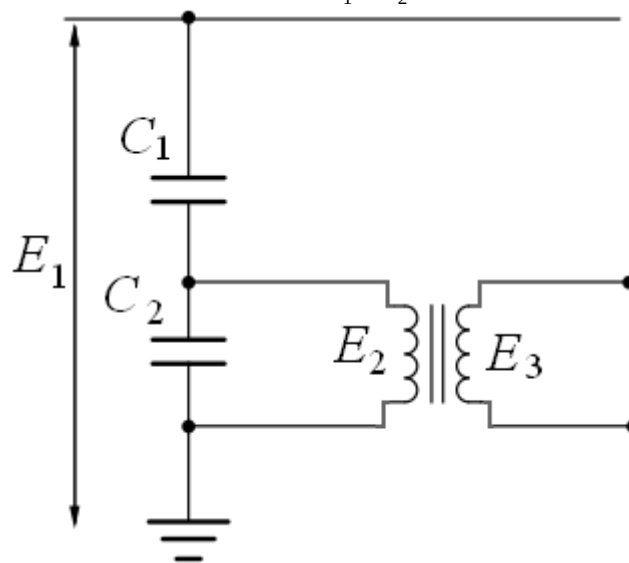
$$K_1 = \frac{E_1}{E_2} = \frac{I(X_{C1} + X_{C2})}{IX_{C2}} = \frac{\frac{1}{\omega C_1} + \frac{1}{\omega C_2}}{\frac{1}{\omega C_2}} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} \quad (6.25)$$

შიძტ-ის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი ტოლია:

$$K_2 = \frac{E_2}{E_3} \quad (6.26)$$

მაშასადამე, სრული ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი იქნება

$$K = K_1 \cdot K_2 \quad (6.27)$$

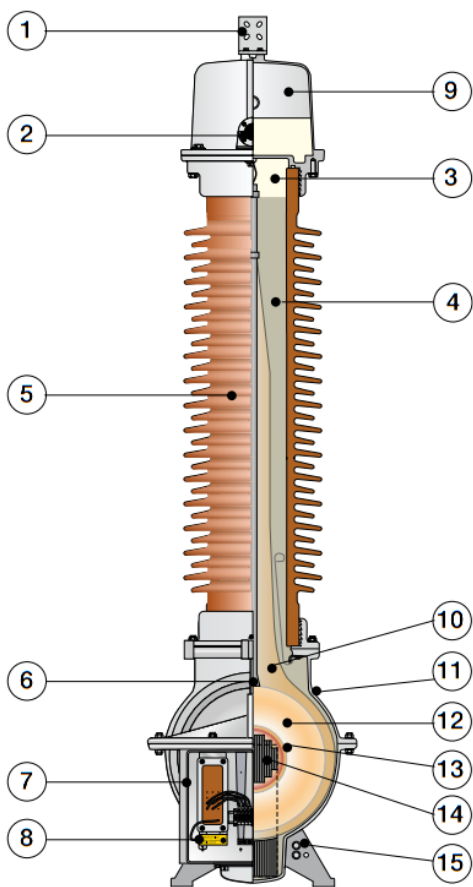


ნახ. 6.71

ტევადური ძაბვის ტრანსფორმატორის სქემა

სადაც K_1 -ს ისეთს ირჩევენ, რომ მიიღონ $E_2 = 22/\sqrt{3}$ კვ.

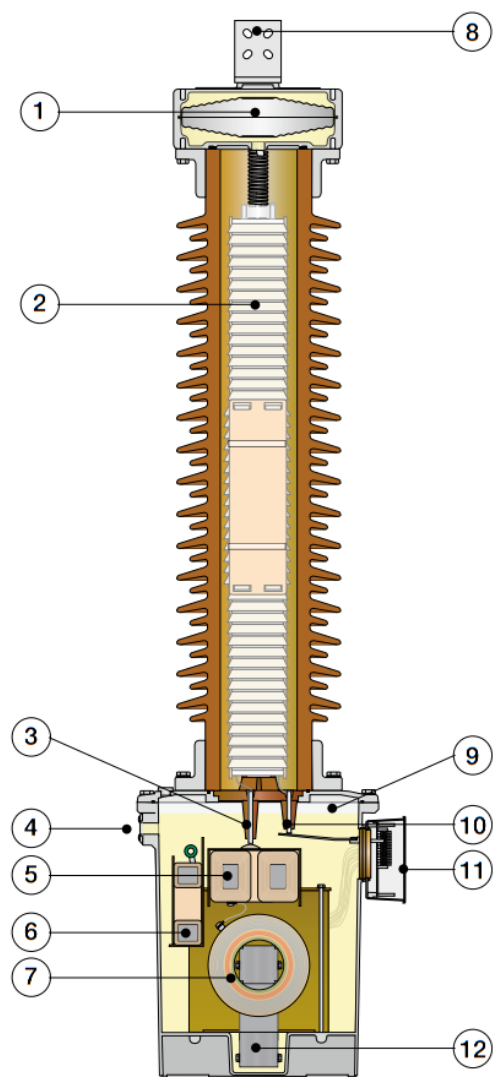
ამრიგად, სხვადასხვა პირველადი ნომინალური ძაბვის შემთხვევაში ცვლიან მხოლოდ C_1 -ის სიდიდეს, რაც იძლევა შესაძლებლობას, ნებისმიერი პირველადი ძაბვის შემთხვევაში, გამოყენებულ იქნას სტანდარტული შიძტ. ტევადური ძაბვის რეგულირებისა და კომპენსაციის მიზნით, შიძტ აგრეთვე შეიძლება შეიცავდეს რეაქტორებს. გადაძაბვის აღსაკვეთად კი შეიძლება მის პირველად გრაგნილზე მიერთებულ იქნას გადაძაბვის შემზღუდველი.



ნახ. 6.72

ინდუქციური ძაბვის ტრანსფორმატორი

- 1 – პირველადი შემყვანი;
- 2 – ზეთის მაჩვენებელი შუშა;
- 3 – ზეთი;
- 4 – კვარცის შემავსებელი;
- 5 – საყრდენი იზოლატორი;
- 6 – ამწევი ყულფი;
- 7 – მეორეული შემყვანის ყუთი;
- 8 – ნეიტრალის საბოლოო გამომყვანი;
- 9 – გაფართოების სისტემა;
- 10 – ქაღალდის იზოლატორი;
- 11 – ავზი;
- 12 – პირველადი გრაგნილი;
- 13 – მეორეული გრაგნილები;
- 14 – გულარა;
- 15 – მიწასთან სამაგრები;



ნახ. 6.73

ტევადური ძაბვის ტრანსფორმატორი

ტძგ-ის ნაწილები:

- 1 – გაფართოების სისტემა;
 - 2 – ტევადური ელემენტები;
 - 3 – შიძტ-ის გამომყვანი;
 - 8 – პირველადი შემყვანი;
 - 10 – დაბალი ძაბვის შემყვანები;
- შიძტ-ის ნაწილები:
- 4 – ზეთის მაჩვენებელი შუშა;
 - 5 – მაკომპენსირებელი რეაქტორი;
 - 6 – რეზონანსის მადემპფირებელი წრედი;
 - 7 – პირველადი და მეორეული გრაგნილები;
 - 9 – აირის ბალიში;
 - 11 – შემყვანის ყუთი;
 - 12 – გულარა

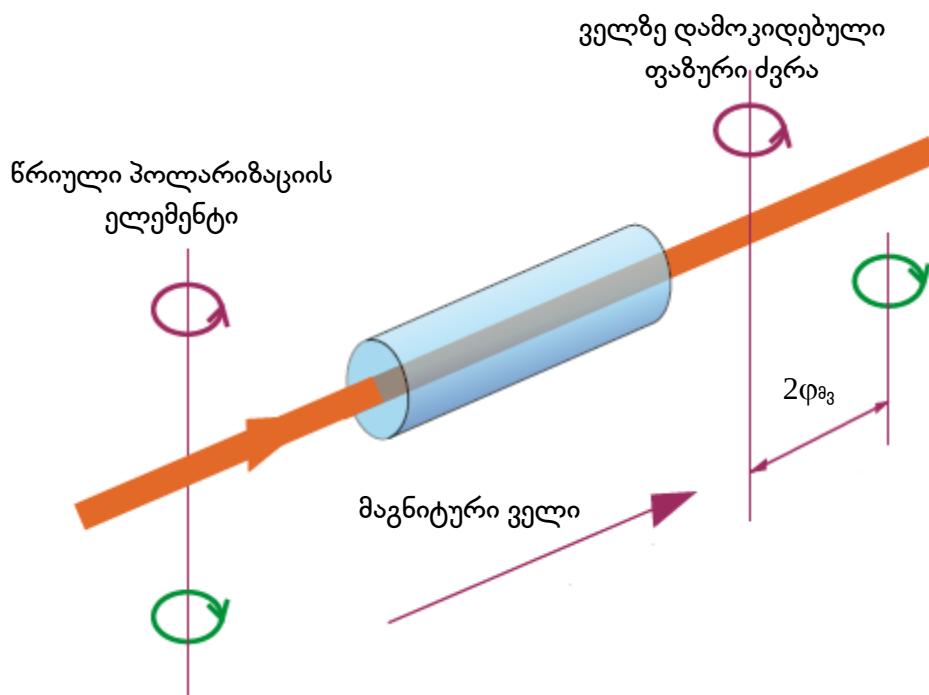
6.5.3 მაგნიტურ-ოპტიკური დენის ტრანსფორმატორი

ზოგადი ცნობები. ზემოაღნიშნულ ძაბვებზე, განსაკუთრებულად საპასუხისმგებლო აპარატებზე შეიძლება გამოყენებული იქნას, ე.წ. „არატრადიციული მზომი ტრანსფორმატორები“, რომელთა მუშაობა დაფუძნებულია ოპტიკურ სადენში ფარადეის ეფექტზე.

ფარადეის ეფექტი. მაგნიტური ველის ზემოქმედების შედეგად, ზოგიერთ მასალაში მბრუნავი წრფივი პოლარიზებული სინათლის სხივი ოპტიკურად გააქტიურდება. თუკი მაგნიტური ველისა და სინათლის გავრცელების მიმართულებები ერთმანეთს ემთხვევა, მაშინ ბრუნვის კუთხე φ პროპორციულია მაგნიტური ნაკადის სიმჭიდროვის B , „სინათლის გზის“ სიგრძისა l და ვერდეტის მუდმივასი v , რომელიც მასალაზეა დამოკიდებული. ქვემოთ მოცემულ განტოლებაში I არის გამტარში გამავალი დენი, ხოლო μ – მასალის მაგნიტური შეღწევადობა.

$$\varphi = V \int B dl = \mu v \int H dl = \mu v I \quad (6.28)$$

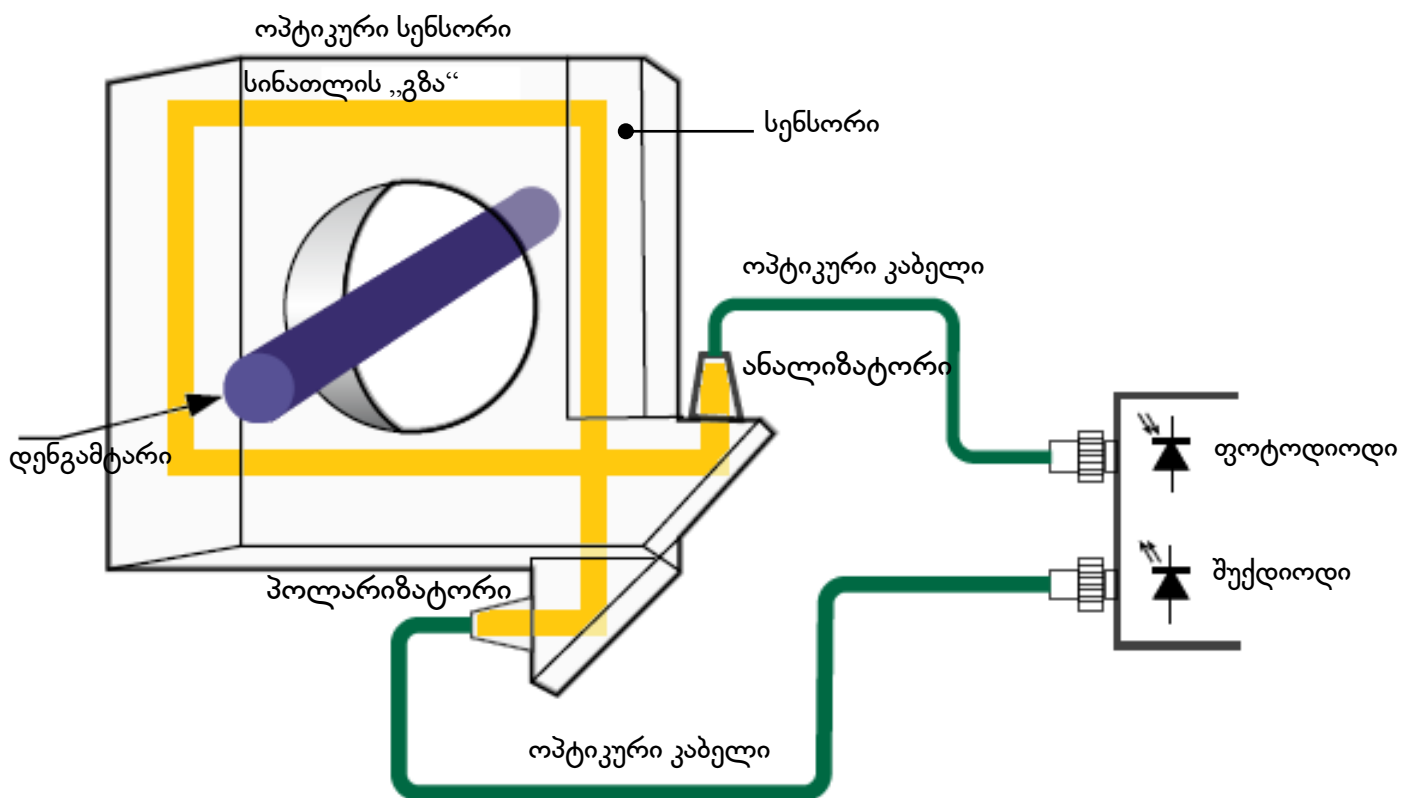
ამრიგად, შემავალ და გამომავალ პოლარიზებულ სიგნალებს შორის ძვრის კუთხე პროპორციულია გასაზომი დენისა.



ნახ. 6.74

მაგნიტური ველით გამოწვეული ფაზური ძვრა

მაგნიტურ-ოპტიკური დენის ტრანსფორმატორის (MOCT) მოქმედების პრინციპი. ამ მოწყობილობის სენსორულ სისტემაში (ნახ. 6.75) სინათლეს ასხივებს *შუქდიოდი*. ეს სინათლე ოპტიკური კაბელის გავლით მიეწოდება სხივების *პოლარიზატორს*. სინათლე პოლარიზდება და შედის სენსორში. ამის შემდეგ, იგი გარშემოწველის მახრუნებელში გაყრილ დენგამტარს და მიემართება ანალიზატორისკენ. ანალიზატორი დამონტაჟებულია პოლარიზატორისადმი (მახრუნებელისადმი) 45° -იანი დახრით. ამრიგად, სხვა ოპტიკური კაბელის გავლით სინათლე უკან ბრუნდება ელექტრონულ მოდულში, სადაც *ფოტოდiodების* მიერ გარდაიქმნება ელექტრონულ იმპულსად. სენსორში შემავალ და მისგან გამომავალ სხივებს ერთმანეთის მიმართ უჩნდებათ ფაზური ძვრის კუთხე. ეს კუთხე ჩნდება გამტარში გამავალი დენის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ზემოქმედებით, პოლარიზებულ სხივებზე. იგი, (6.28)-ის თანახმად, პროპორციულია გამავალი დენისა. სიგნალის გადამუშავების მოდული და ზუსტი გაძლიერების წრედი, ნომინალურ რეჟიმში, უზრუნველყოფენ 1.0 ა სიდიდის გამოსავალ დენს, რომელიც პროპორციულია პირველადი წრედის დენგამტარში გამავალი დენისა.



ნახ. 6. 75

დენის ოპტიკური სენსორის სისტემის კონცეპტუალური სქემა

6.5.4 ელექტრო-ოპტიკური დაბვის ტრანსფორმატორი (EOVT)

აღნიშნული დაბვის ტრანსფორმატორის მოქმედება ემყარება პოკელის ეფექტს. ამ მოვლენას აქვს ადგილი კრისტალურ მასალებში. იგი აღწერს ორად გარდატეხილი სხივის ინტენსიტეტის ელექტრული ველის ზემოქმედების შედეგად.

პოკელის ეფექტი. თუ წრფივი სხივები კრისტალში (ნახ. 6.76) ვრცელდება ელექტრული ველის პარალელურად, მაშინ ამ ველის (და შესაბამისი U დაბვის) ზემოქმედებით, გაჩნდება ფაზური ძვრა სხივების ნელი და სწრაფი ღერძების ნაწილებს შორის. ეს ძვრა, რომელიც გამოწვეულია სინათლის გავრცელების სიჩქარეების $v_1 - v_2 = v$ სხვაობის გამო, დამოკიდებულია ღერძებს შორის არსებულ გარდატეხის სხვადასხვა მაჩვენებლებზე. ამრიგად, შეგვიძლია დავწეროთ:

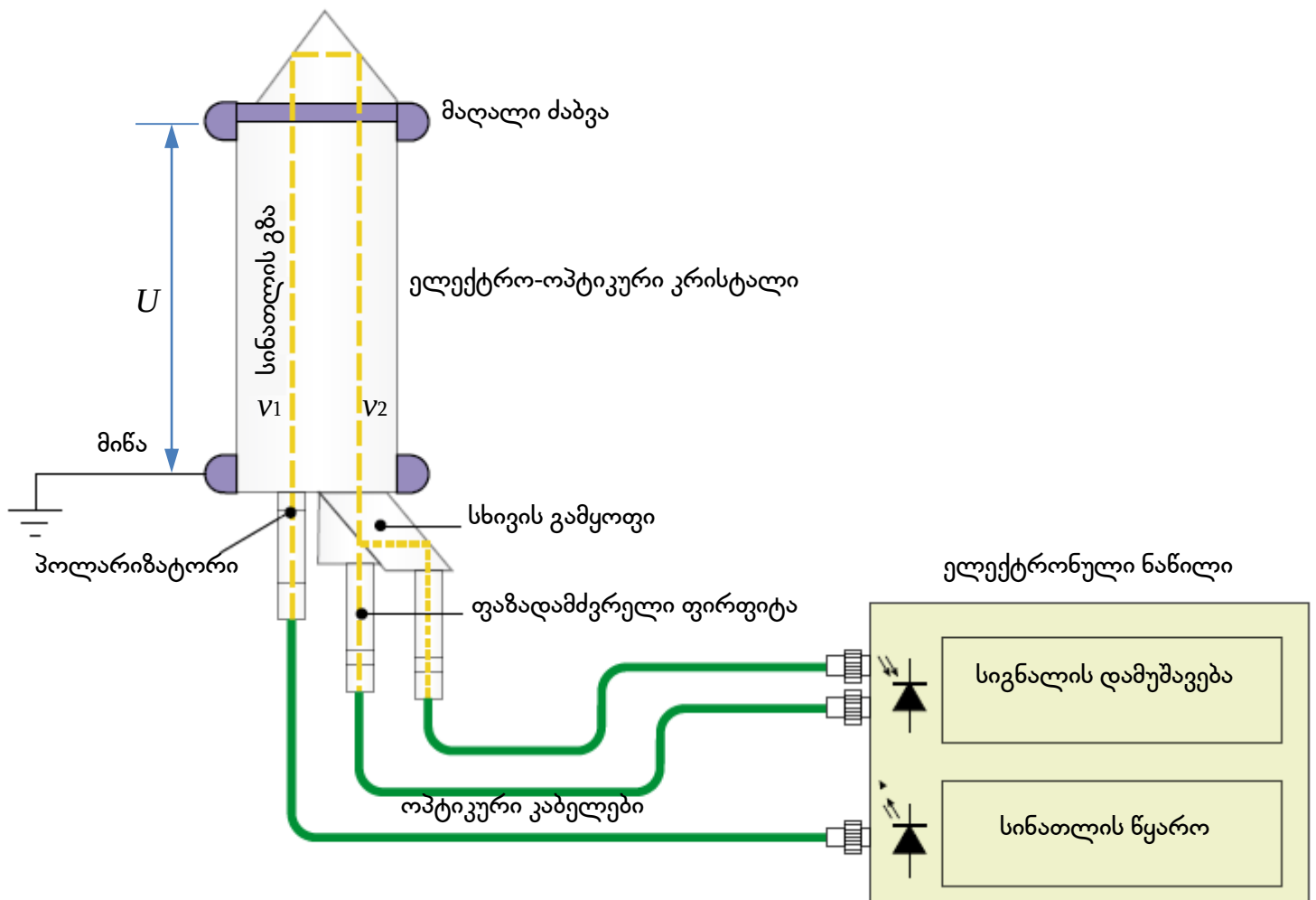
$$v = kU \quad (6.29)$$

სადაც

v = არის კრისტალის „ნელ“ და „სწრაფ“ სხივებს შორის სიჩქარეთა სხვაობა;

k = პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს კრისტალის გარდამტეხ და სხვა ოპტიკურ თვისებებს;

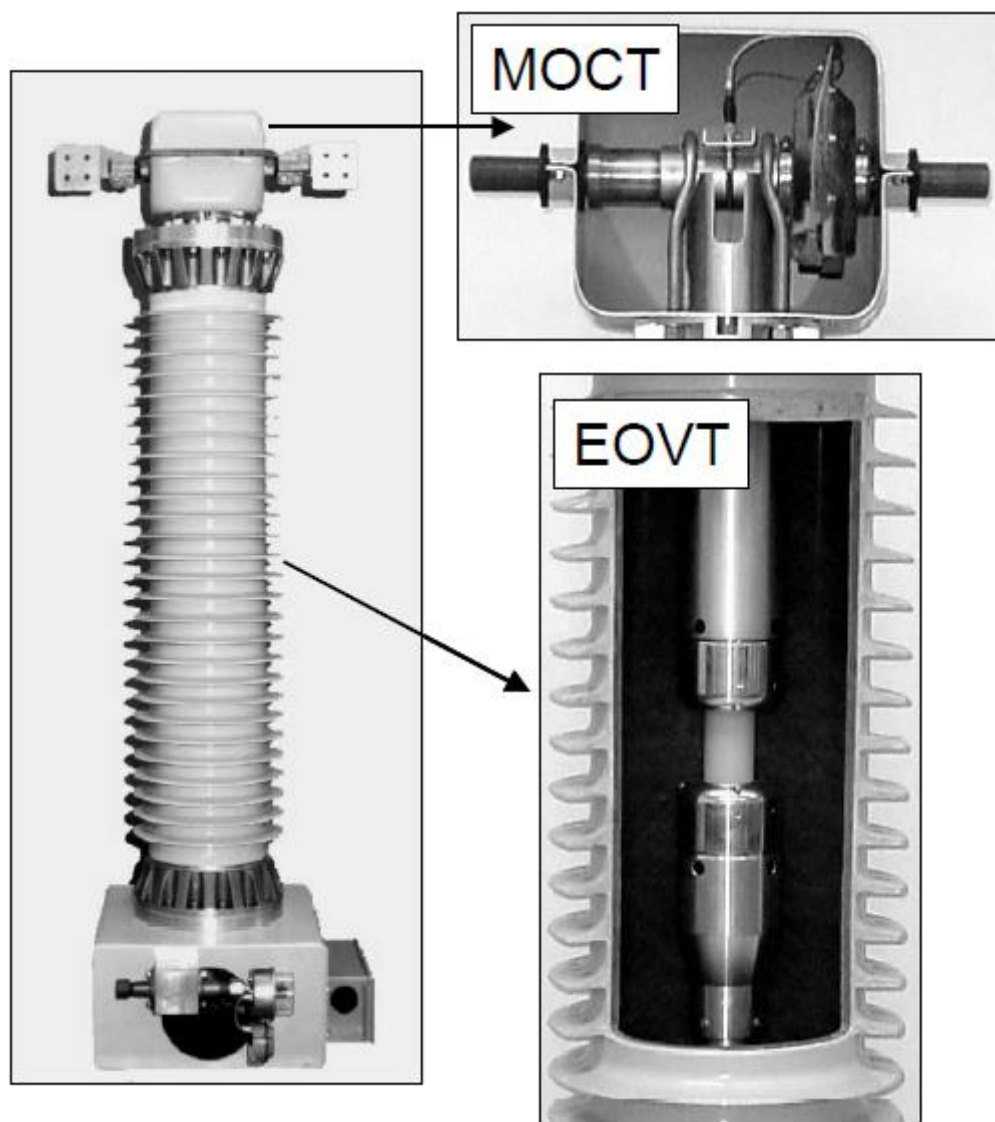
U = გასაზომი დაბვის სიდიდე.



ნახ. 6. 76

დაბვის ოპტიკური სენსორის სისტემის კონცეპტუალური სქემა

კომბინირებული ოპტიკური მზომი ხელსაწყო, მაგნიტურ-ოპტიკური დენის ტრანსფორმატორით (MOCT) და ელექტრულ-ოპტიკური ძაბვის ტრანსფორმატორით (EOVT), ნაჩვენებია ნახ. 6.77-ზე.



ნახ. 6. 77

კომბინირებული ოპტიკური მზომი ხელსაწყო, მაგნიტურ-ოპტიკური დენის ტრანსფორმატორით (MOCT) და ელექტრულ-ოპტიკური ძაბვის ტრანსფორმატორით (EOVT)

6.7 მუდმივი დენის დამხმარე მოწყობილობები (საკუმულატორო ბატარეა)

ელექტრულ სადგურებსა და ქვესადგურებში არსებობს მთელი რიგი მოწყობილობებისა, რომელთათვის კვების შეწყვეტამ ხანმოკლე დროითაც კი შეიძლება გამოიწვიოს ტექნოლოგიური პროცესის ჩაშლა, დააზიანოს აპარატურა ან ხიფათი შეუქმნას პერსონალს. აღნიშნული საფრთხეების თავიდან ასაცილებლად ელსადგურებსა და ქვესადგურებზე არსებობს დამხმარე მუდმივი დენის წყარო - საკუმულატორო ბატარეის სახით. ავარიის შემთხვევაში, რომელმაც შეიძლება გამოიწვიოს ძალოვანი წრედის სრული ჩაქრობა, სწორედ საკუმულატორო ბატარეა იწყებს მოქმედებას და თავის თავზე იღებს სასიცოცხლოდ აუცილებელი მომხმარებლების უწყვეტ ელექტრომომარაგებას. ეს მომხმარებლებია: მართვის, სიგნალიზაციის, ავტომატიკის, ბლოკირების, ავარიული განათების და დაცვის წრედების და, ასევე, განსაკუთრებული აუცილებლობის მქონე საკუთარი მოხმარების (შეზეთვის ტუმბოები, ლილვის შემჭიდროების) მექანიზმები.

მომხმარებლები, რომლებიც იკვებებიან საკუმულატორო ბატარეიდან, შეიძლება პირობითად დავყოთ შემდეგ ჯგუფებად:

I ჯგუფი - მუდმივად ჩართული დატვირთვა - რელეური დაცვის, ბლოკირების და სიგნალიზაციის ის აპარატები, რომლებიც მუდამ ძაბვის ქვეშ არიან. ამავე ჯგუფს მიეკუთვნება ავარიული განათების მუდმივად ჩართული ნაწილი.

II ჯგუფი - დროებითი დატვირთვა - ის მომხმარებლები, რომელთა კვება საკუმულატორო ბატარეიდან საჭიროა ავარიულ სიტუაციაში, ცვლადი ძაბვის გაქრობის დროს. ესენია: ავარიული განათება და მუდმივი დენის ძრავები. ამ დატვირთვის ჩართვის ხანგრძლივობა 0.5-1 საათია.

III ჯგუფი - ხანმოკლე დატვირთვა, რომლის ხანგრძლივობა არ აღემატება 5 წამს. ჩვეულებრივ ესაა ამომრთველების ჩართვის და გამორთვის სოლენოიდები, რელეური დაცვის, ბლოკირების და სიგნალიზაციის ის აპარატები, რომლებიც მცირე დროით იმყოფებიან ძაბვის ქვეშ.

მუდმივად ჩართული დატვირთვის სიმძლავრე დამოკიდებულია ელექტრული სადგურის ტიპსა და სიმძლავრეზე:

- თეცებისათვის, ერთ საკუმულატორო ბატარეაზე ვარაუდობენ 20 ამპერს.

- კვებსზე, ბლოკებით 150-200 მგვტ (ერთი საკუმულატორო ბატარეა ორ ბლოკზე) – 30 ამპერს. 300 მგვტ სიმძლავრის ბლოკების შემთხვევაში ამ დატვირთვის დენს იღებენ 40 ამპერის ტოლს.

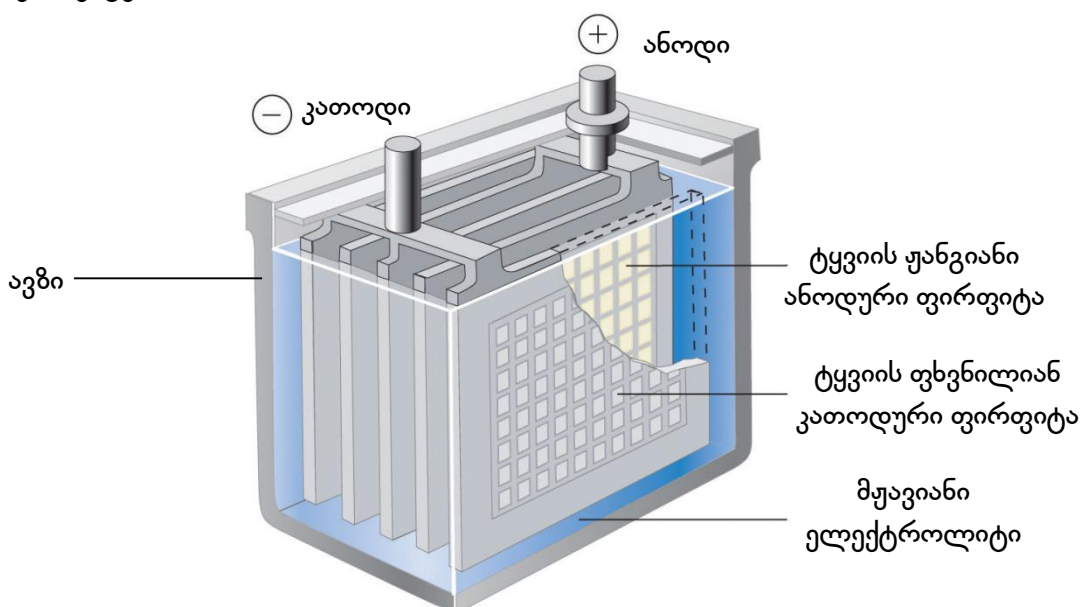
- მძლავრ ქვესადგურებში იღებენ 25 ამპერს.

დროებითი და ხანმოკლე დატვირთვის სიდიდე დამოკიდებულია სადგურის ტიპზე, ამომრთველების ტიპზე და ბევრ სხვა პარამეტრზე. ამ დატვირთვის დადგენა ხდება კონკრეტული სქემისათვის.

საკუმულატორო ბატარეის ნომინალური ძაბვა 230 ან 110 ვოლტია. ეს ბატარეა შედგება ცალკეული სააკუმულატორო ქილებისგან. აკუმულატორის დამუხტვა ხორციელდება მუდმივი დენის წყაროდან (ტირისტორული გამმართველი ან ძრავ-გენერატორი). ამ რეჟიმში აკუმულატორს მიეწოდება უფრო მაღალი ძაბვა, ვიდრე არსებობს მის მომჭერებზე.

ქვესადგურებში შეიძლება გამოყენებული იქნას მუავით ან ტუტით შევსებული ბატარეები. სხვა ტიპის, მაგალითად, ლითიუმის ბატარეებს უკეთესი საექსპლუატაციო მახასიათებლები გააჩნიათ, მაგრამ, ამ ეტაპზე, ეკონომიკური მიზანშეწონილობის გამო, ქვესადგურებში არ გამოიყენება.

მუავიანი ბატარეა, წარმოადგენს მინის ან ინერტული პლასტმასის ავზს, რომელშიც ჩასხმულია გოგირდმუავა და ჩალაგებულია ერთმანეთისაგან ფოროვანი დიქტით იზოლირებული ტყვიის დადებითი და ტყვიის უანგისა და ტყვიის ფხვნილისაგან დამზადებული უარყოფითი ფირფიტები (ნახ. 6.78).

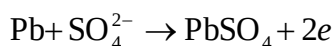


ნახ. 6.78

მუავიანი სააკუმულატორო ბატარეა

თუკი დამუხტული აკუმულატორის გარე წრედს შევკრავთ, გაჩნდება ელექტრული დენი და დაიწყება შემდეგი რეაქციები:

უარყოფით ფირფიტაზე მიმდინარე რეაქციას აქვს სახე:

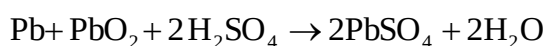


დადებით ფირფიტაზე მიმდინარე რეაქციას აქვს სახე:



სადაც $e = 1.591 \cdot 10^{-19}$ კ (კულონი) = ელექტრონის მუხტის სიდიდეა

ამრიგად, მუავას ყოველ დახარჯულ მოლეკულაზე ყალიბდება წყლის ოთხი მოლეკულა, მაგრამ, ამავდროულად, იხარჯება წყლის ორი მოლეკულაც. ამიტომ, ჯამში მხოლოდ ორი მოლეკულა წყლის წარმოქმნა ხდება. ანოდის და კათოდის რეაქციების ერთობლიობა მოგვცემს:



ზემოაღნიშნული განტოლებების წაკითხვა უნდა მოხდეს მარცხნიდან მარჯვნივ. აკუმულატორის განმუხტვისას ორივე პოლარობის ფირფიტებზე წარმოიქმნება ტყვიის სულფატი. გოგირდმჟავა სწორედ ამ ფირფიტებზე იხარჯება. ამასთან, დადებით ფირფიტებზე უფრო მეტია მჟავას ხარჯი, რადგან წარმოიქმნება წყლის ორი მოლეკულა და მჟავას კონცენტრაცია აქ უფრო მცირდება, ვიდრე უარყოფით ფირფიტაზე.

აკუმულატორის დამუხტვისას, ქიმიური რეაქციის მიმართულება იცვლება და ხსენებული განტოლებების წაკითხვა უნდა მოხდეს მარჯვნიდან მარცხნივ. ამ შემთხვევაში, დადებით ფირფიტებზე ტყვიის სულფატი აღდგება ტყვიის ოქსიდად, ხოლო უარყოფითზე – ლითონურ ტყვიად, ამასთან, წარმოიქმნება გოგირდმჟავა და იზრდება მჟავას კონცენტრაცია.

მუავიანი აკუმულატორის ნომინალური ძაბვაა 2.05 ვ, მუავას საჭირო სიმკვრივეა 1.2 გ/სმ³.

მუავიანი ბატარეების ღირსებებია:

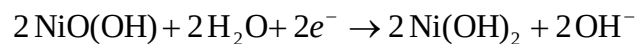
- დაბალი საწყისი ფასი;
- საიმედო მუშაობის უნარი მდორედ ცვლად რეჟიმებში

მუავიანი ბატარეების ნაკლოვანებებია:

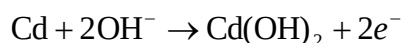
- მუშა გარემოს ტემპერატურის გაზრდის შემთხვევაში მკვეთრად მცირდება ბატარეის სიცოცხლის ხანგრძლივობა (მაგალითად, ტემპერატურის მატებისას 10-დან 20°C-მდე, სიცოცხლის ხანგრძლივობა მცირდება 50%-ით);
- დაბალ ტემპერატურებზე ტევადობის სიმცირე;
- მუხტის სწრაფი დაკარგვა მოლოდინის რეჟიმში;
- უეცრად წარმოქმნილი ავარიისას მწყობრიდან გამოსვლის რისკი;
- ხანძარსაშიშროება;
- ერთეულ მოცულობაზე მცირე ტევადობა და დიდი გაბარიტები

ტუტიანი აკუმულატორი გარეგნულად მუავიანი აკუმულატორის მსგავსია და შედგება ინერტული პლასტმასისგან, შიგნით მოთავსებული ნიკელის ჰიდრატის დადებითი ფირფიტების, კადმიუმის უარყოფითი ფოროვანი ფირფიტებისა და ფირფიტებმორისი ბარიერისა და კალიუმის ჰიდროქსიდის ელექტროლიტისგან.

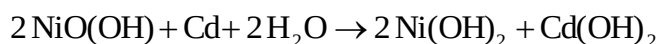
დამუხტვის პროცესში ნიკელის დადებით ფირფიტაზე მიმდინარეობს შემდეგი რეაქცია:



კადმიუმის ელექტროდზე მიმდინარეობს შემდეგი რეაქცია:



ანოდისა და კათოდის ერთობლივი რეაქცია იქნება:



განმუხტვისას რეაქციების წაკითხვა უნდა მოხდეს მარცხნიდან მარჯვნივ, ხოლო დამუხტვისას – პირიქით. აღსანიშნავია, რომ კალიუმის ჰიდროქსიდის ელექტროლიტი (KOH) რეაქციაში არ მონაწილეობს, ამიტომ მის სიმკვრივეს ბატარეის მახასიათებლებზე გავლენა არ აქვს. კადმიუმის ერთი ბატარეის ნომინალური ძაბვაა 1.2 ვ.

ტუტიანი ბატარეების ღირსებებია:

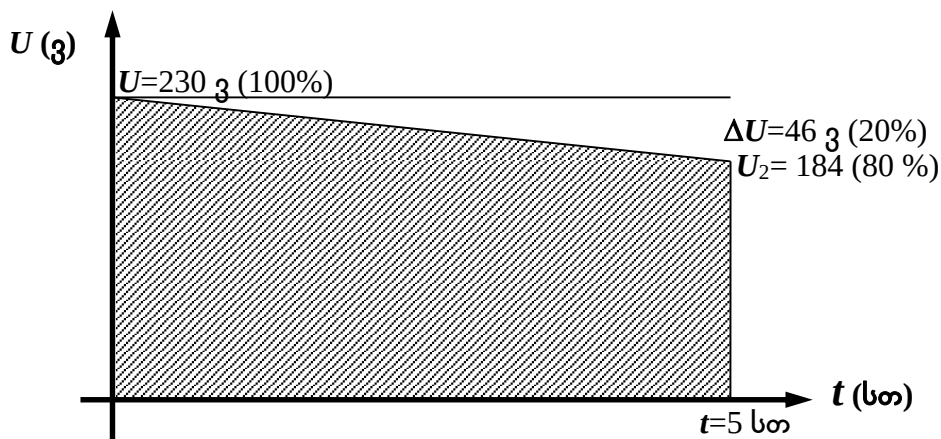
- ხანგრძლივი სიცოცხლის უნარი (20 წლამდე);
- მაღალი საიმედოობა, როგორც მდორედ ცვლად რეჟიმებში, ასევე უეცრად წარმოქმნილი ავარიისას, მწყობრიდან გამოსვლის რისკის გარეშე;
- მაღალი ტემპერატურების მხოლოდ უმნიშვნელო გავლენა სიცოცხლის ხანგრძლივობაზე;
- დაბალ ტემპერატურებზე მაღალი ტევადობის ქონის უნარი;
- მუშა ტემპერატურების ფართო ზღვარი;
- სწრაფი დამუხტვის უნარი;
- მაღალი მექანიკური და ელექტრული მედეგობა;
- ღრმა განმუხტვების გავლენის არქონა სიცოცხლის ხანგრძლივობაზე;
- გადამეტმუხტვებისადმი მედეგობა;
- ფირფიტების კოროზიის არარსებობა;
- ერთეული ტევადობისთვის საჭირო მცირე მასა და გაბარიტები;

ტუტიანი ბატარეების ნაკლოვანებებია:

- მაღალი საწყისი ფასი;
- დამუხტველი მონყობილობისთვის დაბეჭდვის დიდი ზღვრების უნარის საჭიროება;
- ტოქსიკურობის რისკი

საკუმულატორო ბატარეების შერჩევა, კერძოდ მათი ნომინალური ძაბვის, ტევადობის და ტიპის განსაზღვრა უნდა მოხდეს მთელი რიგი ფაქტორების გათვალისწინებით, რომელთაგან მთავარია ელსადგურის ან ქვესადგურის ტიპი, სიმძლავრე და მისი მნიშვნელობა სისტემისთვის. ბუნებრივი იქნებოდა სააკუმულატორო ბატარეის ტევადობა განსაზღვრულიყო იმ ენერგიის ოდენობით, რომლის დაგროვებასაც იგი მოახერხებდა და გამოგვესახა ერთეულებში ვოლტი×ამპერი×საათი. მაგრამ, ვინაიდან ქვესადგურების სააკუმულატორო ბატარეის თითოეული ქილის ძაბვა სტანდარტული სიდიდეა (მუჟაიანისთვის 2.05 ვ და ტუტიანისთვის 1.2 ვ), ამიტომ ბატარეის ენერგოტევადობას გამოსახავან ერთეულებში ამპერ×საათი.

აღსანიშნავია, რომ დამუხტვისას სააკუმულატორო ბატარეას უნდა მიეწოდოს ენერგია ძაბვით ნომინალურის 120%. მუშაობისას ანუ განმუხტვისას სააკუმულატორო ბატარეის ძაბვა მცირდება და მუხტის ამონურვისას შეიძლება შეადგენდეს ნომინალურის 80%-ს, ნახ. 6.79.



ნახ. 6.79

ვთქვათ, სადგურში გვესაჭიროება მომხმარებლების უწყვეტი კვება $t=5$ საათის განმავლობაში $U=230$ ვ ნომინალური ძაბვით და $I=20$ ა დენით. თუ ჩავთვლით, რომ აკუმულატორები იდეალურია და განმუხტვის პროცესში მათ მომჭერებზე ძაბვა დროში არ მცირდება, მაშინ მივიღებთ, რომ სააკუმულატორო ბატარეებს უნდა გააჩნდეთ შემდეგი ენერგიის მქონე ტევადობა:

$$W_{\text{ოღ}} = IUt = 20 \cdot 230 \cdot 5 = 23000 \text{ ვტ} \cdot \text{სთ}$$

ახლა დავუშვათ, რომ რეალური აკუმულატორის ძაბვა დროში მცირდება (ნახ. 6.79) და განმუხტვის პერიოდის ბოლოსთვის ნომინალურთან შედარებით ნაკლებია სიდიდით $\Delta U=46$ ვ ამიტომ. ამ შემთხვევაში აკუმულატორის ტევადობა გამოდის:

$$W_{\text{რე}} = I \left[\frac{U + (U - \Delta U)}{2} \right] t = IUt - \frac{I\Delta U}{2} t = 20 \cdot 230 \cdot 5 - \frac{20 \cdot 46 \cdot 5}{2} = 22540 \text{ ვტ} \cdot \text{სთ}$$

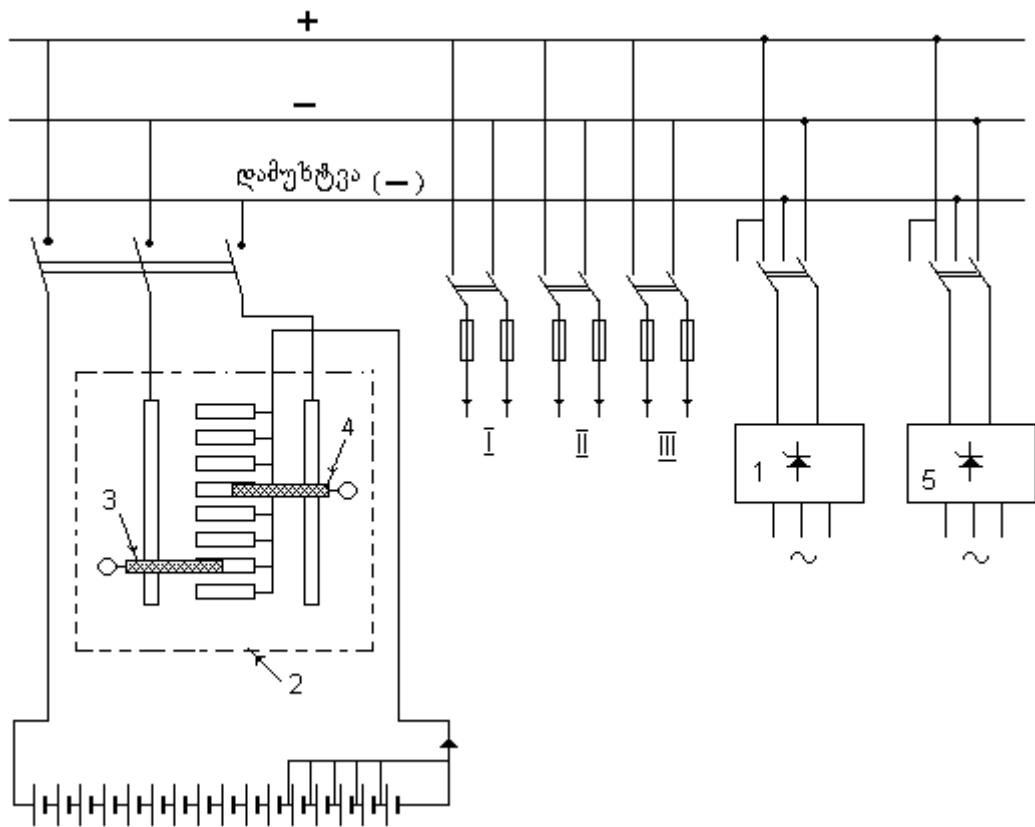
ამრიგად, აკუმულატორის ტევადობის შეფარდება უცვლელი და დროში შემცირებადი ძაბვებისათვის იქნება:

$$k = \frac{W_{\text{ოღ}}}{W_{\text{რე}}} = \frac{U}{U - \Delta U / 2}$$

მაშასადამე, ვიცით რა ძაბვის შემცირების ღონე, შეგვიძლია ვივარაუდოთ, თუ რა მარაგით უნდა ავიღოთ რეალური სააკუმულატორო ბატარეის ტევადობა, რომ იგი გამოვიდეს იდეალური ბატარეის შესაბამისი:

$$W_{\text{ოღ}} = kW_{\text{რე}}$$

საკუმულატორო ბატარეის დამუხტავი მოწყობილობა. სრულად დამუხტული ტუტიანი აკუმულატორის ძაბვა ნომინალურ რეჟიმში უდრის 1.2 ვოლტს. აკუმულატორის დამუხტვა ხორციელდება მუდმივი დენის წყაროდან, რაც შეიძლება იყოს ტირისტორული გამმართველი ან ძრავ-გენერატორი. ამ რეჟიმში აკუმულატორს მიეწოდება უფრო მაღალი ძაბვა, ვიდრე არსებობს მის მომჭერებზე. დამუხტვის პროცესის ბოლოს ძაბვა ერთ აკუმულატორზე (ქილაზე) აღწევს 1.35 ვოლტს. აკუმულატორების რეჟიმის შესამსუბუქებლად, იმ შემთხვევაში, როდესაც ხდება არა ინტენსიური განმუხტვა, არამედ მხოლოდ ”მუხტის დაკარგვა” უქმი სვლის პროცესში, იყენებენ ე.წ. ”ქვედამუხტვას”. ამ რეჟიმში ყოველ აკუმულატორზე ინარჩუნებენ 1.25 -1.3 ვოლტ ძაბვას. ქვედამუხტვის რეჟიმი მიღებულია, როგორც ძირითადი, ნორმალური რეჟიმი. აკუმულატორის მკვეთრი განმუხტვის შემდეგ კი საჭიროა, ის გადავიყვანოთ დამუხტვის რეჟიმში. ნახ.6.80.-ზე ნაჩვენებია სააკუმულატორო დანადგარის დამუხტვის სქემა.



ნახ. 6.80

საკუმულატორო ბატარეის დამუხტვის სქემა

დანადგარი შედგება სააკუმულატორო ბატარეისაგან, რომელიც მიერთებულია მუდმივი დენის სალტებთან. ბატარეის დამუხტვა და ქვედამუხტვა ხორციელდება ტირისტორული გამმართველებით 1 და 5. სააკუმულატორო ბატარეის ელემენტების რაოდენობის შესაცვლელად, რაც აუცილებელია სალტებზე ძაბვის სიდიდის შესანარჩუნებლად, გამოყენებულია ელემენტების კომუტატორი 2. კომუტატორს აქვს ორი მცოცი. მცოცი 3 გამოიყენება განმუხტვის რეჟიმში. თუ ძაბვა ნომინალურზე ნაკლებია, ამ მცოცით შესაძლებელია დამატებითი აკუმულატორების ჩართვა, ან პირიქით. მცოცი 4 იხმარება დამუხტვის რეჟიმში. მუდმივი დენის სალტებიდან იკვებება ზემოთ აღნიშნული I, II და III ჯგუფის მომხმარებლები.



ნახ. 6.81

სააკუმულატორო ბატარეა

თავი VII

ელექტრული სადგურებისა და ქვესადგურების მთავარი სქემები

7.1 ზოგადი ცნობები

ელექტროსადგურებზე გამომუშავებული ელექტრული ენერგიის მომხმარებლისათვის გადაცემა ხდება დამხმარე მოწყობილობების და აპარატების საშუალებით. გენერატორები, ტრანსფორმატორები და გადაცემის ხაზები ერთმანეთთან მიერთებული არიან ე.წ. შემკრები სალტების საშუალებით. მათი მიერთება ხდება მაღალი ძაბვის ამომრთველებით და გამთიშველებით. მათში გამავალი დენი და ძაბვა იზომება იქვე დამონტაჟებული დენის და ძაბვის ტრანსფორმატორებით.

ყველა ამ ელემენტის შეერთების სქემას ელექტრული სადგურის ან ქვესადგურის მთავარ სქემას უწოდებენ. მთავარ სქემებს, მათი გამარტივების მიზნით, ხაზავენ ერთი თაზისათვის.

მთავარი სქემების გარდა, არსებობს ოპერატიული სქემები. ასეთი სქემები უფრო გამარტივებული არიან და მათზე ამომრთველებს და გამთიშველებს უჩვენებენ იმ მდგომარეობაში (ჩართული ან გამორთული), რომელიც შეესაბამება დროის მოცემულ მომენტს. მორიგე პერსონალი იყენებს ამ სქემებს და თუ საჭირო ხდება რაიმე ამომრთველის ან გამთიშველის ჩართვა ან გამორთვა, სათანადო მესწორება შეაქვს ოპერატიულ სქემაში.

არჩევენ კიდევ სქემის ერთ სახეს, ესაა ელექტრული ენერგიის გადაცემის სქემა. ამ სქემაზე უჩვენებენ მხოლოდ გენერატორებს, ტრანსფორმატორებს, შემკრებს სალტებს და დატვირთვას. ეს სქემა საჭიროა მხოლოდ ელექტრული ენერგიის გადაცემის გზების საჩვენებლად. ასეთი სქემის შედგენა საჭიროა მთავარი სქემის შერჩევისათვის.

მთავარი სქემის შერჩევისას გათვალისწინებული უნდა იქნას შემდეგი ფაქტორები:

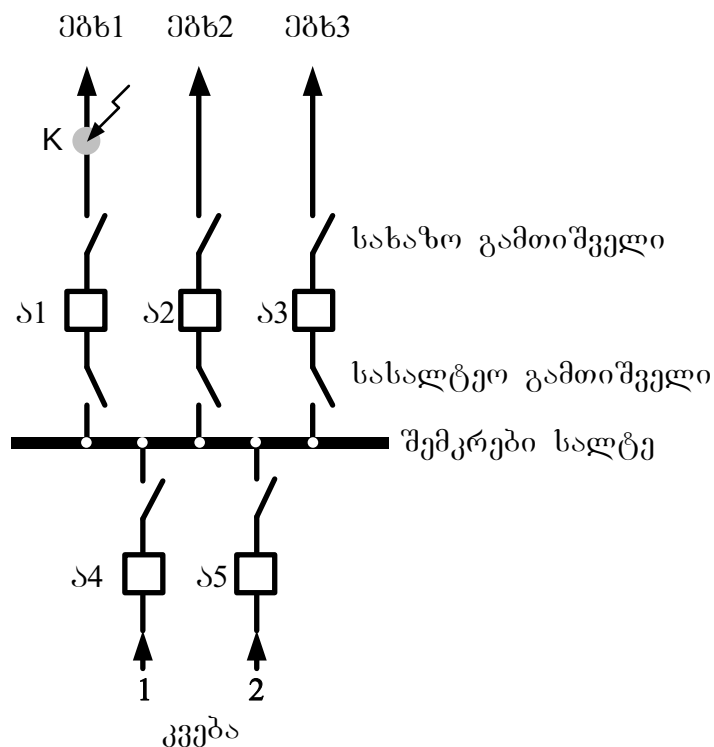
1. ელექტრული სადგურის ან ქვესადგურის ტიპი, გეოგრაფიული მდებარეობა და ენერგოსისტემაში მისი როლი;
2. მიერთებული მომხმარებლების კატეგორიები. რაც უფრო საპასუხისმგებლოა მომხმარებელი, მით უფრო ნაკლები დროით არის დასაშვები მისთვის კვების შეფერხება;
3. ელექტრული სადგურის ან ქვესადგურის ადვილად გაფართოების შესაძლებლობა, რისი აუცილებლობაც შეიძლება წარმოიშვას ენერგოსისტემის განვითარების შესაბამისად;
4. საიმედოობა. აქ იგულისხმება სქემის თვისება – უზრუნველყოს ელექტრული ენერგიით მომხმარებელი შესაძლო ავარიების შემთხვევაშიც კი. ანუ ცალკეული აპარატის ავარია ან რემონტი არ უნდა იწვევდეს მომხმარებლის ელექტრული ენერგიით მომარაგების შეწყვეტას;
5. ოპერატიული მოქნილობა. ეს არის სქემის თვისება, რომელიც საშუალებას იძლევა ამომრთველების და გამთიშველების ჩართვა-გამორთვის მინიმალური რიცხვით მიღწეულ იქნას საჭირო რეჟიმი. სქემის მოქნილობა სრულია, თუ ყველა ჩართვა-გამორთვა ხორციელდება მარტო ამომრთველებით, დისტანციურად და არ არის საჭირო გამთიშველების ხელით ჩართვა-გამორთვა. ამ შემთხვევაში ავარიული მდგომარეობის ლიკვიდაცია ხდება მინიმალურ დროში.

6. ელექტრომონცობილობების თავსებადობა რემონტთან იმგვარად, რომ ამ დროს არ ხდებოდეს მომხმარებლების კვების შეფერხება ან შეზღუდვა.

7. სქემის ეკონომიურობა, რაც გულისხმობს მის შექმნაზე, ექსპლუატაციაზე, რემონტზე და გამორთვების შედეგად მიყენებული ზიანის ანაზღაურებაზე დახარჯული თანხის მინიმიზაციას. სქემის დაპროექტებისას ხდება რამდენიმე ვარიანტის შედარება. მაღალსაიმედო სქემების აშენება, რომლებიც უზრუნველყოფენ ავარიებისას მინიმალურ ზარალს, ბუნებრივია ჯდება შედარებით ძვირი, სამაგიეროდ ავარიებისას მიღებული ზარალი მინიმალურია; დაბალსაიმედო სქემის აშენება, პირიქით, იაფი ჯდება, სამაგიეროდ ავარიებისას მიღებული ზარალი მაქსიმალური იქნება. ყველაზე ეკონომიური იქნება ის სქემა, რომელიც დროის საანგარიშო პერიოდში უზრუნველყოფს აშენებაზე გაწეული ხარჯებისა და ავარიებისას მიღებული ზარალის მინიმუმს.

7.2 სტანდარტული შესრულების სქემები

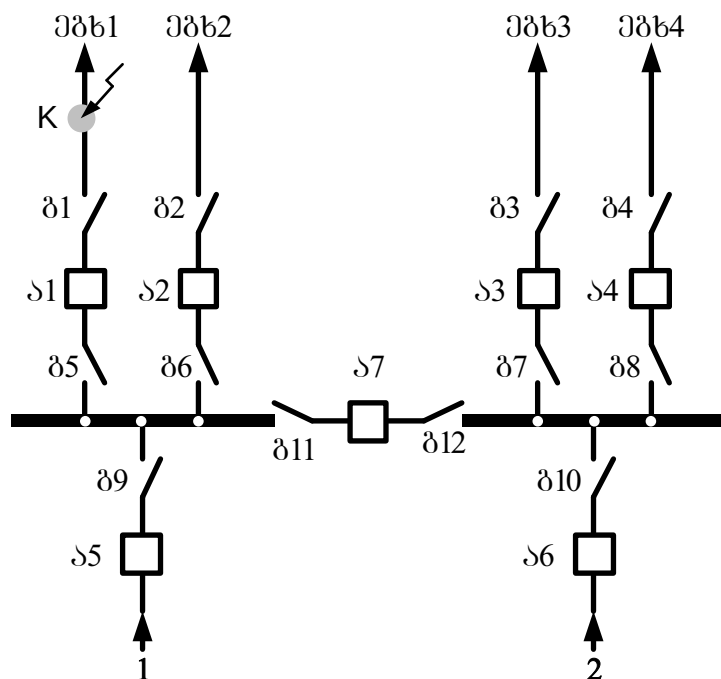
გამანაწილებელი მონცობილობები შემკრები სალტების ერთი სისტემით გამანაწილებელი მონცობილობის ყველაზე მარტივი სახეა. ამ შემთხვევაში კვების წყარო (გენერატორები და ტრანსფორმატორები) და მომხმარებლები (გადაცემის ხაზები) მიერთებული არიან შემკრებ სალტებთან ამომრთველების და გამთიშველების საშუალებით ნახ.7.1.



ნახ.7.1.

ასეთი სქემის ექსპლუატაცია მარტივია. ყოველი მინაერთის გამორთვა, ხაზი იქნება თუ კვების წყარო, ხდება თავისი ამომრთველით. ამომრთველის რემონტის შემთხვევაში საკმარისია მისი გამთიშველების გახსნა. ამასთან, სქემა იაფია. მაგრამ ამ სქემას გარკვეული ნაკლი გააჩნია: თუ

საღებებზე მშ მოხდა, უნდა გამოირთოს ყველა ამომრთველი და მომხმარებლები კარგავენ კვებას. გარდა ამისა, ნებისმიერი სასაღებო გამოიშველის რემონტი იწვევს იმავე შედეგს, ე.ი. მომხმარებლებისათვის ენერგიის მიწოდების შეწყვეტას. და კიდევ, თუ რომელიმე ხაზზე, მაგალითად, K წერტილში, მოხდა მშ და რაიმე მიზეზით ა1 ამომრთველი არ გამოირთო, გამოირთვებიან ა2 და ა3 ამომრთველები, რაც ისევ დატოვებს ეგბ2 და ეგბ3 მომხმარებლებს კვების გარეშე. სქემის ამ ნაკლის ნაწილობრივ თავიდან აცილება შეიძლება შემკრები საღების ორ სექციად დაყოფით, ნახ.7.2.



ნახ.7.2.

სექციები შეერთებულები არიან სასექციო ამომრთველით, რომელიც შეიძლება იყოს ნორმალურად როგორც ჩართული, ისევე გამორთული. თუ სასექციო ამომრთველი ჩართულია, მაშინ სექცია-1-ზე მშ გამოიწვევს სასექციო (ა7) და ა5 ამომრთველების ამორთვას. ამ შემთხვევაში ეგბ1 და ეგბ2 კარგავენ კვებას, თუმცა ეგბ3 და ეგბ 4 რჩება მუშაობაში და სათანადო მომხმარებლებს კვება არ დაეკარგებათ.

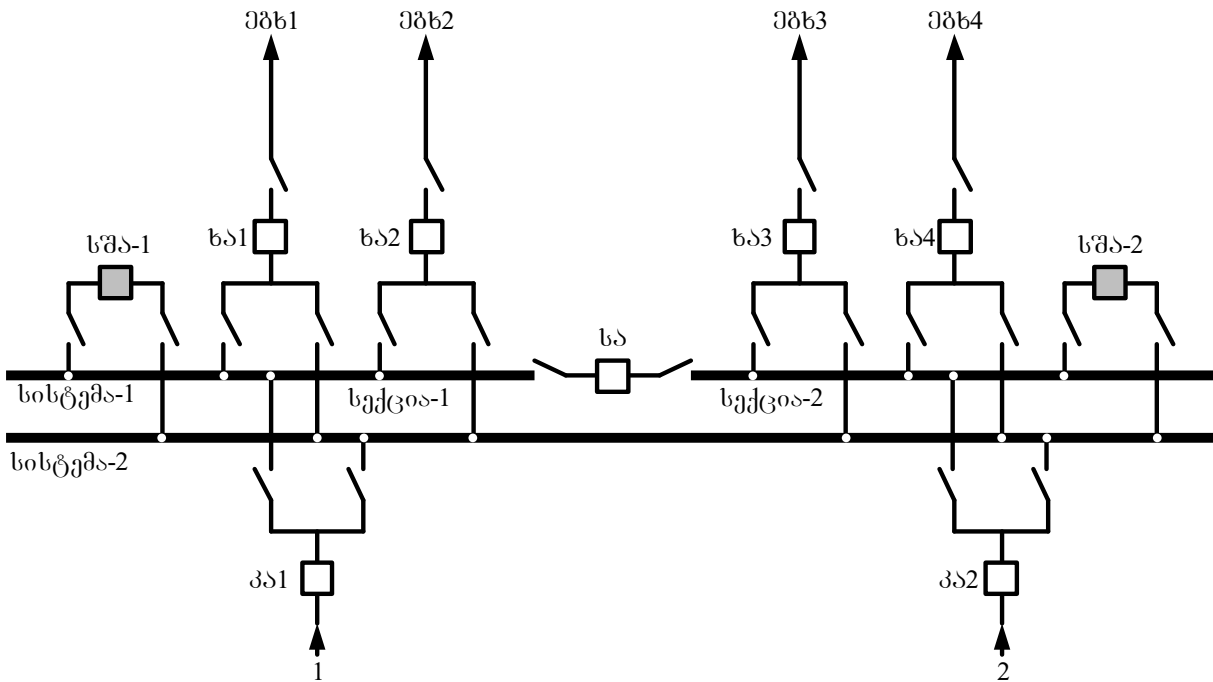
თუ სასექციო ამომრთველი ნორმალურად გამორთულია და რაიმე მიზეზით 1 კვების წყარო გამოირთო, რეზერვის ავტომატური ჩართვის მოწყობილობა ჩართავს სასექციო ამომრთველს. შედეგად, ეგბ1-ს და ეგბ2-ს ძალზე მცირე დროში აღუდგებათ კვება.

ზემოთ აღწერილი სქემები გამოიყენება, ძირითადად, 6-10 კვ ძაბვის ქვესადგურებში და მცირე სიმძლავრის ელექტრულ სადგურებში, როგორც საგენერატორო, ასევე მაღალ ძაბვაზე.

გამანაწილებელი მოწყობილობები შემკრები საღების ორი სისტემით. ზემოთ მოყვანილ სქემებთან შედარებით, ნახ. 7.3-ზე ნაჩვენები სქემა საღების ორი სისტემით, უფრო საიმედო და უფრო მოქნილია. ამ სქემაში ყველა მინაერთი საღებებთან მიერთებულია ერთი ამომრთველისა და ორი გამოიშველისგან შედგენილი “ჩანგლით”.

ნორმალურად მუშაობაშია საღების ერთი სისტემა, მეორე კი რეზერვშია. თუ საჭირო ხდება საღების პირველი სისტემის რემონტი, ჩაირთვება საღებთაშორისი ამომრთველი, შემდეგ - 2 სისტემის სასაღებო გამოიშველები და შემდეგ გაიხსნება 1 სისტემის სასაღებო

გამთიშველები. ამის შემდეგ გამოირთვება სალტეთაშორისი ამომრთველი. როგორც ვხედავთ, სალტიდან სალტეზე გადასვლა მოხდა მინაერთების გამორთვის გარეშე და არც ერთ მომხმარებელს კვება არ დაეკარგა. გარდა ამისა, თუ 1 სისტემის 1 სექციაზე მოხდა მშ და გამოირთვება 2 ამომრთველი, საკმარისია გაეხსნათ 1 სექციის ყველა სასალტეო გამთიშველი და გადავიყვანოთ მომხმარებლები სალტეების 2 სისტემაზე. ამ შემთხვევაში ეგხ1-ს და ეგხ2-ს კვება შეუწყდებათ გადართვებისათვის საჭირო შედარებით მცირე დროით. ასეთი სქემის საიმედოობა და მოქნილობა გაცილებით მაღალია წინა სქემებთან შედარებით, მაგრამ ის, შესაბამისად, უფრო ძვირია და რთული.



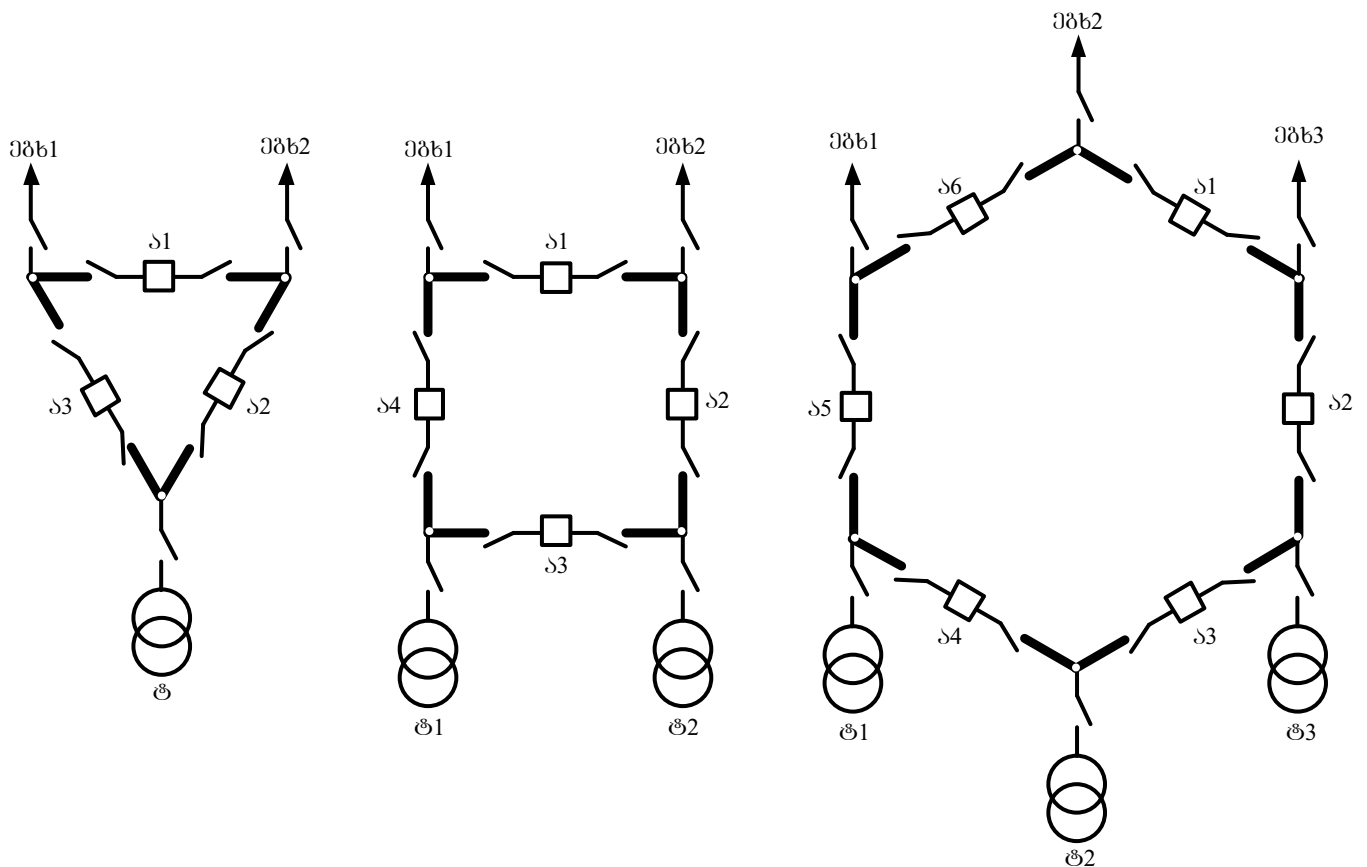
ნახ. 7.3

1 და 2 - კვება; ეგხ - ელექტროგადაცემის ხაზი; ხა - ეგხ-ის ამომრთველი; სა - სასექციო ამომრთველი; სშა - სალტეთაშორისი ამომრთველი; კა - კვების ამომრთველი

ცხადია, რომ გამთიშველების რაოდენობა გაორმაგებულია, რაც ზრდის სქემის ღირებულებას, სირთულეს და მისი შესრულებისათვის მოითხოვს მეტ ფართობს. ასეთი სქემა გამოიყენება თბოელექტროცენტრალების საგენერატორო ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობებისათვის. მას აგრეთვე იყენებენ 6-10 კვ ძაბვის ქვესადგურებში, რომლებიც კვებავენ საპასუხისმგებლო მომხმარებლებს და შედარებით მცირე სიმძლავრის ჰიდროელექტროსადგურებში. ეს სქემა შეიძლება გამოყენებულ იქნას 35-220 კვ ძაბვებზეც.

რგოლური სქემები. მაღალი ძაბვის გამანაწილებელ მოწყობილობებში, იმ შემთხვევაში, როდესაც მინაერთების რიცხვი დიდი არ არის და, ამავე დროს, სქემის გაფართოვება (ახალი მინაერთების მომავალში მიერთება) არ არის მოსალოდნელი, იყენებენ “რგოლურ” სქემებს.

ასეთი სქემები შეიცავენ მინაერთების რიცხვის ტოლ ამომრთველების რაოდენობას. ამომრთველები შეერთებული არიან “რგოლად”, ხოლო მინაერთები მიერთებულია ამომრთველებს შორის “მრავალკუთხედის” წვეროებში. ნახ. 7.4-ზე ნაჩვენებია “სამკუთხედის”, „ოთხკუთხედის” და „ექვსკუთხედის” სქემები.



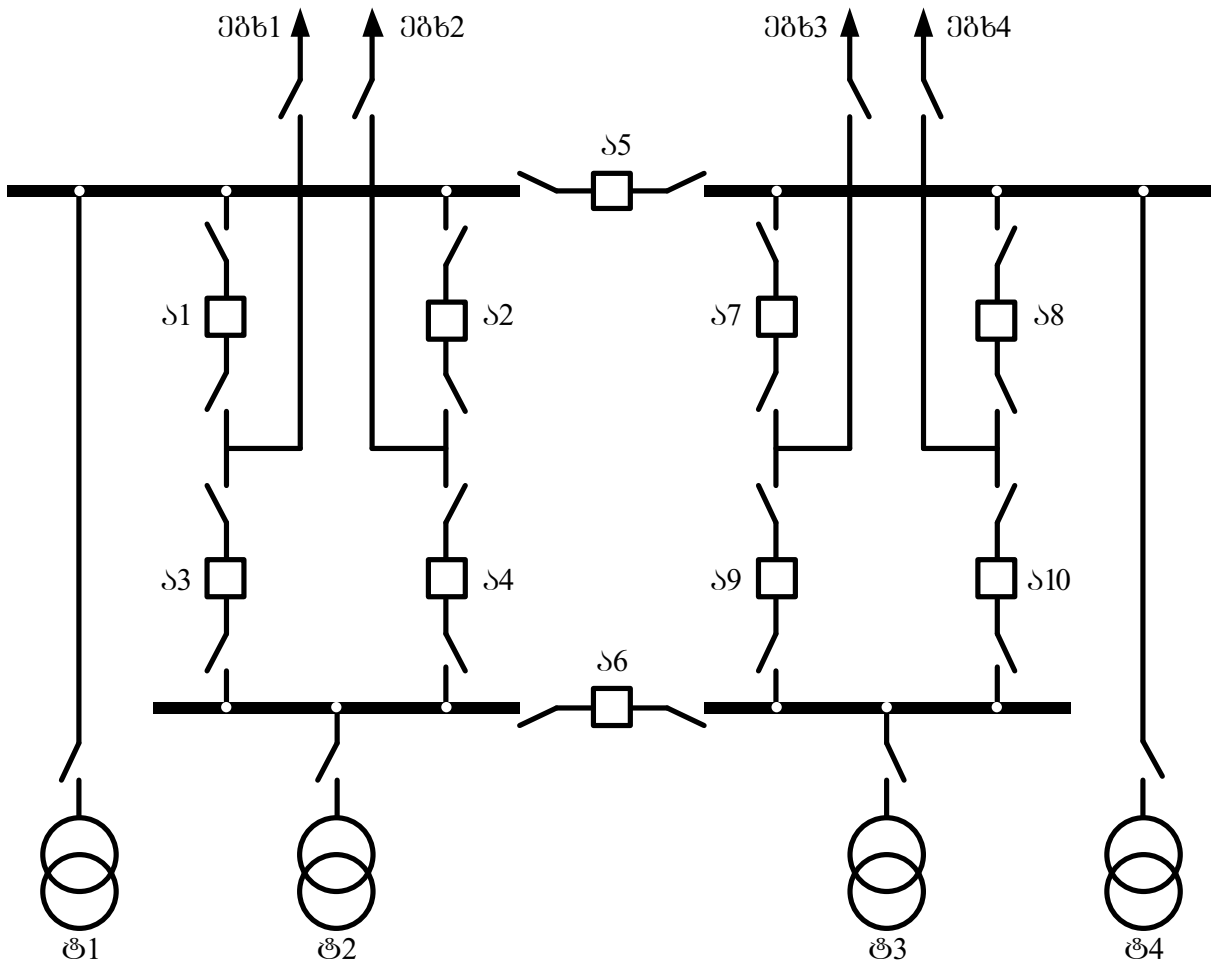
ნახ. 7.4
რგოლური სქემები

წრიულ სქემებში ნებისმიერი მინაერთის ჩართვა-გამორთვა ხდება მისი ორი ”მეზობელი” ამომრთველით. მაგალითად, სამკუთხედის სქემაში ეგზ1-ის გამორთვა ხდება ა1 და ა3 ამომრთველებით. ანალოგიურად, ეგზ2-ის გამორთვა უნდა მოხდეს ა1 და ა2 ამომრთველებით.

რგოლური სქემის უმნიშვნელო ნაკლოვანებად შეიძლება ჩაითვალოს ამომრთველების დისტანციური მართვის სისტემის შედარებითი სირთულე. მაგრამ, მიუხედავად ამისა, ზემოთ აღნიშნულ სქემებს გააჩნიათ მთელი რიგი დადებითი თვისებებისა, კერძოდ:

1. ნებისმიერი ამომრთველის რემონტი არ იწვევს ენერგიის მიწოდების შეფერხებას. მაგალითად, თუ რემონტშია ა3 ამომრთველი, ეგზ1 და ეგზ2 მაინც იკვებებიან ა1 და ა2 ამომრთველების საშუალებით. ამ დროს ხდება მხოლოდ სქემის საიმედოობის დაქვეითება. მართლაც, თუ ა3 რემონტშია და ამ დროს მოხდა ეგზ2-ზე მშ, ერთდროულად გამოირთვება ა1 და ა2 ამომრთველები. შედეგად, გამოირთვება დაუზიანებელი ეგზ1. იმ დროის გავლის შემდეგ, რომელიც საჭიროა ეგზ2-ის გამთიშველის გახსნისათვის, შეიძლება ჩართულ იქნას ა1 და ა2 ამომრთველები და აღდგენილი ეგზ1-ის კვება;
2. ნებისმიერ დროს შესაძლებელია ნებისმიერი ამომრთველის შემოწმება, მისი გამორთვითა და ჩართვით;
3. გამთიშველების რიცხვი მცირეა და ისინი გამოიყენებიან მხოლოდ და მხოლოდ ხილული წვევების შესაქმნელად, წინასწარ გამორთულ წრედში.

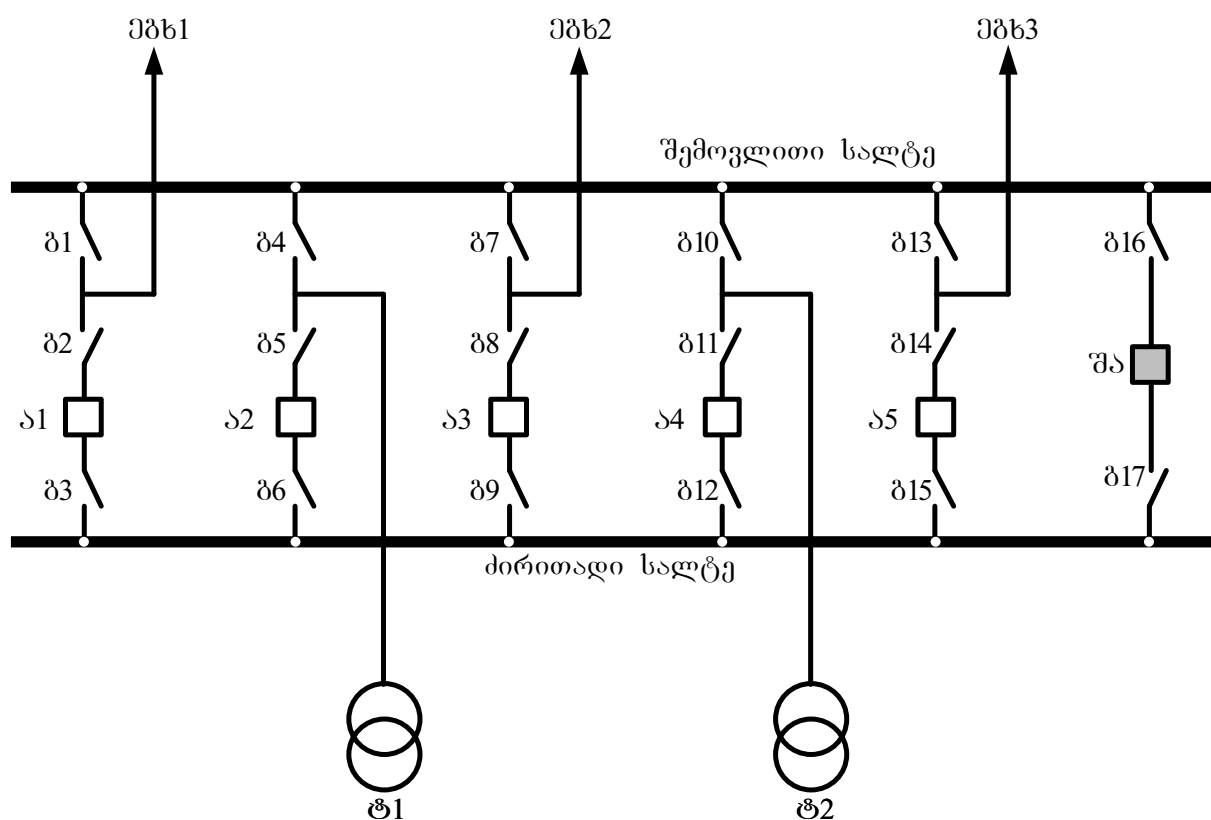
ყოველივე აღნიშნული ცხადყოფს რგოლური სქემების მაღალ საიმედოობას და ექსპლუატაციის სიმარტივეს. რგოლური სქემები გამოიყენება 220-500 კვ ძაბვაზე, მძლავრ ელექტრულ სადგურებსა და ქვესადგურებზე. თუ მინაერთების რიცხვი ექვსზე მეტია, იყენებენ გაერთიანებული ოთხკუთხედების ან ხუთკუთხედების სქემებს (ნახ. 7.5).



ნახ. 7.5.
ორი რგოლური სქემისაგან შემდგარი სქემა

ამ სქემაში ორი ოთხკუთხედი შეერთებულია ა5 და ა6 ამომრთველებით. ნებისმიერი ხაზის გამორთვა ხდება ორი ამომრთველით, ტრანსფორმატორის კი – სამით. მაგალითად, ეგზ1-ის გამორთვისათვის გამორთული უნდა იქნას ა1 და ა3 ამომრთველები, ტ1 ტრანსფორმატორის გამოსართველად კი ა1, ა2 და ა5 ამომრთველების გამორთვაა საჭირო.

გამანაწილებელი მოწყობილობები სალტების შემოვლითი სისტემით. იმ შემთხვევაში, როდესაც მინაერთების რიცხვი დიდია, იყენებენ გამანაწილებელ მოწყობილობებს სალტების ერთი ან ორი სისტემით. მაგრამ ჩვენ უკვე ვნახეთ, რომ ნებისმიერი ამომრთველის რემონტი იწვევს სათანადო მინაერთის გამორთვას და, შესაბამისად, გაცემული ელექტრული ენერგიის შემცირებას. ამ ნაკლის თავიდან ასაცილებლად იყენებენ შემოვლით სალტებს და შემოვლით ამომრთველს. ისინი ნორმალურად ქაბვის ქვეშ არ იმყოფებიან და განკუთვნილნი არიან რომელიმე ამომრთველის შესაცვლელად, ელექტროენერგიის გაცემის შეწყვეტის გარეშე. ასეთი სქემა ნაჩვენებია ნახ. 7.6.-ზე.



ნახ.7.6.

გამანაწილებელი მოწყობილობები სალტების შემოვლითი სისტემით

შემოვლით სალტესთან მინაერთების დამაკავშირებელი გ1, გ4, გ7, გ10, გ13 გამთიშველები და შემოვლითი ამომრთველის გ16, გ17 გამთიშველები ნორმალურად გახსნილია, ხოლო შემოვლითი ამომრთველი გამორთულია. ვთქვათ, საჭიროა ა1 ამომრთველის რემონტში ჩაყენება, ეგზ1-ის გამოურთავად. ამისათვის ა1 ამომრთველი დროებით უნდა შევცვალოთ შემოვლითი ამომრთველით. რაც ხდება შემდეგი თანმიმდევრობით:

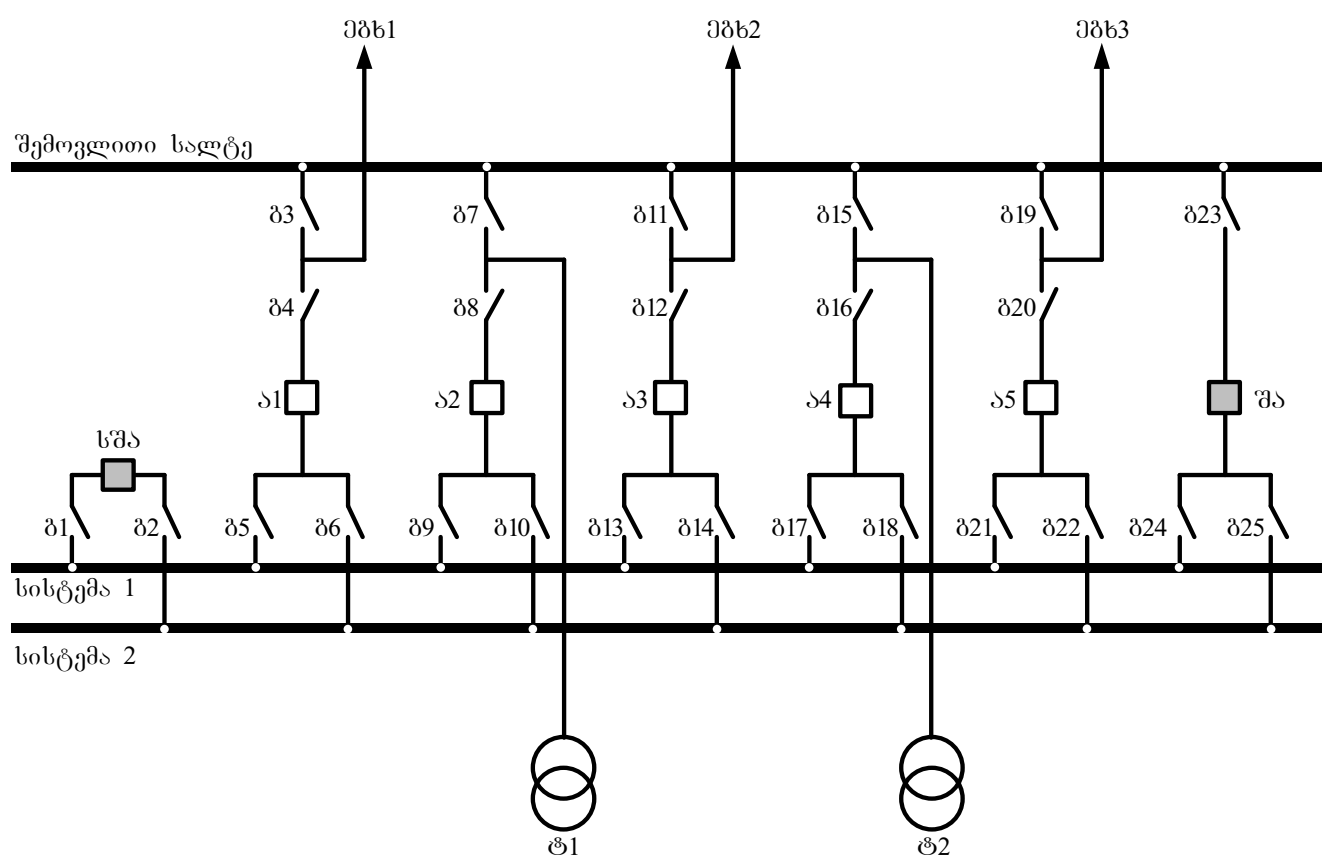
1. გ16 და გ17 გამთიშველების ჩართვა;
2. შემოვლითი ამომრთველის ჩართვა, რითაც შემოვლითი სალტისათვის მიწოდებული იქნება ქაბვა, გ1 გამთიშველის დანები აღმოჩნდებიან ერთი და იგივე პოტენციალის ქვეშ. ვინაიდან პოტენციალთა სხვაობა დანებს შორის ნულია, შესაძლებელია ამ გამთიშველის ჩართვა; ამ მომენტიდან ეგზ1 იკვებება ორი გზით. ა1-ის და შემოვლითი ამომრთველის გავლით.

3. ა1 ამომრთველის გამორთვა;

4. გ2 და გ3 გამთიშველების გახსნა.

ამ ოპერაციების შემდეგ, ეგზ1 იკვებება შემოვლითი ამომრთველით, ა1 ამომრთველი კი იზოლირებულია წრედიდან და შესაძლებელია მასზე სარემონტო სამუშაოების ჩატარება.

საღრეების ორი სისტემა შემოვლითი საღრით. ამ შემთხვევაში, ნებისმიერი მინაერთი ერთი ამომრთველითა და ორი გამთიშველისაგან შემდგარი „ჩანგლით“ უკავშირდება ძირითად საღრეთა სისტემებს 1 და 2, ხოლო ერთი გამთიშველით უკავშირდება შემოვლით სისტემას (ნახ. 7.7). მინაერთები, ჩვეულებრივ, გადანაწილებულნი არიან ძირითად 1 და 2 საღრეთა სისტემებს შორის. საღრეთაშორისი ამომრთველი და შემოვლითი ამომრთველი ნორმალურად გამორთულნი არიან. საღრეთა სისტემის ასეთი შესრულება, პრაქტიკულად, ორმაგი საღრისა და შემოვლითი საღრის მქონე საღრეთა სისტემის ერთობლიობას წარმოადგენს.



ნახ.7.7.

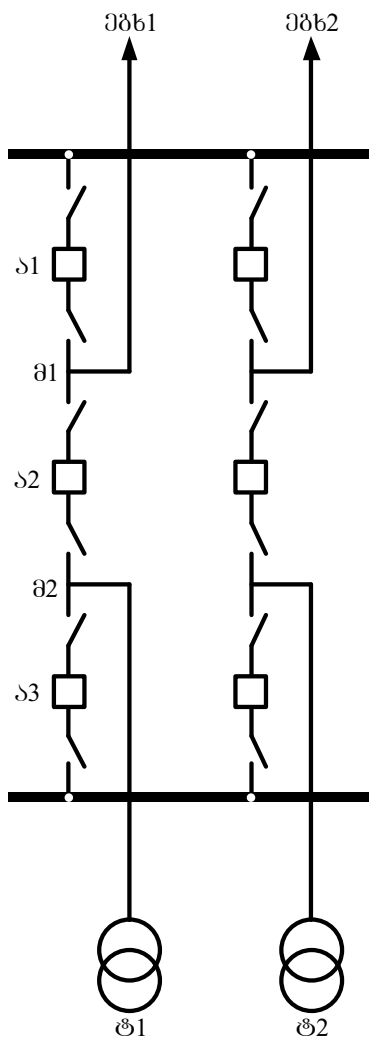
საღრეების ორი სისტემა შემოვლითი საღრით

ასეთი ტიპის საღრეთა სისტემები გამოიყენება 110 და 220 კვ ძაბვების საკვანძო ქვსესადგურებში, რომლებიც საპასუხისმგებლო მომხმარებლებს კვებავენ და მაღალი საიმედოობის მოთხოვნები აქვთ წაყენებული.

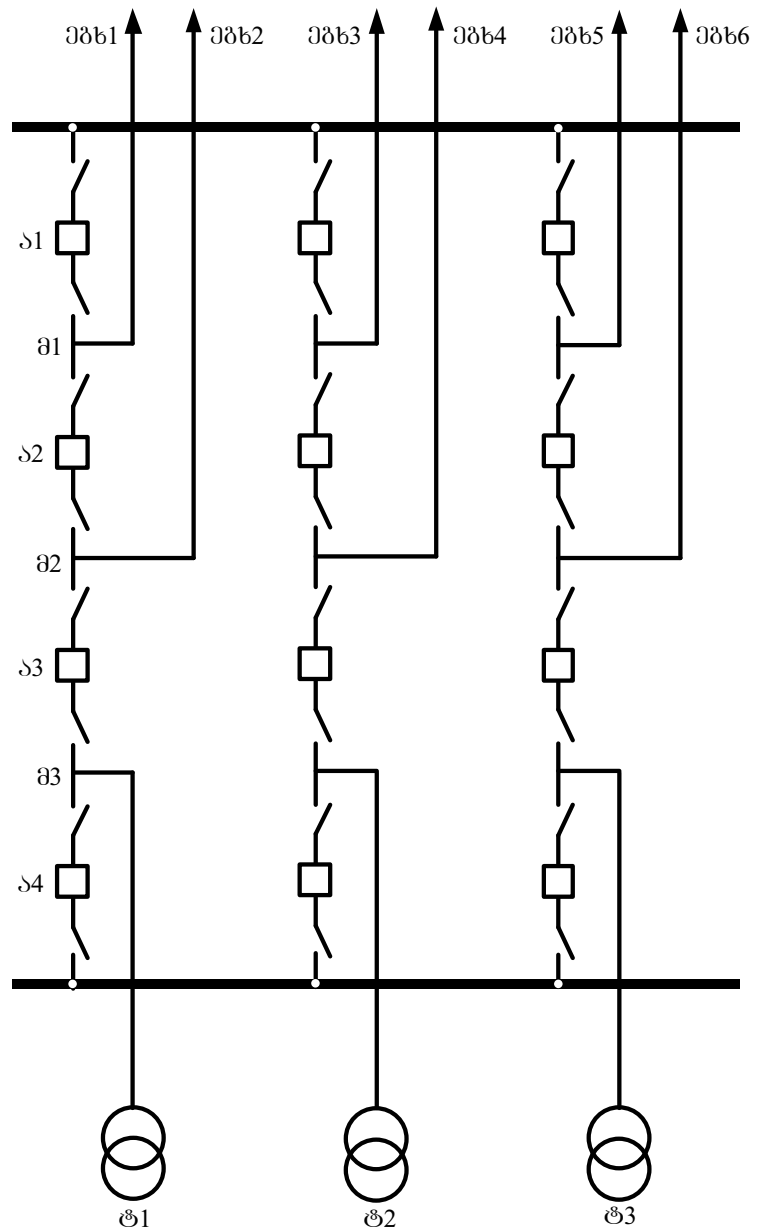
„3/2” და „4/3” სქემები. ძალიან მძლავრ ელექტრულ სადგურებზე, სადაც სიმძლავრის გაცემა ხდება 330, 500 ან 750 კვ ძაბვით, იყენებენ ე.წ. „3/2” და „4/3” სქემებს (ნახ. 7.8). ეს სქემები შეიცავენ სალტეების ორ სისტემას. „3/2” სქემაში თითოეულ მინაერთზე მოდის საშუალოდ 1.5 ამომრთველი ანუ ორ მინაერთზე სამი ამომრთველი. მართლაც, სქემის პირველი „ზოლი” შედგება სამი - ა1, ა2 და ა3 - ამომრთველისა და ორი - მ1 და მ2 - მინაერთისაგან. ამიტომ ამ სქემას უწოდებენ „3/2” -ს.

ანალოგიურად „4/3” სქემაში, სამ მინაერთზე საშუალოდ მოდის 4 ამომრთველი. მაგალითად, სქემის პირველი ზოლი შედგება ოთხი - ა1, ა2, ა3 და ა4 - ამომრთველისა და სამი - მ1, მ2 და მ3 - მინაერთისაგან.

სქემა „3/2”



სქემა „4/3”

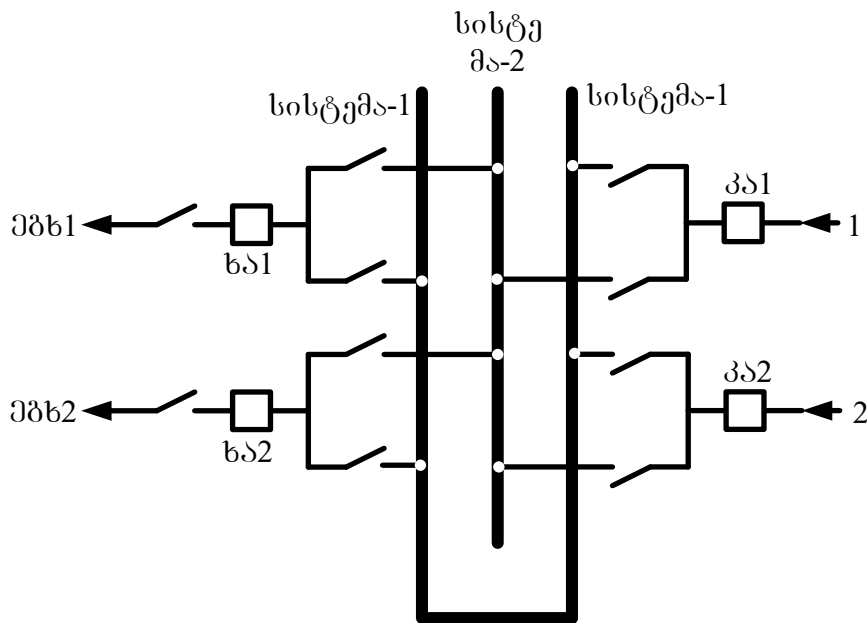


ნახ. 7.8

სალტეოთა სისტემების სქემები „3/2” და „4/3”

7.3 განსაკუთრებული შესრულების სქემები

U-ს და H-ის ფორმის გამანაწილებელი მოწყობილობები შემკრები სალტების ორი სისტემით ზემოთ განხილული ორმაგსალტიანი სქემის (ნახ. 7.3) ანალოგიურია. განსხვავება მხოლოდ სალტეთა ერთ-ერთი სისტემის U-სებურ ფორმაშია, რომელიც საშუალებას იძლევა ქვესადგურში მიღწეულ იქნას ფართობის მნიშვნელოვანი ეკონომია (ნახ. 7.9), ამ შემთხვევაში სალტეთაშორისი და სასექციო ამომრთველები აღარ არის.

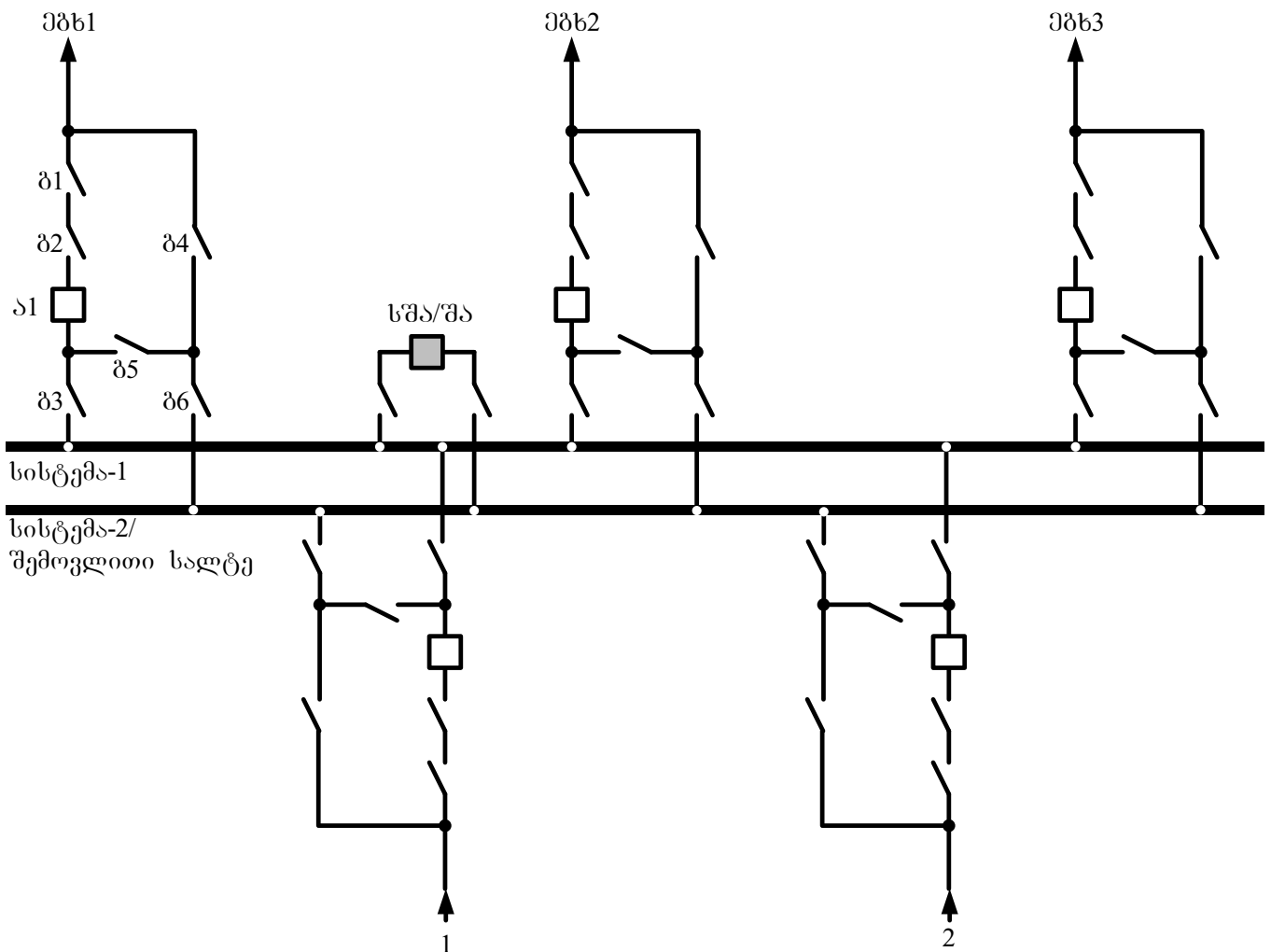


ნახ. 7.9

U-ს და H-ის ფორმის გამანაწილებელი მოწყობილობა
შემკრები სალტების ორი სისტემით

შესაძლებელია ასევე ორმაგსალტიანი სისტემის ე.წ. H-სებური შესრულებაც. აქ პრაქტიკულად ორი U-ს ერთობლიობას წარმოადგენს H-ის სისტემა 1, ხოლო სისტემა 2-ის ზედა და ქვედა ნაწილი ცალკეულ სექციებს წარმოადგენენ და ისინი გაერთიანებულნი არიან სასექციო ამომრთველით.

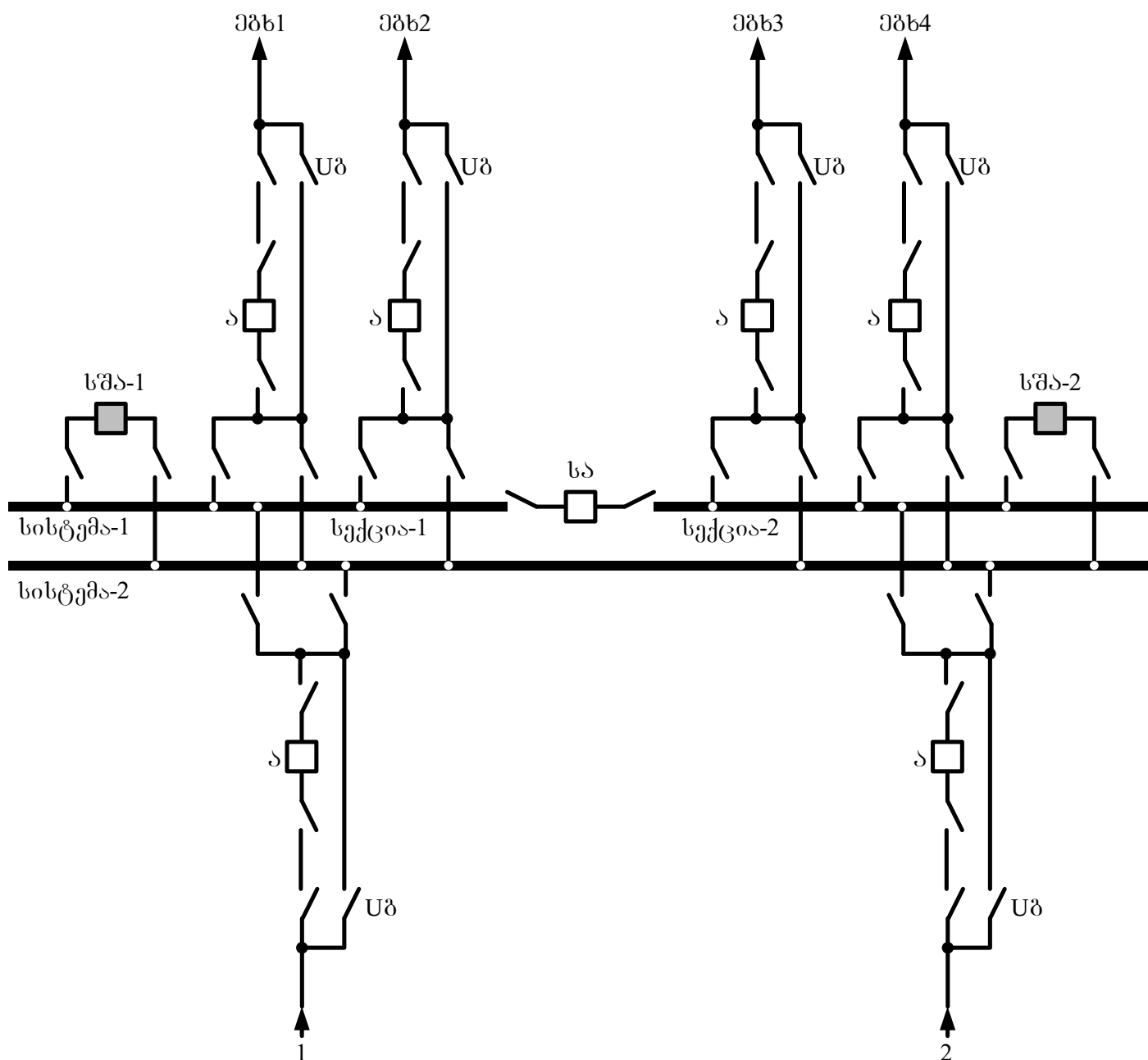
შედგენილი სალტეთა სისტემა ფუნქციაცვლადი ძირითადი/შემოვლითი სალტით. ეს შესრულება შეიძლება ადაპტირებული იყოს რეჟიმის მოთხოვნებისადმი. მას შეუძლია იმუშაოს (ა) როგორც ორმაგ ან (ბ) როგორც შემოვლითი სალტის მქონე ერთმაგ სისტემად (ნახ. 7.10). მაგალითად, თუკი ეგზ1-ის (ანალოგიურად, სხვა მინაერთების შესაბამისი ამომრთველები და გამთიშველები) გ4 გამთიშველი, გახსნილია ხოლო გ5 – შეკრული, მაშინ ა1 ამომრთველისა და გ1, გ2, გ3 გ6 გამთიშველების ოპერირებით, სისტემა 2, სისტემა 1-ის მსგავსად, ასრულებს მუშა სისტემის როლს და სშა/შა ამომრთველი ასრულებს სალტეთაშორისი ამომრთველის როლს. მაგრამ თუკი გ5 იქნება გახსნილი, ხოლო გ4 შეკრული (ანალოგიურად სხვა მინაერთების შესაბამისი ამომრთველები და გამთიშველები), მაშინ სისტემა 2 შეასრულებს შემოვლითი სალტის სისტემის როლს, ხოლო სშა/შა იქნება შემოვლითი ამომრთველი.



ნახ. 7.10

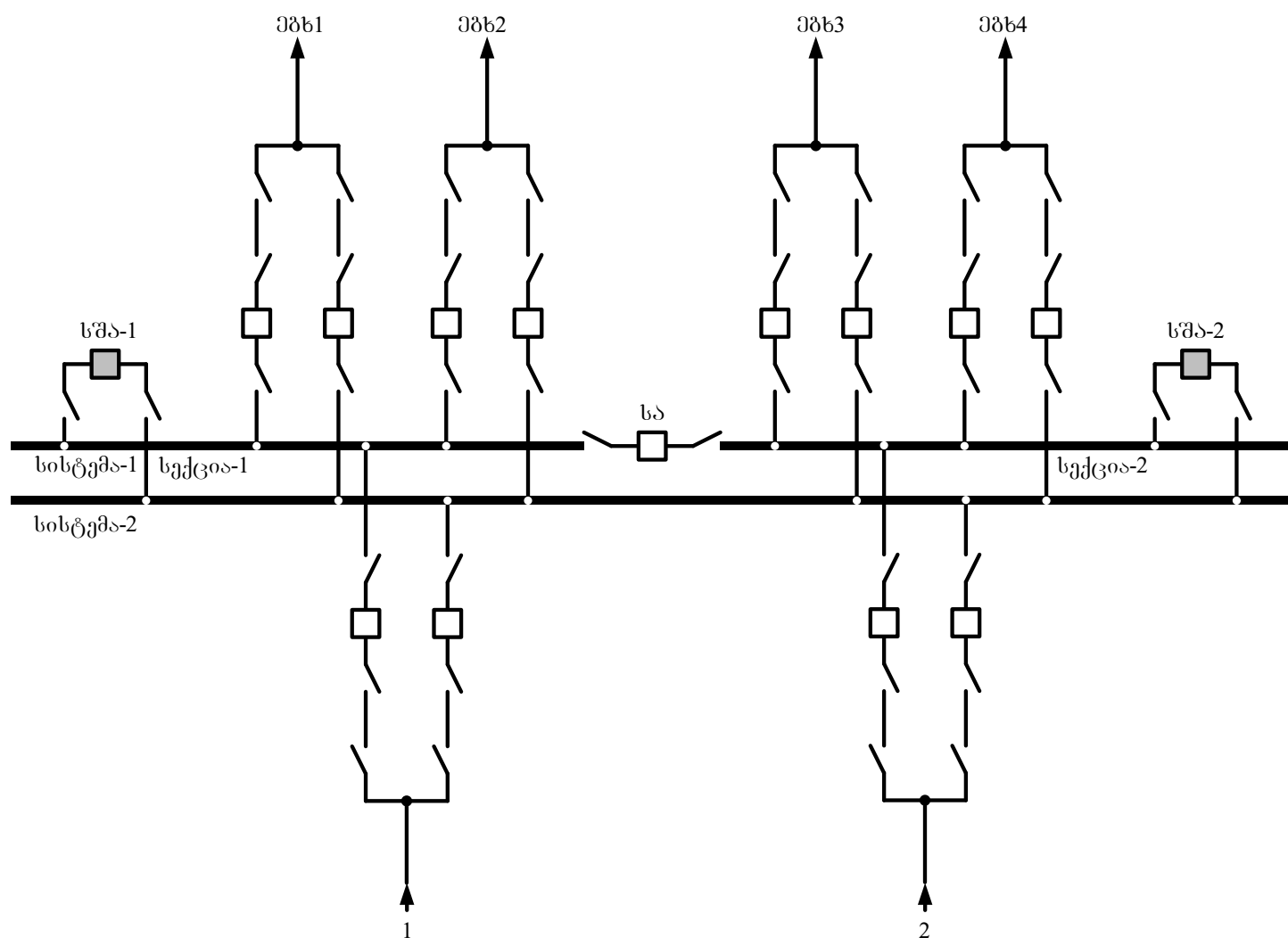
შედგენილი სალტეთა სისტემა ფუნქციაცვლადი ძირითადი/შემოვლითი სალტით

გამანაწილებელი მოწყობილობები შემკრები სალტების ორი სისტემით და შუნტური გამთიშველით. ნახ. 7.11-ზე მოცემული სქემა ანალოგიურია ნახ. 7.3-ზე მოცემული სქემისა, იმ განსხვავებით, რომ მინაერთების ა ამომრთველების პარალელურად „ჩანგლებთან“ შეერთებულია შუნტური გამთიშველი $U_{\text{გ}}$, რომლებიც ერთად ქმნიან U -სებრ სისტემას. ამჯერად საიმედოობა, ნახ. 7.11-ზე მოცემულ სქემასთან შედარებით, გაზრდილია, რადგან ნებისმიერი ა ამომრთველის რემონტში ჩაყენება, საიმედოობისათვის დასაშვებია დროით, შეიძლება შესაბამისი მინაერთისთვის კვების შეწყვეტის გარეშე. ეს ხდება ა ამომრთველის მაშუნტირებელი $U_{\text{გ}}$ გამთიშველის ჩართვით და ამომრთველისა და მისი მეზობელი გამთიშველების გამორთვით.



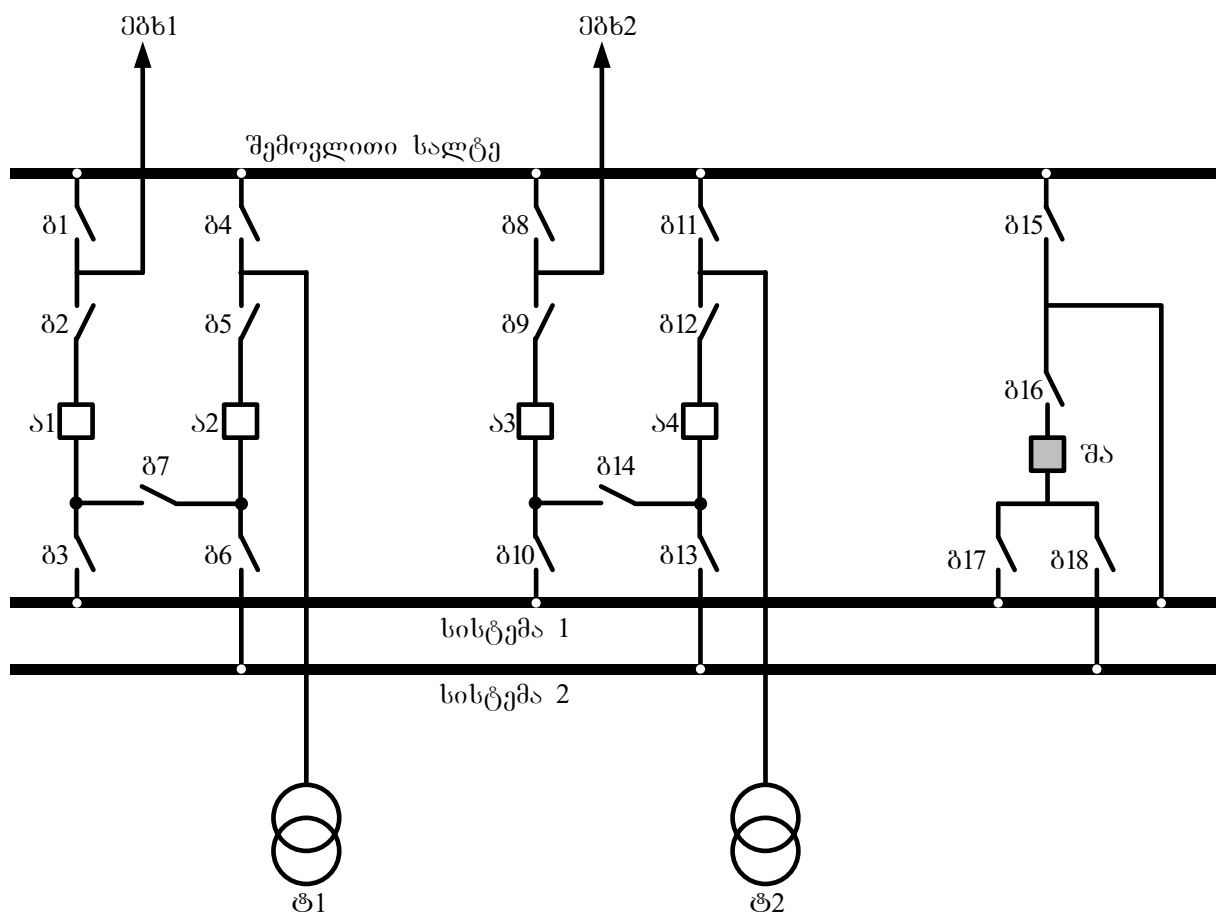
ნახ. 7.11
გამანაწილებელი მოწყობილობა
შემკრები სალტების ორი სისტემით და შუნტური გამთიშველით

გამანაწილებელი მოწყობილობები შემკრები სალტების ორი სისტემით, ორი ამომრთველით თითო შტოზე. ნახ. 7.12–ზე მოცემულ ორსისტემიან სქემას გააჩნია ანალოგიურ (ორსისტემიან) სქემებთან შედარებით ყველაზე მაღალი საიმედოობა. აქ ნებისმიერი მინაერთი უკავშირდება ორივე სალტეს ორი, თანაბარი საიმედოობის, ერთნაირი შტოთი. თითოეული შტო შეიცავს ამომრთველს, თავისი გამთიშველებითურთ, მინაერთის გამთიშველს და მზომ ტრანსფორმატორებს. ამ შემთხვევაში მინაერთებისთვის კვების დაკარგვის გარეშე შესაძლებელი ერთიდან მეორე სალტეთა სისტემაზე გადასვლა, სალტეთა ერთ–ერთი სისტემის იზოლირება ან ნებისმიერი ამომრთველის რემონტში ჩაყენება, შეუზღუდავი დროით.



ნახ. 7.12
გამანაწილებელი მოწყობილობა
შემკრები სალტების ორი სისტემით, ორი ამომრთველით თითო შტოზე

საღრეფა ორმაგი სისტემა, შემოვლითი საღრფით და ჯვარედინი კავშირებით. ნახ. 7.13–ზე მოცემულ სქემაზე გ7 და გ14 „ჯვარედინი“ გამოიშველებია, რომლების შეკვრა საშუალებას იძლევა, ეგზ1 და ეგზ2–ის ზოლები დაუკავშირდნენ, შესაბამისად, ტ1–ისა ტ2–ის ზოლებს. რის შემდეგაც გ3 და გ10 გამოიშველებების გამოროფით, საღრფების სისტემა 2 რჩება იზოლირებული და შესაძლებელია მასზე სარემონტო სამუშაოების ჩატარება.



ნახ. 7.13
საღრეფა ორმაგი სისტემა
შემოვლითი საღრფით და ჯვარედინი კავშირებით

არჩილ კობტაშვილი | სს საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა

7.4 ღია გამანაწილებელი მოწყობილობები (ღგმ)

გამანაწილებელი მოწყობილობა არის კონსტრუქციების ერთობლიობა, რომელიც შედგება ელექტრული აპარატების, სალტეებისა და დამხმარე მოწყობილობებისაგან. მისი დანიშნულებაა ელექტროენერგიის მიღება და განაწილება.

გამანაწილებელი მოწყობილობები შეიძლება განლაგებულ იქნას შენობაში ან ღია ცის ქვეშ, შესაბამისად, არსებობს დახურული და ღია გამანაწილებელი მოწყობილობები. ჩვეულებრივ, 35 კვ-ზე მაღალ ნომინალურ ძაბვებზე მათ ასრულებენ ღია ცის ქვეშ. ეს აიხსნება ღგმ-ის შემდეგი უპირატესობებით ღგმ-სთან შედარებით:

- სამშენებლო სამუშაოები შედარებით ადვილია და მცირე მოცულობის, რაც ამცირებს ღგმ-ის აშენების ღირებულებას. საჭიროა მხოლოდ ფართის მომზადება, გზების მოწყობა, საძირკვლების გამზადება და საყრდენების ჩამაგრება;

- ადვილია აშენებული ღგმ-ის რეკონსტრუქცია და გაფართოება;

- შესაძლებელია ნებისმიერ აპარატზე დაკვირვების წარმოება.

ღგმ-ის აპარატები მონტაჟდება დაბალ (ლითონის ან რკინაბეტონის) საყრდენებზე. ღგმ-ის ტერიტორიაზე უნდა მოეწყოს მისასვლელი გზები, მოწყობილობების მონტაჟის, რემონტისა და მომსახურებისათვის. ძალოვანი ტრანსფორმატორებისა და ზეთიანი რეაქტორების ქვემოთ უნდა დაიგოს 25 სმ სისქის ხრეშის საფენი, ავარიულ სიტუაციებში ზეთის ჩალვრისა და კოკისპირული წვიმის წყლის გაწოვისათვის.

ოპერატიული, სარეგულაციური და ავტომატიკის კაბელები თავსდება რკინაბეტონის კონსტრუქციისაგან დამზადებულ ღარებში, ან ღგმ-ის კონსტრუქციებზე - ლითონის საკიდ ღარებში.

აუცილებელია ღგმ-ის შეღობვა.

ღგმ-ის ძალოვანი წრედი, ჩვეულებრივ, შეიცავს

- ძალოვანი ტრანსფორმატორები, რომელთა საშუალებით ხდება ელექტროენერგიის სასურველი ძაბვის საფეხურზე გარდაქმნა;

- ამომრთველები და გამთიშველები, რომელთა მიერ ხორციელდება გადართვებისა და გამორთვების (კომუტაციის) ოპერაციები;

- დენისა და ძაბვის ტრანსფორმატორები, რომლებიც აღრიცხვის, დაცვისა და ავტომატიკის წრედებს აწვდიან ინფორმაციას ძაბვისა და დენის სიდიდის შესახებ;

- სალტეები, რომლებიც ერთმანეთთან აკავშირებს ქვესადგურის მკვებავ (მაგალითად, ძალოვანი ტრანსფორმატორის) და მოხმარების (მაგალითად, ეგხ-ის) წრედებს. სალტეები შეიძლება იყოს მოქნილი - მრავალძარღვა სადენებით შესრულებული ან ხისტი - მილის ფორმით. მოქნილი სალტეები პორტალებზე მაგრდება საკიდი იზოლატორების საშუალებით, ხოლო ხისტი სალტეები - საყრდენ იზოლატორებზე, რკინაბეტონის ან ლითონის დგარებზე.

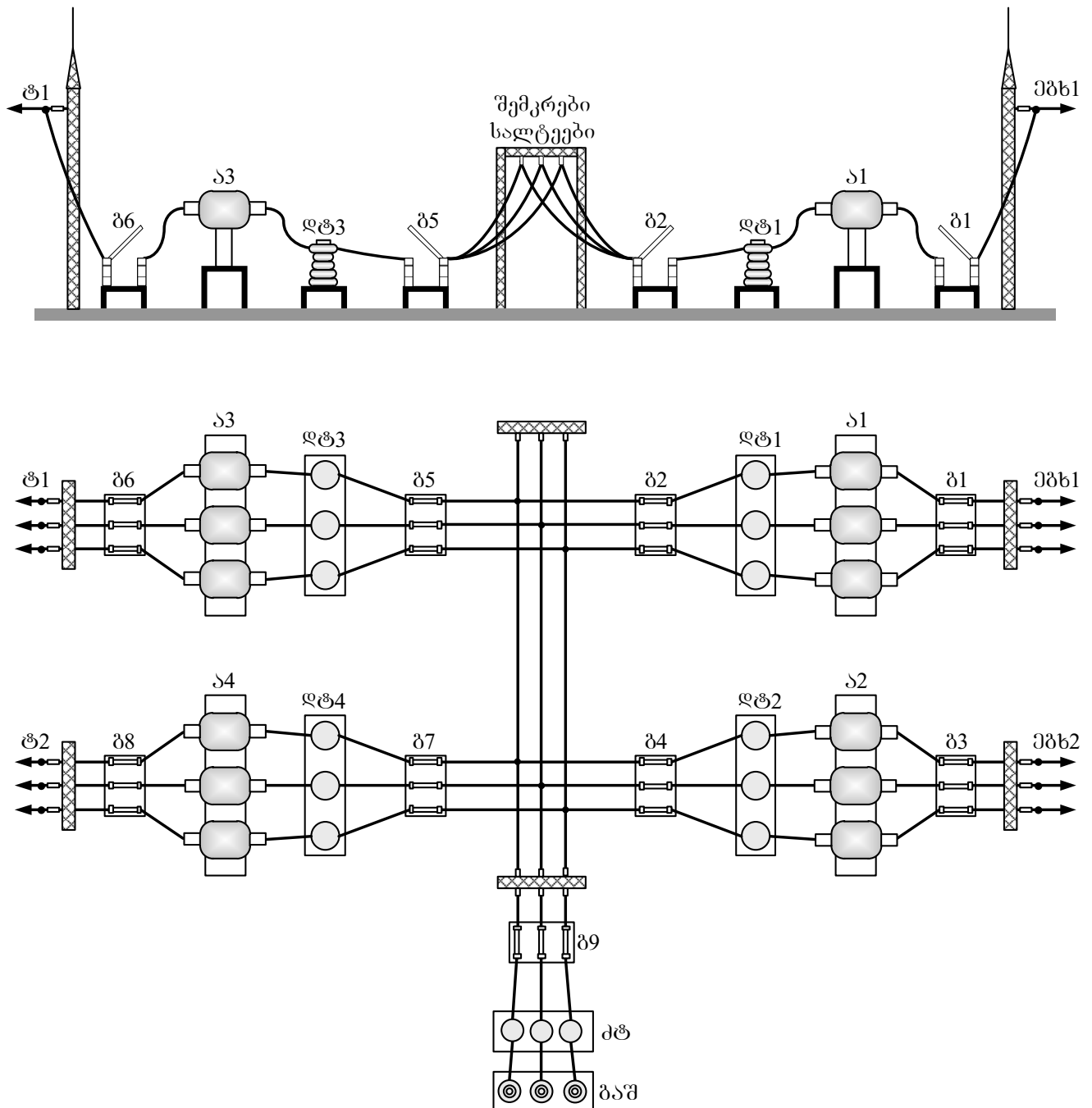
- მშდენშემზღუდი და შუნტური რეაქტორები. პირველი მათგანი ძირითადად ყენდება 6-10 კვ ფართობზე, ძალოვანი ტრანსფორმატორების გამომყვანების და საკაბელო ხაზების მიმდევრობით, ტევადური და მშდენების შესაზღუდად. შუნტური რეაქტორები კი, თავის ამომრთველთან ერთად, ყენდება ქ/ს-ის 500 კვ და უფრო მაღალი ძაბვის ფართობზე, ეგხ-ის მიმდევრობით. მისი დანიშნულებაა ეგხ-ის ტევადობის მიერ გენერირებული, ქ/ს-ისკენ შემავალი ჭარბი რეაქტიული ენერგიის შთანთქმა და ამ გზით ძაბვის შენარჩუნება ნომინალური სიდიდის სიახლოვეს.

– გადაძაბვის არანრფივი შემზღუდველები ან ვენტილური მცლელები, რომელთა დახმარებით ხდება ხაზიდან ქვესადგურისკენ შემავალი გადამეტაბვის ტალღის ჩაქრობა;

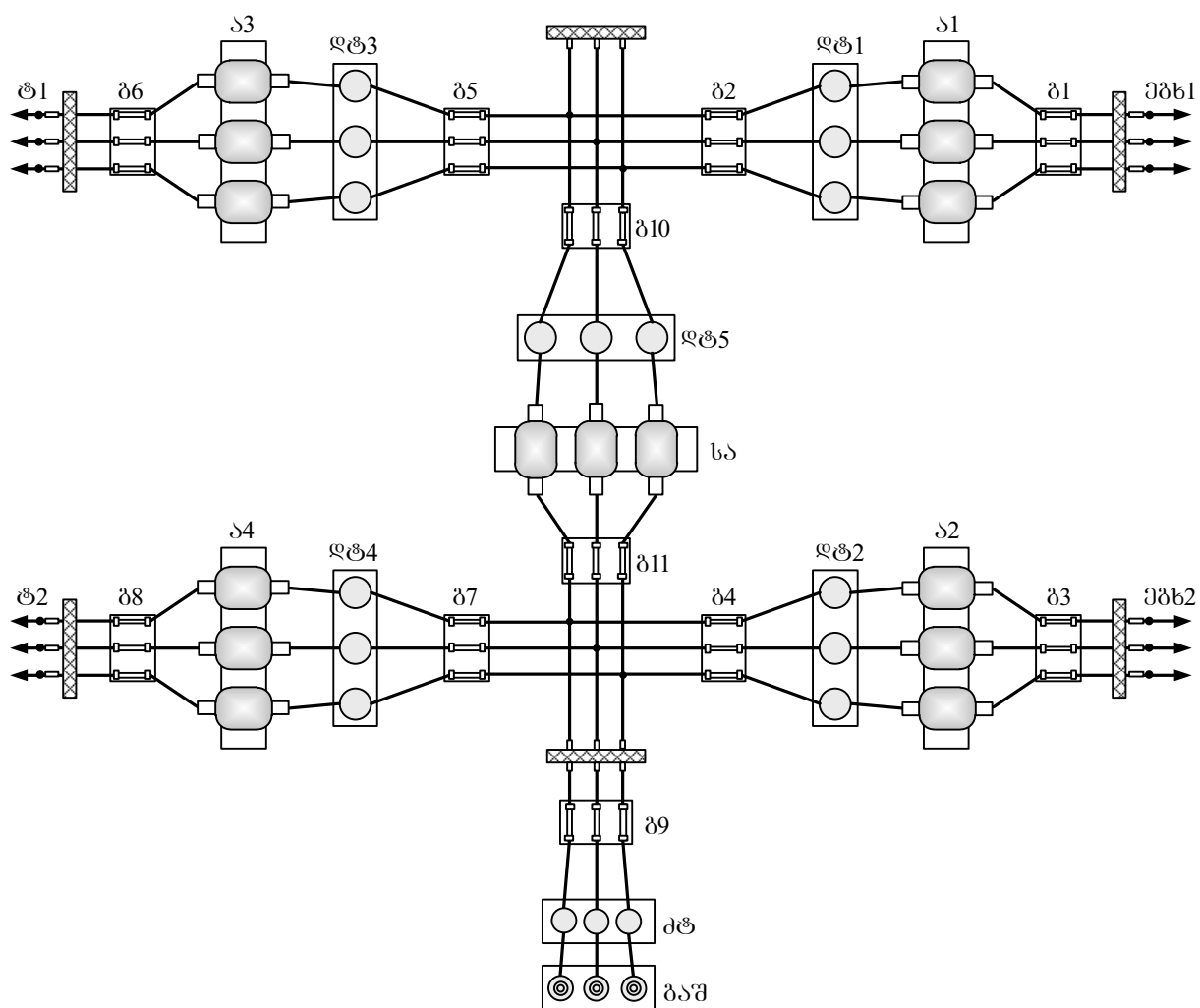
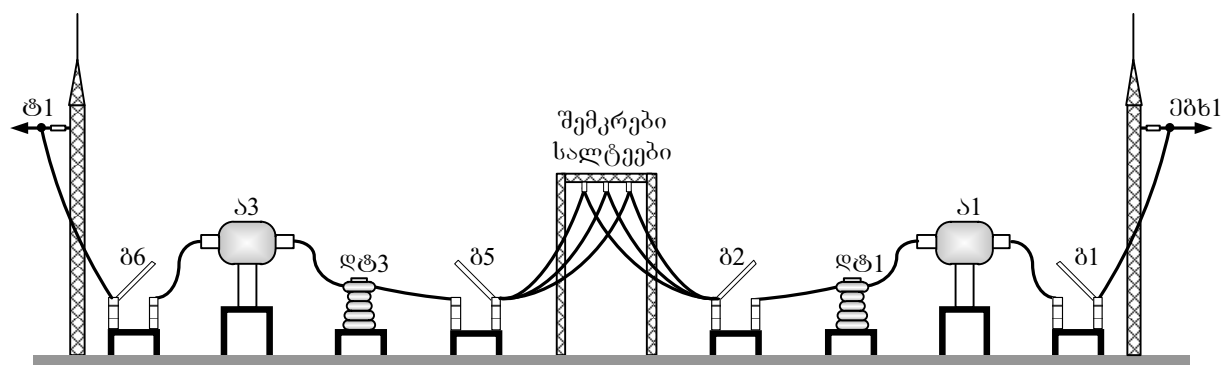
– მეხამრიდი ანძები, რომლებიც მაგრდებიან პორტალებზე და იცავენ ატმოსფერული გადამეტაბვის უშუალო ზემოქმედებისგან (მეხის დაცემისგან), აღნიშნულ ანძებს შორის გარკვეულ საანგარიშო სივრცეში განლაგებულ მოწყობილობებს;

ღმ-ის მოწყობილობისათვის გამოიყენება წინა პარაგრაფში აღწერილი ქვესადგურების სქემები.

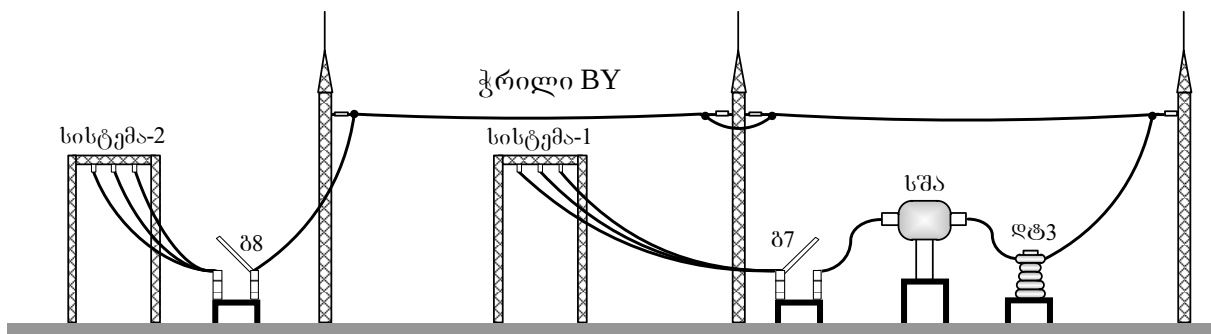
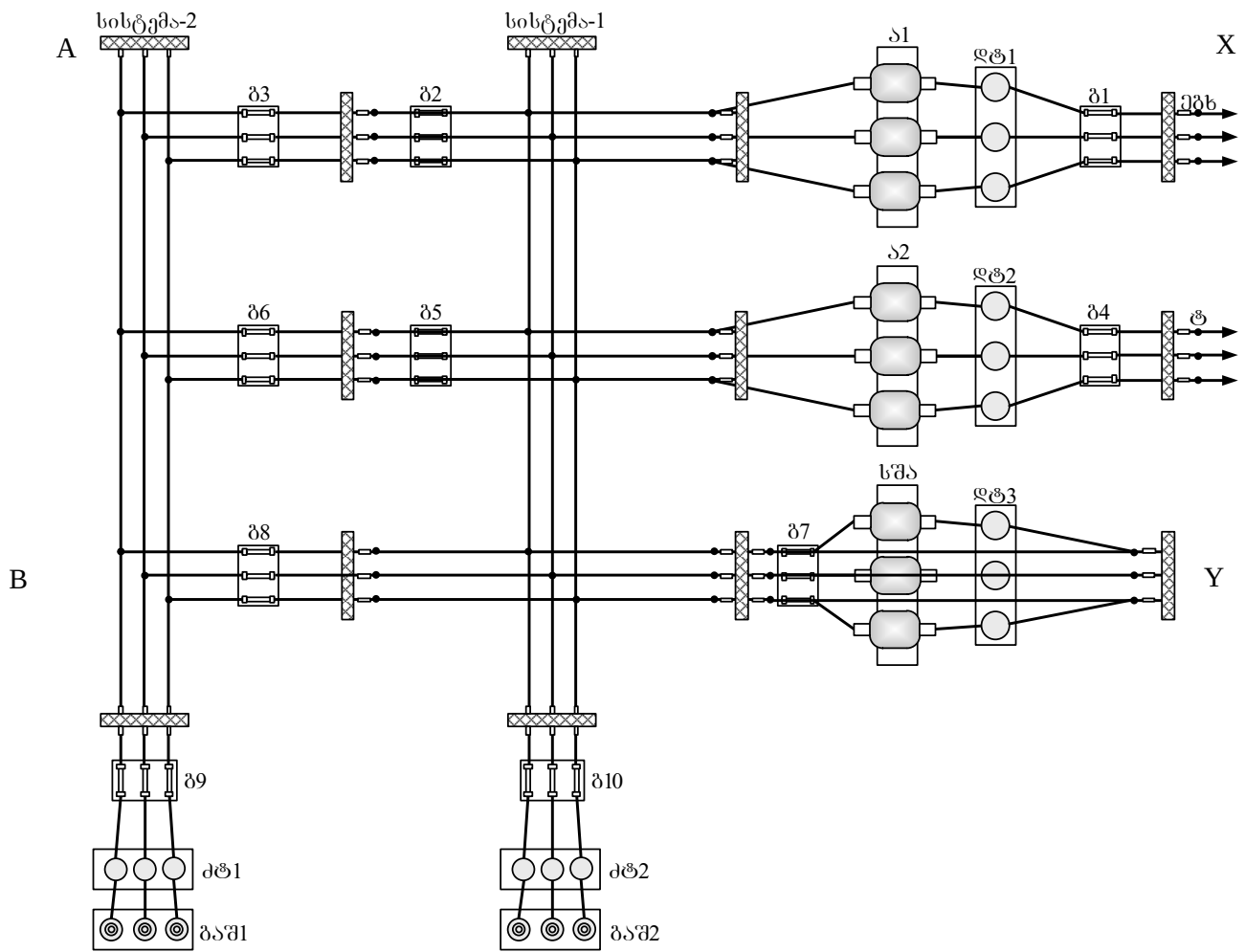
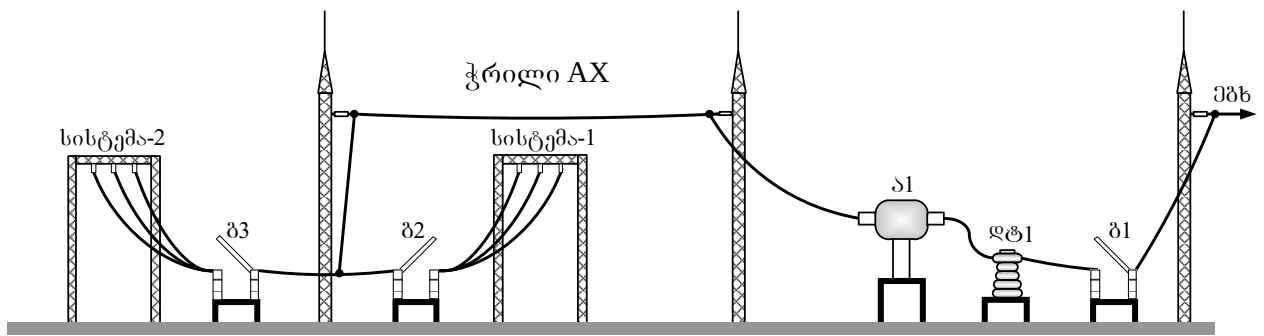
ნახ. 7.15 ა ÷ ნახ. 7.22 ა -ზე მოცემულია ღმ-ების სტანდარტული შესრულება, ხოლო ნახ. 7.15 ბ ÷ ნახ. 7.22 ბ-ზე შესაბამისი ცალხაზოვანი სქემები.



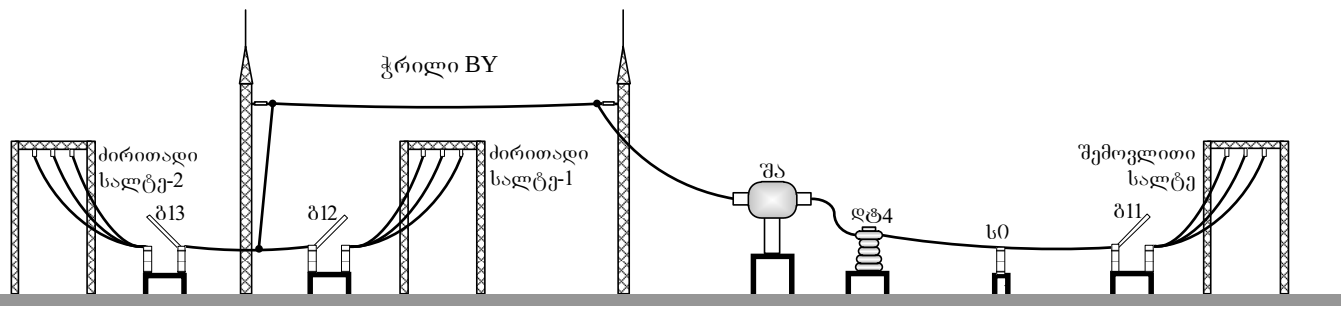
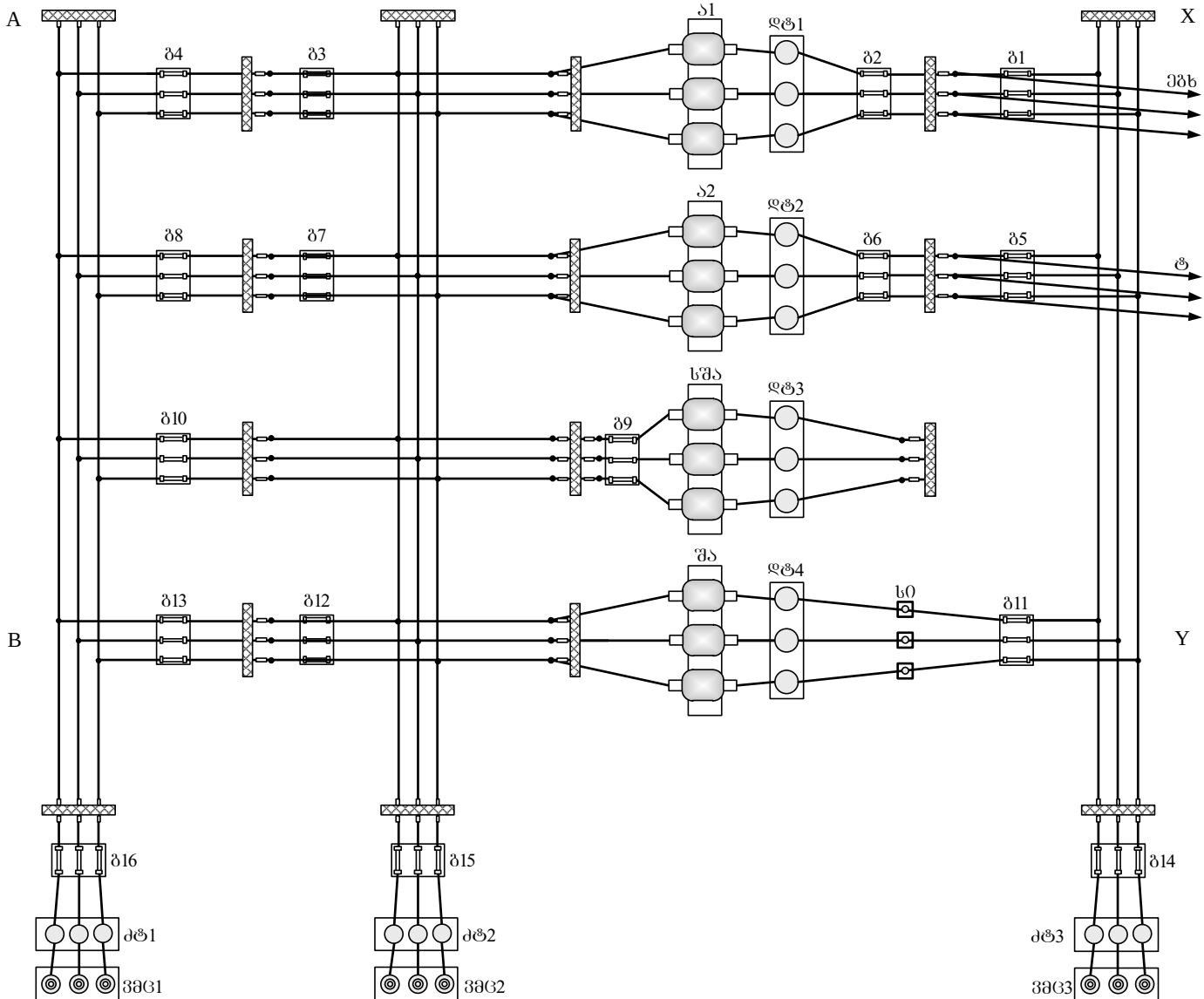
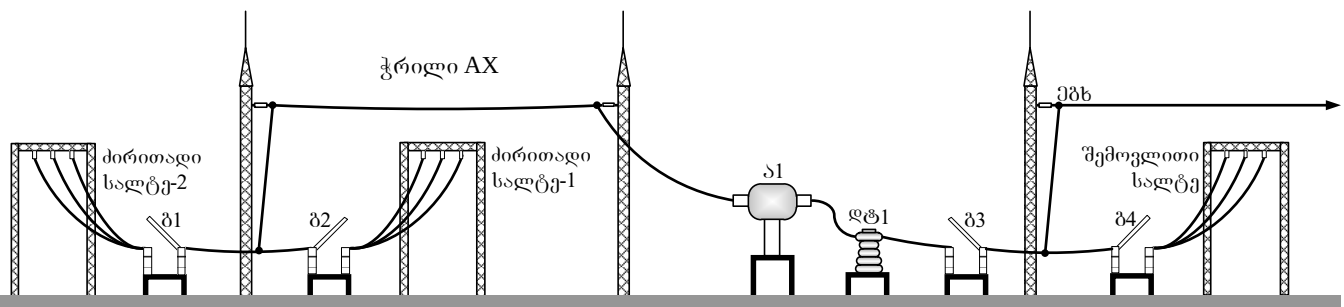
ნახ. 7.15 ა. ღმ სალტეების ერთხაზოვანი სისტემით



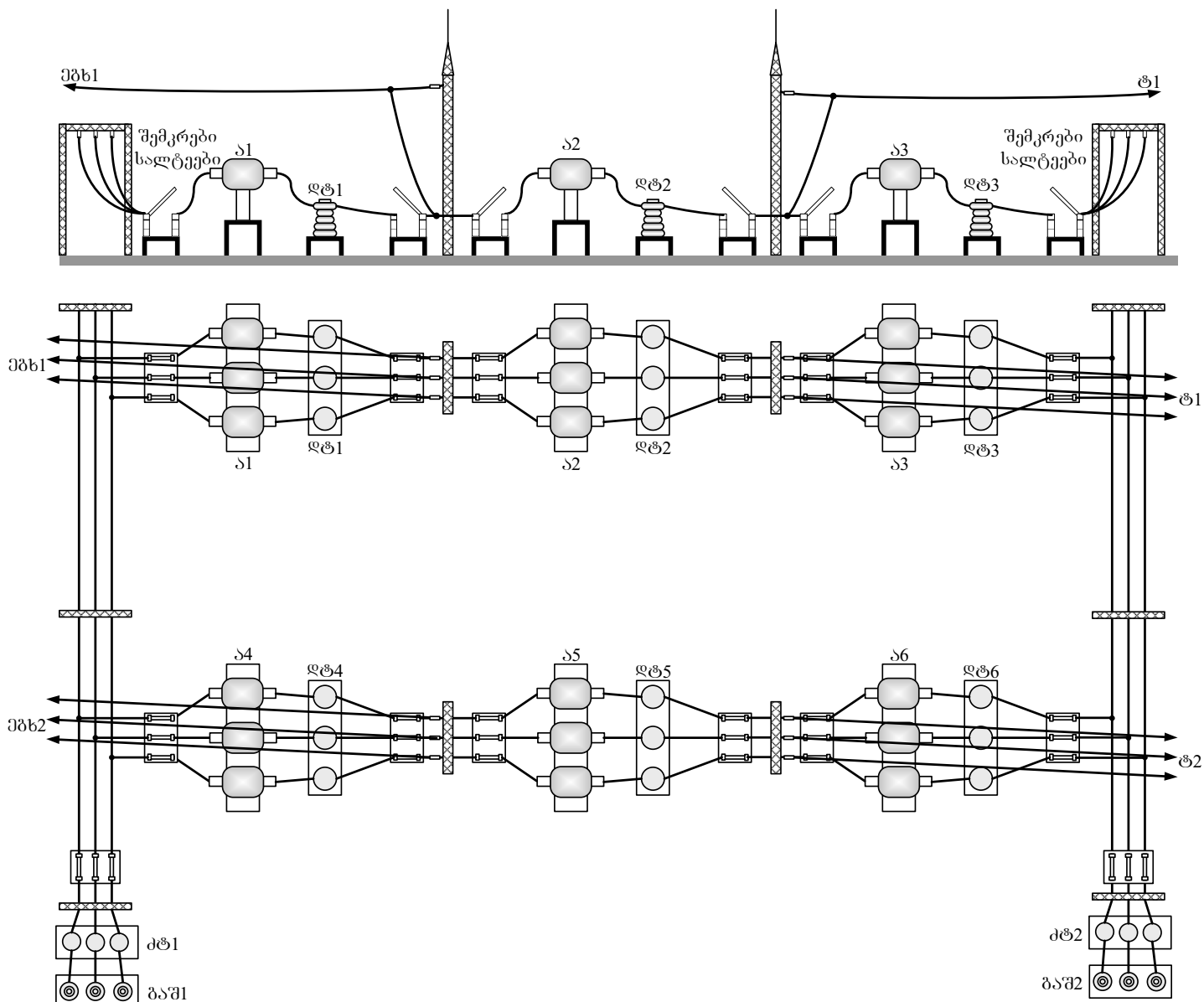
ნახ. 7.16 ა. ღვმ სალტეების დასეფციონირებული ერთმაგი სისტემით



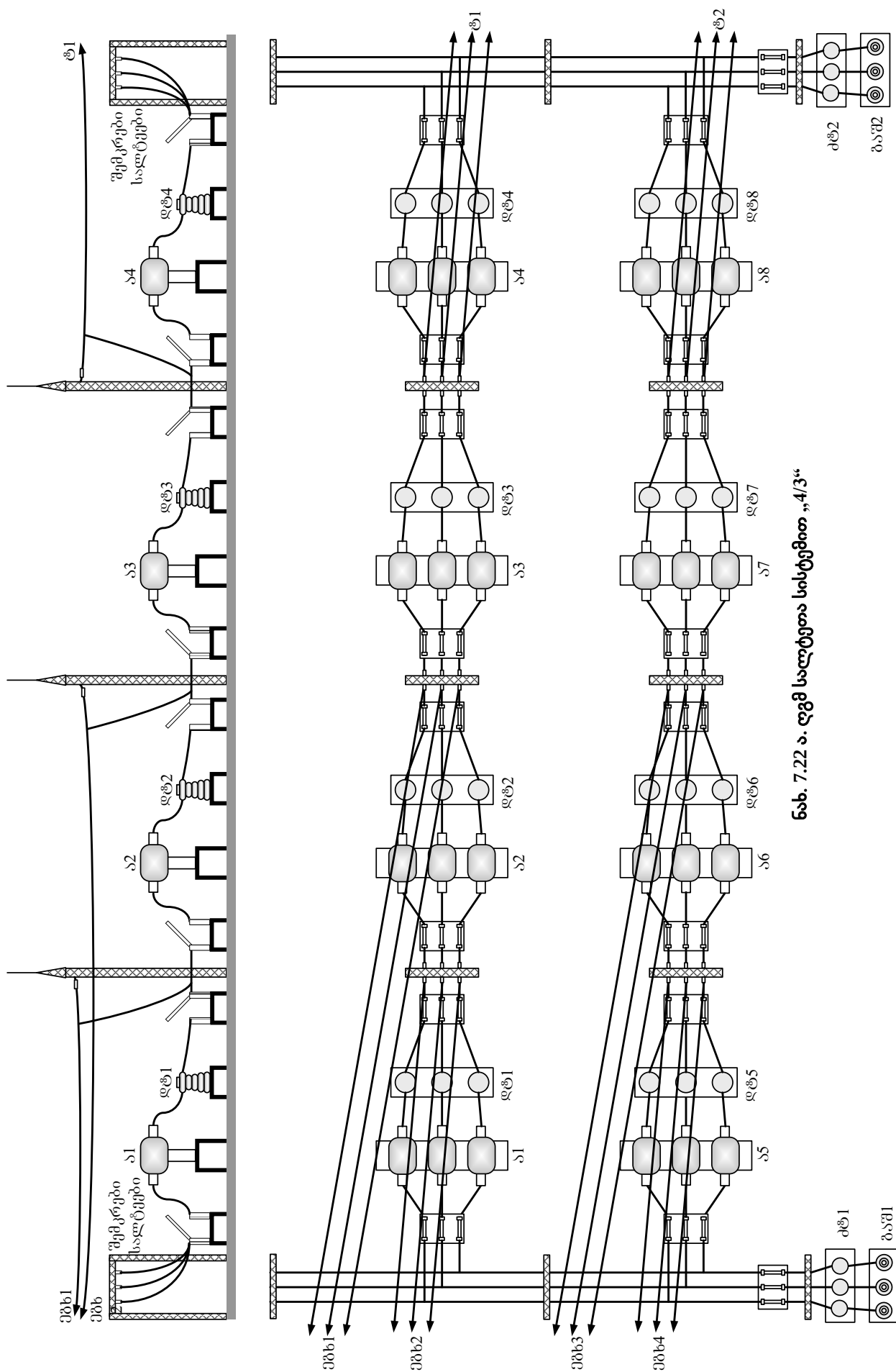
ნახ. 7.17 ა. ღებ სალტეების ორმაგი სისტემით

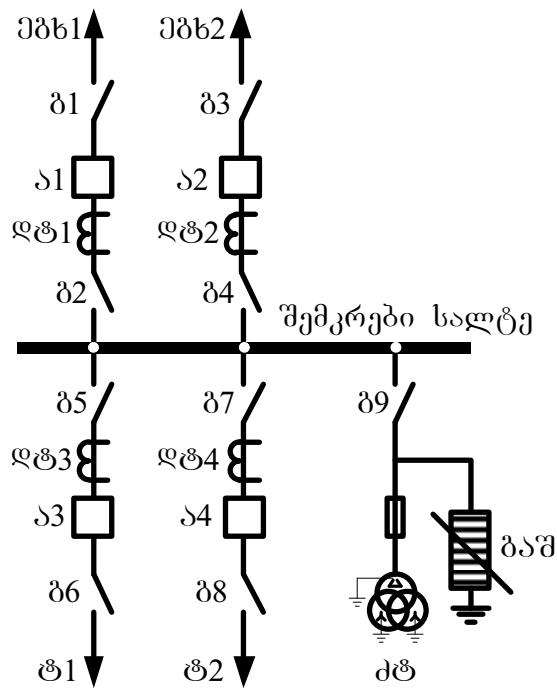


ნახ. 7.20 ა. ღებ ორმაგი სალტით და შემოვლითი სალტეთა სისტემით



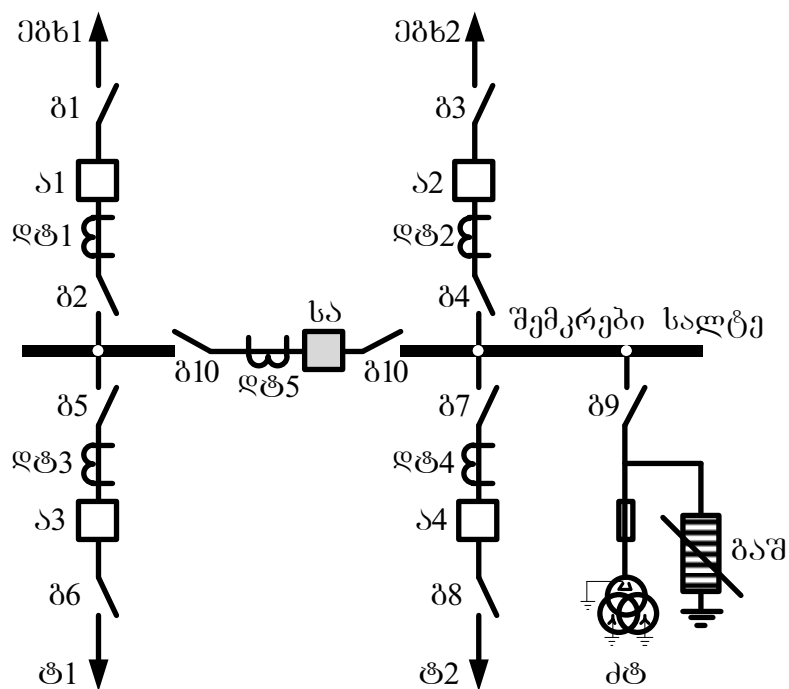
ნახ. 7.21 ა. ღებ სალტეთა სისტემით „3/2“





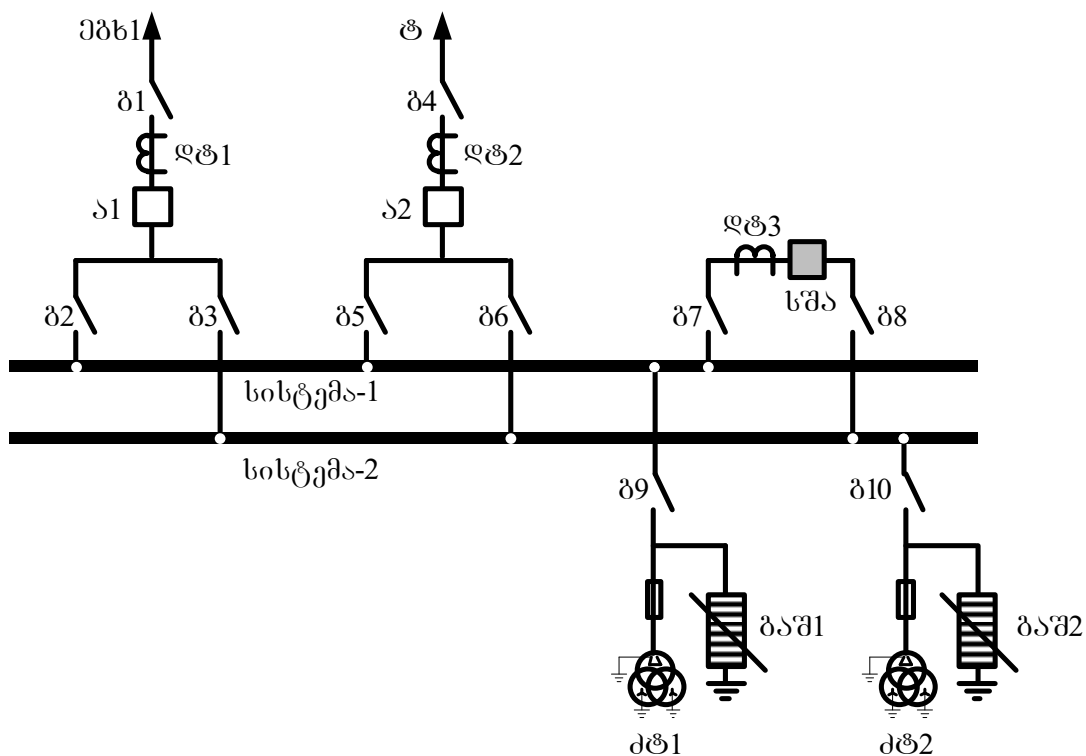
ნახ. 7.15 ბ.

სალტეების ერთმაგი სისტემის მქონე (ნახ. 7.15 ა-ზე მოცემული) ღგმ-ის ცალხაზოვანი სქემა

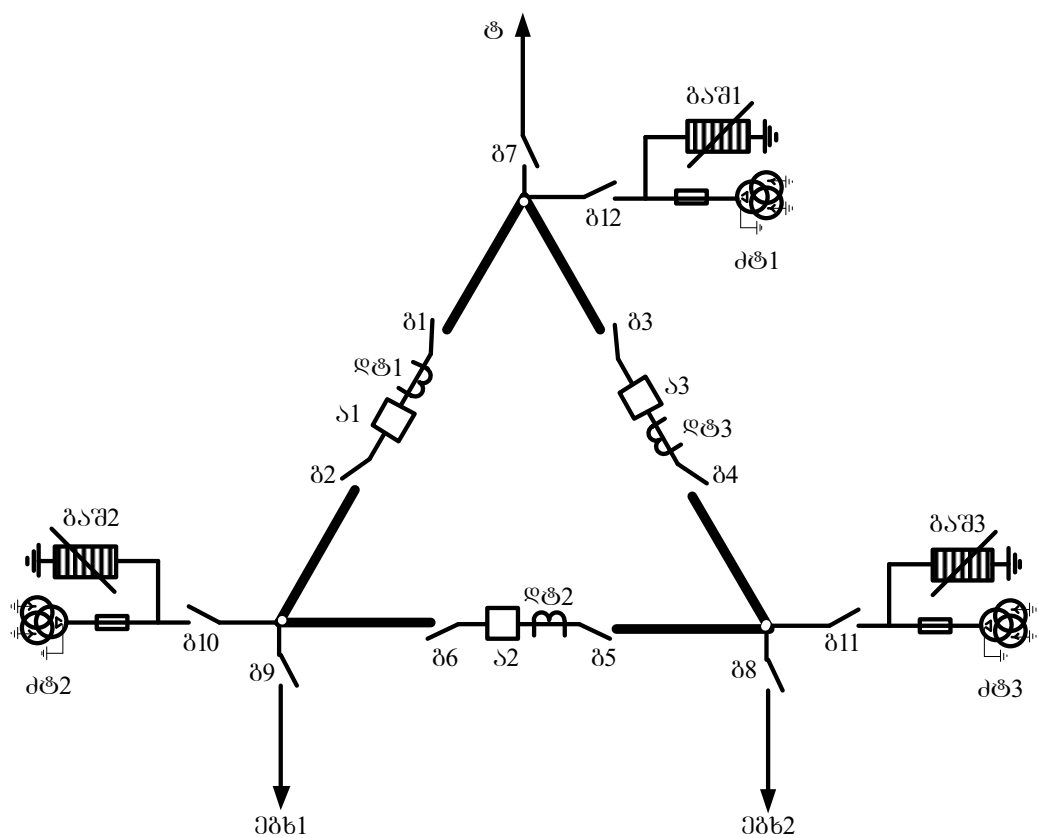


ნახ. 7.16 ბ.

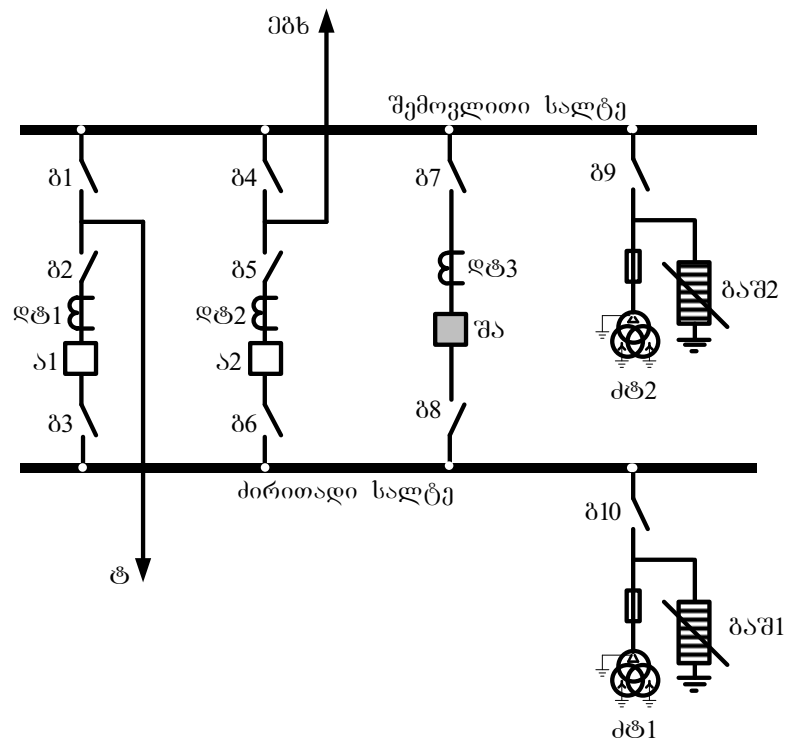
სალტეების ერთმაგი დასეფციონირებული სისტემის მქონე (ნახ. 7.16 ა-ზე მოცემული) ღგმ-ის ცალხაზოვანი სქემა



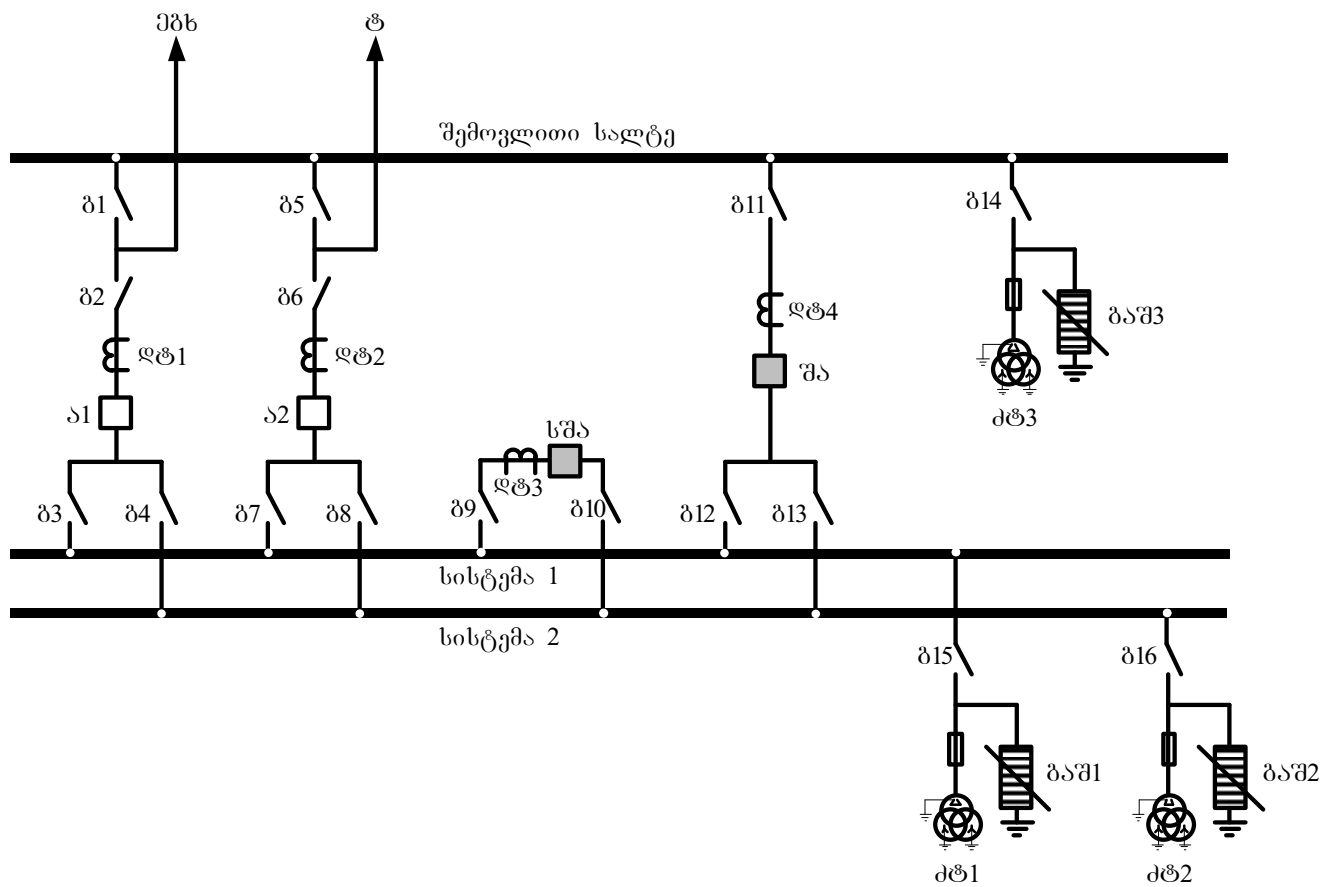
ნახ. 7.17 ბ
სალტეების ორმაგი სისტემის მქონე (ნახ. 7.17 ა-ზე მოცემული) ღგმ-ის
ცალხაზოვანი სქემა



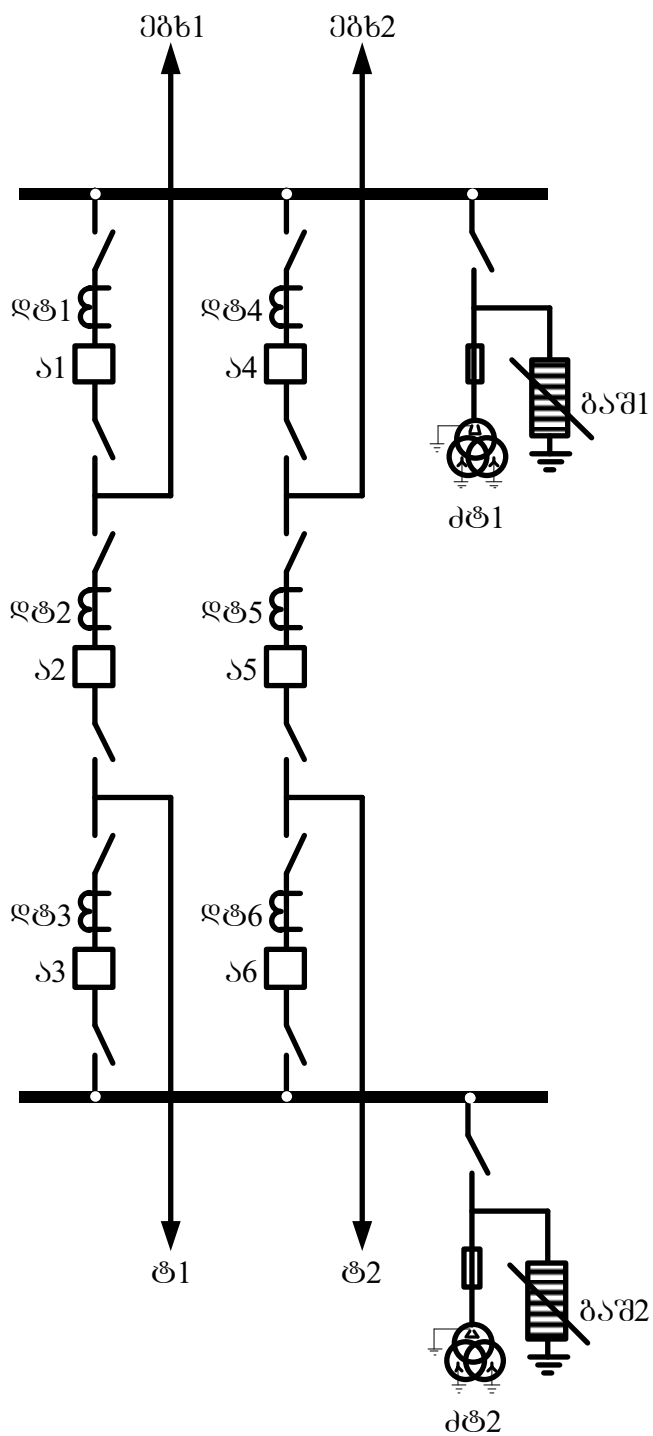
ნახ. 7.18 ბ
სალტეების რგოლური, სამკუთხა სისტემის მქონე (ნახ. 7.18 ა-ზე მოცემული) ღგმ-ის
ცალხაზოვანი სქემა



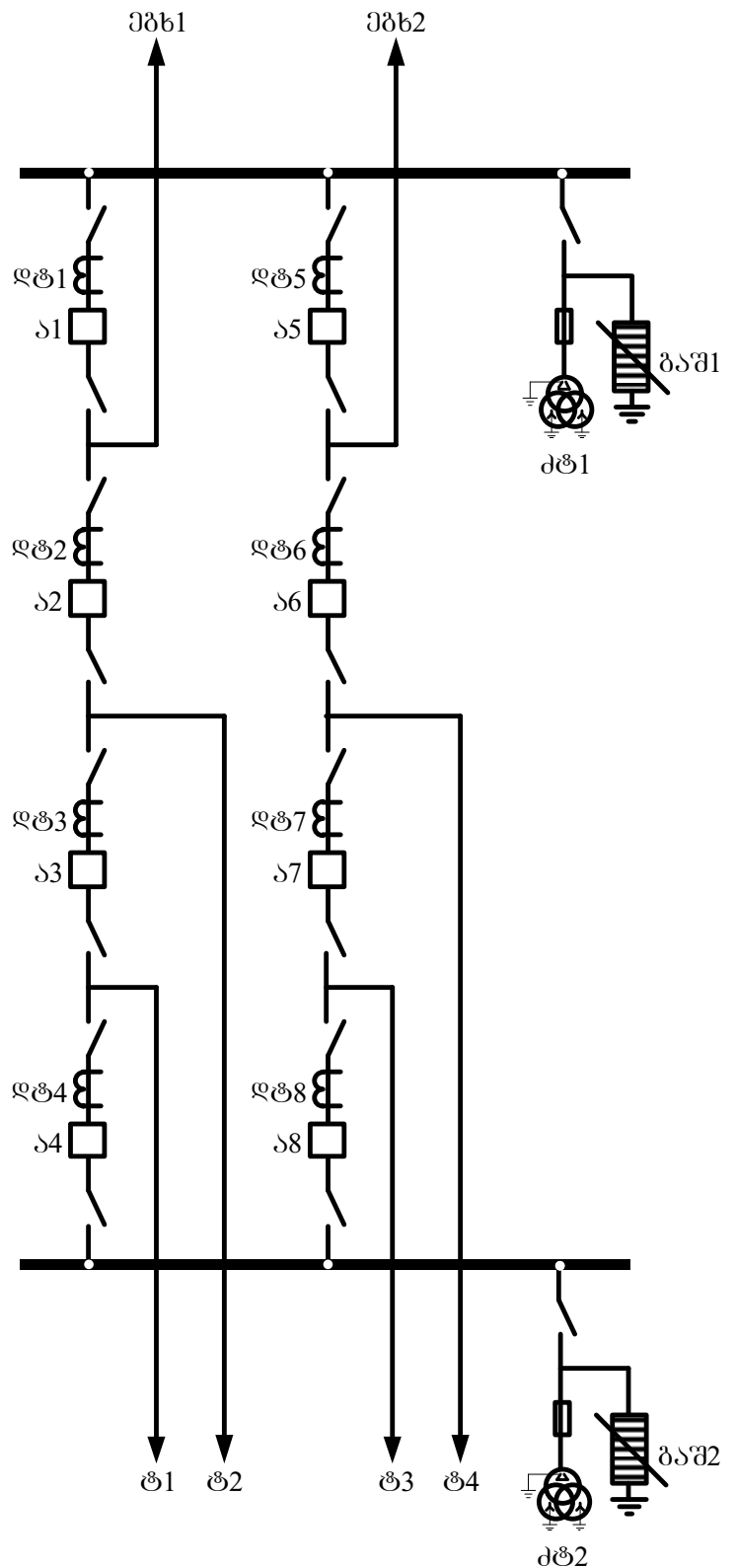
ნახ. 7.19 ბ. ერთმაგი სალტისა და შემოვლით სალტეთა სისტემის მქონე
(ნახ. 7.19 ა -ზე მოცემული) ღებმ-ის ცალხაზოვანი სქემა



ნახ. 7.20 ბ. ორმაგი სალტისა და შემოვლით სალტეთა სისტემის მქონე
(ნახ. 7.20 ა -ზე მოცემული) ღებმ-ის ცალხაზოვანი სქემა



ნახ. 7.21 ბ
„3/2“ სალტეთა სისტემის მქონე
(ნახ. 7.21 ა -ზე მოცემული) ღვმ-ის
ცალხაზოვანი სქემა



ნახ. 7.22 ბ
„4/3“ სალტეთა სისტემის მქონე
(ნახ. 7.22 ა -ზე მოცემული) ღვმ-ის
ცალხაზოვანი სქემა

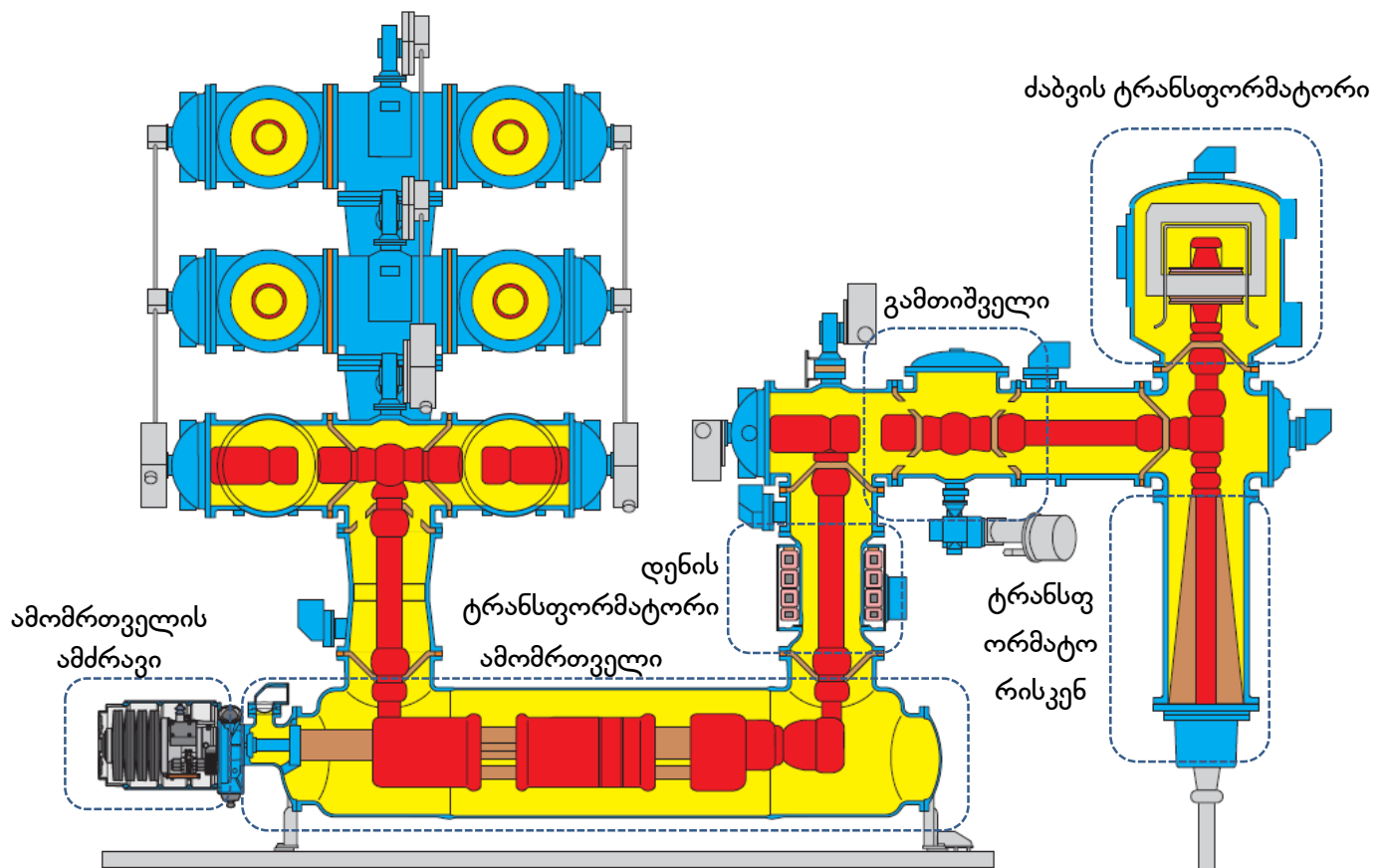
7.5 ელევგაზური მოდულური გამანაწილებელი მოწყობილობები

ერთის მხრივ, ქვესადგურების მინაერთებისა და ჯამური დადგმული სიმძლავრის ზრდის, მეორეს მხრივ, ქვესადგურის განთავსებისათვის ადგილის სიმცირის და, მესამეს მხრივ, საიმედოობის მოთხოვნების გაზრდის გათვალისწინებით, შემუშავებული და დანერგილი იქნა ელევგაზური მოდულური გამანაწილებელი მოწყობილობები. მათში ყველა ელექტრული აპარატი: ამომრთველები, გამთიშველები, დამამინებელი დანები, დენისა და ძაბვის ტრანსფორმატორები, შემკრები სალტეები და კონტროლის აპარატურა მოქცეულია ალუმინის გარსაცმში, მსგავსად ეკრანირებული გამტარისა. გარსაცმი იცავს მასში მოთავსებულ აპარატურას მტვრის, ტენის, უცხო საგნების და ატმოსფერული ზემოქმედებისაგან. გარსაცმი გავსებულია რამდენიმე ატმოსფერო წნევის ქვეშ მყოფი ელევგაზით, რომელიც, ატმოსფერულ ჰაერთან შედარებით, ბევრად მაღალ საიმპლაციო თვისებებს უზრუნველყოფს და განაპირობებს დენგამტარ ნაწილებს შორის მანძილების შემცირებას და მთლიანი ელევგაზური გამანაწილებელი მოწყობილობების კომპაქტურობას. ასეთი შესრულება პრაქტიკულად გამოირიცხავს მოკლე შერთვებს, აპარატურის დაზიანებასა და მინიმუმამდე ამცირებს საჭირო რემონტების რიცხვსა და დროს, ამარტივებს ნებისმიერი ელემენტის შეცვლას და ზრდის აპარატურის სიცოცხლის ხანგრძლივობას. ამასთან, გამანაწილებელი მოწყობილობების მოდულური შესრულება ბევრად უფრო ამცირებს ქვესადგურის აგების დროსა და ძალისხმევას, რადგან მოდულები მზადდება ქარხანაში და ადგილზე ხდება მხოლოდ მათი აწყობა. ამავდროულად, იძლევა ადვილად გაფართოების, სქემის მოდიფიცირების და კონფიგურაციის ცვლილების საშუალებას.

ელევგაზური გამანაწილებელი მოწყობილობის ნაკლი ჩვეულებრივ ღია გამანაწილებელ მოწყობილობასთან შედარებით, არის მისი სიძვირე და ცალკეული დეტალების შესრულების სირთულე. ვინაიდან აქ ყველა დეტალი უნდა იქნას გათვლილი წნევის ქვეშ სამუშაოდ, გამორიცხული უნდა იქნას ელევგაზის გაჟონვა გარსაცმიდან.

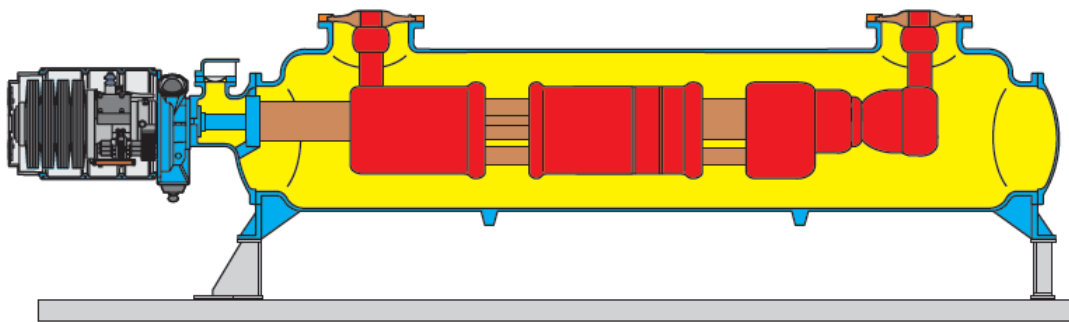
ნახ. 7.23-ზე მოცემულია 500 კვ ძაბვის მოდულური ელევგაზური გამანაწილებელი მოწყობილობის შესრულება და მისი ძირითადი შემადგენელი აპარატურა. ნახ. 7.24-ზე კი ცალკეა ნაჩვენები მოდულის შემადგენელი აპარატურა, კერძოდ: ამომრთველი, დენისა და ძაბვის ტრანსფორმატორები; ძალოვან ტრანსფორმატორთან დამაკავშირებელი ელემენტი; ბუშინგი; შემაერთებელი გრძივი, L, T და ჯვარედი ელემენტები, გამთიშველი, რემონტის დამინების დანა და სწრაფმოქმედი დამინების დანა.

აღსანიშნავია, რომ მოდულურ გამანაწილებელ მოწყობილობაში გამოყენებულია ჰორიზონტალურად განლაგებული, დამინებულავზიანი, ავტოშებერვის პრინციპზე მომუშავე, ერთწნევიანი და ორკამერიანი ელევგაზური ამომრთველი (იხ 6.2.6 პუნქტი) - თავისი ზამბარიანი ან პნევმატური მძლავრი ამძრავით. ამომრთველების ასეთი განლაგება და საყრდენებზე კარგი განაწილება, უზრუნველყოფს მთელი მოდულის მაღალ მედეგობას ვიბრაციებისა და მიწისძვრებისადმი. გამთიშველების ამძრავები მოქმედებენ, როგორც ავტომატურად ან დისტანციური მართვით, ასევე შესაძლებელია მათი ხელით ამოქმედებაც. გამთიშველების მოწყობილობების დანები შეიძლება ახდენდნენ ერთმანეთისადმი მართობულ ან ერთ ხაზზე განლაგებული გამტარების კომუტაციას. საკომუტაციო აპარატურის ჩართულობა-გამორთულობის მაჩვენებლები დამაგრებულია გარსაცმის გარეთ.

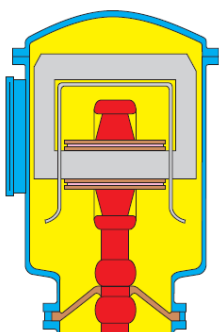


ნახ. 7.23 ელექტრონული მოდულური გამანაწილებელი მოწყობილობის ერთი მოდულის ჭრილი

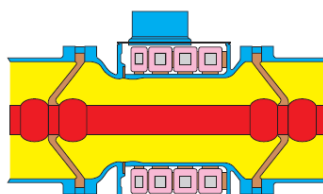
- პირველადი, მაღალი ძაბვის ქვეშ მყოფი ნაწილები
- გარსაცმი
- ელექტრო
- იზოლაციონები
- მექანიკური ნაწილები და სტრუქტურა
- მფრეული, დაბალი ძაბვის ქვეშ მყოფი ნაწილები



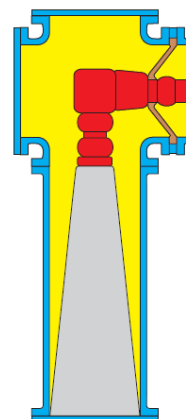
ამომრთველი და მუშა მექანიზმი



ძაბვის ტრ



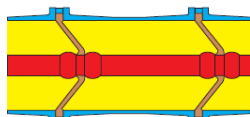
დენის ტრ



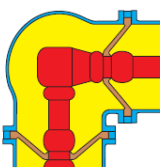
დაკავშირება ტრ-თან



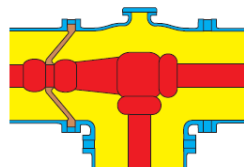
ბუშინგი



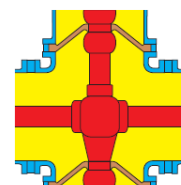
გრძივი ელემენტი



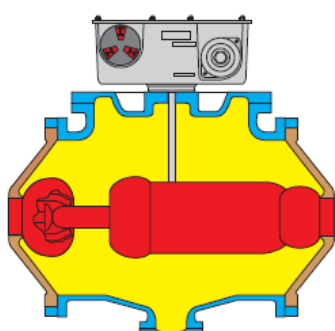
L ელემენტი



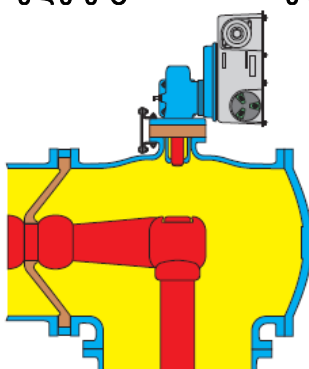
T ელემენტი



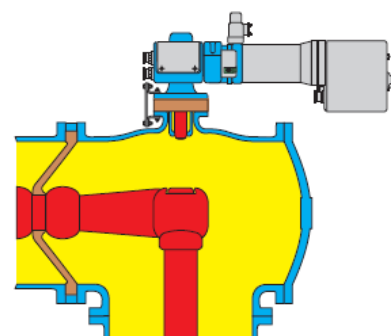
ჯვარედინი ელემენტი



გამთიშველი



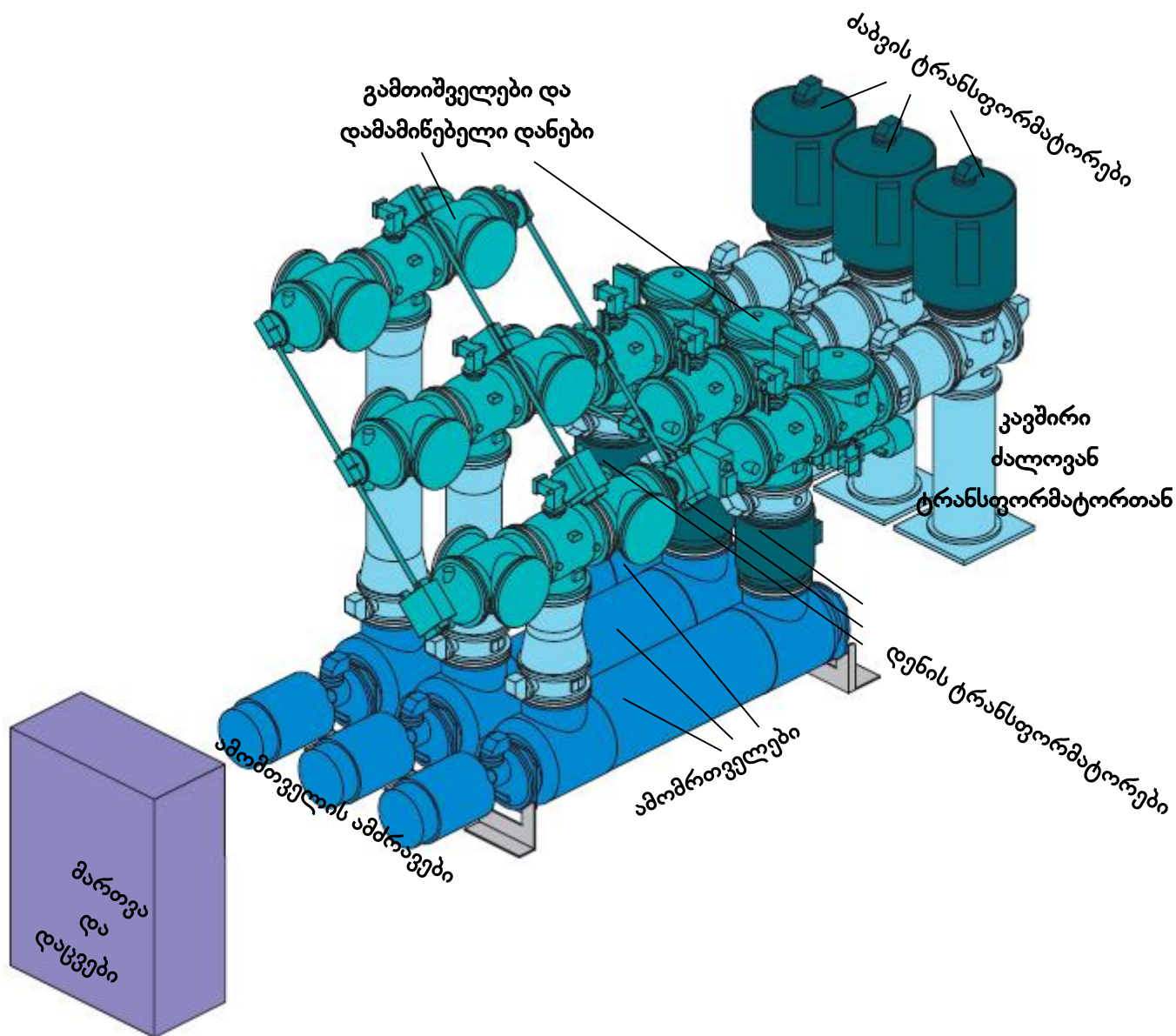
რემონტის დამიწების დანა



სწრაფმოქმედი დამიწების დანა

ნახ. 7.24

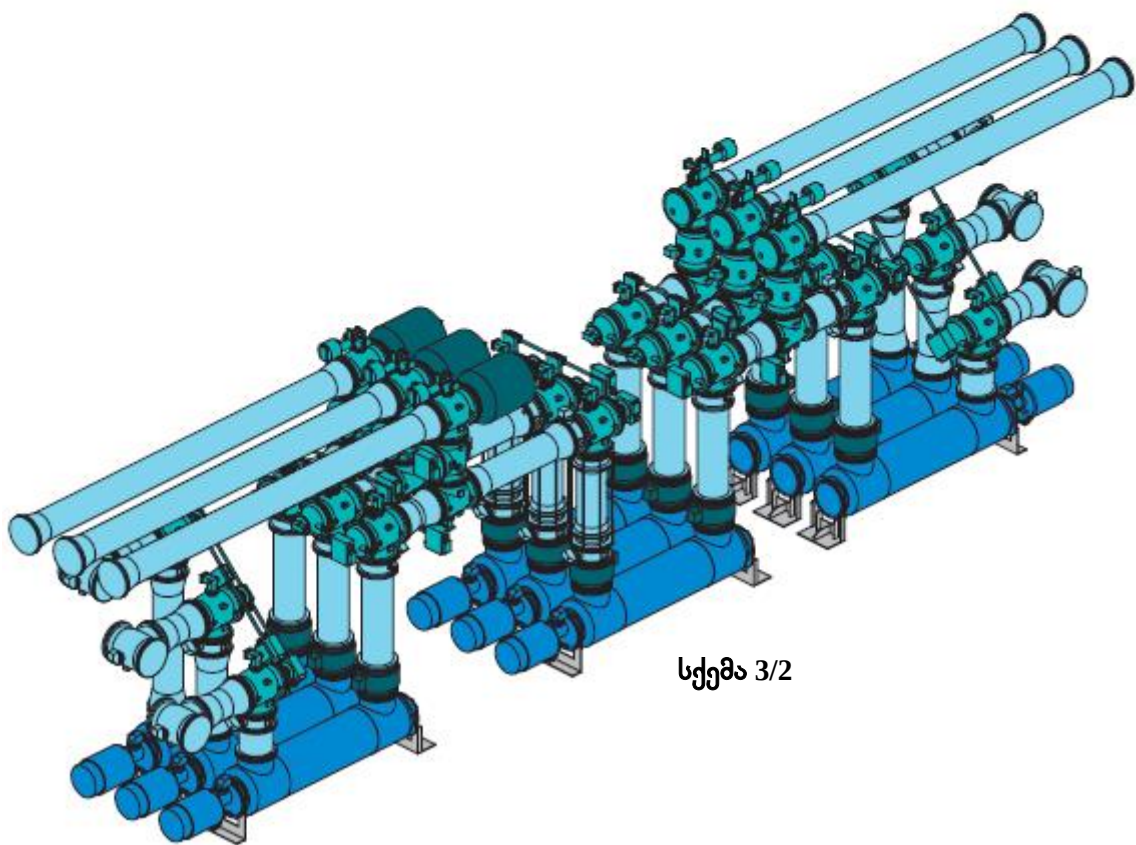
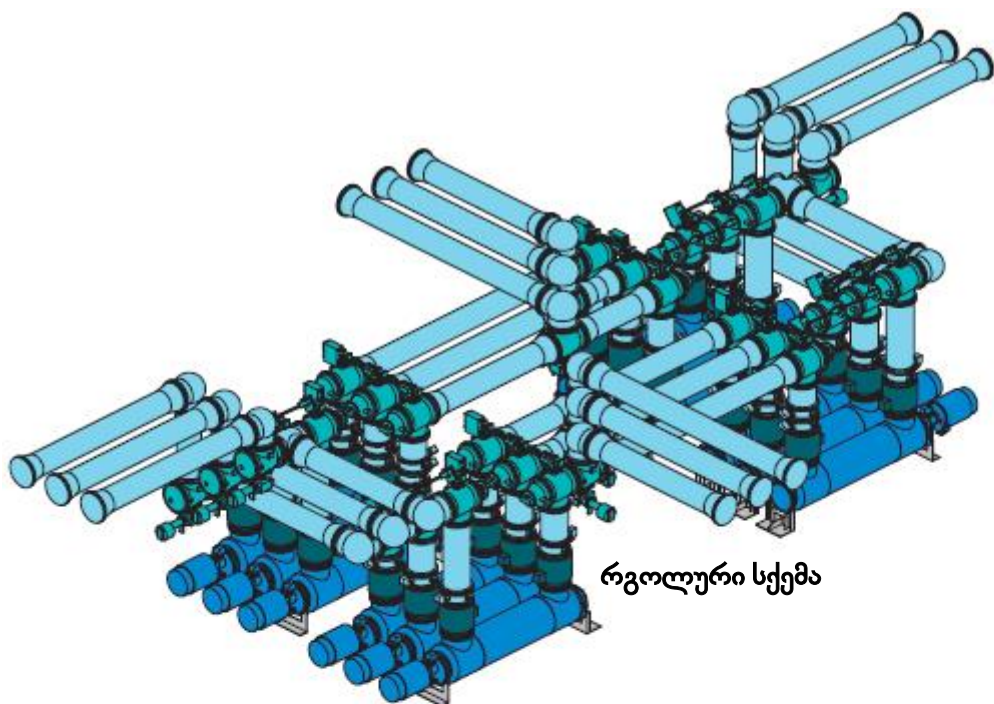
ელეგანური მოდულური გამანაწილებელი მოწყობილობის მოდულის შემადგენელი ნაწილები



ნახ. 7.25

ელეგანური მოდულური გამანაწილებელი მოწყობილობის ერთი მოდულის საერთო ხედი

- ამომრთველები
- გამთიშველები და დამამინებელი დანები
- დენისა და ძაბვის ტრანსფორმატორები
- აპარატურის დამაკავშირებლები
- მექანიკური ნაწილები და სტრუქტურა
- მართვისა და დაცვის მოწყობილობები



ნახ. . 7.26

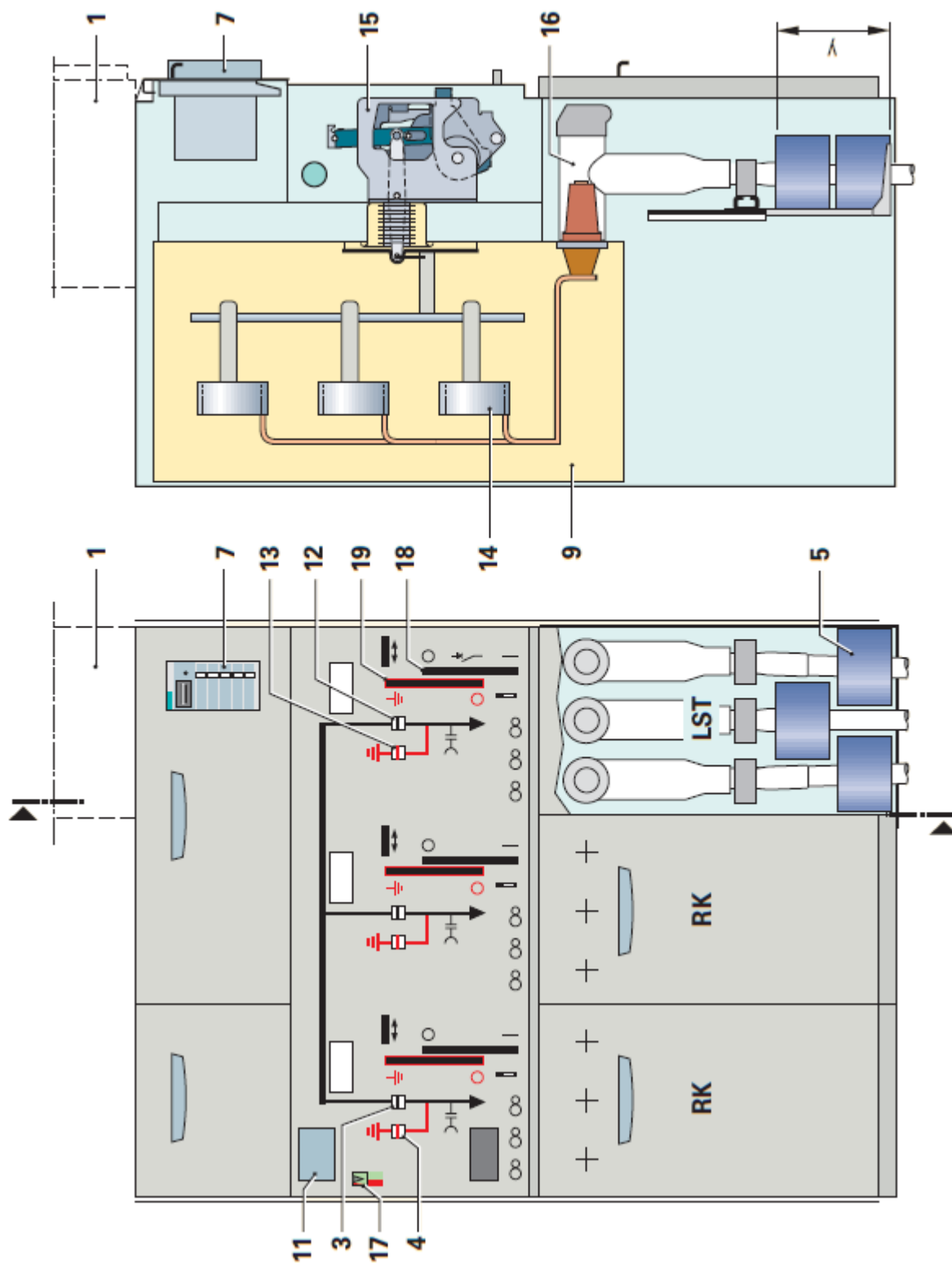
ელეგანური მუდღეული გამანაწილებელი მონწყობილობების სქემები

7.6 კომპლექტური გამანაწილებელი მოწყობილობები

კომპლექტურ გამანაწილებელ მოწყობილობას უწოდებენ ქარხნული წესით დამზადებულ, დასრულებულ ბლოკურ მოწყობილობას, რომელიც დანიშნულების ადგილზე მხოლოდ საჭიროა რომ მიერთდეს ძაბვაზე. იგი, მსგავსად მოდულური გამანაწილებელი მოწყობილობისა, შეიცავს გამანაწილებელი მოწყობილობის აპარატურის ერთობლიობას, ამომრთველებს, გამთიშველებს, მზომ ტრანსფორმატორებს, დაცვისა და კონტროლის წრედებს. ყველა ეს მოწყობილობა მოქცეულია ლითონის დამცავ კარკასში. კომპლექტური მოწყობილობები მზადდება ნებისმიერ სქემაზე გამოსაყენებლად, მათი ძირითადი უპირატესობაა კომპაქტურობა, საიმედოობა და მომსახურების უსაფრთხოება, ასევე, მსგავსად, მოდულური მოწყობილობებისა - შემჭიდროებულ სივრცესა და მცირე დროში დამონტაჟების შესაძლებლობა. ისინი ძირითადად მზადდება 6, 10 და 35 კვ ნომ ძაბვებზე და გააჩნიათ საჰაერო იზოლაცია.

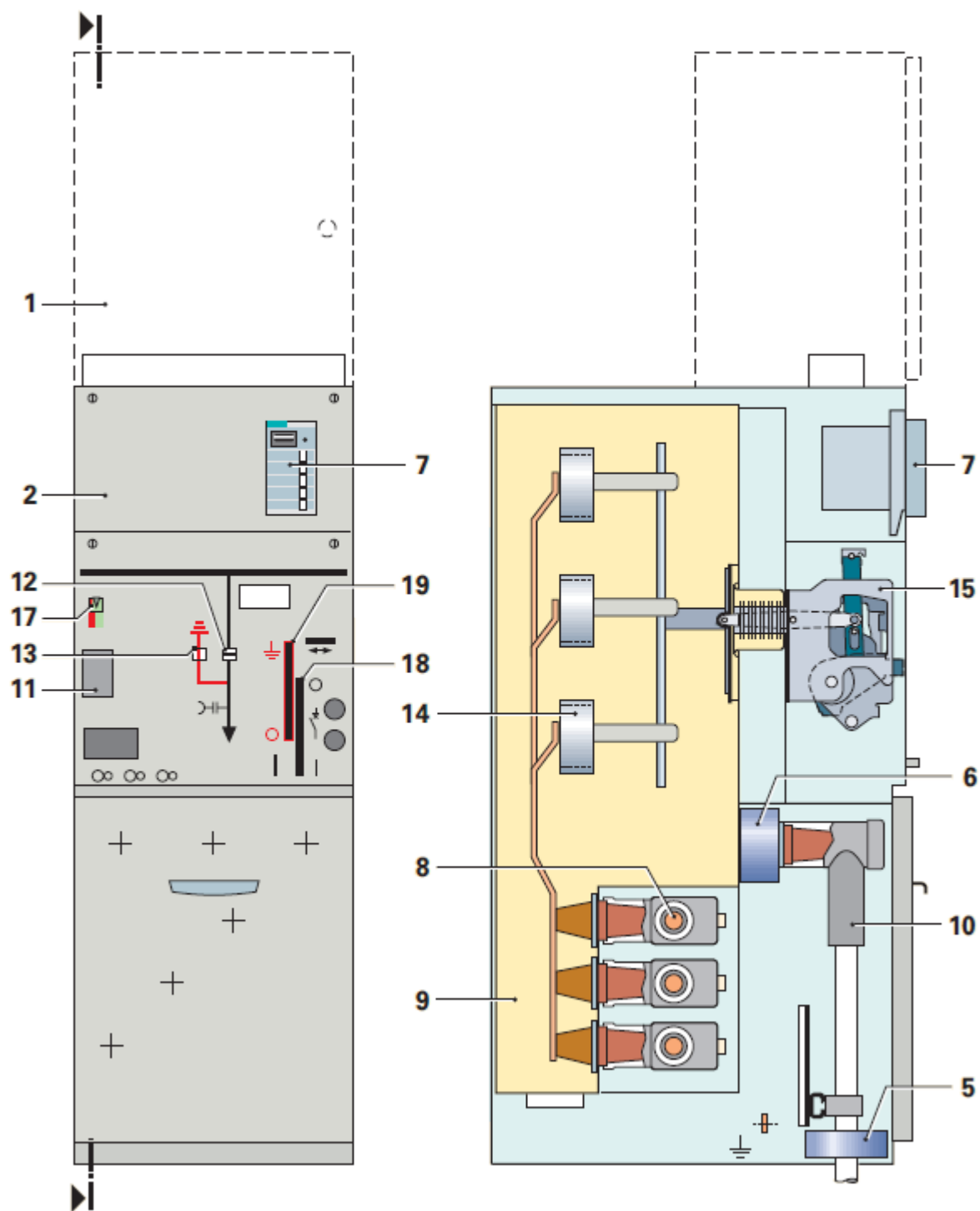
ქვემო ნახაზებზე მოცემულ კომპლექტურ მოწყობილობებზე:

- 1 დაბალი ძაბვის ნაწილი, დაცვისა და რეგულირების მოწყობილობებით.
 - 2 დაბალი ძაბვის მომხმარებლების ნაკვეთური, შეცვლადი
 - 3 დატვირთვის ამომრთველის მდგომარეობის „ჩართულია-გამორთულია“ მაჩვენებელი;
 - 4 დამამიწებლის მდგომარეობის მაჩვენებელი „დამიწებულია-გამორთულია“
 - 5 სხული დენის ტრანსფორმატორი
 - 6 სამუშაო დამცავი დენის ტრანსფორმატორი
 - 7 დამცავი მოწყობილობა
 - 8 სალტეთა სისტემა
 - 9 გამანაწილებელი მოწყობილობის აირით შევსებული ავზი
 - 10 კაბელის ჩასართავი
 - 11 ტიპისა და ნომინალური პარამეტრების მაჩვენებელი ფირფიტა
 - 12 ამომრთველის მდგომარეობის „ჩართულია-გამორთულია“ მაჩვენებელი;
 - 13 დამამიწებლის მდგომარეობის მაჩვენებელი „დამიწებულია-გამორთულია“
 - 14 ამომრთველი დამამიწებლის დამატებითი ფუნქციით
 - 15 ზამბარიანი ამძრავი მექანიზმი.
 - 16 კაბელის T-სებური მისაერთებელი
 - 17 მუშაობისთვის მზადყოფნის მაჩვენებელი.
 - 18 ამომრთველის ამძრავი მექანიზმის ხელით ამოქმედება
 - 19 ამომრთველის ამძრავი მექანიზმის ხელით ამოქმედება
- y = დენის ტრანსფორმატორის ჩაყენების სიმაღლე, დამოკიდებული მის გულარაზე.



ნახ. 7.27

SIEMENS ფირმის 8DJ20 ტიპის კომპლექტური გამანაწილებელი მოწყობილობის უჯრედი

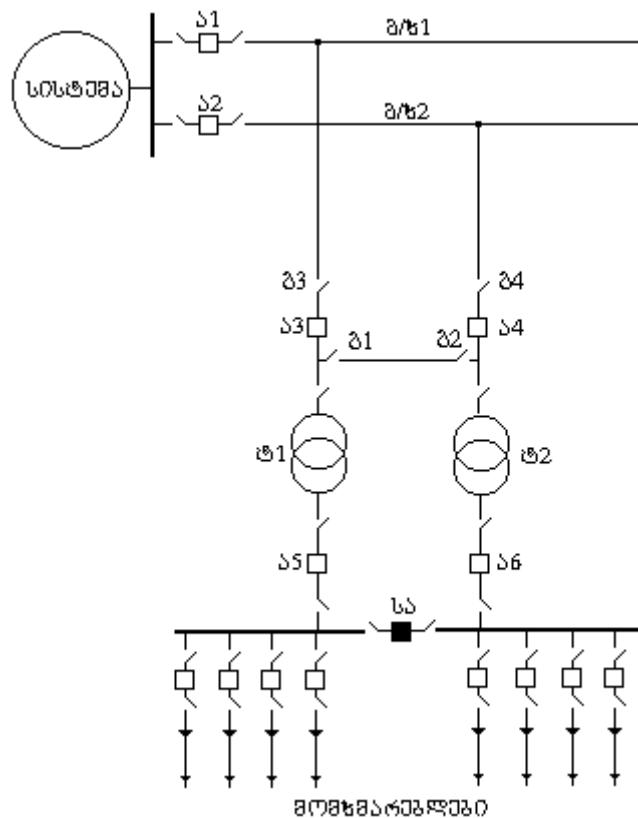


ნახ. 7.27
SIEMENS ფირმის
კომპლექტური გამანაწილებელი მოწყობილობის უჯრედი

7.7 ქვესადგურების ტიპები

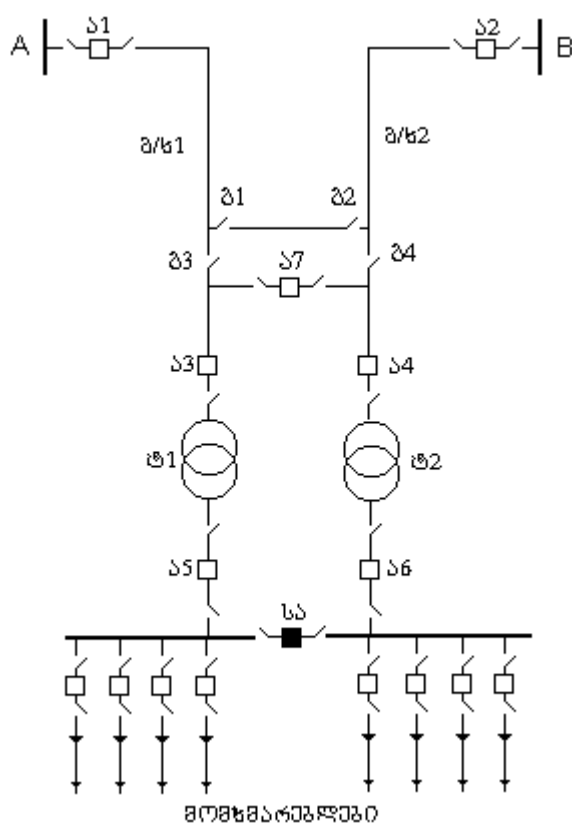
არსებობს ქვესადგურების სამი ძირითადი ტიპი: განშტოებადი, გამავალი და კვანძური.

1. **განშტოებადი ქვესადგური** იკვებება მაღალი ძაბვის გადამცემი ხაზების განშტოებებიდან. ქვესადგური შედგება ერთი ან ორი ტრანსფორმატორისაგან, რომლებიც ა3 და ა4 ამომრთველებით ჩართულნი არიან გ/ხ1 და გ/ხ2 გადამცემი ხაზების განშტოებებზე (ნახ. 7.28). დაბალი ძაბვის მხარეს არის ორი სექცია, რომელთა შორისაა არის სასექციო ამომრთველი “სა”. ეს ამომრთველი ნორმალურად გამორთულია. ერთ-ერთი ტრანსფორმატორის, მაგალითად ტ1-ის დაზიანების შემთხვევაში, გამოირთვება ა5 და ა3 ამომრთველები და ჩაირთვება სა. მომხმარებლების კვება განხორციელდება ტ2 ტრანსფორმატორით. გ/ხ1-ის გამორთვის შემთხვევაში უნდა ამოირთოს ა1 და ა3 ამომრთველები. ტ1 ტრანსფორმატორმა შეიძლება მიიღოს კვება გ/ხ2-დან, თუ ჩაერთავთ გ1 და გ2 გამთიშველებს. თუ ქვესადგური მდებარეობს გ/ხ1-ის და გ/ხ2-ის ბოლოში, მას ჩიხური ქვესადგური ეწოდება.



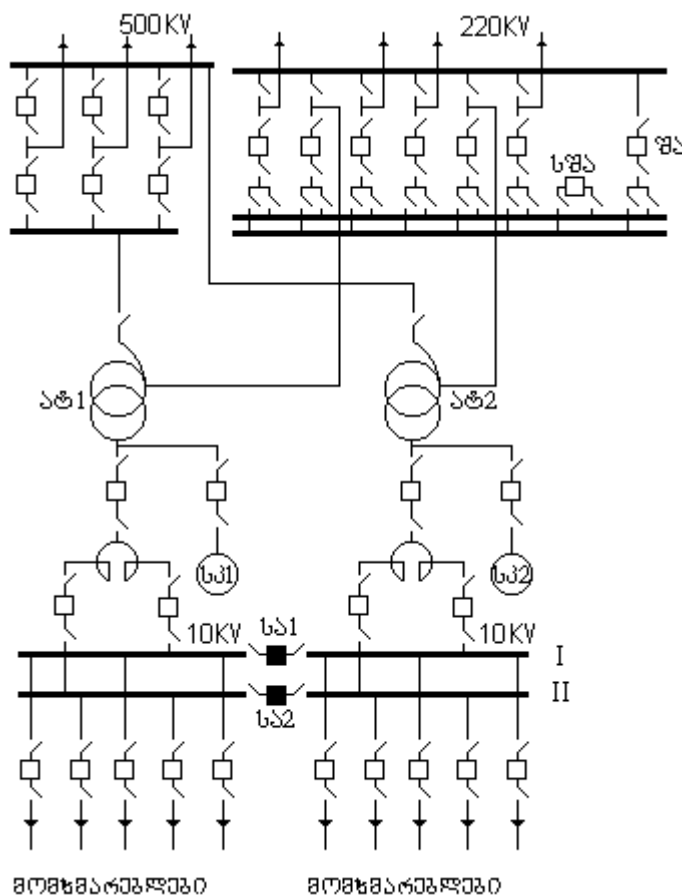
ნახ. 7.28
განშტოებადი ქვესადგური

2. **გამავალი ქვესადგური** იკვებება ორმხრივი კვების ხაზით. ნახ. 7.29-ის შემთხვევაში, ქვესადგურს ენერგია შეიძლება მიეწოდოს როგორც A პუნქტიდან, ასევე B პუნქტიდან. ამომრთველი ა7 ნორმალურად ჩართულია, სა კი - ნორმალურად გამორთული. ტ1 ტრანსფორმატორის დაზიანების შემთხვევაში, გამოირთვება ა5 და ა3 ამომრთველები, სა კი ჩაირთვება. მომხმარებლების მარცხენა ჯგუფს კვება არ დაეკარგება. გ/ხ1-ზე მოკლე შერთვის შემთხვევაში დაცვით გამოირთვება ა1 და ა7 ამომრთველები. გ3 გამთიშველის ჩართვის შემდეგ, ა7 შეიძლება ისევ ჩაირთოს და ტ1 ისევ იქნება ძაბვის ქვეშ. ა7 ამომრთველის რემონტის დროს, რომ არ შეწყდეს კავშირი A და B პუნქტებს შორის, ჩაირთვება გ1 და გ2 გამთიშველები.



ნახ. 7.29
განმტობადი ქვესადგური

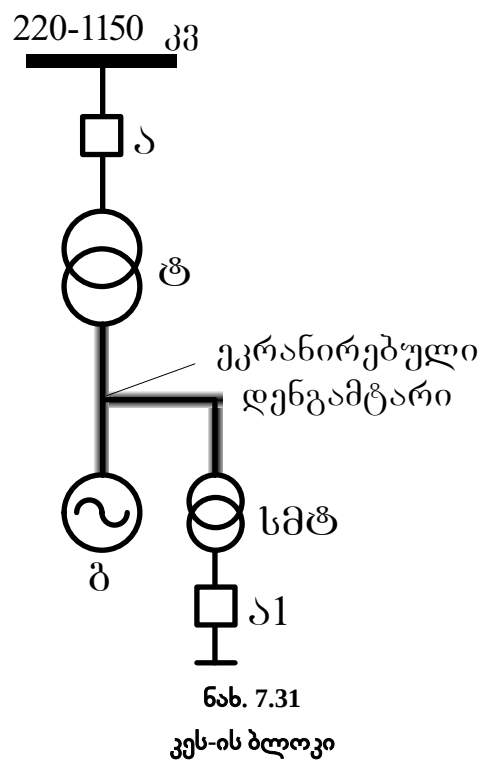
3. საკვანძო ქვესადგურები აერთიანებს ერთმანეთთან სისტემის ნაწილებს. ნახ. 7.30-ზე ნაჩვენებია ქვესადგური, სადაც ერთმანეთს უკავშირდება 500 და 220 კვ ძაბვის ქსელები. აქვე გვაქვს 10 კვ გამანაწილებელი მოწყობილობა, ახლომდებარე მომხმარებლების საკვებად. ქვესადგურში არის ორი ავტოტრანსფორმატორი. მათ დაბალი ძაბვის გრაგნილებზე ორმაგი რეაქტორების საშუალებით მიერთებულია 10 კვ გამანაწილებელი მოწყობილობა, სალტეების ორი სისტემით. სალტეები სექციონირებულია სა1 და სა2 სასექციო ამომრთველებით. დატვირთვის ნაწილი იკვებება სალტეების I სისტემიდან, ნაწილი – II სისტემიდან. ავტოტრანსფორმატორების დაბალი ძაბვის გრაგნილებზე ჩართულია სკ1 და სკ2 სინქრონული კომპენსატორები. 500 კვ ძაბვაზე გამოყენებულია მაღალსაიმედო სქემა – ორ-ორი ამომრთველით ერთ ხაზზე. ავტოტრანსფორმატორები კი ყრუდ არიან მიერთებული სალტეებზე. ნებისმიერი ამომრთველის რემონტის დროს არც ერთი მინაერთი არ დარჩება ძაბვის გარეშე. 220 კვ ძაბვის მხარეს გამოყენებულია გამანაწილებელი მოწყობილობა სალტეების ორმაგი სისტემით და შემოვლითი სალტით. შა შემოვლითი ამომრთველი ცვლის ნებისმიერ ამომრთველს მისი რემონტის დროს.



ნახ. 7.30
საკვანძო ქვესადგური

7.8 ელექტრული სადგურების მთავარი სქემები

თბოელექტროსადგურების სქემები. კონდენსაციურ თბოელექტროსადგურებში, ჩვეულებრივ, გამოიყენებენ 300 მგვტ და უფრო მაღალ გენერატორებს. სადგური შენდება საწვავის მოპოვების ან დიდი სამრეწველო მოხმარების ცენტრთან ახლოს, ხოლო მის მიერ გამოშვებული მთელი ელექტროენერგია გადაეცემა ელექტრულ სისტემას. ზემოაღნიშნული გარემოებები განაპირობებს კესების მთავარი სქემის ბლოკურ ხასიათს, სადაც ყოველი გენერატორი თავის ამამალლებელ ტრანსფორმატორთან და საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორთან ერთად ქმნიან ერთ ბლოკს. ეს ელემენტები ერთმანეთთან შეერთებულნი არიან ეკრანირებული დენგამტარით, ყოველგვარი საკომუტაციო აპარატურის (ამომრთველი, გამთიშველი) გარეშე. აღნიშნული დენგამტარის ეკრანირება თითქმის გამორიცხავს ფაზათა შორის მშ-ს (იხილეთ პარაგრაფი 5.1.3). ამიტომ ბლოკის მაღალი ძაბვის ამომრთველის ავარიული ამორთვა ხდება მხოლოდ გენერატორის, ამამალლებელი ან საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორის დაზიანების შემთხვევაში. ბუნებრივია, ბლოკის ჩართვა-გამორთვაც ხდება ზემოაღნიშნული „ა“ ამომრთველით.



კეს-ის და აეს-ის მთავარი სქემის შერჩევისას უნდა იქნას გათვალისწინებული შემდეგი ფაქტორები:

- კეს-ის როლი და თავსებადობა ენერგოსისტემის მდგრადობასა და განვითარებასთან. რის საფუძველზეც ხდება ენერგოსისტემასთან დამაკავშირებელი, სადგურიდან გამავალი ხაზების ნომინალური ძაბვებისა და მათი რაოდენობის შერჩევა, ასევე სალტეთა დასაქციონირება;

- ელსადგურიდან გამავალი ხაზის ჩართვა-გამორთვა უნდა ხდებოდეს არა უმეტეს ორი ამომრთველით, ხოლო ბლოკისა – არა უმეტეს სამი ამომრთველით;

- სალტეთაშორისი და სასაქციო ამომრთველის გარდა, ნებისმიერი ამომრთველის დაზიანება არ უნდა იწვევდეს ერთ ხაზზე ან ერთ ბლოკზე მეტის გამორთვას;

- ნებისმიერი ამომრთველის დაზიანება არ უნდა მოქმედებდეს ელსადგურის სალტეებით გამავალი ელექტროენერგიის ტრანზიტის სიდიდეზე;

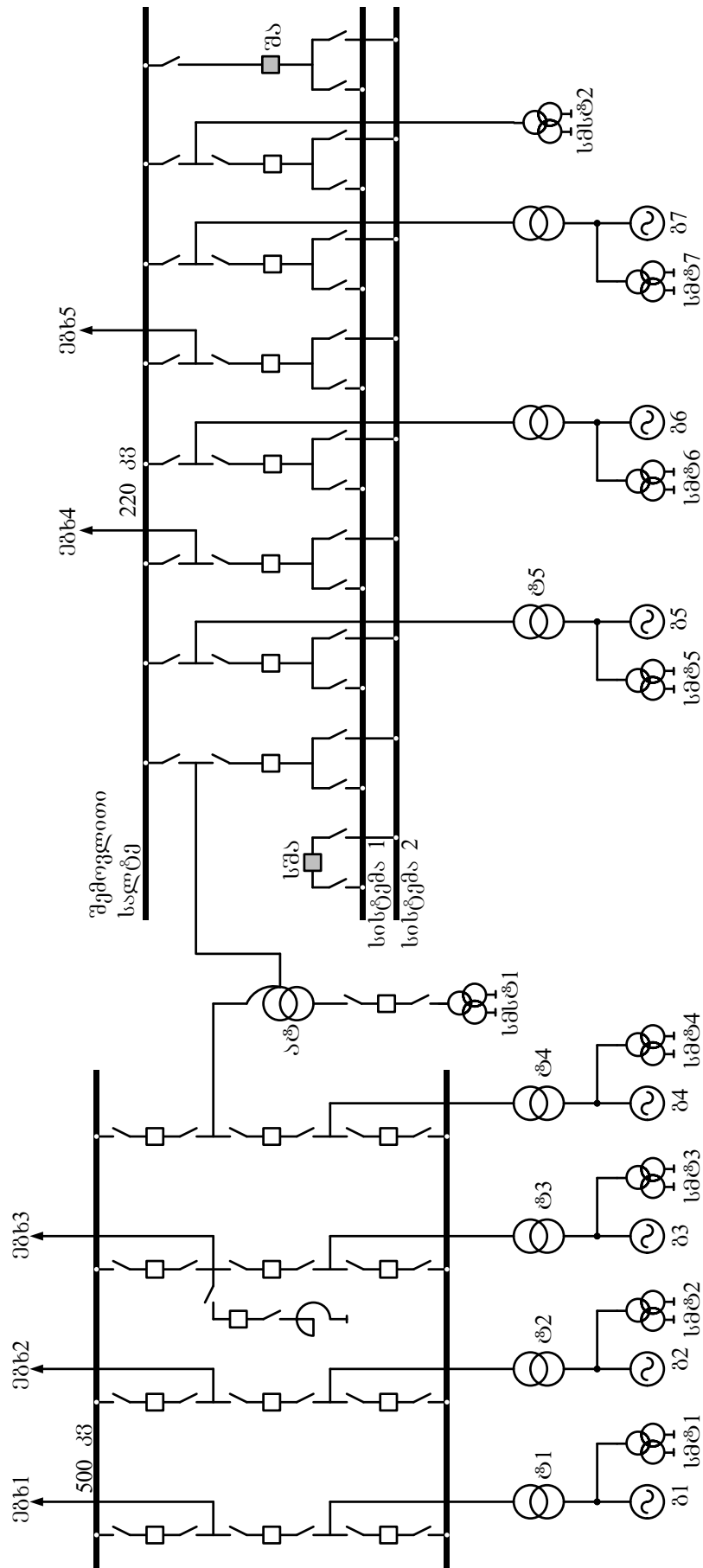
- ნებისმიერი ამომრთველის რემონტი უნდა ხდებოდეს ბლოკების, გადაცემის ხაზებისა და კავშირის ავტოტრანსფორმატორების გამორთვის გარეშე;

- ბლოკები უნდა იქნან მიერთებულნი შემკრებ სალტესთან მაღალი ძაბვის მხარეს დაყენებული ამომრთველის საშუალებით;

- ბლოკი უნდა შედგებოდეს მხოლოდ ერთი გენერატორისა და ერთი ამამალლებელი ტრანსფორმატორისგან. მათი გამსხვილება (ერთ ამამალლებელ ტრანსფორმატორზე ორი ან მეტი გენერატორის მიერთება) დასაშვებია მხოლოდ მაშინ, თუკი მათი დაზიანება ვერ უქმნის საფრთხეს ენერგოსისტემის მდგრადობასა და სხვა სისტემებთან პარალელურ მუშაობას. ჩვეულებრივ, ბლოკების გამსხვილება არ ხდება 200 მგვტ-ზე მძლავრი გენერატორების შემთხვევაში.

ამასთან, აღსანიშნავია, რომ კეს-ზე ან აეს-ზე ენერგიის გაცემა სისტემაში ხდება ორი ძაბვით, მაგალითად, „მაღალი“ – 500, 750 ან 1150 კვ და „საშუალო“ – 110, 220 ან 330 კვ ძაბვით. კეს-ის საგენერატორო ძაბვას უწოდებენ „დაბალ“ ძაბვას. მაღალი და საშუალო ძაბვის გამანაწილებელ მონწყობილობებს შორის რთავენ კავშირის ავტოტრანსფორმატორებს, რომელთა რიცხვი და სიმძლავრე განისაზღვრება სისტემის მოთხოვნებით, მოცემული სადგურის საიმედოობისადმი.

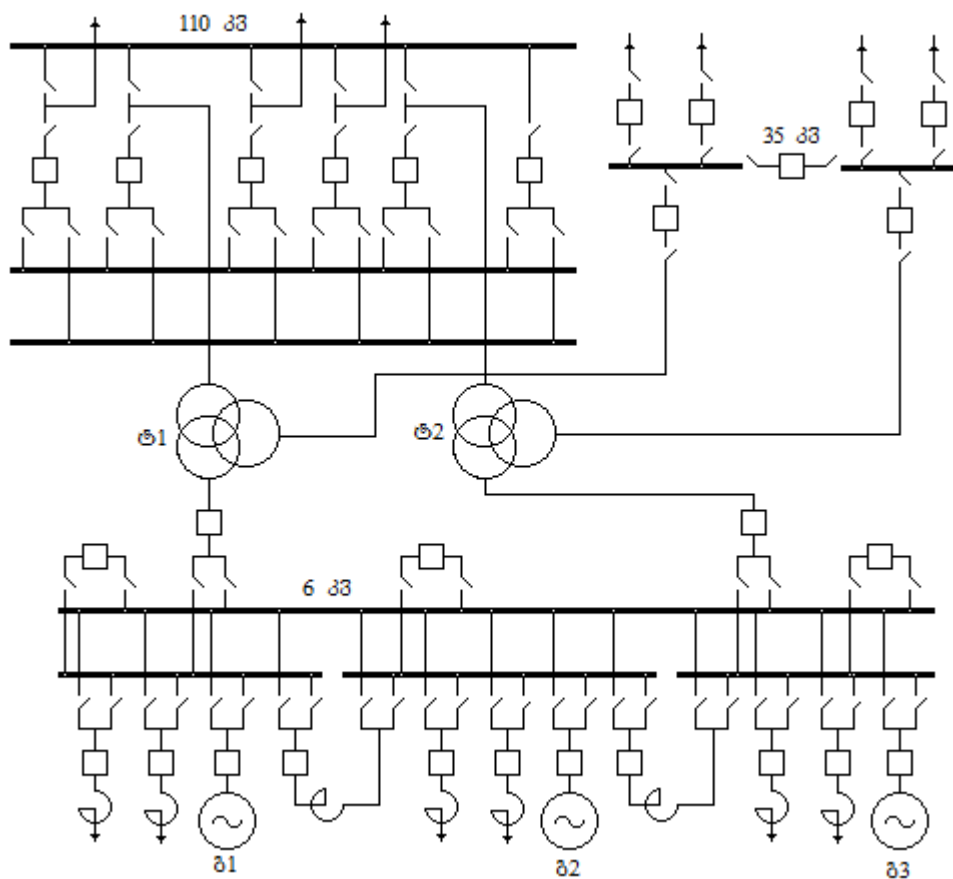
ნახ. 7.32-ზე მოცემულია 7×300 მგვტ სიმძლავრის კეს-ის ერთ-ერთი შესაძლო სქემა. სადგური სისტემას უკავშირდება მაღალი და საშუალო, შესაბამისად, 500 და 220 კვ ძაბვების ეგზ-ებით. ამრიგად, სადგურს ამ ორ ძაბვაზე გააჩნია გამანაწილებელი მონწყობილობები, სქემებით „3/2“ - 500 კვ ძაბვაზე და „ორმაგი შემოვლითი“ – 220 კვ ძაბვაზე. გენერატორული მინაერთები შესრულებულია ბლოკებისგან - გენერატორი (გ), ძალოვანი ორგრაგნილა ტრანსფორმატორი (ტ) და საკუთარი მოხმარების სამგრაგნილა ტრანსფორმატორი (სმტ). სქემაში ასევე გათვალისწინებულია ორი საკუთარი მოხმარების სარეზერვო ტრანსფორმატორი (სმსტ).



ნახ. 7.32

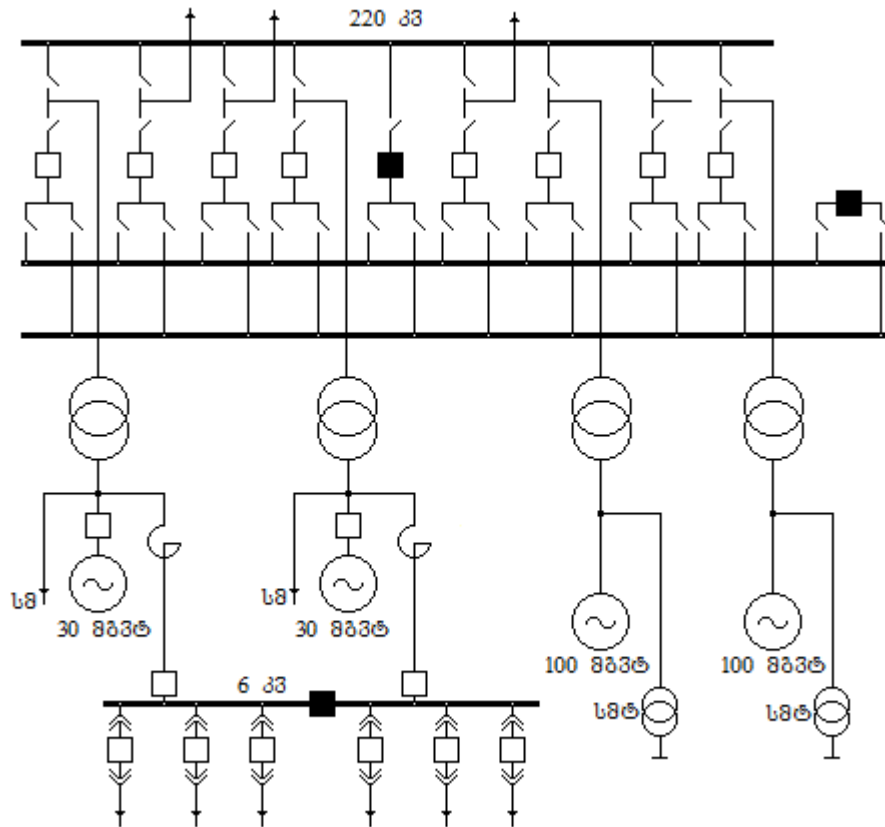
7x300 მგვტ სიმძლავრის კვს-ის ერთ-ერთი შესაძლო სქემა

ვინაიდან თბოელექტროცენტრალები, როგორც ელექტრულ, ასევე თბურ ენერგიას აწვდიან ახლო მყოფ მომხმარებლებს (ქალაქის საცხოვრებელ რაიონებს და წარმოებს), ამიტომ მათი გამომუშავებული ელექტრული ენერგიის მნიშვნელოვანი ნაწილი გაიცემა საგენერატორო ძაბვით (6-10 კვ). ამის მიზეზია მომხმარებლის სიახლოვე და უფრო მაღალი ძაბვის ხაზები საჭიროების არ-არსებობა. მაშასადამე, თეც-ებზე გვაქვს საგენერატორო ძაბვის გამანაწილებელი მონწყობილობა. გარდა ამისა, სისტემასთან კავშირისათვის საჭიროა მაღალი ძაბვის გამანაწილებელი მონწყობილობა, რათა თეც-ის გენერატორების ნაწილის რემონტის დროს განხორციელდეს ადგილობრივი მომხმარებლის მომარაგება სისტემიდან მიღებული ენერგიით. შეიძლება მოხდეს პირიქითაც, ადგილობრივი მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრის შემცირებისას, თეც-ზე იქმნება სიმძლავრის ნაჭარბი, რომელიც უნდა გაიცეს სისტემაში. ნახ.7.33-ზე ნაჩვენებია თეც-ის შესაძლო სქემა. ამ სქემაზე კავშირი სისტემასთან განხორციელებულია 110 კვ ძაბვის ეგზ-ების საშუალებით, მომხმარებლების ნაწილი იკვებება 35 კვ ხაზებით, ხოლო ძირითადი ადგილობრივი მომხმარებელი - საგენერატორო 6 კვ ძაბვით. მშ დენების შესამცირებლად, საგენერატორო სალტე დაყოფილია სამ სექციად, რომლებიც ერთმანეთთან შეერთებულია სასექციო ამომრთველებით და რეაქტორებით. მომხმარებლები იკვებებიან რეაქტორებით აღჭურვილი საკაბელო ხაზებით.



ნახ. 7.33
თეც-ის შესაძლო სქემა

იმ შემთხვევაში, როცა თეცი კვებას თბური ენერგიით დიდ ქალაქს ან ქალაქის დიდ ნაწილს, ეკონომიკურად ხელსაყრელია მძლავრი თბოფიკაციური ტურბინების გამოყენება. ასეთი ტურბინების და, შესაბამისად, გენერატორების სიმძლავრე აღწევს 100-250 მგვტ-ს. გენერატორების დიდი სიმძლავრისას მათი გაერთიანება საგენერატორო ძაბვის გამანაწილებელ მონყობილობაში შეუძლებელია, ძალზე დიდი მშენებების გამო. ამიტომ იყენებენ ბლოკურ სქემას. ნახ. 7.34-ზე ნაჩვენებია თეც-ის სქემა, სადაც ორი გენერატორი 30 მგვტ სიმძლავრით კვებას ადგილობრივ დატვირთვას; ორი გენერატორი 100 მგვტ სიმძლავრით კი ჩართულია ბლოკური სქემით.



ნახ. 7.34

თეც-ის შესაძლო სქემა 2×30 მგვტ + 2×100 მგვტ გენერატორებით

აეს-ების სქემის დაპროექტებისას უნდა იქნას გათვალისწინებული შემდეგი ფაქტორები:

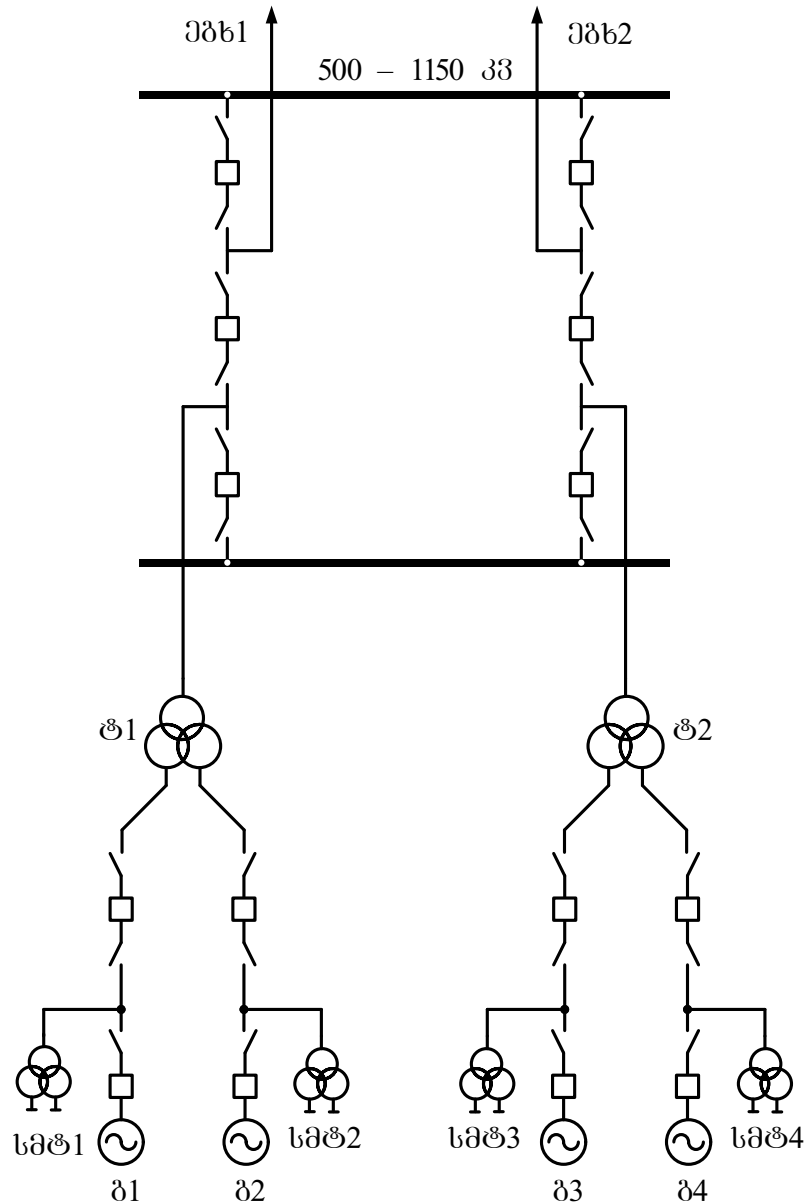
- უსაფრთხოების მიზნით, ქ/ს და, ბუნებრივია, მთლიანი ელსადგური უნდა აშენდეს დასახლებული პუნქტებისგან მოშორებით, სასურველია მთის მასივებს გადაღმა;

- თანამედროვე ენერგობლოკების სიმძლავრე სულ მცირე, 1000 მგვტ-ის ტოლია. ავარიისას ასეთი დიდი სიმძლავრის აგრეგატის გამორთვა, სისტემის მდგრადობას დიდ საფრთხეს შეუქმნის. ამიტომ აეს-ის ქ/ს უნდა იქნას შესრულებული განსაკუთრებით მაღალსაიმედო სქემით და სისტემასთან მიერთება უნდა განხორციელდეს სულ მცირე სამი ეგზ-ით მაინც; ასევე საჭიროა განსაკუთრებულად საიმედო და სწრაფმოქმედი სასისტემო ავტომატიკის შემუშავება;

- თითოეული აგრეგატის სიმძლავრე (მინიმუმ 1000 მგვტ) უნდა იქნას არჩეული სისტემის ქსელის ტოპოლოგიის, მასთან მოცემული აეს-ის მიერთების, სისტემის მბრუნავი რეზერვის, არსებული სასისტემო ავტომატიკისა და სისტემათა შორისი კავშირების გათვალისწინებით;

- ასევე გათვალისწინებული უნდა იქნას ყველა ის ფაქტორი, რომლებიც კეს-ებისთვის იქნა აღნიშნული.

ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით, მიზანშეწონილია აეს-ის ქ/ს-ის „3/2“ ან „4/3“ სქემებით შესრულება. თუკი აეს-ის ერთ რეაქტორზე მიერთებულია ორი გენერატორი, მაშინ გამართლებულია ბლოკების გამსხვილება – ერთ გახლეჩილგრაგნილიან ამწევ ტრანსფორმატორზე ორი გენერატორის მიერთება. ამგვარი აეს-ის მთავარი სქემა მოცემულია ნახ. 7.35-ზე.



ნახ. 7.35.
აეს-ის ტიპური სქემა

ჰესის მთავარი სქემის შედგენის დროს მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული შემდეგი ფაქტორები:

- ჰესის თითქმის ყველა თავისებურებას განსაზღვრავს მისი გეოგრაფიული მდებარეობა, რომელიც თითოეული სადგურისათვის უნიკალურია. ამიტომ ნებისმიერი ჰესისათვის საჭიროა ახალი, სხვებისაგან განსხვავებული პროექტის შედგენა;

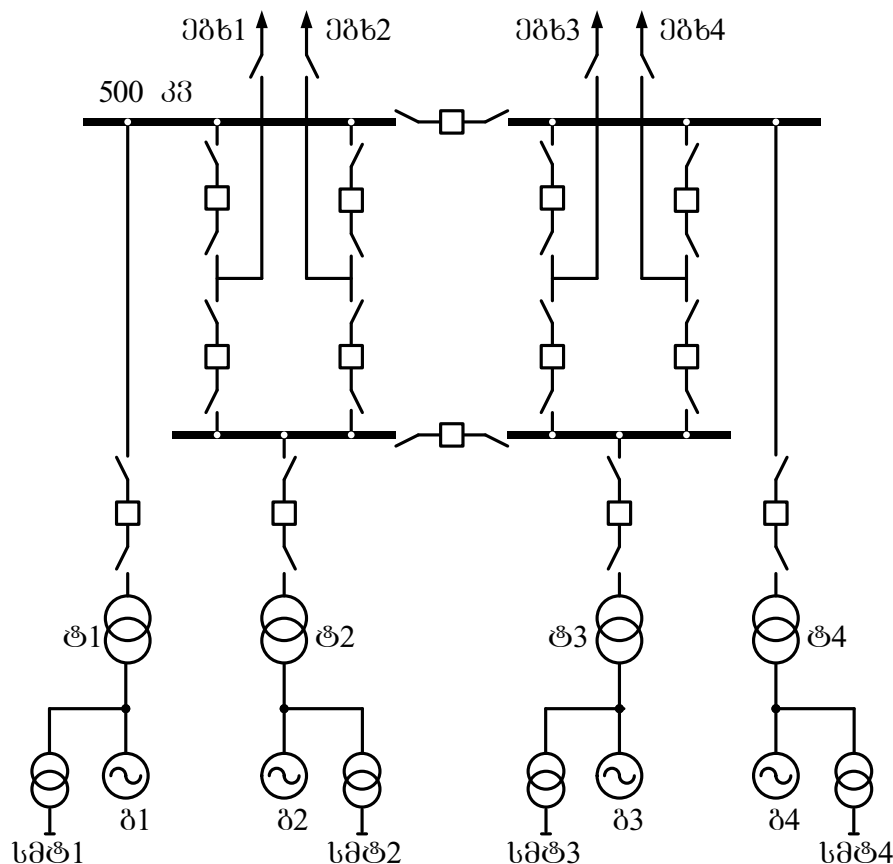
- ჰესი შენდება იმ ვარაუდით, რომ მდინარის წყალი მთლიანად იქნება გამოყენებული. ამიტომ მომავალში ჰესის გაფართოება, როგორც წესი, გამორიცხულია;

- გამორიცხულია, აგრეთვე, გადაცემის ხაზების რიცხვის გაზრდაც. ამიტომ ჰესების მთავარ სქემად იღებენ რომელიმე წრიულ სქემას;

- ჰესი ხშირად მუშაობს პიკურ რეჟიმში, ე.ი. დღე-ღამის განმავლობაში ხდება მისი გაშვება-გაჩერება. ეს კარნახობს საგენერატორო ძაბვაზე ამომრთველის დადგმას.

- გარდა ამისა, ჰესი, როგორც წესი, შენდება ხეობაში, სადაც საკმაოდ ძნელია დიდი გამანაწილებელი მოწყობილობის გამართვა. ამიტომ, ადგილის მოგების მიზნით, ხანდახან იყენებენ ე.წ. გამსხვილებულ ბლოკებს. ამ შემთხვევაში ერთ ტრანსფორმატორს, რომელსაც შეიძლება ჰქონდეს რამდენიმე დაბალი ძაბვის გრაგნილი, უერთებენ რამდენიმე გენერატორს.

ჰესების უმეტესობა შენდება დასახლებული პუნქტებისაგან მოშორებით და მშენებლობისას ცდილობენ წყლის მთელი სიმძლავრის გამოყენებას. ამ ტიპის სადგურის შემდგომი გაფართოება აღარ არის მოსალოდნელი. ამიტომ, ჩვეულებრივ, ჰესის ქვესადგურები შეიცავს ერთ ან რამდენიმე გაერთიანებულ რგოლურ სქემას.

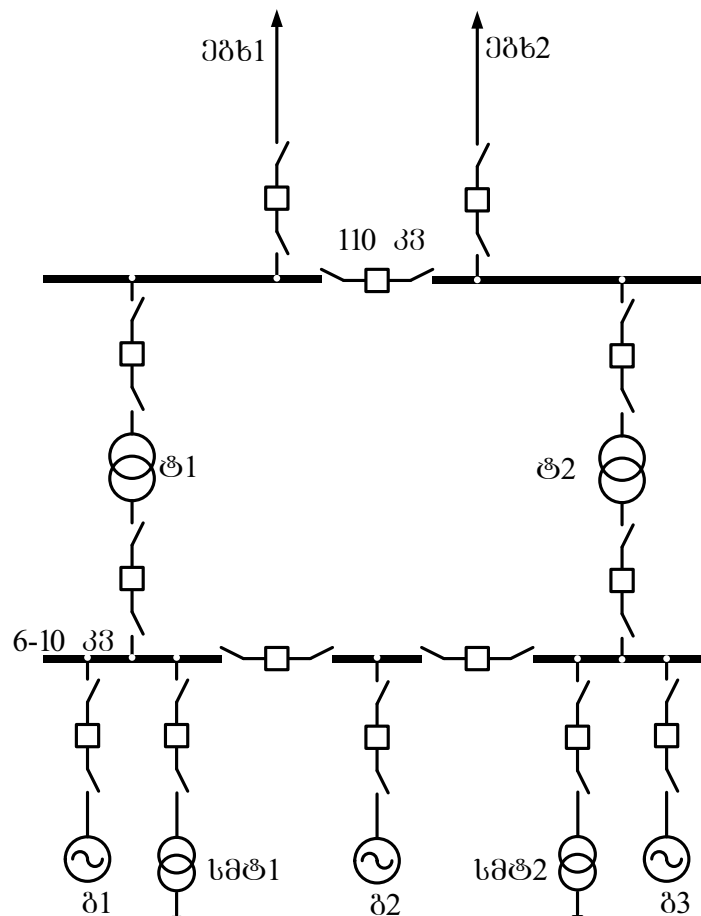


ნახ. 7.36.

მძლავრი ჰესის ტიპური სქემა

ნახ. 7.36-ზე მოცემულია მძლავრი 4×250 მგვტ ჰესის შესაძლო ტიპური სქემა, რომლის ქ/ს შედგება ორი გაერთიანებული ოთხკუთხედისაგან. აღნიშნული სქემა ნახ. 7.5-ზე მოცემულისგან იმით განსხვავდება, რომ თითოეულ ბლოკზე გვაქვს დამატებითი ამომრთველები. რაც ზრდის სქემის საიმედოობას, რადგან მაღალ ძაბვაზე ბლოკის ამომრთველის დაზიანების შემთხვევაშიც კი სქემა ინარჩუნებს სტრუქტურას. გენერაციის მინაერთები, კეს-ის მსგავსად, შესრულებულია ბლოკის სახით. ენერგოსისტემის თავისებურების, მასში სიმძლავრის რეზერვისა და მოცემული ჰესის მანევრულობის გათვალისწინებით, შესაძლოა აღნიშნული სადგურის ბლოკები იყოს გამსხვილებული: ორი გენერატორით - ერთ გახლეჩილგრაგნილებიან ამწე ტრანსფორმატორზე.

ნახ. 7.37-ზე მოცემულია მცირე სიმძლავრის ჰეს-ის შესაძლო სქემა, რომელიც შედგება სამი გენერატორისაგან. საგენერატორო სალტეები ერთმანეთთან გაერთიანებულია სასექციო ამომრთველებით. სქემაში გათვალისწინებულია ორი ამწევი ძაღოვანი ტრანსფორმატორი და ამდენივე საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორი. მაღალი ძაბვის სალტე შედგება ორი სექციისგან. 110 კვ ქსელის მუშაობის რეჟიმიდან გამომდინარე, შეიძლება გ1 და გ2 გენერატორები მიერთებულნი იყვნენ ეგბ1-ზე და გ3 - ეგბ2-ზე. ამ შემთხვევაში 110 კვ სალტის და გ2-სა და გ3-ის დამაკავშირებელი სასექციო ამომრთველები გამორთულნი არიან. შესაძლოა გ1 მიერთებული იყოს ეგბ1-ზე, ხოლო დანარჩენი ორი გენერატორი - ეგბ2-ზე. იმ შემთხვევაში, როცა მცირე ჰესი აშენებულია დასახლებულ პუნქტებთან ახლოს, შესაძლებელია მომხმარებლების კვება უშუალოდ საგენერატორო სალტეებიდან გამავალი 6-10 კვ ეგბ-ებით ან საკაბელო ხაზებით.



ნახ. 7.37. მცირე სიმძლავრის ჰესის ტიპური სქემა

7.9. საკუთარი მოხმარების სისტემები

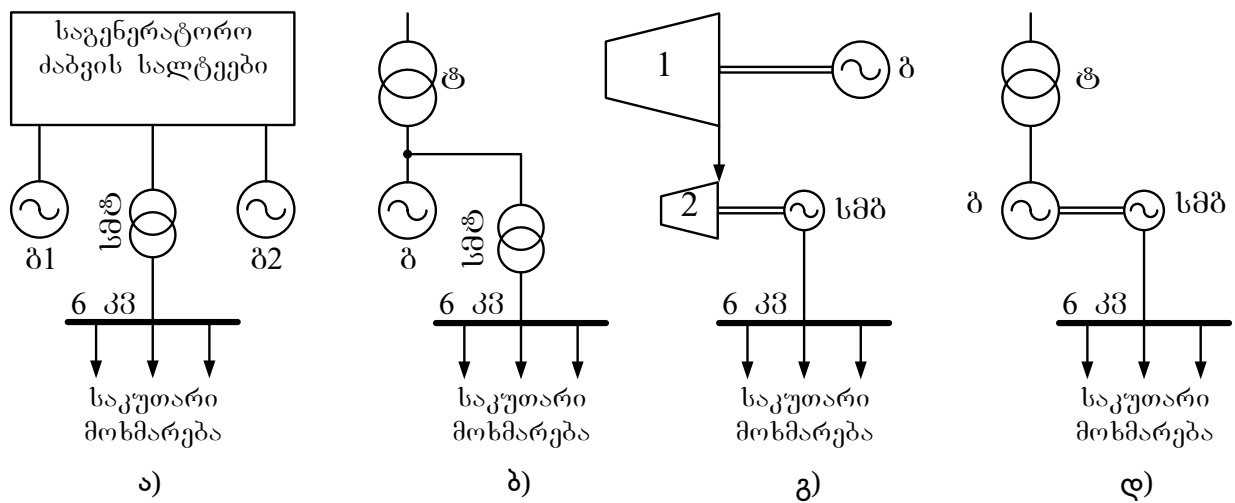
ზოგადი ცნობები. ნებისმიერი ელექტრული სადგურის გამართულ ფუნქციონირებას უზრუნველყოფს მთელი რიგი დამხმარე მექანიზმები და მოწყობილობები, ისეთები როგორებიცაა მკვებავი, საცირკულაციო, კონდენსატის შეგროვების და გაცივების სისტემების ტუმბოები; კვამლსაწოვი და შემბერი ვენტილატორები; სანვავის მომზადების და მიწოდების მექანიზმები და ბევრი სხვა. ყველა ამ მექანიზმის ამძრავად გამოიყენება სინქრონული, ასინქრონული და მუდმივი დენის ძრავები. ამ ძრავების და სხვა მომხმარებლების კვება ხორციელდება ე.წ. საკუთარი მოხმარების სისტემიდან.

ამასთან, რაც უფრო რთული ტექნოლოგიური პროცესის შედეგად მიიღება ელექტროენერგია, მით უფრო დიდი სიმძლავრე იქნება საჭირო აღნიშნული მექანიზმების კვებისათვის. მაშასადამე, ვინაიდან ჰეს–ზე ყველაზე მარტივი ტექნოლოგიით მიიღება ელენერგია, მისი მექანიზმების სიმძლავრის შეფარდება სადგურის ჯამურ სიმძლავრესთან არის მინიმალური. თბოსადგურებში კი, სადაც ელექტროენერგიის მიღების ტექნოლოგია რთულია, განსაკუთრებით კი მყარ სანვავზე მოქმედ სადგურებში, მექანიზმების ჯამური სიმძლავრის შეფარდება სადგურის დადგმულ სიმძლავრესთან იქნება მაქსიმალური. ცხრილში 7.1-ში მოცემულია სხვადასხვა ტიპის ელსადგურების საკუთარი მოხმარების $P_{სა}$ სიმძლავრის და მოხმარებული $W_{სა}$ ენერგიის წილი, შესაბამისად, სადგურის დადგმული $P_{დად}$ სიმძლავრისა და გამომუშავებული $W_{დად}$ ენერგიის მიმართ.

ცხრილი 7.1

ელ მოწყობილობის ტიპი	$P_{სა} : P_{დად} (\%)$	$W_{სა} : W_{დად} (\%)$
თევ-ქვანახშირის სანვავით	8-14	8-13
თევ-აირმაზუთის სანვავით	5-7	6-10
კეს-ქვანახშირის სანვავით	6-8	4-7
კეს-აირმაზუთის სანვავით	3-5	3-6
აეს-აირული თბომცვლელით	5-14	3-12
აეს-წყლის თბომცვლელით	5-8	5-9
ჰესი-მცირე და საშუალო სიმძლავრის	3-2	2-1.5
ჰესი-მძლავრი	0.5-1	0.2-0.5

საკუთარი მოხმარების სისტემებში ენერგიის წყაროა ან თვით სადგურის გენერატორები ან დამხმარე, სპეციალური გენერატორები (ნახ. 7.38). ამ ნახაზზე ნაჩვენებია საკუთარი მოხმარების მექანიზმების ძრავების კვების სხვადასხვა ვარიანტი.



ნახ. 7.38.

საკუთარი მოხმარების დატვირთვის კვება შესაძლებელია უშუალოდ საგენერატორო ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობიდან ან საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორის გამოყენებით (ნახ. 7.38 – ა). ასეთი სქემები გამოიყენება თევზ-ებში ან მცირე სიმძლავრის ჰეს-ებში.

ბლოკურ ელექტროსადგურებში სმტ (საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორი) გენერატორის დენგამტარზე ყრუდ არის მიერთებული (ნახ. 7.38-ბ). ამ ორ შემთხვევაში გენერატორის რაიმე ავარია ან მშ გენერატორის წრედში იწვევს ძაბვის გაქრობას საკუთარი მოხმარების სალტებზე.

უფრო რთული და ექსპლუატაციისათვის უფრო ძვირია ნახ. 7.38 გ-ზე ნაჩვენები სქემა. აქ ძირითადი ტურბინიდან-1 ართმეული ორთქლი აბრუნებს მცირე სიმძლავრის ტურბინას-2, რომელიც, თავის მხრივ, აბრუნებს საკუთარი მოხმარების გენერატორს (სმგ.). ამ შემთხვევაში საკუთარი მოხმარების დატვირთვის კვება სრულიად ავტონომიურია, არ არის დამოკიდებული ძირითადი გენერატორის რეჟიმზე და არ აქვს კავშირი ელექტრულ სისტემასთან. ასეთი ავტონომიური ენერგიის წყარო მაღალსაიმედოა.

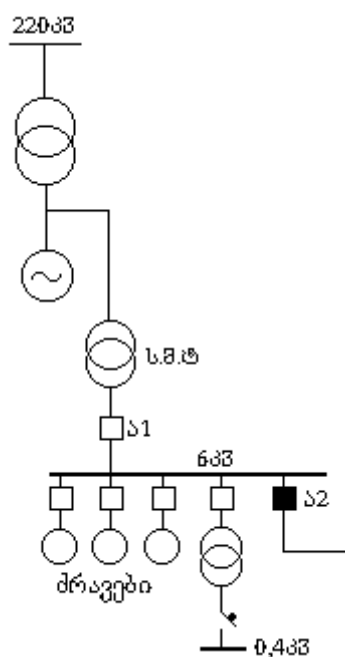
უკანასკნელი სქემის ანალოგიურია ნახ.7.38.დ-ზე ნაჩვენები სქემა. აქ ძირითადი ტურბინა აბრუნებს ორ გენერატორს, ძირითადს და საკუთარი მოხმარების. მაგრამ ეს სქემებიც არ იძლევიან აბსოლუტურ გარანტიას იმისა, რომ საკუთარი მოხმარების მომხმარებლებს ყოველთვის ექნებათ ძაბვა. შესაძლებელია სმგ-ის მწყობრიდან გამოსვლა. ამ შემთხვევისათვის გათვალისწინებული უნდა იყოს ერთი ან რამდენიმე ტრანსფორმატორი, რომლებიც უშუალოდ დაკავშირებული არიან სისტემასთან. მათ საკუთარი მოხმარების სარეზერვო ტრანსფორმატორებს უწოდებენ (სმსტ).

კვების საკუთარი მოხმარების სქემა. თბოელექტროსადგურებში 200 კვტ და უფრო მძლავრი ძრავების საკვებად გამოიყენება 6 კვ ძაბვა. უფრო მცირე სიმძლავრის ძრავების და სხვა მომხმარებლების საკვებად იყენებენ 0.4 კვ ძაბვას. ენერგიის წყაროდ გამოიყენებულია ძირითადი

გენერატორი, რომლის დენგამტარზე მიერთებულია საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორი, (ნახ. 7.39). საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორი მიერთებულია ყრუდ, ამომრთველის გარეშე. ტრანსფორმატორის დაბალი ძაბვის მხრიდან არის ამომრთველი და 6 კვ შემკრები სალტე. ამ სალტიდან იკვებებიან მძლავრი ძრავები და მეორე საფეხურის საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორები, 6/0.4 კოეფიციენტით. ცხადია, რომ გენერატორის, ბლოკის ტრანსფორმატორის და საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორის დაზიანების შემთხვევაში საკუთარი მოხმარების დატვირთვა რჩება კვების გარეშე. ამ შემთხვევაში ა1 ამომრთველი გამოირთვება და რეზერვის ავტომატური ჩართვის მოწყობილობა ჩართავს ა2 ამომრთველს. ამით საკუთარი მოხმარების სალტის კვება განხორციელდება სარეზერვო წყაროდან. სარეზერვო წყარო საჭიროა ნორმალურ რეჟიმშიც, ბლოკის გაშვება გაჩერების პროცესში. საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორის სიმძლავრე შეიძლება გაანგარიშებული იქნას შემდეგი ფორმულით:

$$S_{\text{სმგ}} = 0.9 \times (P_{1\Sigma} + P_{2\Sigma}) \quad (7.1)$$

სადაც $P_{1\Sigma}$ არის 6 კვ ძაბვის ძრავების მექანიზმების ჯამური სიმძლავრე, $P_{2\Sigma}$ - 6/0.4 კვ ტრანსფორმატორზე (ნახ.7.39) მიერთებული დატვირთვის ჯამური სიმძლავრე.



ნახ. 7.39

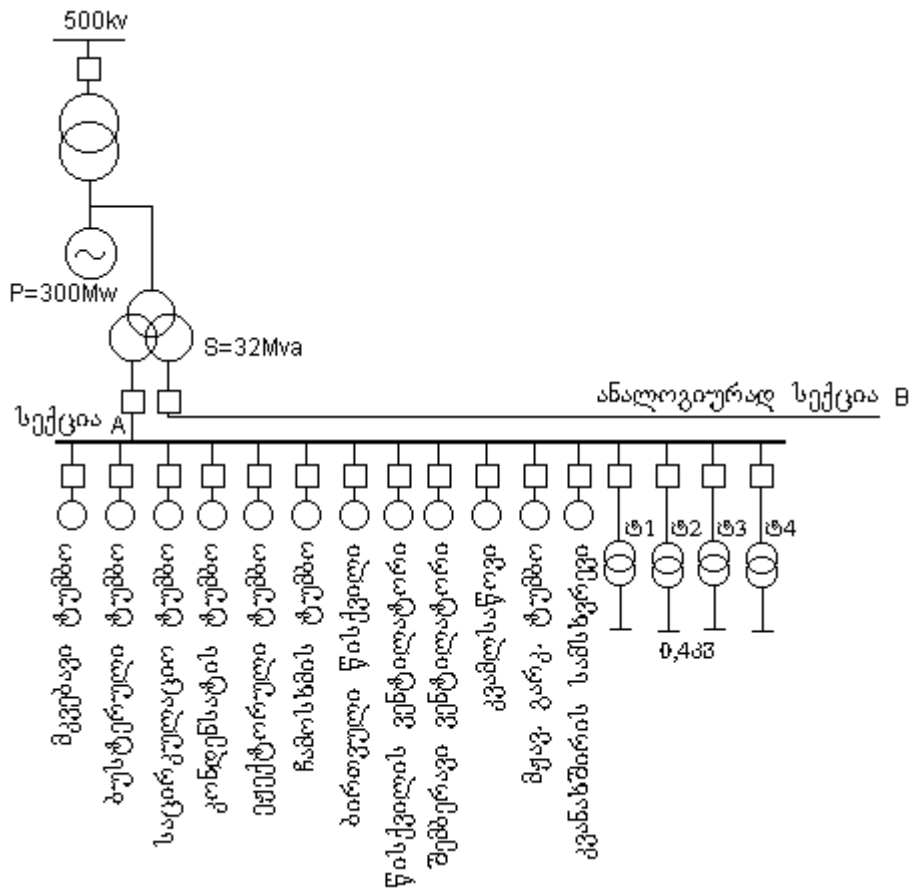
წარმოდგენა რომ ვიქონიოთ საკუთარი მოხმარების მექანიზმების რაოდენობასა და სიმძლავრეზე, შევისწავლოთ ცხრილი 7.2, სადაც მოყვანილია 8×300 მგვტ სიმძლავრის კეს-ის საკუთარი მოხმარების მექანიზმები და მათი სიმძლავრეები .

ცხრილი 7.2

მექანიზმები და დამწვევი ტრანსფორმატორი	მექანიზმების სიმძლავრე (კვტ)	დამწვევი ტრ-ის სიმძლავრე (კვტ)	ერთ ბლოკზე		ერთი ბლოკის საანგარიშო დატვირთვა	
					სეცია	
			მიერთებული	ნორმალურად მუშაობაშია	A	B
მკვებავი ტუმბო	6700	630	1		6700	
ბუსტერული ტუმბო	400		3	2	400	800
საცირკულაციო ტუმბო	800		2	2	800	800
კონდენსატის ტუმბო	500		3	2	500	1000
ეჟექტორული ტუმბო	500		2	1	500	500
ჩამოსხმის ტუმბო	250		2	1	250	250
ტრანსფორმატორი ტ1			2	2	630	630
ბირთვებიანი წისქვილი	1840		3	3	1840	3680
წისქვილის ვენტილატორი	450		3	3	450	900
ცხელი ჰაერის ვენტილატორი	800		2	2	800	800
შემბერი ვენტილატორი	700/350	630	2	2	700	700
კვამლმწოვი	1400		2	2	1400	1400
ტრანსფორმატორი ტ2			1	1		630
სათბობი მეურნეობის ტრ ტ3			3	1	1000	
ბუნკერის ტრ ტ4			2	1		630
ღგმ-ის ტრ ტ5			1	1		1000
საკომპრესორო ტრ ტ6			1	1	800	
სარეზერვო ამგზნები	1700		2	2		1700
ქვანახშირის სამსხვრევი	900		4	4	1800	1800
მუჟავური გარეცხვის ტუმბო	280		2		280	

ხაზი გავუსვათ იმ გარემოებას, რომ საერთო სასადგურო დატვირთვის მხოლოდ ნაწილია მიერთებული ერთი ბლოკის საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორზე.

ვინაიდან მშ დენის სიდიდე საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორის ნკვ მხარეს დიდია, მისი შემცირების მიზნით იყენებენ ტრანსფორმატორებს გახლეჩილი დაბალი ძაბვის გრაგნილით. ეს ტრანსფორმატორი კვებას ორ სექციას, A-ს და B-ს, რომელთა შორის ხდება დატვირთვის განაწილება. ნახ. 7.40-ზე ნაჩვენებია ცხრილი 7.2 –ის მიხედვით შედგენილი საკუთარი მოხმარების სქემა.

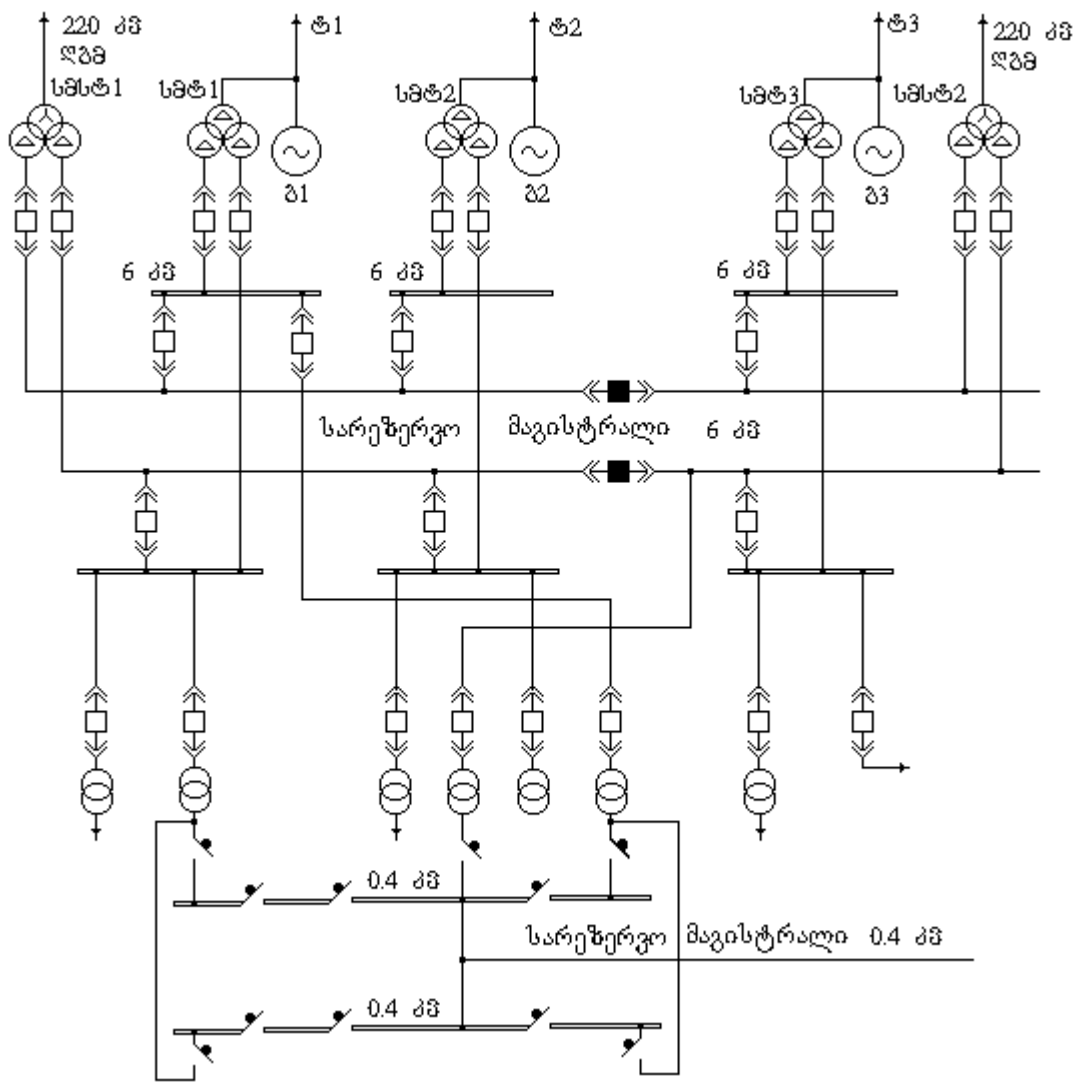


ნახ. 7.40.

კეს-ის საკუთარი მოხმარების მონაცემები

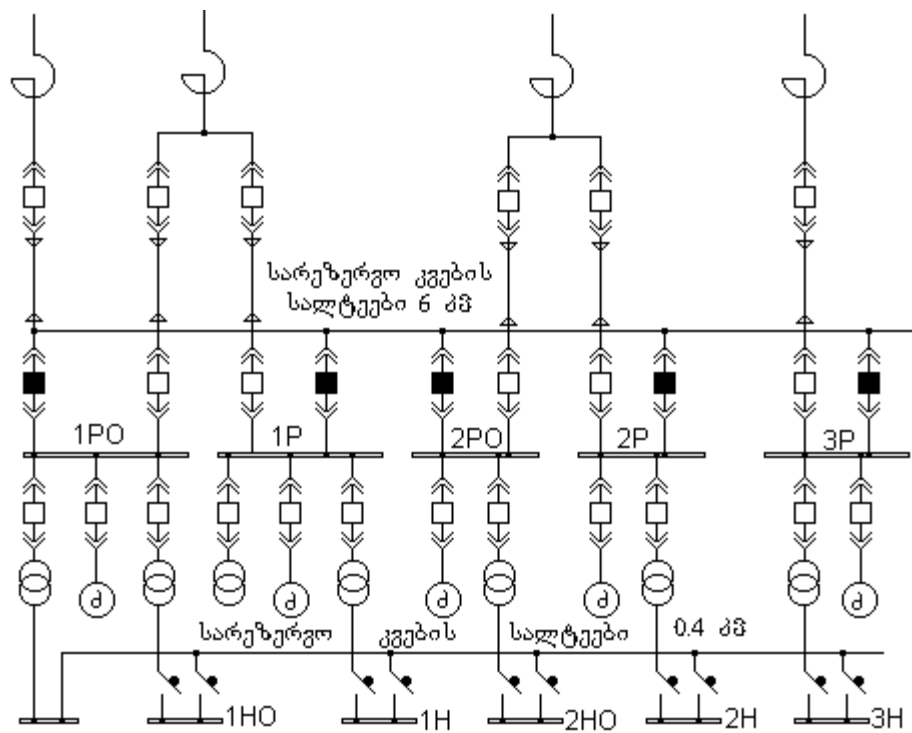
ვინაიდან სარეზერვო წყაროდ გამოყენებული საკუთარი მოხმარების სარეზერვო ტრანსფორმატორები (სმსტ) მიერთებულია საშუალო ძაბვის სალტებზე, ე.ი. ეს ტრანსფორმატორები იკვებებიან უშუალოდ სისტემიდან. თუ ბლოკების რიცხვი მეტია სამზე, საჭიროა გვექნდეს ორი სმსტ. სარეზერვო ტრანსფორმატორების სიმძლავრე აიღება იმ ანგარიშით, რომ მან უნდა შეცვალოს ერთი რომელიმე მწყობრიდან გამოსული მუშა სმტ და, ამავე დროს, მან უნდა უზრუნველყოს კიდევ ერთი ბლოკის გაშვება-გაჩერება. მისი სიმძლავრე დაახლოებით 1.5 ჯერ მეტია მუშა სმტ-ზე.

ნახ. 7.41-ზე ნაჩვენებია კეს-ის საკუთარი მოხმარების სქემა. ამავე სქემაზე ნაჩვენებია 6 და 0.4 კვ კვების წყაროების რეზერვირება.



ნახ. 7.41.
კეს-ის საკუთარი მოხმარების სისტემის სქემა

თბოელექტროცენტრალების საკუთარი მოხმარების მექანიზმები პრაქტიკულად ანალოგიურია კეს-ებისა. მაგრამ თეც-ებზე საგენერატორო ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობის არსებობა გარკვეულ გავლენას ახდენს საკუთარი მოხმარების სქემის კონფიგურაციაზე. კერძოდ, თუ საგენერატორო ძაბვა 6 კვ-ს ტოლია, მაშინ სპეციალური ტრანსფორმატორი საჭირო არ არის. საკუთარი მოხმარების სალტეების კვება ხდება რეაქტირებული საკაბელო ხაზებით (ნახ.7.42).



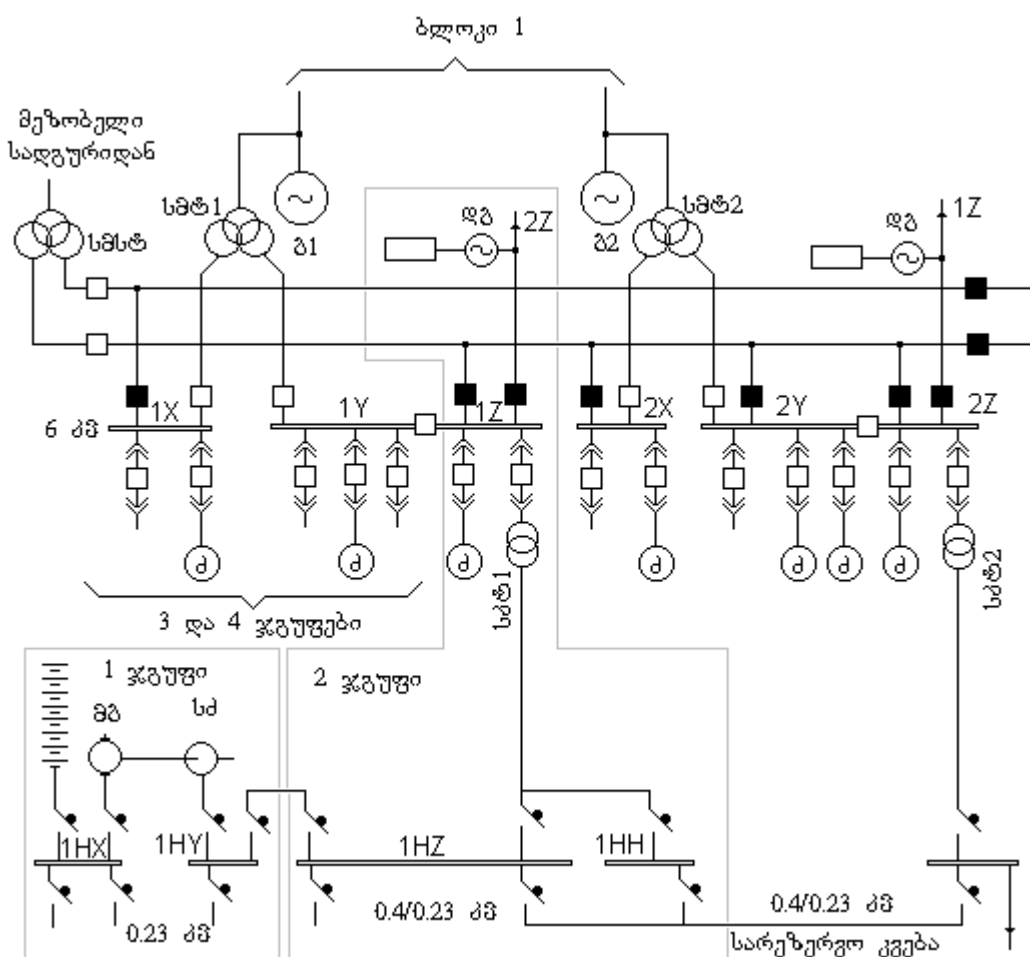
ნახ. 7. 42

თევ-ის საკუთარი მოხმარების სისტემის სქემა

საერთო სასადგურო მოხმარებლები მიერთებული არიან 1PO, 2PO, 1HO და 2HO სექციებზე; საქვების და სატურბინო განყოფილების მოხმარებლები იკვებებიან 1P, 2P, 3P, 1H, 2H და 3H სექციებიდან. სექციების რეგულირება ხდება როგორც 6 კვ, ასევე 0.4 კვ ძაბვისათვისაც. თუ, საგენერატორო ძაბვა 10 კვ-ია, მაშინ რეაქტორების მაგივრად იყენებენ ტრანსფორმატორებს კოეფიციენტით 10/6.

ატომური ელექტროსადგურის საკუთარი მოხმარების სქემა ძირითადად ჰგავს კეს-ის ანალოგიურ სქემას. ისევე როგორც კეს-ებზე, აქაც გამოიყენება ბლოკების მუშა საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორები, რომელთა რეგულირება ხდება სარეზერვო საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორების საშუალებით. ეს უკანასკნელები, თავის მხრივ, იკვებებიან სისტემიდან. მაგრამ გვაქვს მნიშვნელოვანი განსხვავება: ატომურ ელექტროსადგურებზე არის მთელი რიგი მოხმარებლებისა, რომელთა ძაბვის გარეშე დატოვება არ შეიძლება ერთი წამითაც კი, ანდა დასაშვებია მხოლოდ რამდენიმე წუთით. ეს მოხმარებლები შეადგენენ ძალზე საპასუხისმგებლო მექანიზმების და აპარატების ჯგუფს, რომელიც უზრუნველყოფს რეაქტორის უსაფრთხო გაშვება-გაჩერებას და მის სწრაფ გაცივებას გენერატორის ავარიული გამორთვის დროს.

ენერგიის მიწოდების პასუხისმგებლობის თვალსაზრისით, ატომური ელექტროლი სადგურის საკუთარი მოხმარების მექანიზმები შეიძლება დავყოთ ოთხ ჯგუფად:



ნახ. 7.43.

აეს-ის საკუთარი მოხმარების სქემა

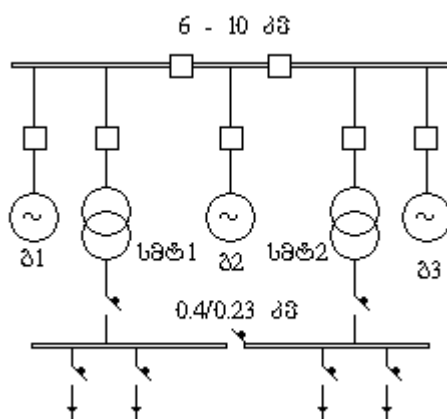
1 ჯგუფი - რეაქტორის მართვის სისტემა, გაზომვის და ავტომატიკის სისტემა, ავარიული ზეთის ტუმბოები, დოზიმეტრული კონტროლი, ავარიული განათება. ამ მოხმარებლებისათვის საერთოდ დაუშვებელია ძაბვის გაქრობა 1 წამზე მეტი დროით. მათ საკვებად გამოიყენება ავტონომიური კვების ქსელი, სააკუმულატორო ბატარეებით. 1 ჯგუფის მოხმარებლების ნაწილი იკვებება მუდმივი ძაბვით 1HX სალტებიდან, ამავე ჯგუფის ცვლადი დენის მოხმარებლები კი - 1HY -დან. ნორმალურად, სექცია 1HX ღებულობს ენერგიას მუდმივი დენის გენერატორიდან, რომელსაც აბრუნებს 1HY სექციაზე მიერთებული სინქრონული ძრავი. ძაბვის გაქრობის შემთხვევაში 1HY სექცია განსაკუთრდება 1HZ სექციიდან (ავტომატური ამომრთველის საშუალებით), მუდმივი დენის გენერატორი გადადის ძრავულ რეჟიმში. ახლა მის კვებას უზრუნველყოფს სააკუმულატორო ბატარეა. სინქრონული მანქანა კი იწყებს მუშაობას გენერატორულ რეჟიმში და ამჯერად იგი კვებას 1HY სექციაზე მიერთებულ მოხმარებლებს;

2 ჯგუფი - რეაქტორის გამაცივებელი მექანიზმები, სპეციალური ვენტილაცია, ტექნიკური წყლის საავარიო ტუმბოები, საავარიო მკვებავი ტუმბოები და სხვა. კვების შეწყვეტა ამ მოხმარებლებისათვის დასაშვებია 2-3 წუთით. ამიტომ ისინიც იკვებებიან ავტონომიური ქსელიდან. ნორმალურ რეჟიმში მოხმარებლები იკვებებიან საიმედო კვების ტრანსფორმატორიდან სკტ1. რეზერვირება ხორციელდება სკტ2-ით. ავარიულ რეჟიმში ხდება დიზელ-გენერატორის დგ ავტომატური გაშვება და ის იწყებს სექციების 1Z, 1HH, 1HZ კვებას. ამ დროს, სექცია 1Z, სასექციო ამომრთველის საშუალებით, გამოეყოფა სექცია 1Y -ს;

3 ჯგუფი - მძლავრი მომხმარებლები, რომლებიც უზრუნველყოფენ რეაქტორის ბირთვულ უსაფრთხოებას. ესენია რეაქტორის მთავარი საცირკულაციო ტუმბოები. ტუმბოების ძრავების კვება ხდება 1X, 1Y და 2X, 2Y სექციებიდან, იმ ანგარიშით, რომ თითოეულ სექციაზე მოდიოდეს არაუმეტეს ორი ტუმბოსი. რეგულირება ხორციელდება ან სისტემიდან ან მეზობელი ელექტროსადგურიდან შემომავალი სპეციალური ეკს-ით;

4 ჯგუფი - ყველა დანარჩენი მექანიზმები, რომლებიც არსებობს ნებისმიერ თბოელექტროსადგურზე. მათი კვება ხდება ისეთივე სქემით, როგორც კეს-ებზე.

ჰესების საკუთარი მოხმარების სქემები. ჰიდროელექტროსადგურებში ენერგიის მიღების ტექნოლოგია, თბოსადგურებთან შედარებით, გაცილებით მარტივია. შესაბამისად, ამ სადგურებზე არ არსებობს უდიდესი ნაწილი იმ მექანიზმებისა, რომლებიც საჭირონი არიან თეს-ზე. ვინაიდან ჰეს-ებზე არ არის დიდი სიმძლავრის მექანიზმები, ამიტომ აღარ გვაქვს მძლავრი ძრავები. მაშასადამე, ჰეს-ის საკუთარი მოხმარების სქემები საკმაოდ მარტივია და მათი ნომინალური ძაბვა, ჩვეულებრივ, არ აღემატება 380 ვ-ს. ჰიდროელექტროსადგურის საკუთარი მოხმარების სქემა დამოკიდებულია მის ტიპზე და სიმძლავრეზე. ნახ.7.44-ზე ნაჩვენებია მცირე სიმძლავრის ჰეს-ის საკუთარი მოხმარების სქემა.

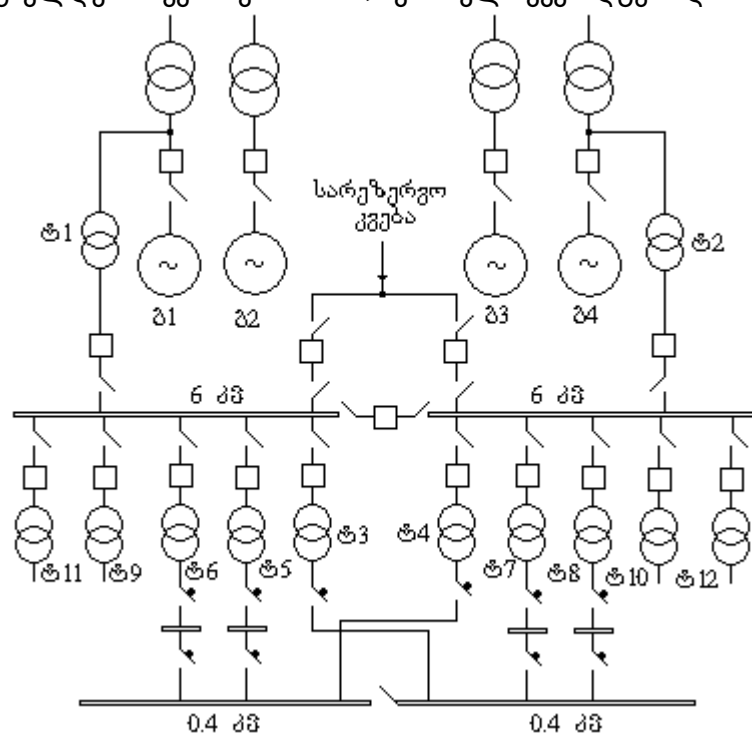


ნახ. 7.44

მცირე სიმძლავრის ჰესის საკუთარი მოხმარების სისტემის სქემა

ნახ. 7.44-დან ჩანს, რომ გვაქვს მხოლოდ ორი საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორი 6/0.4 კვ, რომლებიც უზრუნველყოფენ ურთიერთრეგულირებას. საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორის სიმძლავრე არ უნდა აღემატებოდეს 1 მგვა-ს. წინააღმდეგ შემთხვევაში 0.4 კვ ძაბვის სალტეებზე მშ-ის დროს დენი იქნება დაუშვებლად დიდი. მძლავრ ჰეს-ებზე, სადაც შესაძლებელია სადგურიდან საკმაოდ დაშორებული საკუთარი მოხმარების მექანიზმების არსებობა, მაგალითად, კაშხალზე მდებარე მექანიზმები, 0.4 კვ ძაბვა არასაკმარისია ელექტრული ენერგიის გადასაცემად. ამ შემთხვევაში ჰეს-ზე აყენებენ ტრანსფორმატორს, რომელიც კვებას დაშორებულ მომხმარებლებს 3 კვ ძაბვით. ამავე დროს, შესაძლებელია სმტ-ების მიერთება ბლოკებზე, ისევე როგორც ეს კეთდება კეს-ებზე (ნახ. 7.45). ამ შემთხვევაში გვაქვს ორი სმტ - ტ1 და ტ2, რომლებიც კვებავენ 6 კვ სალტეებს. სალტეებზე მიერთებულია ტ5-ტ8 საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორები 6/0.4 კვ. თითოეული მათგანი განკუთვნილია ერთი ბლოკისათვის. ტ3 და ტ4 ტრანსფორმატორებს გააჩნიათ სარეგულაციო დანიშნულება. სადგურის საერთო დატვირთვა იკვებება ტ9-ტ12 ტრანსფორმატორებით. ამავე, 6 კვ სალტეებიდან შეიძლება ვკვებოთ გადაცემის

ხაზი, რომელიც აწვდის ენერგიას კაშხლის მექანიზმებს. საკუთარი მოხმარების სისტემის რეგულირება ხორციელდება 6 კვ ძაბვის ხაზით, მეზობელი ქვესადგურიდან.



ნახ. 7.45 .

მძლავრი ჰესის საკუთარი მოხმარების სისტემის სქემა

ცხრილ 7.3-ში მოყვანილია საშუალო სიმძლავრის ჰეს-ის საკუთარი მოხმარების მექანიზმები და მათი ძრავების სიმძლავრე.

ცხრილი 7.3

მოხმარებლები	სადერივაციო ჰესი 3 x 41.6 მგვტ			კაშხალთან მიმდებარე ჰესი 6 x 105 მგვტ		
	P (კვტ)	რაოდენობა	P _Σ (კვტ)	P (კვტ)	რაოდენობა	P _Σ (კვტ)
ზეთის ტუმბო	50	6	300	75	12	900
ტურბინის სახურავიდან წყლის გამწოვი ტუმბო	3	3	9	5	6	30
ტრანსფორმატორების გაცივების სისტემა	8	3	24	7	12	84
კომპრესორები	27	2	54	20	4	80
ტექნიკური წყლის ტუმბოები	95	3	285	100	2	200
სახანძრო ტუმბოები	20	2	40	157	2	314
სააკუმულატორო ბატარეის დამმუხტველი			120			70
განათება, ამწეები, გათბობა, დაზგები			350			760
სულ			1182			2438

7.10 დამამინებელი მოწყობილობები

ზოგადი ცნობები. განასხვავებენ დამინების ორ სახეს - დამცავს და მუშას.

მუშა დამინება ემსახურება ელექტრომოწყობილობებისთვის ნორმალური მუშა პირობების შექმნას. მას მიეკუთვნება: ტრანსფორმატორების ნეიტრალების, რკალმქრობი კოჭების, გადამეტაბვისგან დამცავი მოწყობილობების, მეხამრიდების და ძაბვის ტრანსფორმატორების პირველადი გრანგილების ნულოვანი წერტილების დამინებები. მუშა დამინებების გარეშე აღნიშნულ აპარატებს არ შეუძლიათ ფუნქციების შესრულება ან ერღვევათ მუშა რეჟიმი.

დამცავი დამინება უზრუნველყოფს ელმოწყობილობების იმ ლითონური ნაწილების მიწასთან კავშირს, რომლებიც ნომინალურად არ იმყოფებიან ძაბვის ქვეშ, მაგრამ იზოლაციის დაზიანების შედეგად არსებობს მათზე ძაბვის ზემოქმედების საფრთხე. ასეთი დამინების მიზანია მომსახურე პერსონალის დაცვა ჯანმრთელობისთვის საშიში ძაბვის ზემოქმედებისგან, რომელსაც შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ადამიანის შეხების შედეგად ელმოწყობილობის დაუმინებელ ლითონურ კონსტრუქციებთან. დამინების არსებობის შემთხვევაში, მიწასა და აღნიშნულ კონსტრუქციას ექნებათ პრაქტიკულად ერთნაირი პოტენციალი, ამრიგად, ადამიანის სხეულში თითქმის არ ექნება ადგილი დენის გავლას. ჩვეულებრივ პირობებში საჭიროა >500 ვ ნომინალური ძაბვის ელმოწყობილობების დამინება, ხოლო განსაკუთრებული ხიფათის არსებობისას, დამინება საჭიროა >36 ვ ცვლად ძაბვებზეც.

ელმოწყობილობებში, ჩვეულებრივ, უნდა იქნას დამინებული: ელექტრული მანქანების, ძალოვანი ტრანსფორმატორების და აპარატების კორპუსები; მზომი ტრანსფორმატორების მეორეული გრანგილები; აპარატების ამძრავები; გამანაწილებელი ფარების, პულტების, კარადების კარკასები; გამანაწილებელი მოწყობილობების ლითონის კონსტრუქციები; საკაბელო ქურობები; კაბელების ჯავშნები და გარსაცმები; ამძრავებისა და სხვა ელექტრომოწყობილობების ლითონური კონსტრუქციები.

ვთქვათ, რაიმე მოწყობილობაში მოხდა იზოლაციის გარღვევა და მის კორპუსზე, რომელიც არ იყო დამინებული, ავარიულად გაჩნდა ძაბვა (ნახ 7.46). ამ შემთხვევაში კორპუსი მიიღებს პოტენციალს φ , რომელიც კლებულობს მისგან მოშორებით. თუ ადამიანი მივიდა დანადგართან გაშლილი ხელის მანძილზე (0.5 მეტრი) და შეეხო მას, მაშინ მისი ხელი აღმოჩნდება φ_A , ფეხები კი φ_2 პოტენციალის ქვეშ. ადამიანზე იმოქმედებს შეხების ძაბვა, რომელიც აღნიშნული პოტენციალთა სხვაობის ტოლია:

$$U_{\text{შხ}} = \varphi_A - \varphi_2 \quad (7.2)$$

ამ ძაბვის ზემოქმედებით, ადამიანის სხეულში გაივლის დენი:

$$I_{\text{აღ}} = \frac{U_{\text{შხ}}}{R_{\text{აღ}}} \quad (7.3)$$

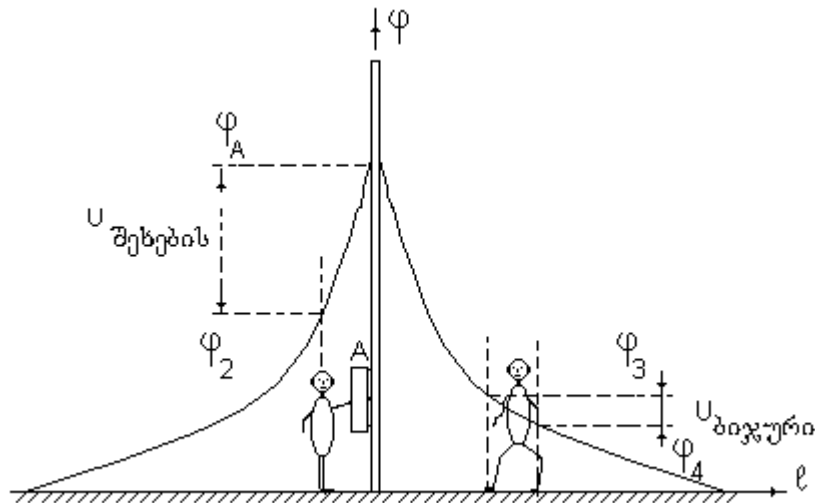
პოტენციალის განაწილების უთანაბრობამ, A დანადგარის მოშორებითაც, შეიძლება შექმნას საშიში პოტენციალთა სხვაობა. მაგალითად, თუ ადამიანი მიდის A დანადგარისაკენ, მისი ფეხები აღმოჩნდებიან ბიჯური ძაბვის ანუ φ_3 და φ_4 პოტენციალთა სხვაობის ქვეშ:

$$U_{\text{ბიჯ}} = \varphi_3 - \varphi_4 \quad (7.4)$$

ამ ძაბვის ზემოქმედების შედეგად, ადამიანში გაივლის დენი:

$$I_{\text{ად}} = \frac{U_{\text{ბიჯ}}}{R_{\text{ად}}} \quad (7.5)$$

$R_{\text{ად}}$ = ადამიანის წინალობა დიდ დიაპაზონში იცვლება და დამოკიდებულია ადამიანის ორგანიზმის თავისებურებებსა და მდგომარეობაზე, ფეხსაცმლის მდგომარეობაზე, ნიადაგზე და ა.შ.



ნახ. 7.46

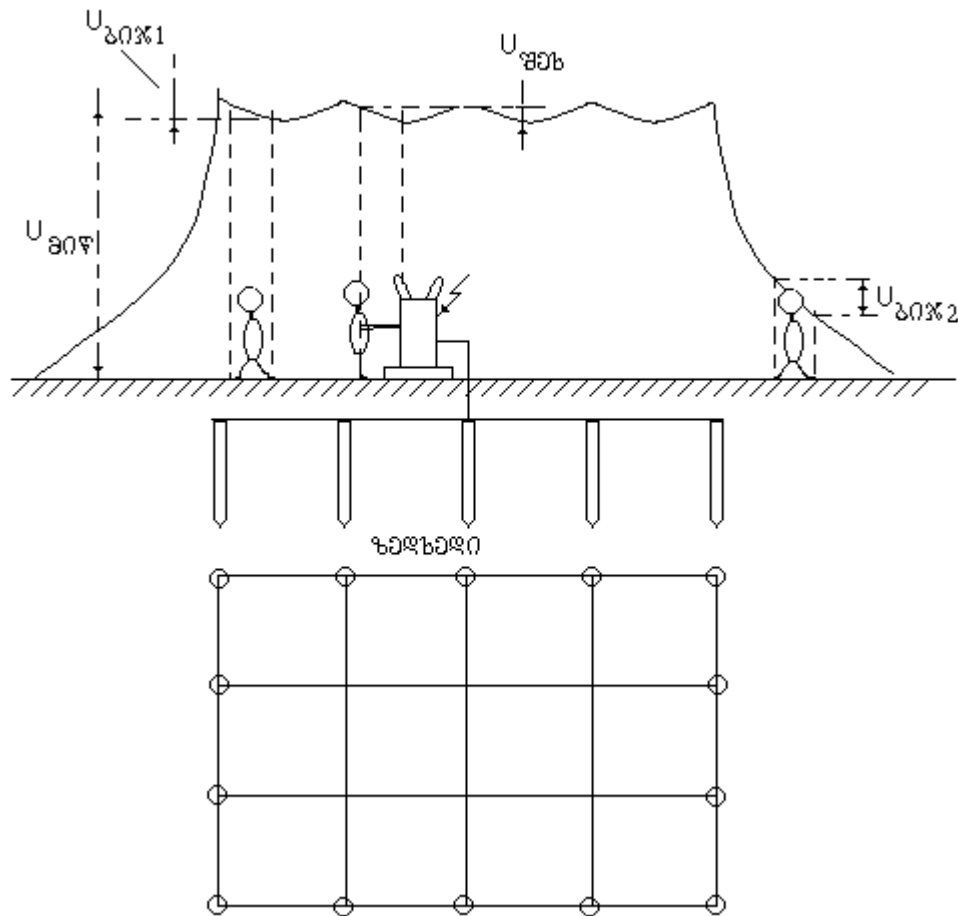
პოტენციალის განაწილება დამცავი ჩამინების არარსებობისას

იმის გარანტირებისათვის, რომ ადამიანის სხეულში გამავალი დენი არ გადააჭარბებს დასაშვებ სიდიდეს, უნდა იქნას შემცირებული შეხებისა და ბიჯური ძაბვები, ანუ ამ ძაბვების გამომწვევი პოტენციალთა სხვაობები, ე.ი. უნდა მოხდეს ამ პოტენციალთა გათანაბრება. ამას აღწევენ ჩამინების კონტურის მოწყობით. ჩამინების კონტური ეწყობა შემდეგნაირად: ელექტრული დანადგარის გასწვრივ, 0.8 მეტრის სიღრმეზე, მიწაში უნდა ჩალაგდეს რკინის ზოლები, როგორც გრძივად, ასევე განივად. ამგვარად, იქმნება ზოლების ბადე. ზოლები შედუღებულია ერთმანეთთან. ეს ზოლები უნდა შეერთდეს ელექტრული დანადგარის კორპუსებთან, ავზებთან და ა.შ. იზოლაციის გარღვევის დროს დანადგარის კორპუსი და ჩამინებული ზოლები აღმოჩნდებიან რაღაც პოტენციალის ქვეშ. დენი, რომელიც დაზიანებულ დანადგარიდან ზოლების გავლით იშლება მიწაში, იწვევს ამ პოტენციალის შეცვლას, მაგრამ ბადის შიგნით პოტენციალი იცვლება უმნიშვნელოდ (ნახ.7.47). დამინება შენობის შიგნით უნდა მოეწყოს ლითონის ზოლების სახით, რომლებიც მიჰყვებიან კედლებს. ეს ზოლები შეერთდეს გარე ჩამინების კონტურთან. ყველა დანადგარი, რომელიც იმყოფება შენობაში, უნდა იყოს მიერთებული ამ ზოლებზე.

იმისათვის, რომ $U_{\text{შეხ}} \leq U_{\text{შეხ}}^{\text{დ}}$ შეხების და $U_{\text{ბიჯ}} \leq U_{\text{ბიჯ}}^{\text{დ}}$ ბიჯური ძაბვები იყოს დასაშვები და უსაფრთხო, დამუშავებულია ნორმები, რომლების თანახმად 1000 ვოლტზე მეტი ძაბვის დანადგარში, რომლების დამინების დენი 500 ამპერზე მეტია, ჩამინების კონტურის წინალობა უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას $R_{\text{ჩ}} < 0.5$ ომი.

1000 ვოლტზე ნაკლები ძაბვის დანადგარებში, რომლებშიც ჩამინების დენი ნაკლებია 500 ამპერზე, $R_{\text{ჩ}} < 250 / I_{\text{ჩ}}$, ამასთან, $R_{\text{ჩ}} < 10$ ომი.

დანადგარებში 1000 ვოლტზე ნაკლები ძაბვით $R_{\Sigma} < 125/I_{\Sigma}$, მაგრამ თუ წყაროს სიმძლავრე ნაკლებია 100 კვა-ზე, $R_{\Sigma} < 10$ ომი და თუ წყარო 100 კვა-ზე მძლავრია $R_{\Sigma} < 4$ ომი.



ნახ. 7.47

პოტენციალის განაწილება დამცავი ჩამინების არსებობისას

ჩამინების კონტურის გაანგარიშების მიმდევრობა შემდეგია: ელექტრული დანადგარის ტიპის მიხედვით ადგენენ საჭირო ჩამინებას. ადგენენ ბუნებრივ ჩამამინებლების ჯამურ წინაღობას. ბუნებრივ ჩამამინებლად ითვლება: წყალსადენის და სხვა ლითონის მიწები, ნაგებობების ლითონის ნაწილები, ფუნდამენტის ლითონის ნაწილები, კაბელების გარსაცმები. დაახლოებით შეიძლება მივიღოთ: მიწაში ჩაფლული ლითონის კონსტრუქციების წინაღობა 2-4 ომის ტოლად, მიწებისა - 1.5-2 ომის ტოლად, კაბელის გარსაცმის - 2-3 ომის ტოლად.

შემდეგ გაიანგარიშებენ ჩამინების კონტურის ერთი ზოლის წინაღობას:

$$R_b = \frac{0.366 \rho_1}{l} \lg \frac{2l^2}{bt} \quad (7.6)$$

სადაც

l = ზოლის სიგრძე (მ),

b = ზოლის სიგანე (სმ),

t = მიწის ჩადების სიღმეა (სმ),

მიწის ხვედრითი წინაღობა ρ აიღება ცხრილი 7.4-ის მიხედვით, ხოლო შემდეგ გამოითვლება სიდიდე $\rho_1 = K_1 \cdot \rho$, სადაც K კოეფიციენტი ითვალისწინებს მიწის გაშრობას ან ჩაყინვას. თუ ზოლი ჩამარხულია 0.5 მეტრის სიღრმეზე, მაშინ $K = 4.5$; თუ კი ჩამარხვის სიღმე 0.8 მეტრია, მაშინ $K = 1.6$.

ცხრილი 7.4

ნიადაგი	ომი-სმ
ქვიშა	$(4 \div 10) \times 10^4$
თიხა	$(0.08 \div 0.7) \times 10^4$
ტორფი	0.2×10^4
შავმიწა ნიადაგი	$(0.09 \div 5.3) \times 10^4$
კირქვა	$(10 \div 20) \times 10^4$
კლდე	$(20 \div 40) \times 10^4$

ყველა ზოლის წინაღობა, მათი გამოყენების $\eta\%$ კოეფიციენტის გათვალისწინებით, ტოლია

$$R_{გრძ} = \frac{R_b}{n \eta_b} \quad (7.7)$$

სადაც n ზოლების რიცხვია, $\eta\%$ კი აიღება ცხრილი 7.5-დან.

ანალოგიურად გავიანგარიშებთ განივი ზოლების ჯამურ წინაღობას:

$$R_{გან} = \frac{R_b}{n \eta_b} \quad (7.8)$$

ცხრილი 7.5

ზოლის სიგრძე l (მ)	პარალელური ზოლების რაოდენობა n	ზოლებს შორისი მანძილი				
		1.0	2.5	5.0	10.0	15.0
15	5	0.37	0.49	0.6	0.73	0.79
	10	0.25	0.37	0.49	0.64	0.72
	20	0.16	0.27	0.39	0.57	0.64
25	5	0.35	0.45	0.55	0.66	0.73
	10	0.23	0.34	0.43	0.57	0.66
	20	0.14	0.23	0.33	0.47	0.57
50	5	0.33	0.4	0.48	0.58	0.65
	10	0.2	0.27	0.35	0.46	0.53
	20	0.12	0.19	0.25	0.36	0.44
75	5	0.31	0.38	0.45	0.53	0.58
	10	0.18	0.25	0.31	0.41	0.41
	20	0.11	0.16	0.22	0.31	0.38
100	5	0.3	0.36	0.43	0.51	0.57
	10	0.17	0.23	0.28	0.37	0.44
	20	0.10	0.15	0.20	0.28	0.345
200	5	0.28	0.32	0.37	0.44	0.5
	10	0.14	0.20	0.23	0.30	0.36
	20	0.088	0.12	0.15	0.215	0.265

ჩამინების ბადის წინაღობა ტოლია:

$$R_{ბად} = 1.25 \cdot \frac{R_{გრძ} \cdot R_{გან}}{R_{გრძ} + R_{გან}} \quad (7.9)$$

ბუნებრივი ჩამამინებლების და ბადის საერთო წინაღობა უდრის:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{1/R_{კაბ} + 1/R_{ფუნდ} + 1/R_{მილ} + 1/R_{ბად}} \quad (7.10)$$

თუ მიღებული წინაღობა გამოვიდა დასაშვებზე მეტი, მაშინ საჭიროა დამატებითი ვერტიკალური ღეროების მოწყობა. ღეროების საერთო წინაღობამ უნდა დააკმაყოფილოს პირობა:

$$R_{\text{ნამ}} = \frac{R_{\Sigma} R_{\text{ღერ}}}{R_{\Sigma} + R_{\text{ღერ}}} \leq 0.5 \text{ ომი} \quad (7.11)$$

საიდანაც

$$R_{\text{ღერ}} \leq \frac{R_{\Sigma} R_{\text{ნამ}}}{R_{\Sigma} - R_{\text{ნამ}}} \quad (7.12)$$

ერთი ღეროს წინაღობა უდრის

$$R_{\text{ღ}} = \frac{0.366 \rho_{\text{ღ}}}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right) \quad (7.13)$$

აქ

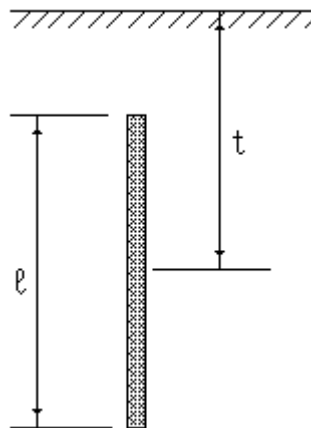
$d \approx 1.2 \div 2 \text{ სმ} =$ ღეროს დიამეტრია,

$l \approx 3 \div 5 \text{ მ} =$ მისი სიგრძეა,

$t \approx 30 \div 80 \text{ სმ} =$ მანძილი მიწის ზედაპირიდან ღეროს შუა წერტილამდე (ნახ.7.48).

$$\rho_{\text{ღ}} = 1.4 \rho.$$

ρ სიდიდე აიღება ცხრილი 7.4-დან.



ნახ.7.48

ვერტიკალური ჩამამიწებელი

ღეროების საჭირო რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით

$$n_{\text{ღერ}} = \frac{R_{\text{ღერ}}}{R_{\text{ღერ}} \eta_{\text{ღერ}}} \quad (7.14)$$

$\eta_{\text{ღ}}$ კოეფიციენტის სიდიდე აიღება ცხრილი 7.6-დან.

ცხრილი 7.6

ღეროებს შორისი მანძილის შეფარდება <i>l-თან.</i>	ღეროების რაოდენობა	η _ფ
1	4	0.7
	6	0.61
	10	0.54
	20	0.46
	40	0.42
	60	0.38
2	4	0.78
	6	0.73
	10	0.68
	20	0.63
	40	0.57
	60	0.55
3	4	0.85
	6	0.8
	10	0.76
	20	0.7
	40	0.66
	60	0.63

მაგალითი 7.1

ქ/ს-ის ზომებია 200 მ × 100 მ. იგი განლაგებულია შავმიწა ნიადაგზე, რომლის კუთრი წინაღობაა 3.4×10^4 ომი·სმ. ქ/ს ტერიტორიაზე არსებული კაბელების გარსაცმის ჯამური წინაღობაა 2 ომი, ლითონის კონსტრუქციების წინაღობაა 1.55 ომი, ხოლო გამავალი ლითონის მილების წინაღობაა 2.05 ომი. დავაგეგმართ ქ/ს-ის ჩამინების კონტური ა) ბუნებრივი ჩამამინებლების გათვალისწინებით, ბ) მათი არსებობის გარეშე. (გამოვიყენოთ (7.6)÷(7.14) გამოსახულებები).

ამოხსნა

ჩავთვალოთ, რომ ჩამამინებლებს ათავსებენ ზედაპირიდან $t=80$ სმ სიღრმეზე. მაშინ, მიწის ჩაყინვისა და გამოშრობის გათვალისწინებით, გრუნტის ხვედრითი წინაღობა ტოლი იქნება:

$$\rho_1 = K_1 \cdot \rho = 1.6 \times 3.4 \times 10^4 = 5.44 \times 10^4 \text{ ომი·სმ}$$

დავუშვათ, რომ ზოლის სიგანე $b = 30 \text{ მმ} = 3 \text{ სმ}$

$l_{გრძ} = 200 \text{ მ} = 20000 \text{ სმ}$ სიგრძის „გრძივი“ დამინების თითოეული ზოლის წინაღობა:

$$R_{გრძ} = \frac{0.366 \rho_1}{l_{გრძ}} \lg \frac{2l_{გრძ}^2}{bt} = \frac{0.366 \times 5.44 \times 10^4}{20000} \times \lg \frac{2 \times 20000^2}{3 \times 80} = 6.49 \text{ ომი}$$

ავიღოთ $n_{გრძ} = 20$ გრძივი ზოლი, თუ გავითვალისწინებთ, რომ პარალელურ გრძივ ზოლებს შორის მანძილი იქნება $l_{გრძ} \div n_{გრძ} = 200 \div 20 = 10 \text{ მ}$, მაშინ, ცხრილი 7.5-დან გამოყენების კოეფიციენტი $\eta_{გრძ} = 0.215$. ამრიგად, გრძივი ზოლების ჯამური წინაღობა იქნება:

$$R_{გრძ\sum} = \frac{R_{გრძ}}{n_{გრძ} \eta_{გრძ}} = \frac{6.49}{20 \times 0.215} = 1.51 \text{ ომი}$$

$l_{გან} = 100 \text{ მ} = 10000 \text{ სმ}$ სიგრძის „განივი“ დამინების თითოეული ზოლის წინაღობა

$$R_{\text{გაბ}} = \frac{0.366 \rho_1}{l_{\text{გაბ}}} \lg \frac{2l_{\text{გაბ}}^2}{bt} = \frac{0.366 \times 5.44 \times 10^4}{10000} \times \lg \frac{2 \times 10000^2}{3 \times 80} = 11.79 \text{ ომი}$$

ავიღოთ $n_{\text{გაბ}} = 10$ განივი ზოლი, თუ გავითვალისწინებთ, რომ პარალელურ განივ ზოლებს შორის მანძილი იქნება $l_{\text{გაბ}} \div n_{\text{გაბ}} = 100 \div 10 = 10$ მ, მაშინ, ცხრილი 7.5-დან, გამოყენების კოეფიციენტი $\eta_{\text{გრძ}} = 0.37$. ამრიგად, განივი ზოლების ჯამური წინაღობა იქნება:

$$R_{\text{გან}} = \frac{R_{\text{გაბ}}}{n_{\text{გაბ}} \eta_{\text{გაბ}}} = \frac{11.79}{10 \times 0.37} = 3.19 \text{ ომი}$$

ჩამინების ბადის წინაღობა ტოლია:

$$R_{\text{ბად}} = 1.25 \cdot \frac{R_{\text{გრძ}} \cdot R_{\text{გან}}}{R_{\text{გრძ}} + R_{\text{გან}}} = \frac{1.51 \times 3.19}{1.51 + 3.19} = 1.28 \text{ ომი}$$

ა) ბუნებრივი ჩამამინებლების გათვალისწინებით, ქ/ს-ის სრული ჩამინების წინაღობა იქნება:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{1/R_{\text{კაბ}} + 1/R_{\text{ფუნდ}} + 1/R_{\text{მილ}} + 1/R_{\text{ბად}}} = \frac{1}{1/2 + 1/1.55 + 1/2.05 + 1/1.28} = 0.41 \text{ ომი}$$

ვინაიდან ჩამინების წინაღობა $R_{\Sigma} = 0.41 \text{ ომი} < R_{\text{გაბ}} = 0.5 \text{ ომი}$ დასაშვებ წინაღობაზე, ამიტომ დამატებითი ჩამამინებლების გამოყენება საჭირო აღარ არის.

ბ) ბუნებრივი ჩამამინებლების არარსებობისას $R_{\Sigma} = 1.28 \text{ ომი} > R_{\text{გაბ}} = 0.5 \text{ ომი}$, ამიტომ ქ/ს-ში საჭიროა დამატებითი ვერტიკალური ღეროვანი ჩამამინებლების დაყენება, რომლის ჯამური წინაღობა იქნება:

$$R_{\text{ღერ}} \leq \frac{R_{\Sigma} R_{\text{გაბ}}}{R_{\Sigma} - R_{\text{გაბ}}} = \frac{1.28 \times 0.5}{1.28 - 0.5} = 0.82 \text{ ომი}$$

ჩავთვალოთ, რომ ღეროს დიამეტრია $d=2$ სმ, სიგრძეა $l \approx 300$ სმ, მანძილი მიწის ზედაპირიდან ღეროს შუა წერტილამდე $t=80$ სმ (ნახ.7.15). ამასთან, მიწის გაშრობის ან ჩაყინვის გათვალისწინებით, გრუნტის წინაღობა იქნება:

$$\rho_2 = K_2 \cdot \rho = 1.4 \times 3.4 \times 10^4 = 4.76 \times 10^4 \text{ ომი} \cdot \text{სმ}$$

ერთი ღეროს წინაღობა უდრის

$$R_{\text{ღ}} = \frac{0.366 \rho_2}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right) = \frac{0.366 \times 4.76 \times 10^4}{300} \times \left(\lg \frac{2 \times 300}{2} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \times 80 + 300}{4 \times 80 - 300} \right) = 187.15 \text{ ომი}$$

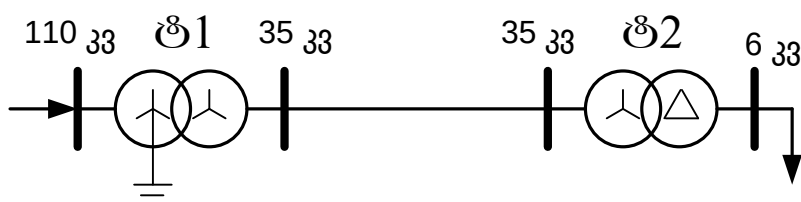
ჩავთვალოთ, რომ ღეროებს შორის მანძილის შეფარდება ღეროს სიგრძესთან არის 1:1. მაშინ საჭირო ღეროების რაოდენობა, ცხრილი 7.6-ის თანახმად, იქნება:

$$n_{\text{ღერ}} = \frac{R_{\text{ღერ}}}{R_{\text{ღერ}} \eta_{\text{ღერ}}} = \frac{187.15}{0.82 \times 0.7} \approx 327$$

ამრიგად, საჭიროა 327 ცალი დამატებითი ვერტიკალური ღერო.

7.11 ნეიტრალის მუშაობის რეჟიმები

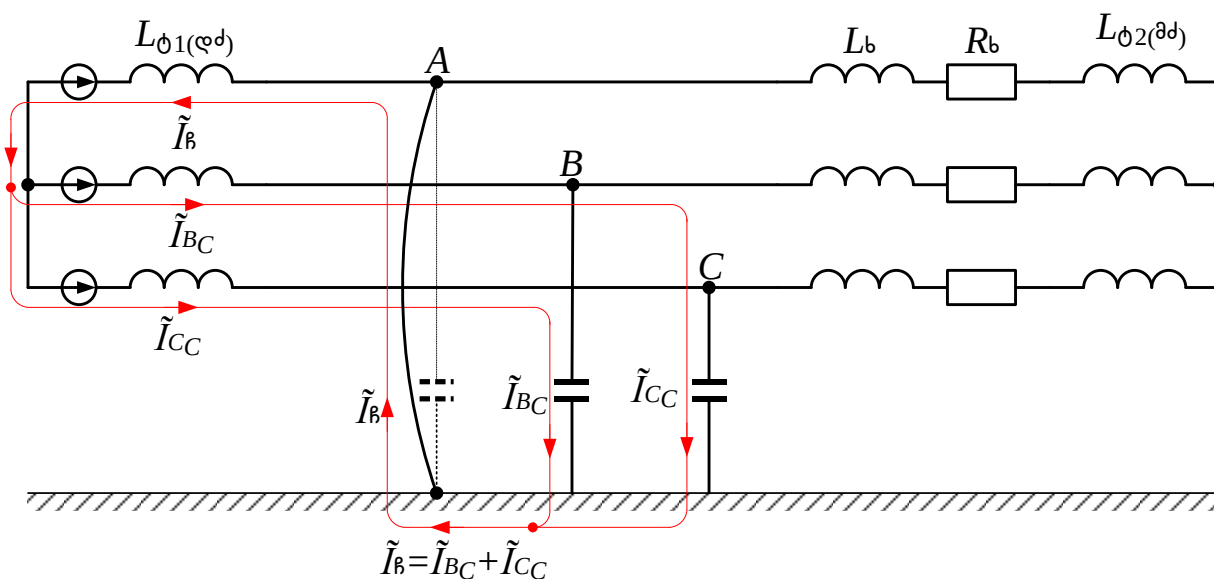
ელმოწყობილობების ტრანსფორმატორების და ელექტრული მანქანების ნეიტრალეები შეიძლება იყოს მიწისაგან იზოლირებული ან ჩამიწებული. ჩვენთან ამიწებენ ნეიტრალეებს 1 კვ და უფრო დაბალი და 110 კვ და უფრო მაღალი ნომინალური ძაბვის ქსელებში. ხოლო 1 კვ-ზე მაღალ და 110 კვ-ზე დაბალ ნომინალურ ძაბვებზე ნეიტრალეებს არ ამიწებენ. ამრიგად, გვაქვს დამიწებულნეიტრალიანი და დამიწებულნეიტრალიანი ქსელები. განვიხილოთ იზოლირებულნეიტრალიანი ქსელის შემდეგი უბანი (ნახ. 7.49), მისი 35 კვ ერთ-ერთი ფაზის დამიწებისას.



ნახ. 7.49

იზოლირებულნეიტრალიანი ქსელის უბანი

ამ შემთხვევისთვის აღნიშნული ქსელი შეგვიძლია წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:



ნახ. 7.50

დენების განაწილება ერთფაზა დამიწებისას

ნებისმიერ გადაცემის ხაზს გააჩნია გარკვეული C ტევადობა მიწის მიმართ. ნორმალურ რეჟიმში ამ ტევადობაში გადის მცირე სიდიდის დენი:

$$I_C = U_{ფ}/X_{Cფ} = U_{ფ}/(1/\omega C) = U_{ფ}\omega C \quad (7.15)$$

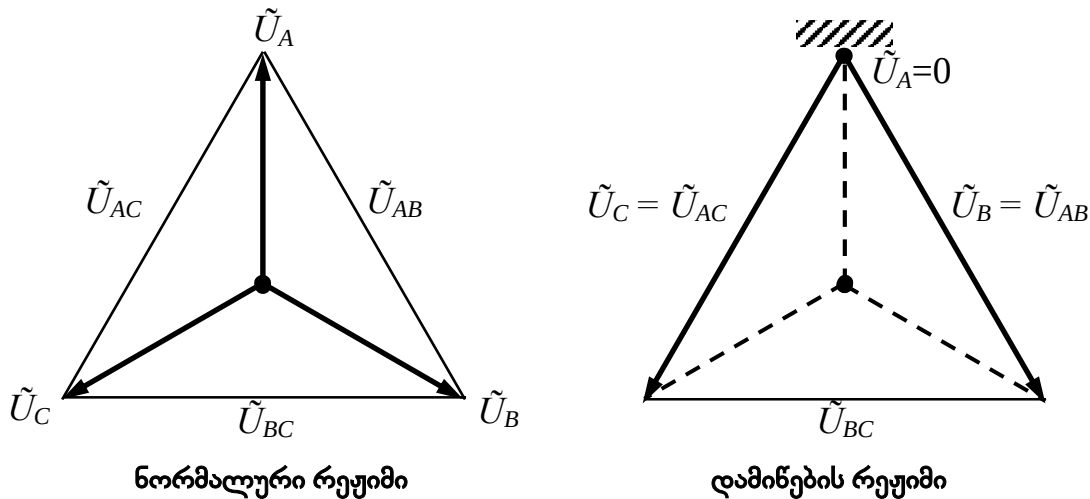
რომელიც ტრანსფორმატორის დატვირთვაზე გავლენას პრაქტიკულად ვერ ახდენს.

ახლა ვნახოთ, თუ რა მოხდება ერთი ფაზის იზოლაციის დაზიანების და ამ ფაზის მიწასთან შეხების დროს. მიწის ქვეშ იგულისხმება ნებისმიერი დამიწებული ლითონის კონსტრუქციაც. A

ფაზის მიწასთან შეხებით პრაქტიკულად მოხდება ამ ფაზის ტევადობის დაშენება. ბუნებრივია, ამ ფაზის ტევადური დენი აღარ იარსებებს და ჩამიწების წერტილში გაივლის მხოლოდ B და C ფაზების ტევადური დენების ჯამი:

$$\tilde{I}_B = \tilde{I}_{B_C} + \tilde{I}_{C_C} \quad (7.16)$$

რაც შეეხება ძაბვებს, დაზიანების ადგილის (ფაზა A) პოტენციალი გაუთანაბრდება მიწისას და მისი ფაზური ძაბვა (ანუ მიწისა და დაზიანებული ფაზის პოტენციალების სხვაობა) გახდება ნულის ტოლი. ამრიგად, B და C დაუზიანებელი ფაზების ფაზური ძაბვები „გადაიქცევა“ პოტენციალთა სხვაობებად $\varphi_A - \varphi_B$ და $\varphi_A - \varphi_C$, ანუ გვექნება $\tilde{U}_A = 0$, $\tilde{U}_B = \tilde{U}_{AB}$, $\tilde{U}_C = \tilde{U}_{AC}$. ე.ი. ჯანმრთელი ფაზების ძაბვები გაიზრდებიან $\sqrt{3}$ -ჯერ. ძაბვების ვექტორულ დიაგრამაზე ნეიტრალური წერტილი გადაინაცვლებს A წერტილში (ნახ. 7.51) და ფაზური ძაბვების ვარსკვლავი გარდაიქმნება ორ სხივად, ხაზური ძაბვების ვარსკვლავი კი უცვლელი დარჩება.



ნახ. 7.51

ძაბვის ვექტორული დიაგრამები ნორმალურ და ავარიულ რეჟიმებში

ახლა ვიპოვოთ დამიწების დენი ნახ. 7.52-ის ვექტორული დიაგრამის AMO სამკუთხედიდან

$$AO = AM \cdot \cos \angle A$$

ანუ

$$\frac{I_B}{2} = I_B \cdot \cos 30^\circ = \frac{U_{B_B}}{X_{B(C)}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{3}U_{B_B}}{1/\omega C_B} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{3}{2}U_B \omega C_B$$

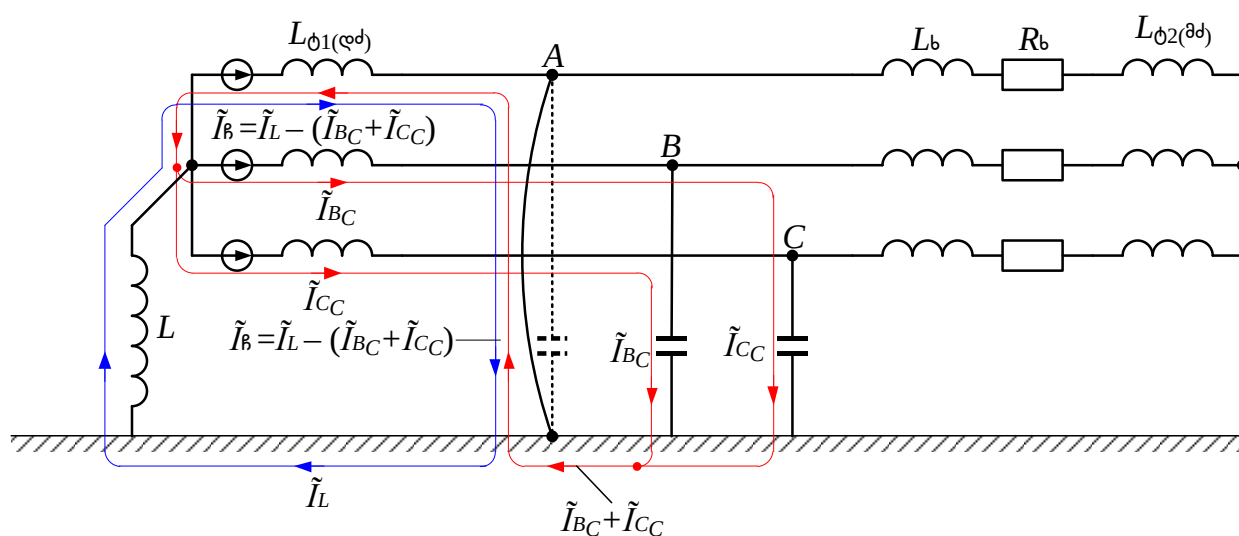
ამრიგად, ჩამიწების დენი იქნება:

$$I_B = 3U_B \omega C_B \quad (7.17)$$

ცხრილი 7.7

ხაზის ტიპი	საკაბელო			საჰაერო
ნომინალური ძაბვა (კვ)	3-6	10	20	35
ჩამინების დასაშვები დენი (ა)	30	20	15	10

თუ ჩამინების ტევადური დენის სიდიდე მეტია ზღვრულზე, მაშინ ახდენენ მის კომპენსაციას. ამისათვის ტრანსფორმატორის ნეიტრალს ამინებენ რკალმქრობი კოჭით (ნახ.7.20).



ნახ.7.53

დენების განაწილება ერთფაზა დამინებისას, რკალმქრობი კოჭის არსებობისას

რადგან A ფაზა ამჟამად კვებავს L ინდუქტიურ კოჭას, ჩამინების ადგილში, $\tilde{I}_{B_c} + \tilde{I}_{C_c}$ ტევადური დენის გარდა, გაივლის კოჭის ინდუქტიური $I_L = U_{ფ}/X_L = U_{ფ}/\omega L$ დენი. ეს დენები დაძრული არიან 180° -ით და ჯამური დენი იქნება მათი სხვაობა:

$$\tilde{I}_B = \tilde{I}_L - (\tilde{I}_{B_c} + \tilde{I}_{C_c}) \quad (7.20)$$

ამრიგად, ინდუქტიური კოჭის სწორი შერჩევით შესაძლებელია $I_B \approx 0$ -ის მიღება.

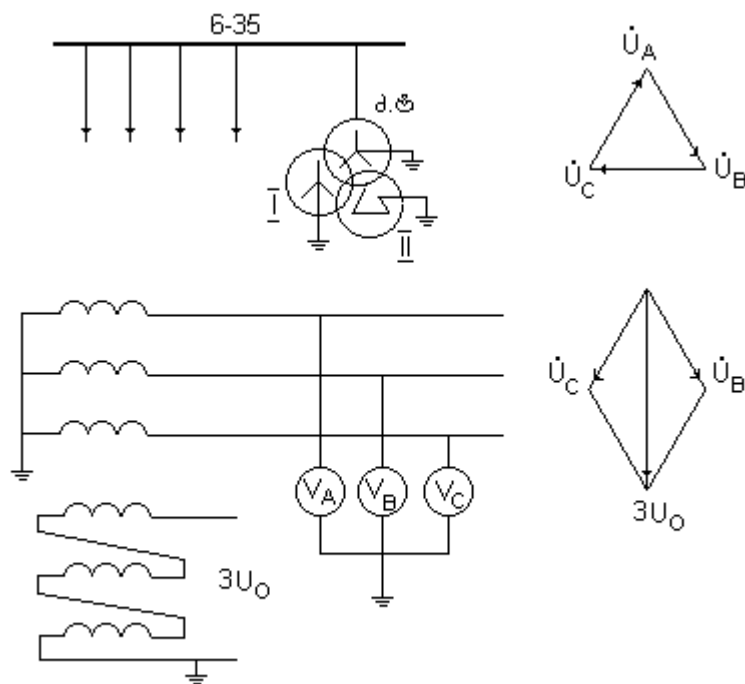
რკალმქრობი კოჭის შერჩევა ხდება I_B ტევადური დენის მიხედვით. გაიანგარიშებენ კოჭის საჭირო რეაქტიულ სიმძლავრეს

$$Q_{\beta} = n I_B U_{ფ} \quad (7.21)$$

სადაც $n = 1.25$ კოეფიციენტი ითვალისწინებს ქსელის განვითარებას. მიღებული Q_{β} -ის მიხედვით ცხრილი 7.8-დან ირჩევენ ორ კოჭას, რომელთა ჯამური სიმძლავრე ტოლია Q_{β} -სი. რკალმქრობი კოჭები ყენდება საკვანძო ქვესადგურებში, რომლებიც დაკავშირებულნი არიან გასაკომპენსირებელ ქსელთან, არანაკლებ სამი ხაზით (ნახ.7.21).

ცხრილი 7.8

კოჭის ტიპი	სიმძლავრე (კვარ)	ნომ ძაბვა (კვ)	დენის კომპენსაციის ზღვრები (ა)
3POM-175\6	175	6	25 ÷ 50
3POM-350\6	350	6	50 ÷ 100
3POM-700\6	700	6	100 ÷ 200
3POM-300\10	300	10	25 ÷ 50
3POM-600\10	600	10	50 ÷ 100
3POM-1200\10	1200	10	100 ÷ 200
3POM-275\35	275	35	6.2 ÷ 12.5
3POM-550\35	550	35	12.5 ÷ 25
3POM-1100\10	1100	35	25 ÷ 50



ნახ. 7.55

ძაბვის ტრანსფორმატორს აქვს ორი I და II მეორადი გრაგნილი. I გრაგნილი ჩართულია ვარსკვლავად და კვებას სამ ვოლტმეტრს. II გრაგნილი ჩართულია გახსნილ სამკუთხედად. ნორმალურ რეჟიმში სამივე ვოლტმეტრი უჩვენებს ერთნაირ ძაბვებს, გახსნილი სამკუთხედის ბოლოებზე კი ძაბვა ნულის ტოლია.

თუ ერთი ფაზა დამინდა, მაშინ შესაბამისი ვოლტმეტრი გვიჩვენებს ნულს, ორი დანარჩენის ჩვენება კი გაიზრდება $\sqrt{3}$ -ჯერ. გახსნილი სამკუთხედის ერთი ფაზის ძაბვა იქნება ნულის ტოლი, ორი დანარჩენის ძაბვა გაიზრდება $\sqrt{3}$ -ჯერ და მათ შორის იქნება 60° კუთხე. გამოდის, რომ გახსნილ სამკუთხედად შეერთებული გრაგნილის ძაბვა აღარ არის ნულის ტოლი. ამ გრაგნილზე მიერთებული რელე იმოქმედებს და აამოქმედებს ზარს. პერსონალი იქნება გაფრთხილებული, რომ მოხდა ერთი ფაზის დამინება.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ნეიტრალის ყრუდ დამინება მიღებულია 110 კვ და მეტი ძაბვის ქსელებში. ეს გამომწვეულია ორი მიზეზით:

1. ასეთ ქსელებში ტევადური ღენი აღწევს დიდ სიდიდეს და მის მიერ ანთებული რკალი იმდენად ძლიერია, რომ მნიშვნელოვნად აზიანებს დანადგარს.

2. თუ ერთი ფაზა ჩამინდა, მაშინ დანარჩენი ორი ფაზის იზოლაციამ უნდა აიტანოს ხაზური ძაბვა, ჩვეულებრივ კი ფაზის იზოლაცია მუშაობს ფაზური ძაბვის ქვეშ. 35 კვ-მდე ძაბვის ქსელებში ფაზური და ხაზური იზოლაციას შორის დიდი განსხვავება არ არის

$$35 \text{ კვ (ხაზური)} - 20 \text{ კვ (ფაზური)} = 15 \text{ კვ}$$

110 კვ ქსელებში კი ეს განსხვავება მნიშვნელოვნად იზრდება:

$$110 \text{ კვ (ხაზური)} - 63 \text{ კვ (ფაზური)} = 47 \text{ კვ}$$

მაშასადამე, 110 კვ-იანი ქსელი რომ ვამუშავოთ იზოლირებული ნეიტრალით, იმ ვარაუდით, რომ ფაზის ჩამინების შემთხვევაში ძაბვა გაიზრდება 63 დან 110 კვ-მდე, უნდა გვქონდეს სარეზერვო იზოლაცია 47 კვ ძაბვისათვის. რაც უფრო დიდი სარეზერვო იზოლაციაა საჭირო, მით მეტად უნდა გაიზარდოს იზოლატორების ზომები და ანძების გაბარიტები. ეს იმდენად აძვირებს ხაზებს, რომ ეკონომიკურად უფრო ხელსაყრელია ჩავამინოთ ნეიტრალი. ამ შემთხვევაში ერთი ფაზის ჩამინება უკვე ერთფაზა მოკლე შერთვაა და ხაზი სასწრაფოდ გამოირთვება რელეური დაცვით. ერთფაზა მოკლე შერთვების უდიდესი ნაწილი თვითლიკვიდირებადია, ისინი, ძირითადად, გამომწვეულია ატმოსფერული გადამეტძაბვის მიერ, ფაზასა და მიწას შორის არსებული იზოლაციის გადაფარვითა და რკალის ანთებით. მაგრამ, თუკი მოვახდენთ ამ რკალის ჩაქრობას, იმ დროის განმავლობაში, რომელიც საჭიროა საიზოლაციო შუალედის დიელექტრიკული თვისებების აღსადგენად ძაბვის ქვეშ ხაზის ხელახალი ჩაყენების შემდეგ, დიდი შანსია, რომ გადაფარვა აღარ მოხდება. სწორედ ასეთი ავტომატური განმეორებითი ჩართვის (ავჩ) პროცესი ხორციელდება 110 კვ და უფრო მაღალი ძაბვების ქსელის ერთფაზა მმ-სგან დასაცავად.

მაგალითი 7.2.

ვიპოვოთ 110/35 კვ ტრანსფორმატორის ნეიტრალში ჩასართავი რკალმქრობი კოჭას სიმძლავრე, თუ ტრანსფორმატორის დაბალი ნომინალური $U_{\text{ნომ}} = 35$ კვ ძაბვის მხარეს მიერთებულია საჰაერო ეგხ-ები, ჯამური სიგრძით $l = 200$ კმ.

ამოხსნა

ჩამინების ღენი საჰაერო ეგხ-ების შემთხვევაში, (7.18) გამოსახულების თანახმად:

$$I_{\text{ფ}} = \frac{U_{\text{ნომ}} l}{350} = \frac{35 \times 200}{350} = 20 \text{ (ა)}$$

კოჭას სიმძლავრე, (7.21) გამოსახულების თანახმად:

$$Q_{\text{კ}} = n I_{\text{ფ}} U_{\text{ფ,ნომ}} = n I_{\text{ფ}} U_{\text{ბ,ნომ}} : \sqrt{3} = 1.25 \times 20 \times 35 : \sqrt{3} \approx 505 \text{ კვარ}$$

7.12 რეაქტიული ენერგიის რეგულირების სტატიკური მოწყობილობები (რსსმ)

ზოგადი ცნობები. რეაქტიული ენერგიის რეგულირების სტატიკური მოწყობილობა წარმოადგენს რეაქტიული სიმძლავრის რეგულირებადი და/ან არარეგულირებადი წყაროებისა და მომხმარებლების ერთობლიობას, რომელთაც არ გააჩნიათ მბრუნავი ნაწილები. ამიტომ შედის მათ დასახელებაში სახელი „სტატიკური“. რსსმ-ებს, ძირითადად, ამონტაჟებენ განსაკუთრებულად საპასუხისმგებლო ქვესადგურებში. სტატიკური ვარ მოწყობილობების დანიშნულებაა რეაქტიული ენერგიის გენერირება ან შთანთქმა იმგვარად, რომ ქვესადგურის სალტებზე დაბვა შეინარჩუნონ ნომინალურის სიახლოვეს.

ისინი პრაქტიკულად იმავე ფუნქციას ასრულებენ, რასაც სინქრონული კომპენსატორები. კერძოდ, მათ აყენებენ:

1. მძლავრ საკვანძო ქვესადგურში, რომლის სალტებზეც (ა) დაბვა ეცემა დიდი სიმძლავრის ბატარების გამო, ან (ბ) იზრდება დიდი ტევადობის მქონე ხაზის ჩართვის გამო; (გ) ასევე სიმძლავრის კოეფიციენტის სასურველ დონეზე შენარჩუნების მიზნით;
2. სამრეწველო ცენტრების მკვებაჟ ქვესადგურებში, სიმძლავრის ხარისხის გაუმჯობესების მიზნით; განსაკუთრებით, რკალური ღუმლებთან, რომლებიც იწვევენ დაბვის მყისიერ ცვლილებებს.

არარეგულირებად სტატიკურ მოწყობილობებს, სინქრონულ კომპენსატორებთან შედარებით, გააჩნიათ შემდეგი ღირსებები:

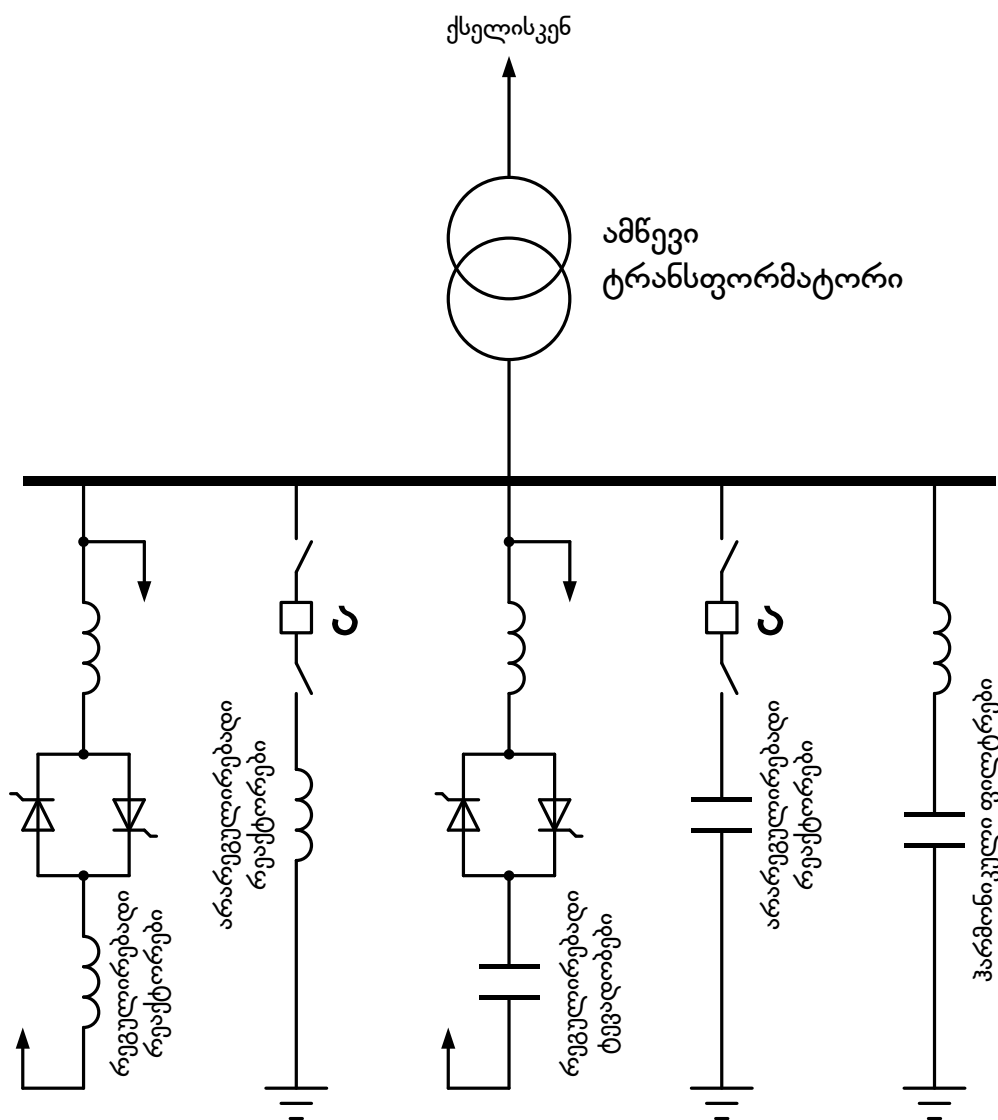
- მცირე გაბარიტები;
- მბრუნავი ნაწილების არქონის გამო, აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების სიმცირე;
- სიიაფე;
- ექსპლუატაციის სიმარტივე;
- დაბვის გადახრაზე პრაქტიკულად მყისიერად რეაგირება, კონდენსატორთა ბატარების თუ რეაქტორული კოჭების საჭირო რაოდენობის ჩართვა-გამორთვით;

მათი ნაკლოვანებაა დაბვის მდორედ რეგულირების შეუძლებლობა. საქმე იმაშია, რომ დაბვის გადახრისას ხდება კონდენსატორებისა თუ რეაქტორების მექანიკური ჩართვა-გამორთვა, რაც იწვევს რეაქტიული სიმძლავრის საფეხურებრივ შეცვლას. ეს, ბუნებრივია, ზუსტად ვერ უზრუნველყოფს დაბვის ზუსტად მუშა წერტილის საწყისი მდგომარეობის აღდგენას, რაც რიგ შემთხვევებში სისტემის მდგრადობისთვის სახიფათოც კი შეიძლება გამოდგეს. ამასთან, თუკი რომელიმე ქვესადგურზე ადგილი აქვს დაბვის მოქმედი მნიშვნელობის მუდმივ რხევებს 1 წმ ან უფრო მცირე დროში, მაშინ პრაქტიკულად შეუძლებელია, რომ მუდმივი კომუტაციის პირობებში იმუშავოს არარეგულირებადი რსსმ-ის ამომრთველებმა.

ზემოაღნიშნული ნაკლოვანებისაგან თავისუფალია რეგულირებადი რსსმ. მის ტირისტორებს გააჩნიათ ელექტრონული მართვა, რომელიც საშუალებას იძლევა პრაქტიკულად მყისიერად მოხდეს დაბვის მუშა წერტილის სასურველ მდგომარეობაში გადაყვანა. ამასთან, მისი დახმარებით შესაძლებელია დაბვის რხევების სრული კომპენსირება, რაც მის გამოყენებას ძალიან მიმზიდველს ხდის. რეგულირებად რსსმ-ს ასევე იყენებენ სისტემათაშორისი რყევების „ჩასაქრობადაც“. მისი ერთადერთი ნაკლოვანებაა მართვის რთულ ელექტრონულ სისტემასთან დაკავშირებული სიძვირე. თუმცა ამ ტექნოლოგიის სრულყოფისა და გაიაფების შედეგად, მოსალოდნელია, რომ სწორედ სტატიკური მოწყობილობები სრულად ჩაანაცვლებენ

სინქრონულ კომპენსატორებსა და არარეგულირებად რსსმ-ებს. მათი სტანდარტული შესრულება მოცემულია ნახ. 7.56-ზე. ჩვეულებრივ, რსსმ შედგება ერთი ან ორი არარეგულირებადი კონდენსატორთა ბატარეისა, რეაქტორული კოჭისგან, სულ მცირე, ერთი რეგულირებადი კონდენსატორული ბატარეისგან და, სულ მცირე, ერთი ზემოხსენებული მოწყობილობების რეგულირებადი ანალოგებისგან. ამრიგად, რეგულირებადი რსსმ შეიძლება შეიცავდეს:

- ტირისტორებით რეგულირებადი რეაქტორი, სადაც რეაქტორი შეიძლება იყოს რკინის გულარით ან მის გარეშე;
- ტირისტორით რეგულირებადი ტევადობა;
- ჰარმონიკების ფილტრი;
- არარეგულირებადი, მექანიკურად ჩართვადი ტევადობები ან რეაქტორები (ჩართვა ხდება ამომრთველით).



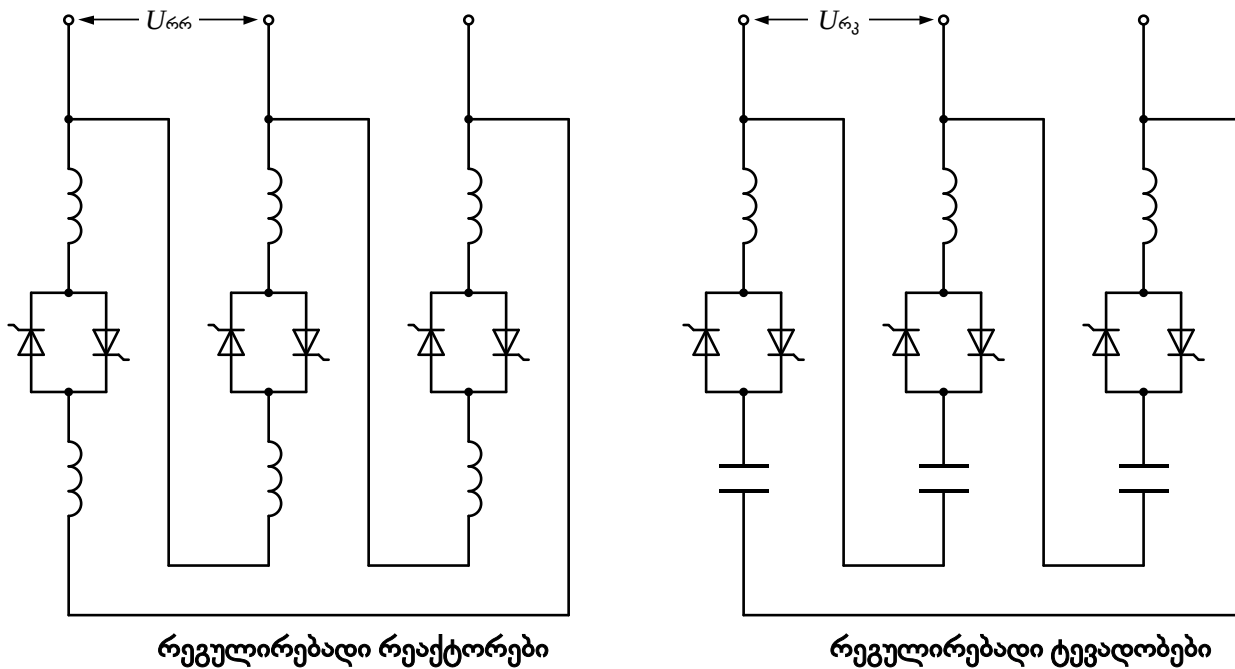
ნახ. 7.56

ტირისტორულად მართვადი რსსმ

რსსმ-ისა და მისი მოწყობილობების ქსელთან მიერთების ტიპური ცალხაზოვანი სქემა მოყვანილია ნახ. 7.56-ზე.

რსსმ-ის მიერ ძაბვის რეგულირება ხდება ე.წ. შეკურული რეგულირების წრედის მექონე კონტროლერების დახმარებით, რომელიც მოქმედებაში მოდის ძაბვის „მუშა წერტილიდან“ გადახრის შემთხვევაში.

ვინაიდან ტირისტორების მოქმედების გამო ქსელში გაცემულ/მოხმარებულ რეაქტიულ სიმძლავრეს ექნება არასინუსოიდური სახე, ამიტომ წარმოიქმნება კენტი რიგის ჰარმონიკები. მათ შესამცირებლად, რსსმ აღჭურვილია დიდი სიმძლავრის ფილტრებით, რომლებიც აგლეუვენ ძაბვის ფორმებს. ფილტრები თავისთავად რეაქტიული სიმძლავრის წყაროს წარმოადგენენ და, ამრიგად, ქსელს დამატებით კვებავენ ამ სიმძლავრით.



ნახ. 7.57

ქსელთან მიერთება და რეგულირება. ჩვეულებრივ, რსსმ-ს არ ამზადებენ 220 კვ და უფრო მაღალ ნომინალურ ძაბვებზე. ჩვეულებრივ, ქსელთან მათი მიერთება ხდება ამწვევი ტრანსფორმატორის საშუალებით, რომლის დაბალი ნომინალური ძაბვაა დაახლოებით 10 კვ. ეს რსსმ-ის ზომებისა და კომპონენტების შემცირების საშუალებას იძლევა. თუმცა, რსსმ-ის გამტარებს გააჩნიათ საკმაოდ დიდი კვეთი, რათა უზრუნველყონ ნომინალური ძაბვის შემცირების შედეგად გაზრდილი ნომინალური დენების გატარება. აღსანიშნავია, რომ, თუკი რსსმ დაყენებულია რკალური ღუმლების სამრეწველო საწარმოებთან, მაშინ ისინი შესაძლებელია დამზადებულნი იქნან 35 კვ ნომინალური ძაბვებისთვისაც.

თავი VIII

ქვესადგურების დაწესებულების მაღაშეცდმების

8.1 ზოგადი ცნობები

ელექტროსადგურისა და ქვესადგურის დანადგარების ნორმალური და საიმედო მუშაობისთვის საჭიროა მათი იზოლაცია დაცული იქნას ძაბვის დასაშვებზე მეტად გაზრდისგან ანუ გადამეტებისგან. იზოლაცია ნორმალური პირობებში მუშაობისას მუდმივად იმყოფება მუშა ძაბვის ქვეშ, რომლის მნიშვნელობა ან ნომინალური ძაბვის ტოლია, ანდა უმნიშვნელოდ ($10\div 15\%$) აღემატება მას. დანადგარის იზოლაცია ისე უნდა იყოს გათვლილი, რომ ნორმალურად უძლებდეს ძაბვის ასეთ გაზრდას.

გადაძაბვას უწოდებენ ელექტრულ ქსელში ძაბვის გაზრდას მუშა მაქსიმალური ძაბვის სიდიდებზე მეტად. მუშა მაქსიმალური ძაბვა დამოკიდებულია ნომინალურ ძაბვაზე (ცხრილი 8.1), ამასთან, რაც უფრო დიდია ნომინალური ძაბვა, მით უფრო მცირდება იზოლაციის მარაგი, ანუ მცირდება ძაბვის მუშა მაქსიმალური მნიშვნელობის შეფარდება ნომინალურ სიდიდესთან.

ცხრილი 8.1

$U_{\text{ნომ}} \text{ (კვ)}$	6	10	35	110	220	330	400	500
$U_{\text{max}} \text{ (კვ)}$	7.2	12	40.5	126	242	347	420	525
$U_{\text{max}} / U_{\text{ნომ}}$	1.2	1.2	1.15	1.15	1.1	1.05	1.05	1.05

გადამეტებები იზოლაციას უქმნიან მუშაობის რთულ პირობებს, იწვევენ მათ დაძველებას, დაზიანებას და მწყობრიდან გამოსვლასაც კი. ეს დანადგარის დაზიანების და შესაძლოა მთლიანი ელსადგურის, ქვესადგურის ან გადაცემის ხაზის მუშაობის რეჟიმის დარღვევის მიზეზიც კი გახდეს, მაშასადამე, შესაძლოა ენერგოსისტემაც დააზარალოს.

ამრიგად, გადაძაბვის სიდიდის შეზღუდვა ელექტრულ სისტემებში და, კერძოდ, ელექტრულ სადგურებსა და ქვესადგურებში ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა.

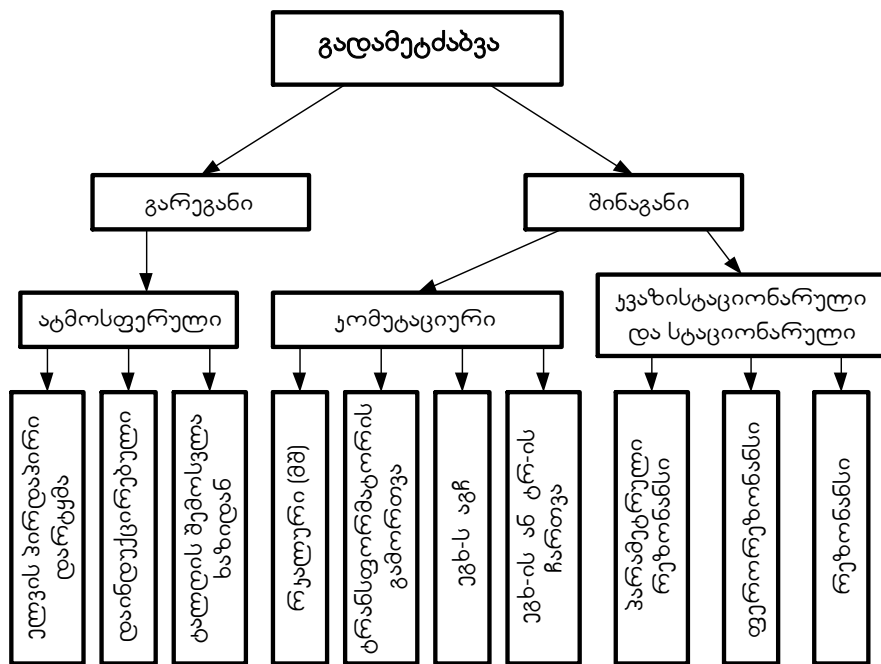
არსებობს გადამეტების ორი ძირითადი სახე :

1. გარეგანი (ატმოსფერული)
2. შინაგანი (გარდამავალი პროცესები ელექტრულ ქსელებში)

თავის მხრივ, აღნიშნული გადამეტებები შეიძლება გამოწვეული იყოს სხვადასხვა მიზეზებით. აღნიშნული მიზეზები და გადამეტებების ზოგადი კლასიფიკაცია მოყვანილია ნახ. 8.1-ზე.

გადამეტებების ანალიზისთვის საჭიროა მათი შემდეგი მახასიათებლების ცოდნა:

1. გადაძაბვის ამპლიტუდის მაქსიმალური მნიშვნელობა, ან გადაძაბვის ჯერადობა;
2. გადაძაბვის მოქმედების ხანგრძლივობა;
3. გადაძაბვის მრუდის ფორმა (აპერიოდული, რხევითი, მაღალსიხშირული და სხვა).
4. ქსელის ელემენტი, რომელზეც გადამეტება მოქმედებს.



ნახ.8.1 გადამეტაბვების კლასიფიკაცია

220 კვ-მდე ძაბვის ქსელებში იზოლაცია უძლებს თითქმის ნებისმიერი ჯერადობის კომუტაციურ გადამეტაბვას. ამიტომ ზემოაღნიშნულ ნომინალურ ძაბვებზე ძირითად ყურადღებას აქცევენ ატმოსფერული გადამეტაბვისგან დაცვას.

330 კვ და უფრო მაღალი ძაბვის ქსელებში ისეთივე საშიშია ატმოსფერული გადამეტაბვები, როგორც შედარებით დაბალი ძაბვის ქსელებში; 330 კვ-ზე მაღალი ძაბვების დანადგარებისათვის განსაკუთრებულ საფრთხეს ქმნის კომუტაციური გადაძაბვა. ეს გამოწვეულია შემდეგი მიზეზით: ზემაღალ ძაბვებზე ხაზებს, დიდი სიგრძეების გამო, გააჩნიათ დიდი ინდუქტიურობები; მეორე მხრივ, ხაზებსა და ასევე ქვესადგურის აპარატურას, საჭირო იზოლაციის შესაქმნელად, აქვთ დიდი გაბარიტები და, შესაბამისად, დიდი ტევადობები. განსაკუთრებულად დიდი ტევადობებისა და ინდუქტიურობის ერთობლიობა კი, სხვადასხვა სახის კომუტაციური პროცესების შემთხვევაში, ქმნის რეზონანსული კონტურების წარმოქმნის საშიშროებას, რაც ასეთი სახის გადაძაბვას განსაკუთრებით საშიშს ხდის. ამიტომ 330 კვ და უფრო მაღალი ნომინალური ძაბვის ქსელებში აპარატურას მაღალი ყურადღებით იცავენ, როგორც ატმოსფერული, ასევე კომუტაციური გადამეტაბვებისაგან.

ქვესადგურის მოწყობილობებზე შესაძლოა ადგილი ჰქონდეს ატმოსფერული გადამეტაბვის, როგორც უშუალო (მეხდაცლა), ასევე არაპირდაპირ ზემოქმედებას. ამ უკანასკნელს ადგილი ექნება მეხის ტალღის შემოჭრის შემთხვევაში, ქვესადგურში შემომავალი ელექტროგადაცემის ხაზის გავლით. ამრიგად, უნდა განხორციელდეს ელსადგურის და ქვესადგურის ობიექტების დაცვა ატმოსფერული გადამეტაბვის, როგორც პირდაპირი, ასევე არაპირდაპირი ზემოქმედებისგან.

8.2.1 ელვის პირდაპირი დარტყმისაგან დაცვა

ელვის მიწაზე განმუხტვისას შეიძლება დაზიანდეს სხვადასხვა ენერგეტიკული ობიექტი, კერძოდ, ელსადგურებისა და ქვესადგურების მონყობილობები და საჰაერო გადაცემის ხაზები. დარტყმის ადგილზე ჩნდება მილიონ ვოლტამდე ამპლიტუდის და რამდენიმე მიკროწამი ხანგრძლივობის (იმპულსური) ძაბვა, ე.ი. ეს ძაბვა აღემატება ელექტრომონყობილობებისა და ეგზ-ების იზოლაციის იმპულსურ სიმტკიცეს.

ელექტროენერგეტიკული ობიექტების ელვის უშუალო დარტყმისაგან დასაცავად გამოიყენება მესამრიდები. ქვესადგურებში იყენებენ ღეროვან მესამრიდ ან ძებს, ხოლო ელექტროგადაცემის ხაზებზე - მესამრიდ გვარლებს. მესამრიდების ეფექტური მუშაობის აუცილებელი პირობაა მათი კარგი ჩამინება (იხილეთ ქვეთავი 7.11).

ელვის პირდაპირი დარტყმისგან დასაცავად აუცილებელია, რომ ობიექტი მოქცეული იყოს დაცული სივრცის შიგნით, რომელიც წარმოადგენს მესამრიდის დაცვის ზონას. მესამრიდის დაცვის ზონა ეწოდება მესამრიდის ირგვლივ სივრცეს, რომელშიც ელვის მოხვედრის ალბათობა მინიმალურია.

8.2.2 ღეროვანი მესამრიდის დაცვის ზონა

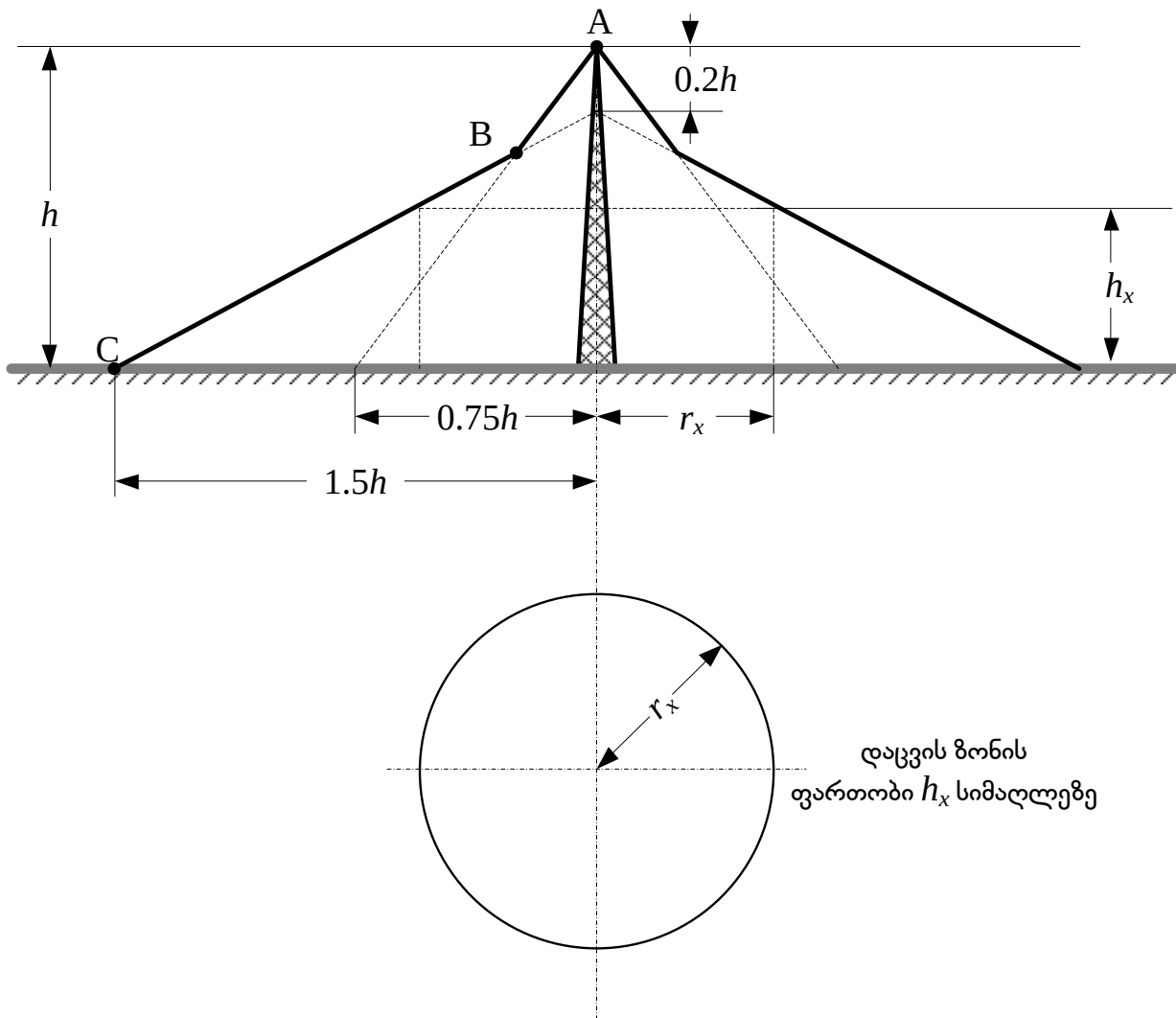
ერთღეროვანი მესამრიდის დაცვის ზონა შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც სივრცე, რომელიც მიიღება, მესამრიდის ღერძის ირგვლივ (ნახ. 8.2), ABC ტეხილი ხაზის ბრუნვის შედეგად. ამ ტეხილის AB მონაკვეთი აერთებს h სიმაღლის მქონე მესამრიდის წვერს და მესამრიდის ღერძიდან მიწის ზედაპირზე $0.75 h$ -ით დაშორებულ წერტილს. BC მონაკვეთი აერთებს მესამრიდის 0.8 სიმაღლეზე განლაგებულ წერტილს მესამრიდის ღერძიდან მიწის ზედაპირზე $1.5h$ -ით დაშორებულ წერტილთან. წერტილი B მდებარეობს $2/3 h$ სიმაღლეზე.

$h_x < 2/3h$ სიმაღლეზე დაცვის რადიუსი გამოითვლება ფორმულით:

$$r_x = 1.25h \left(1 - \frac{h_x}{0.8h} \right) \quad (8.1)$$

ხოლო $h_x > 2/3h$ სიმაღლეზე - გამოითვლება ფორმულით:

$$r_x = 0.75h \left(1 - \frac{h_x}{h} \right) \quad (8.2)$$



ნახ. 8.2

ღეროვანი მესამრიდის დაცვის ზონის აგება

ორანძიანი ღეროვანი მესამრიდის დაცვის ზონის (ნახ. 8.3) განაპირა ნაწილი აიგება იმავე პრინციპით, რითაც ერთანძიანი მესამრიდის ზონა. მესამრიდებს შორის ზონას კი აქვს განსხვავებული ფორმა. თუკი მესამრიდებს შორის მანძილია a , დაცვის ზონის მინიმალური ეფექტური სიმაღლე იქნება:

$$h_a = h - a/7 \quad (8.3)$$

ასეთი დაცვის ზონის ეფექტურობისთვის უნდა შესრულდეს პირობა:

$$a < 7h_a \quad (8.4)$$

ზედხედში დაცვის ზონა შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ, როგორც a მანძილით ურთიერთდაშორებული r_x რადიუსის მქონე ორი რკალისა და მათი ცენტრების შემაერთებელი OE მართობის შეუღლებით მიღებული ფიგურა (ნახ. 8.3). ამ ფიგურაზე OE მონაკვეთის სიგრძე ნაკლებია r_x რადიუსზე და გამოითვლება ფორმულით

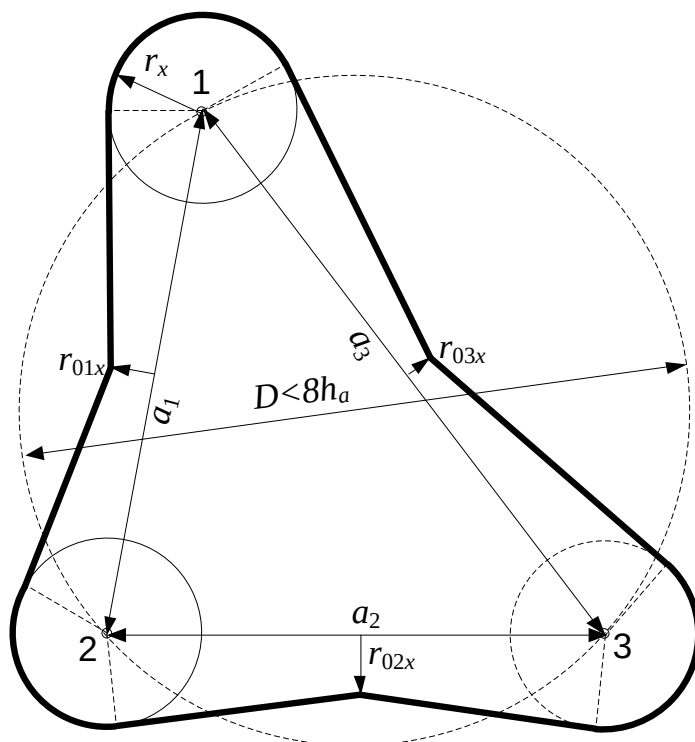
$$r_{0x} = \frac{14h_a - 2a}{14h_a - a} r_x p \quad (8.5)$$

სადაც

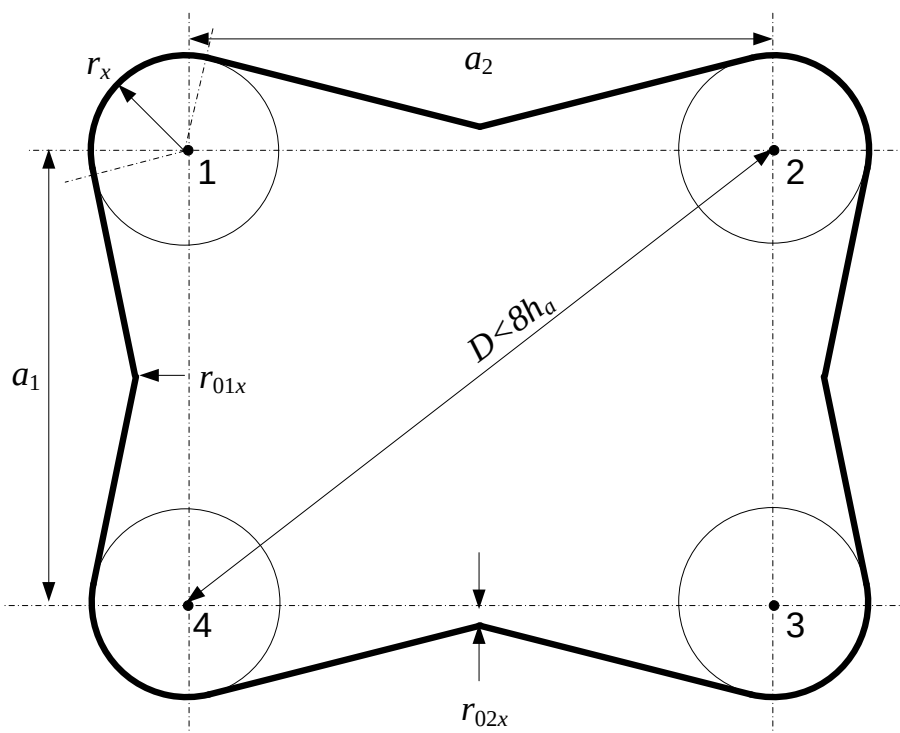
$p = 1$, თუ $h \leq 30$ მ; და

$p = \sqrt{30/h}$, თუ $h > 30$ მ

ოთხანძიანი ზონის შემთხვევაში D წარმოადგენს დაშორებას არამეზობელ (მაგალითად „2“ და „4“) მეხამრიდებს შორის.



ნახ. 8.4 დაცვის ზონები სამი მეხამრიდის დროს



ნახ. 8.5 დაცვის ზონები ოთხი მეხამრიდის დროს

მაგალითი 8.1.

ვთქვათ, გვაქვს ქვესადგურში განლაგებული ობიექტი, რომელიც უნდა დავიცვათ მების პირდაპირი დარტყმისაგან. ობიექტის სიგრძე $l = 75$ მ, სიგანე $m = 40$ მ, სიმაღლე $h_x = 9.5$ მ. აღნიშნული ობიექტი განლაგებულია ოთხ პორტალს შორის (ნახ. 8.3). დავუშვათ, მაქსიმალური სივრცის დაცვის მიზნით, მესამრიდ ანძებს განვალაგებთ თითოეული პორტალის პერიფერიების სიახლოვეს, რაც გვაძლევს ანძებს შორის მანძილებს $a_1 = 65$ მ და $a_2 = 50$ მ. ვიპოვოთ ანძების მინიმალური საჭირო სიმაღლე (პორტალების სიმაღლის ჩათვლით) და განვსაზღვროთ ზონის ფორმა, რომელიც უზრუნველყოფს ობიექტის სივრცის სრულ მუხდაცვას.

ამოხსნა

დაცვის მინიმალური სიმაღლე შეიძლება გამოთვლილი იქნას ფორმულით:

$$h_a > 1.1h_x = 1.1 \times 9.5 = 10.45 \text{ მ}$$

შევამოწმოთ ოთხმანძიანი დაცვისთვის არამეზობელი ანძების მაქსიმალური დაშორების პირობა (8.6):

$$D < 8h_a$$

ანუ

$$D = \sqrt{a_1^2 + a_2^2} = \sqrt{65^2 + 50^2} = 82 < 8h_a = 8 \times 10.45 = 83.6$$

ამრიგად, $D < 8h_a$ პირობა სრულდება.

პორტალისა და ანძის სრული სიმაღლე შეიძლება გამოთვლილი იქნას ფორმულით (8.3):

$$h = h_a + a_1 : 7 = 10.45 + 65 : 7 = 19.74 \text{ მ}$$

როდესაც ანძები ერთმანეთისგან დაშორებულნი არიან გარკვეული მანძილით, ამ მანძილის ცენტრში იქმნება ყველაზე „ვინრო“ დაცვის ზონა, რომელიც დაშორებულია ანძების შემაერთებელი მონაკვეთიდან r_{0x} მანძილით. ეს მანძილი, თავის მხრივ დამოკიდებულია დაცვის (საძიებელ) რადიუსზე r_x (8.5) გამოსახულებით:

$$r_{0x} = 2r_x \frac{7h_a - a}{14h_a - a}$$

საიდანაც

$$r_x = r_{0x} \frac{(14h_a - a)}{2(7h_a - a)}$$

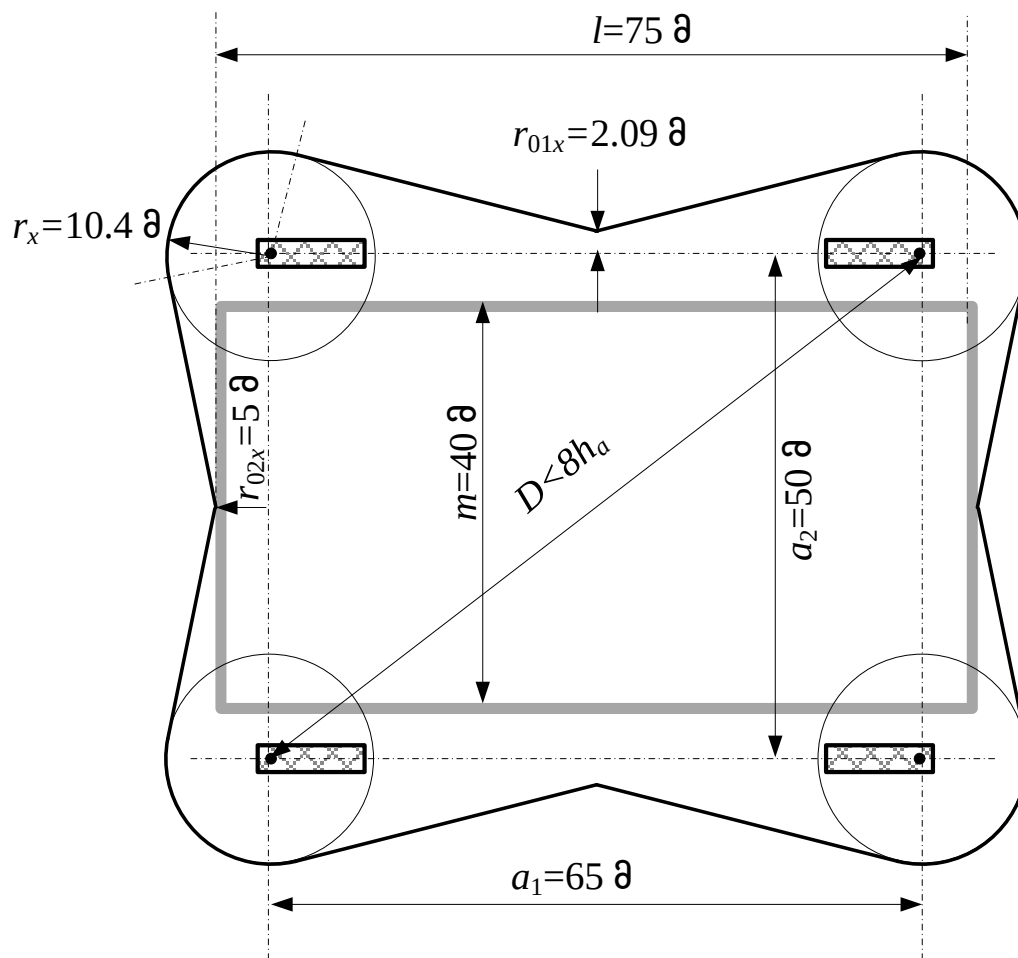
დავადგინოთ, დაცვის ზონის საძიებელი მანძილები

$$r_{02x} = \frac{l}{2} - \frac{a_1}{2} = \frac{75}{2} - \frac{65}{2} = 5 \text{ მ}$$

$$r_x = r_{02x} \frac{(14h_a - a_1)}{2(7h_a - a_1)} = 5 \times \frac{(14 \times 10.45 - 50)}{2 \times (7 \times 10.45 - 50)} = 10.4 \text{ მ}$$

$$r_{01x} = r_x \frac{14h_a - 2a_2}{14h_a - a_2} = 10.4 \times \frac{14 \times 10.45 - 2 \times 65}{14 \times 10.45 - 65} = 2.09 \text{ მ}$$

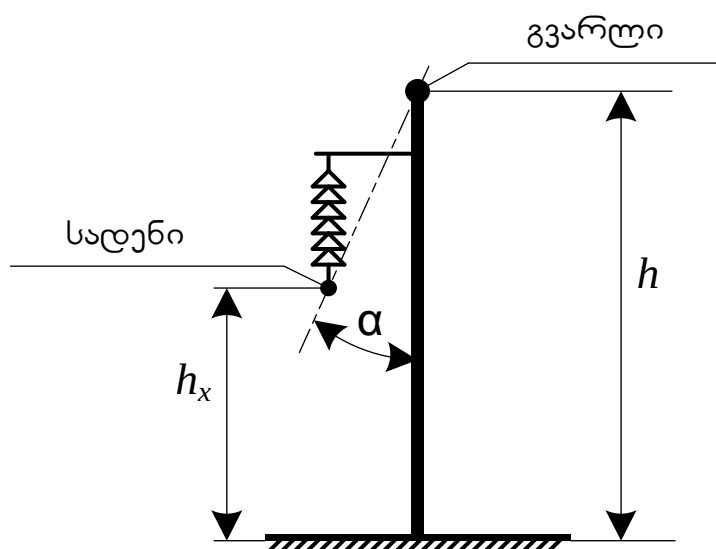
ამრიგად, შეგვიძლია ავაგოთ სრული მუხდაცვის ზონა (ნახ. 8.8)



ნახ. 8. მ დაცვის ზონები ოთხი მესამრიდის დროს

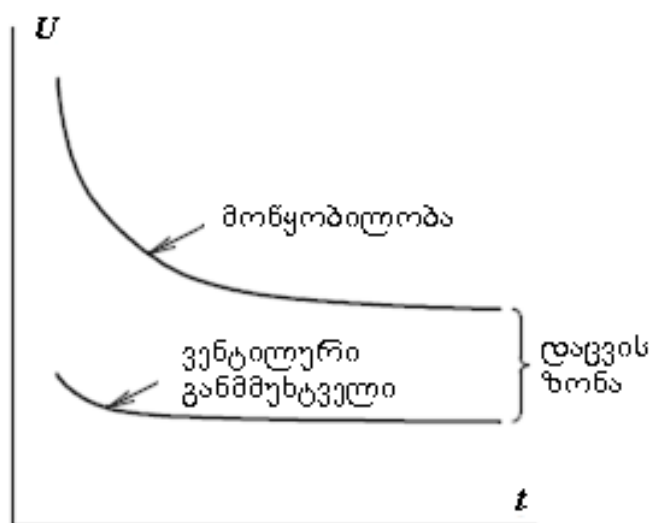
8.2.3 გვარლური მესამრიდის დაცვის ზონები

გვარლური მესამრიდეები ძირითადად გამოიყენება ეგზ-ების სადენების დასაცავად, ამიტომ ამ შემთხვევაში ვსარგებლობთ არა დაცვის ზონებით, არამედ დაცვის კუთხეებით. ეს არის კუთხე გვარლის მართობულ წრფესა და სადენისა და გვარლის შემაერთებელ წრფეს შორის (ნახ.8.6). 1000 კმ-მდე სიგრძის 500 კვ ძაბვის ხაზებზე ატმოსფერული განმუხტვების (ელვა) სეზონზე ხდება დაახლოებით 200 განმუხტვა. ამიტომ მაღალი ძაბვის ხაზების დაცვა გვარლური მესამრიდეებით წარმოადგენს მნიშვნელოვან საკითხს. ექსპლუატაციის პრაქტიკამ აჩვენა, რომ დაცვის კუთხე უნდა იყოს $20 \div 25^\circ$ (ნახ. 8.6). საყრდენის ჩამინების წინალობა, როგორც აღვნიშნეთ, ყრუდამინებული ნეიტრალის შემთხვევაში, უნდა იყოს 5 ომზე ნაკლები, ხოლო იზოლირებული ნეიტრალისათვის - 10 ომზე ნაკლები.



ნახ.8.6
გვარლური მესამრიდის დაცვის ზონა

ელექტროგადაცემის ხაზების გადაძაბვებისგან დასაცავად ასევე გამოიყენება ვენტილური განმმუხტველები (ვგ) და გადაძაბვის არახაზოვანი შემზღუდველები (გაშ). ვენტილურ განმმუხტველს გააჩნია დამრეცი ვოლტ-წამური მახასიათებელი, რაც საშუალებას აძლევს მას დაიცვას ობიექტი ხაზიდან შემოსული ტალღის სიგრძის ფართო დიაპაზონში ცვლილებისას.



ნახ. 8.7
დასაცავი ობიექტისა და ვენტილური განმმუხტველის ვოლტ-წამური მახასიათებლები

8.3. გადაძაბვისგან დამცავი მოწყობილობები

8.3.1 ზოგადი ცნობები

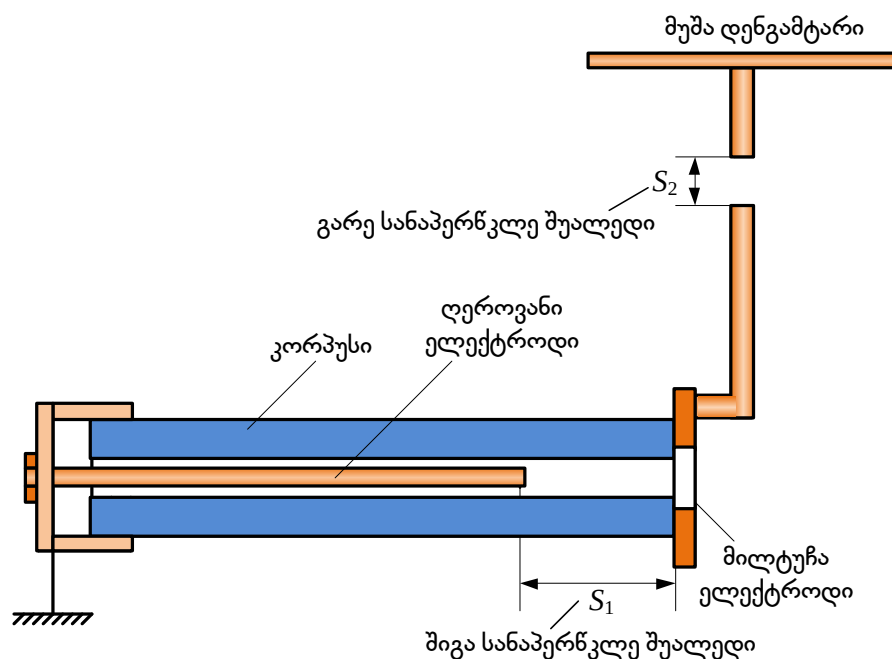
მეხი, პირდაპირი ზემოქმედების გარდა, რომლისგან დაცვაც ხორციელდება მეხამრიდი ანძებით, შეიძლება მოქმედებდეს ქვესადგურის მოწყობილობებზე არაპირდაპირი გზითაც – ხაზიდან შემოჭრილი გადამეტაბვების ტალღის სახით. ასეთ შემთხვევებში მოწყობილობების დაცვა ხორციელდება მცდელობების ანუ განმმუხტველების საშუალებით. მათი ზოგიერთი ტიპი ასევე ახორციელებს დაცვას კომუტაციური გადამეტაბვებისგანაც. განმმუხტველის დანიშნულებაა დაიცვას ქვესადგურის და ელექტროგადაცემის ხაზების იზოლაცია გადამეტაბვის ტალღისგან.

განმმუხტველის ძირითად ელემენტს წარმოადგენს სანაპერწკლე შუალედი, რომელიც მუშა სადენს გამოყოფს ჩამამინებლისაგან. გადამეტაბვის ტალღა გაარღვევს სანაპერწკლე შუალედს და იწვევს ჭარბი მუხტების მიწაში ჩადინებას. ხდება ტალღის “მოკვეთა”. გადამეტაბვის სიდიდის შეზღუდვის გარდა, განმმუხტველის ფუნქციაში შედის სამრეწველო სიხშირის თანმხლები დენის ქრობა, რომელიც გაივლის განმმუხტველის სანაპერწკლე შუალედში, იმპულსური გარღვევისთანავე. თანმხლები დენის ქრობის მიხედვით, განასხვავებენ განმმუხტველების შემდეგ სახეებს: ვენტილურს და მილისებრს. განმმუხტველების გაუმჯობესების შედეგად, შეიმუშავეს გადამეტაბვის არახაზოვანი შემზღუდველი, რომელსაც სანაპერწკლე შუალედი აღარ გააჩნია და გადაძაბვის მოხსნა ხდება მხოლოდ ძალიან მკვეთრად არაწრფივი წინაღობის ხარჯზე.

8.3.2 მილისებრი განმმუხტველები

მილისებრი განმმუხტველი წარმოადგენს პოლიმერებისაგან დამზადებულ რკალმქრობ მილს. თერმული ზემოქმედებისას პოლიმერები იშლებიან, მნიშვნელოვანი რაოდენობის გაზების გამოყოფის და დიდი დანახშირების გარეშე. მილისებრი განმმუხტველი დამზადებულია პოლიეთილენისაგან ან ორგანული მინისაგან. (თავდაპირველად XX საუკუნის დასაწყისში ეს იყო ფიბრა). მილის ორივე ბოლოში დამაგრებულია ელექტროდები, ერთი ელექტროდი დამიწებულია, ხოლო მეორე - განლაგებულია მისგან მცირე მანძილზე (მანძილის დადგენა ხდება დასაცავი უბნის მიხედვით). გადაძაბვის დროს განმმუხტველსა და ორ ელექტროდს შორის ორივე შუალედი ირღვევა. გარღვევის შედეგად მილში ადგილი აქვს გაზების ინტენსიურ წარმოქმნას (ძირითადად, ნახშიროჟანგი CO_2), რომელიც აცივებს რკალს, აქრობს მას და კორპუსიდან გამოიტყორცნება სპეციალური სარქველებით.

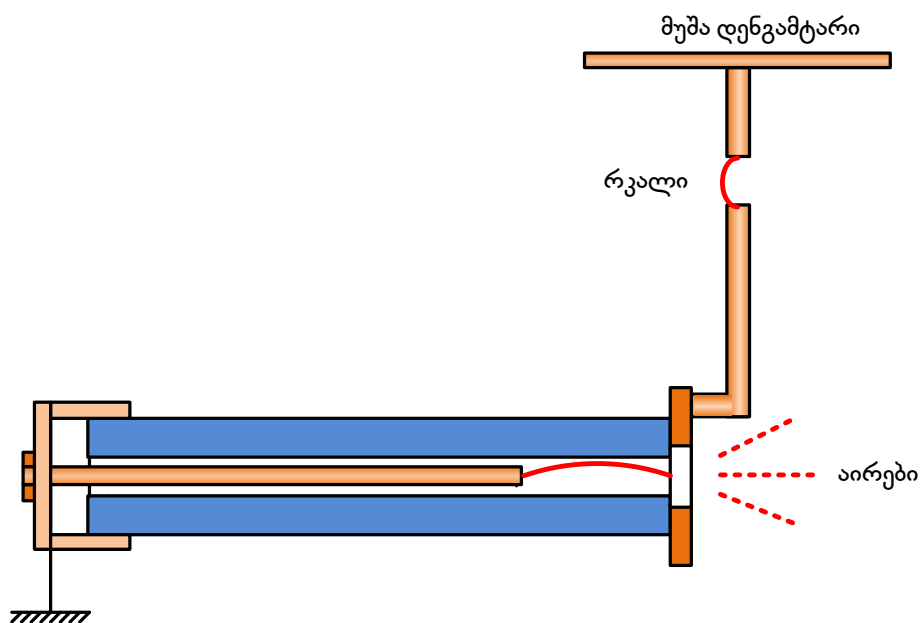
მილისებრი განმმუხტველის (ნახ. 8.8) კორპუსი წარმოადგენს აირმაგენერირებელ მილს, რომლის შიგა ნაწილში, ღეროვან და მილტუჩა ელექტროდებს შორის, მოთავსებულია რკალსაქრობი S_1 შუალედი. აირმაგენერირებელმა მილმა მუშა ძაბვის გამუდმებით მოდებისას შეიძლება დაკარგოს თავისი თვისებები, ამიტომ მისი მოხსნა განხორციელებულია გარე S_2 სანაპერწკლო შუალედით (ნახ.8.8)



ნახ.8.8 მილისებრი განმმუხტველი

როგორც აღვნიშნეთ, რკალის არხის მაღალი ტემპერატურის ზეგავლენით, მილის მასალიდან გამოიყოფა დიდი რაოდენობით აირი, სათანადოდ, მკვეთრად იზრდება წნევა მილში (რამდენიმე ათეულ ატმოსფერომდე) და იონიზებული აირი დიდი ძალით გამოიტყორცნება მილტუჩას ხვრელიდან. რაც ქმნის ინტენსიურ გრძივ შებერვას და დენის პირველივე ნულზე გადასვლისას რკალი ქრება.

განმმუხტველის მოქმედებისას, მისგან რამდენიმე მეტრის სიგრძეზე, ჩირალდნის სახით გამოიტყორცნება გავარვარებული იონიზებული აირები, რასაც თან სდევს გასროლის მსგავსი ხმაური. ფაზათაშორისი გადაფარვების ასარიდებლად, განმმუხტველის დამონტაჟებისას, საჭიროა, რომ გამოტყორცნილი აირის ზონაში არ მოხვდეს მეზობელ ფაზათა დენგამტარი ნაწილები.



ნახ.8.9 მილისებრი განმმუხტველი განმუხტვისას

განმმუხტველის გამრღვევი ძაბვის რეგულირება ხორციელდება S_2 შუალედის ზომის ცვლილებით, მაგრამ მისი შემცირება შეიძლება მხოლოდ გარკვეულ მინიმუმამდე, წინააღმდეგ შემთხვევაში მოხდება განმმუხტველის ხშირი მოქმედება.

ცხრილი 8.2 S_2 შუალედის მინიმალურად დასაშვები მანძილები

$U_{\text{ნომ}}$ (კვ)	3	6	10	35	110
S_2 (მმ)	10		15	60	250

რკალის საიმედო ქრობისათვის საჭიროა გარკვეული ინტენსივობის გაზის გენერაცია, ამიტომ არსებობს გამორთვის დენის მინიმალური მნიშვნელობა $I_{\min}$, რომლის დროსაც განმმუხტველს კიდევ შეუძლია $1 \div 2$ ნახევარ პერიოდში რკალის ქრობა. გამორთვის დენის მაქსიმალური $I_{\max}$ მნიშვნელობაც აგრეთვე შეზღუდულია, რადგან ძალიან დიდი რაოდენობით აირის გენერაციამ შეიძლება გამოიწვიოს განმმუხტველის დაზიანება. გამორთვის დენების ღიაპაზონი მოცემულია განმმუხტველის ტიპის აღნიშვნაზე, მაგალითად, $PT \frac{35}{0.5-2.5}$ აღნიშნავს მილისებურ განმმუხტველს, 35 კვ ნომინალურ ძაბვაზე, ზღვრული გამორთვის დენებით 0.5 და 2.5 კა.

რკალსაქრობი შუალედის შემცირებით და განმმუხტველის დიამეტრის გაზრდით გამორთვის დენების ორივე საზღვარი წაინაცვლებს მეტი მნიშვნელობებისკენ.

როგორც აღვნიშნეთ, განმმუხტველის მოქმედებას თან ერთვის რკალსაქრობი მილის შიგა ნაწილის გამოწვა. 8-10 მოქმედების შემდეგ დიამეტრი, პირვანდელთან შედარებით, 20-25%-ით გაიზრდება და განმმუხტველი ხდება უვარგისი. ეს იმიტომ, რომ იცვლება გამორთვის დენების საზღვრები. მოქმედების რეგისტრაციისთვის განმმუხტველზე დაყენებულია განმუხტვის რიცხვის მაჩვენებელი.

PTΦ ტიპის მილისებრ განმმუხტველებში გაზის გენერაცია ხდება ფიბრის მილში. ფიბრის მცირე მექანიკური სიმტკიცის გამო, მას ათავსებენ ბაკელიტის სქელ მილში, რომლის ზედაპირს ფარავენ ტენგამძლე ლაქით.

PTB ტიპის განმმუხტველებში გაზის გენერირება ხორციელდება ვინიპლასტის მილში, რომელსაც აქვს მაღალი მექანიკური და ელექტრული სიმტკიცე. სათანადოდ, ის ფართოდ გამოიყენებოდა ღია გამანაწილებელ მოწყობილობაში, რადგან კარგად უძლებს ატმოსფერულ ზემოქმედებას, როგორც ზამთრის, ასევე გაზაფხულის პერიოდში. ქსელებში, სადაც ძალიან მაღალი გამორთვის დენებია, გამოიყენებოდა გაძლიერებული PTBY ტიპის განმმუხტველი, რომელშიც ვინიპლასტის მილზე ფენებად დახვეულია ეპოქსიდის მილში გაუღენთილი ლენტა. მილისებრი განმმუხტველების გამტარობის უნარი, პრაქტიკულად, განისაზღვრება ხაზზე ატმოსფერული დარტყმის მთელი დენით, რომლის სიდიდეა $20 \div 50$ კა.

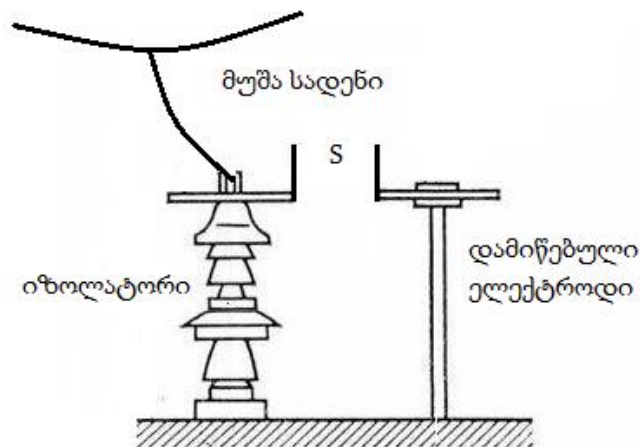
მილისებრი განმმუხტველის შერჩევა ხორციელდება ქსელის ნომინალური ძაბვით და განმმუხტველის დაყენების წერტილში მოკლე შერთვის დენის ზღვრული მნიშვნელობებით. ამრიგად, დენის მაქსიმალური მნიშვნელობა განისაზღვრება იმ პირობისთვის, როდესაც ჩართულია ქსელის ყველა ელემენტი, მაშასადამე, მოკლე შერთვის დენების აპერიოდული მდგენელების მხედველობაში მიღებით; ხოლო დენის მინიმალური მნიშვნელობა განისაზღვრება იმ პირობისათვის, როდესაც სქემის ელემენტები ნაწილობრივ

გამორთულია - აპერიოდული მდგენელების გაუთვალისწინებლად. ანგარიშით მიღებული მშდენები უნდა თავსდებოდეს არჩეული მილისებრი განმმუხტველის მარკირების გამორთვის დენების საზღვრებში, ე.ი.

$$I_{\min} \leq I_{\text{მ.შ.}\min} \quad \text{და} \quad I_{\text{მ.შ.}\max} \leq I_{\max}$$

მილისებრი განმმუხტველები მზადდება 3-220 კვ ძაბვაზე. იგი გამოიყენება სახაზო იზოლაციის დასაცავად და ქვესადგურების დაცვის სქემებში წარმოადგენს დამხმარე ელემენტს.

მილისებრი განმმუხტველების არასაკმარისი რიცხვის შემთხვევაში, მესადაცვის სქემებში გამოიყენება დამცავი სანაპერწკლო შუალედები (დ.შ.) (იხ ნახ. 8.10), რომლებიც სრულდებიან ღეროვანი ელექტროდების სახით და მათი ერთმანეთთან დაშორება ხდება ცხრილ 8.3-ში მოცემულ მანძილებზე. ღეროვანი ელექტროდები მაგრდება საყრდენი იზოლატორების კოლონებზე ან გირლანდებზე.



ნახ. 8.10

ცხრილი 8.3. დამცავი შუალედების ელექტროდებს შორის მანძილი

$U_{\text{ნომ}}$ (კვ)	6	10	35	110	220
S (კვ)	40	50	200	600	1250

დამცავი სანაპერწკლო შუალედის გარღვევას თან ერთვის გადამეტაბვის ტალღის დახრილი მოკვეთა. ვინაიდან დამცავი სანაპერწკლო შუალედს არ აქვს რკალსაქრობი მოწყობილობა, მოკლე შერთვას თან მოსდევს ელექტროდანადგარის გამორთვა.

ამრიგად, მილისებრი განმმუხტველის დადებითი მხარეებია:

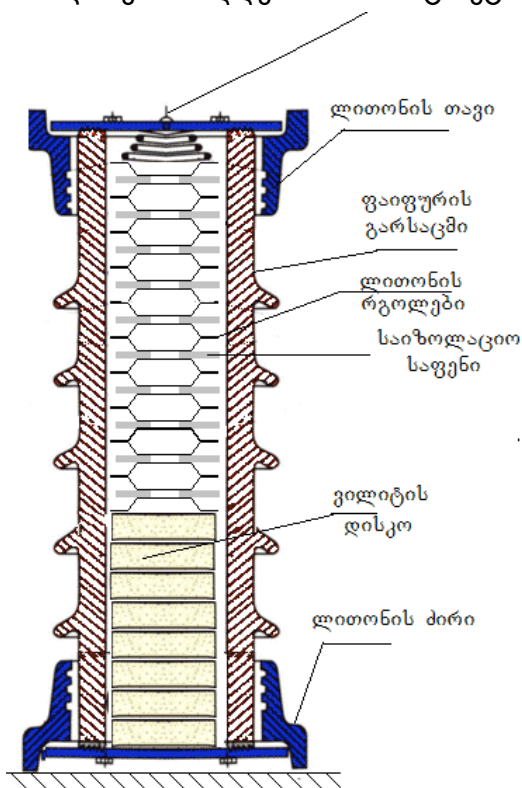
- კონსტრუქციის სიმარტივე;
- მცირე გაბარიტები;
- სიიაფე

მისი უარყოფითი მხარეებია:

- გადამეტაბვის ტალღის მკვეთრი ჩამოჭრა;
- ვარდნილი ვოლტ-წამური მახასიათებელი;
- მისი მოქმედება, ფაქტიურად, ნიშნავს ელექტრულ ქსელში მინასთან მოკლე შერთვის წარმოქმნას;
- რიგ შემთხვევებში, მასთან ერთად დამატებითი დამცავი სანაპერწკლე შუალედის დამონტაჟების აუცილებლობა.

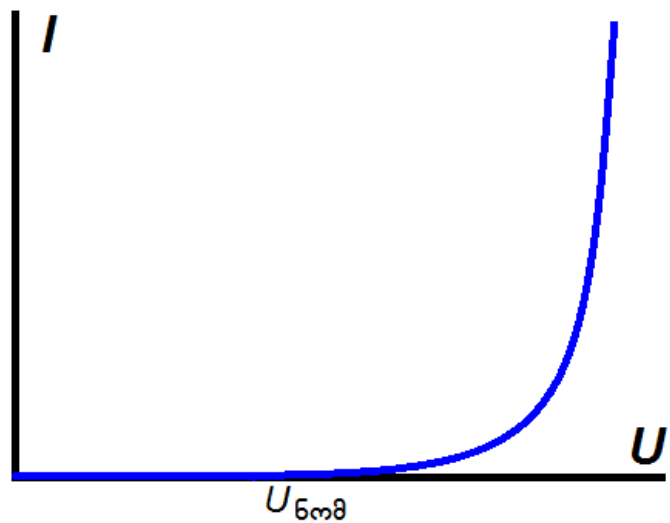
8.3.3 ვენტილური განმმუხტველი

ვენტილური განმმუხტველი (ნახ.8.11) შედგება მიმდევრობით შეერთებული სანაპერწკლო შუალედების სისტემისა და მუშა არაწრფივი ვილიტის წინალობისაგან. ვილიტი ეს არის ხელოვნური მასალა, რომელიც შედგება კარბორუნდის (SiC) ნაწილაკებისაგან. ამ ნაწილაკების ზედაპირზე წარმოიქმნება SiO_2 -ის 10^{-4} მილიმეტრის სისქის აპკი. ამ აპკის წინალობა დამოკიდებულია მასზე მოდებულ ძაბვაზე. შედარებით მცირე ძაბვებისათვის ეს წინალობა დიდი – 10^6 ომი·მ და, ნომინალური ძაბვის სიახლოვესაც კი, დენს პრაქტიკულად არ ატარებს. ამ შემთხვევაში ვილიტის წინალობა უმთავრესად განისაზღვრება ამ აპკების წინალობით. ძაბვის გაზრდისას, აპკების წინალობა მკვეთრად მცირდება და ვილიტის წინალობას განაპირობებს მხოლოდ კარბორუნდის წინალობა. ამ დროს ვილიტი ხდება თითქმის იდეალური გამტარი. ამის გამო ვილიტს გააჩნია არაწრფივი ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი (ნახ. 8.12). ვილიტის წინალობები მზადდება 10-15 სანტიმეტრის დიამეტრისა და 5-6 სმ სისქის დისკოების სახით.



ნახ. 8.11

ვენტილური მცლელის
ელემენტები



ნახ. 8.12

ვილიტში გამავალი დენის დამოკიდებულება
მასზე მოდებულ ძაბვაზე

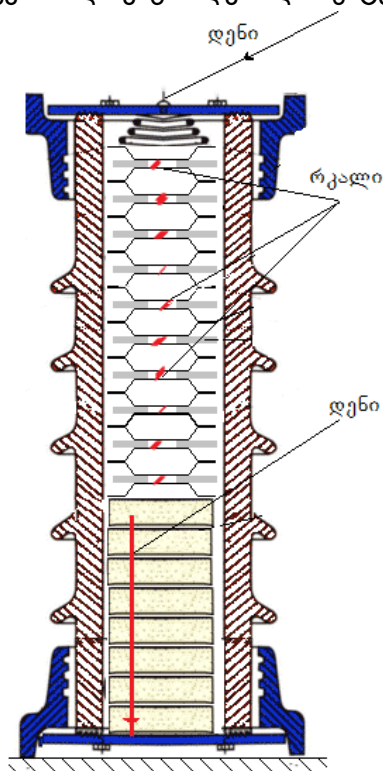
ვილიტის ვოლტამპერული მახასიათებელი მოცემულია ნახ.8.12-ზე. და იგი შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$\lg U = \lg A + \alpha \lg I \quad \text{ან} \quad U = A I^\alpha$$

სადაც A არის კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება ცდით; α - ვენტილირების კოეფიციენტი, რომელიც იცვლება 0.14 - 0.2 დიაპაზონში, როდესაც მესხის დენი $I > 1000$ ა.

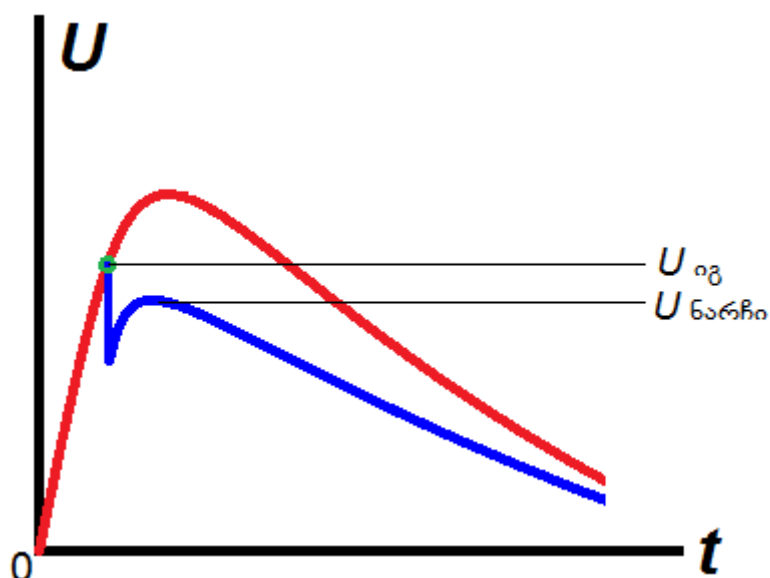
სანაპერწკლო შუალედები შედგება ლითონის (თითბერის) დისკოებისაგან, რომელთა შორის მოთავსებულია საიზოლაციო საფენები. ვინაიდან ვილიტი ჰიდროსკოპიურია ანუ შთანთქავს ნესტს, მცლელს ათავსებენ ფაიფურის გარსაცმში და ჰერმეტიკულად ხურავენ

ლითონის თავით და ძირით. როდესაც მეხის დაცემის შედეგად, ქსელის სადენზე გაჩნდება მაღალი პოტენციალი, სანაპერწკლო შუალედები გაირღვევა და ვილიტის წინალობები აღმოჩნდებიან მიერთებული სადენსა და მიწას შორის. მაღალი ძაბვის გამო მათი წინალობა მკვეთრად შემცირდება და მუხტები სადენიდან ჩავლენ მიწაში.



ნახ. 8.13

ვენტილურ მცლელში
გამავალი დენი განმუხტვისას



ნახ. 8.14

ძაბვის ცვლილება ვენტილურ მცლელში განმუხტვისას

ამის შემდეგ, მცლელში გადის ე.წ. თანმხლები დენი. ამ დენის სიხშირე 50 ჰერცია. ვილიტის წინალობა იწყებს ზრდას და დენის ნულზე გადასვლის დროს რკალი ქრება. თანმხლები დენი, დიდი ალბათობით, ქრება თუ მისი მაქსიმალური სიდიდე არ აღემატება 100 ამპერს. როდესაც განმმუხტველზე მოქმედებს ატმოსფერული გადამეტძაბვის იმპულსი, $U_{ი.გ.}$ - იმპულსური გამრღვევი ძაბვის მიღწევისას, სანაპერწკლო შუალედები გაირღვევა. მცლელის წინალობა მცირდება და მასში (დროის იმ მომენტში) გადის I_{max} მაქსიმალური იმპულსური დენი. მცლელის წინალობა ამ მომენტში მინიმალურია და მასზე ჩნდება ე.წ. ნარჩი ძაბვა $U_{ნარჩი}$.

იზოლაციას ახასიათებენ ე.წ. იმპულსური სიმტკიცით. იზოლაციამ უნდა გაუძლოს გარკვეული სიდიდისა და ხანგრძლივობის დადებითი და უარყოფითი პოლარობის ძაბვის რამდენიმე იმპულსს. ნარჩი ძაბვა ნაკლები უნდა იყოს იზოლაციის იმპულსურ სიმტკიცეზე. ნახ. 8.14-ზე ნაჩვენებია ატმოსფერული გადამეტძაბვის იმპულსი და მცლელით „მოჭრილი“ ძაბვა.

ვენტილური განმმუხტველი, ძირითადად, გამოიყენება ატმოსფერული გადამეტძაბვებისაგან დასაცავად, როდესაც იზოლაციაზე მოქმედებს დიდი ამპლიტუდისა და შედარებით მცირე ხანგრძლივობის მქონე ძაბვის ტალღები. შინაგანი გადამეტძაბვის დროს, როდესაც იზოლაციაზე მაღალი ძაბვის მოქმედების ხანგრძლივობა გაცილებით აღემატება ატმოსფერული იმპულსის მოქმედების დროს, განმმუხტველი, მუშა წინალობის შეზღუდული თბოტევადობის გამო, ვერ უზრუნველყოფს შესაბამისი თბური ენერგიის გამოყოფას და იგი შეიძლება მწყობრიდან გამოვიდეს.

ვენტილური განმმუხტველის დამცავი თვისებები განისაზღვრება შემდეგი პარამეტრებით:

1. იმპულსური გამრღვევი ძაბვა $U_{ი.გ.}$.

2. ნარჩი ძაბვა $U_{ნარჩი}$

3. სამრეწველო სიხშირის გამრღვევი ძაბვა, რომელიც უნდა აღემატებოდეს შინაგანი გადამეტაბვების შესაძლებელ ამპლიტუდურ სიდიდეს, რათა გამორიცხულ იქნას ამ გადაძაბვების დროს განმუხტველების მოქმედება. რკალის ქრობის $U_{ქრ}$ ძაბვა უნდა იყოს, რაც შეიძლება, მაღალი.

განმუხტველის გამტარობის უნარის შეფასება ხორციელდება იმპულსური თანმხლები დენების ამპლიტუდების მაქსიმალური სიდიდებით. აგრეთვე, ენერგიის იმ მაქსიმალური სიდიდით, რომელიც გამოიყოფა განმუხტველში და არ იწვევს მის დაზიანებას. განმუხტველის მუშა წინააღობის გამტარობის უნარი განისაზღვრება მისი მასალითა და გეომეტრიული ზომებით. ნორმების მიხედვით, განმუხტველის გამტარობის უნარი 20-40 მკმ ხანგრძლივობის მქონე იმპულსზე შეადგენს 5 ან 10 კა-ს, ხოლო სწორკუთხა 2000 მკმ იმპულსზე 150 ამპერამდე მცირდება. განმუხტველმა დაზიანების გარეშე უნდა გაუძლოს 20 ასეთ სწორკუთხა იმპულსს. დაცვის კოეფიციენტი

$$K_{დაც} = U_{ნარჩი} / U_{ქრ} \quad (8.7)$$

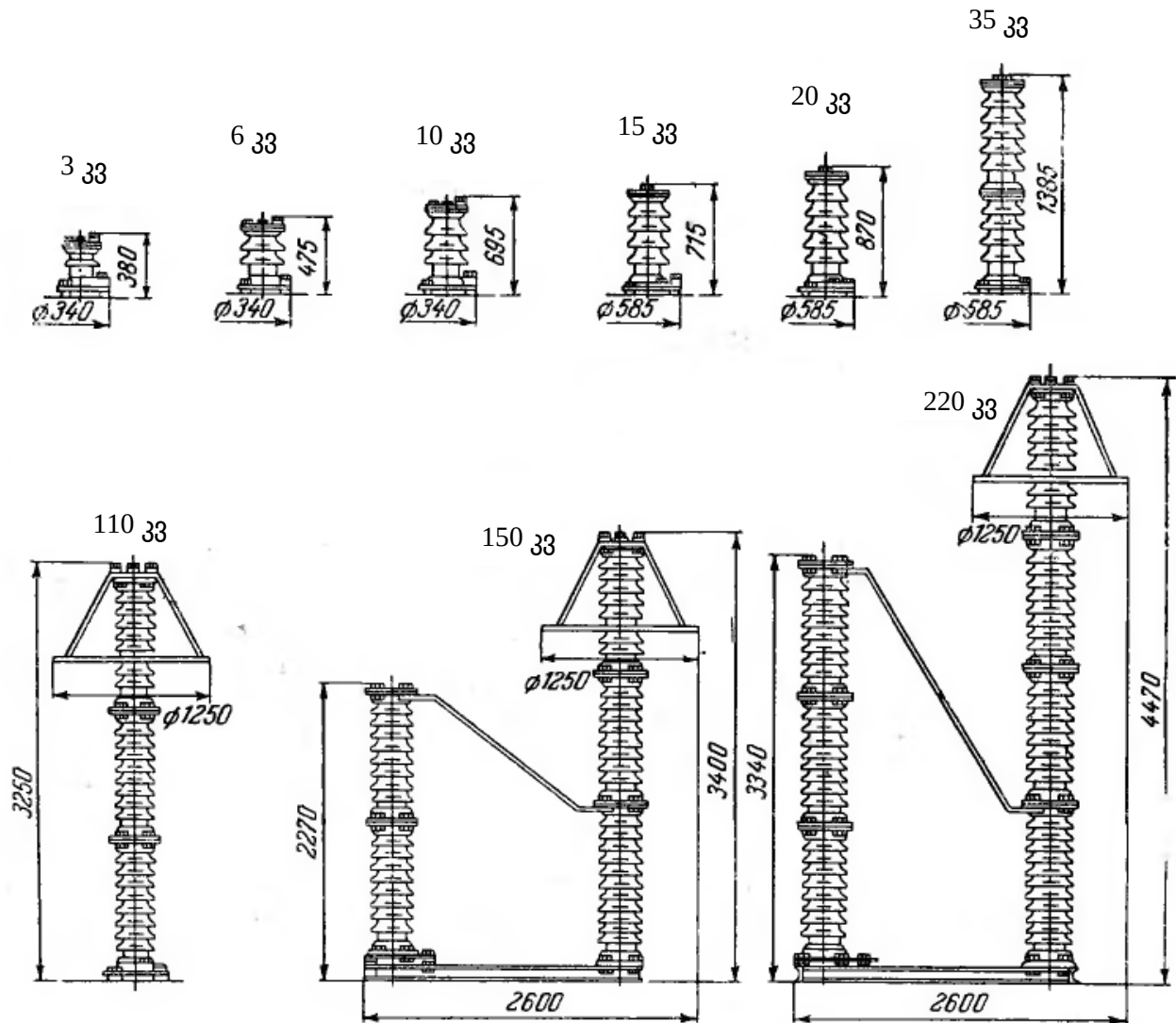
ვენტილური განმუხტველის მნიშვნელოვანი მახასიათებელია, რადგან $U_{ქრ}$ დამოკიდებულია დანადგარის ნომინალურ ძაბვაზე, სათანადოდ, $K_{დაც}$ განსაზღვრავს ძაბვის ყველა დაბალ მნიშვნელობას ე.ი. ქსელის იზოლაციის საჭირო დონეს.

განმუხტველი 3-35 კვ ძაბვაზე მზადდება ერთი ელემენტის სახით, ხოლო 110 კვ და ზემოთ ძაბვაზე კომპლექტდება 15, 20 და 35 კვ ძაბვის ელემენტებისაგან. ყოველი ელემენტი წარმოადგენს დამოუკიდებელ ერთეულს და შედგება სანაპერწკლო შუალედებისა და ვარისტორების ბლოკისაგან. PBC სერიის უნიფიცირებული განმუხტველის დანიშნულებაა დაიცვას ქვესადგურის ელექტროდანადგარები და მზადდება 15, 20, 33 და 35 კვ ძაბვაზე. 33 კვ ელემენტებისგან ხორციელდება 110-220 კვ ძაბვის განმუხტველების დაკომპლექტება.

ვენტილური განმუხტველი ველის მაგნიტური ქრობით 3-35 კვ ძაბვაზე მარკირდება როგორც PBM, ხოლო 110 კვ და ზემოთ PBMI (მეხდამცავი) PBM ტიპის განმუხტველები გამოიყენება ძირითადად მბრუნავი მანქანების იზოლაციის დასაცავად. როგორც ატმოსფერული, ასევე შინაგანი გადამეტაბვისაგან დასაცავად გამოიყენება PBMK სერიის განმუხტველი.

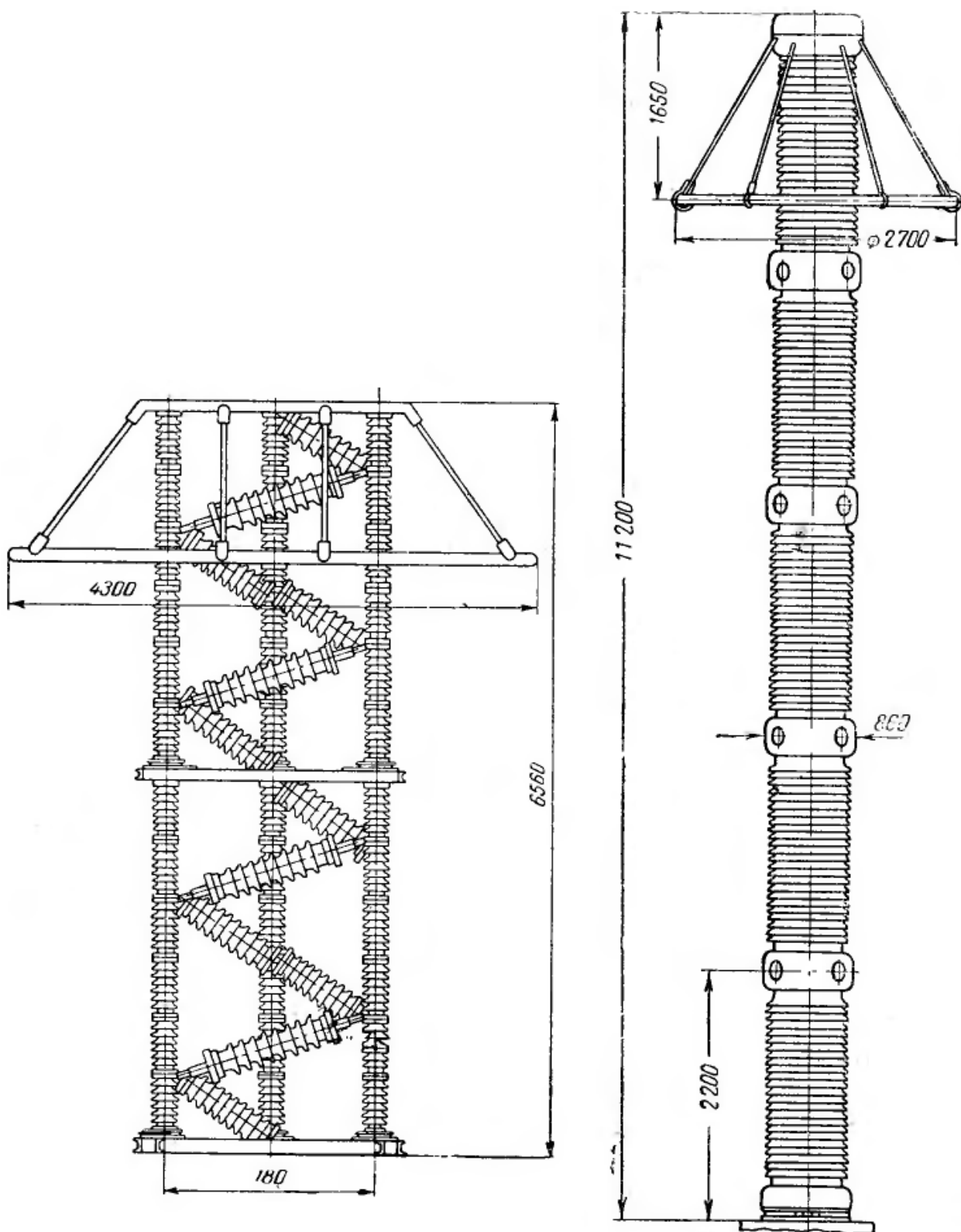
ამ განმუხტველის დანიშნულებაა შეზღუდოს, როგორც ატმოსფერული გადამეტაბვა, როცა მასში გამავალი დენი შეიძლება აღემატებოდეს 10 კა-ს, ხანგრძლივობით 25-50 მკმ, ასევე შინაგანი გადამეტაბვა, რომლის დროსაც განმუხტველში გამავალი დენი არ აღემატება 1.5-2 კა-ს, მაგრამ დენის ხანგრძლივობა აღწევს 2000 მკმ-ს. იმისათვის, რომ განმუხტველმა უზრუნველყოს საჭირო გამტარობის უნარი, მისი მუშა წინააღობა მზადდება ტირვიტის დისკების სამი პარალელური სვეტის სახით. ტირვიტი ვილიტის მსგავსი მასალაა, მაგრამ უფრო დიდი თბური მდგრადობით. მუშა ვარისტორებს უნდა გააჩნდეთ მაღალი გამტარობის უნარი, ე.ი. მრავალჯერადი მუშაობისას არ უნდა იცვლებოდეს მათი ელექტრული მახასიათებლები. ვარისტორებში მაღალი ენერგიის გამოყოფამ შეიძლება გამოიწვიოს დისკოს გარღვევა და მისი ვენტილირების უნარის დაკარგვა. სათანადოდ, ვარისტორების გამტარობის უნარი დამოკიდებულია მასში გამავალი დენის ამპლიტუდაზე და ხანგრძლივობაზე. მაგალითად, 100 მმ დიამეტრი ვილიტის დისკოს 20-30 ჯერ შეუძლია გაუძლოს 10 კა დენს, როდესაც იმპულსის ხანგრძლივობა 50 მკმ-ია (ან 50-200 ამპერს, როდესაც იმპულსის ხანგრძლივობა 2000 მკმ-ია). ტირიტი არის მასალა, რომელიც მიიღება კარბორუნდის და თხევადი მინის 1000 °C გამოწვით.

ტირით გამოიყენება ისეთ განმმუხტველებში, რომელთა დანიშნულებაა კომუტაციური გადამეტაბვისაგან დაცვა, როდესაც საჭიროა უზრუნველყოთ მაღალი გამტარობის უნარი. ტირიტის ვარისტორების დამზადებისას შემაკავშირებელ მასად გამოიყენება თიხა, გამონვას ახდენენ 1200°C -ზე . ტირიტი (თანმსლეხი ღენის ზონაში) ვილიტისა და ტირვიტისაგან განსხვავდება α ვენტილირების კოეფიციენტის მაღალი სტაბილურობის თვისებებით ($\alpha=0.3-0.4$) .



ნახ. 8.11.

სხვადასხვა ძაბვის PBC ტიპის ვენტილური განმმუხტველების კონსტრუქციები და გაზარტები (მმ)



ნახ. 8.11

PBMK 500 (მარცხნივ) და PBMT 750 (მარჯვნივ) ტიპის
ვენტილური განმმუხტველების კონსტრუქციები და გაზარიტები (მმ)

ვენტილური განმმუხტველის ძირითადი ნაკლი დაკავშირებულია იმასთან, რომ კარბორუნდზე დამზადებულ რეზისტორებს გააჩნიათ შედარებით სუსტად არასწორხაზოვანი მახასიათებელი. ბოლო დროს წარმოებული რეზისტორები დამზადებულია ცინკის ჟანგის ფუძეზე და, კარბორუნდიან რეზისტორებთან შედარებით, გააჩნიათ მნიშვნელოვნად ამაღლებული არასწორხაზოვნება. ამან განაპირობა გადაძაბვისგან დაცვის ახალი საშუალების შექმნა, რომელსაც უწოდებენ გადაძაბვის არახაზოვან შემზღუდველს.

8.3.4 გადაძაბვის არახაზოვანი შემზღუდველები (გაშ)

ვენტილური განმმუხტველის ძირითადი ნაკლია მისი შედარებით სუსტად გამოხატული არასწორხაზოვანი მახასიათებელი. იმისათვის, რომ ძაბვის ნორმალურ სიდიდესთან ახლოს, განმმუხტველში არ გადიოდეს დენი და არ იწვევდეს ზედმეტ გახურებას, მას აერთებენ სანაპერწკლო შუალედებით. როდესაც ქსელში გაჩნდება საშიში ძაბვა, ჯერ გაირღვევა სანაპერწკლო შუალედი და ამით იგი მიუერთდება ქსელს. ამის შემდეგ თავს იჩენს ვილიტის არანრფივი ვოლტამპერული მახასიათებელი. ძაბვის შემცირებისას, როგორც კი თანხმლები დენი გადავა ნულზე, სანაპერწკლო შუალედში ანთებული რკალი ქრება. ამიტომ მცლელის ამოქმედებას და სანყის მდგომარეობაში დაბრუნებას სჭირდება გარკვეული დრო. გარდა ამისა, საჭიროა შერჩეული იქნას $U_{\text{გ}}$ - იმპულსური გამრღვევი ძაბვა. ამ ძაბვის მიღწევამდე მცლელი არ მოქმედებს. ყველა ეს ნაკლი არ გააჩნია გადამეტაბვის არანრფივ შემზღუდველებს. მათი რეზისტორები დამზადებულია თუთიის ჟანგის (ZnO) ფუძეზე და, კარბორუნდიან რეზისტორებთან შედარებით, გააჩნიათ უფრო დიდი არასწორხაზოვნება.

გადამეტაბვის არახაზოვანი შემზღუდველის უპირატესობას, ვენტილურ მცლელთან შედარებით, წარმოადგენს უფრო ღრმა დაცვა გადამეტაბვისაგან, მცირე გაბარიტები და მაღალი გამტარუნარიანობა.

არახაზოვანი შემზღუდველები შედგება ერთი ან რამდენიმე არანრფივი წინაღობის მქონე დისკოსაგან და ფაიფურის ან პოლიმერის კორპუსისაგან. სანაპერწკლო შუალედი მათ არ გააჩნიათ. ამიტომ შემზღუდველი მუდმივად იმყოფება ძაბვის ქვეშ. ნომინალური ძაბვის მახლობლობაში მისი წინაღობა იმდენად დიდია, რომ მასში გამავალი დენი არ აღემატება რომოდენიმე მიკროამპერს. თუ ძაბვამ გადააჭარბა გარკვეულ სიდიდეს, მაშინ შემზღუდველის წინაღობა, პრაქტიკულად მყისიერად, მცირდება იმდენად, რომ მასში გაივლის 1000 ამპერზე მეტი დენი.

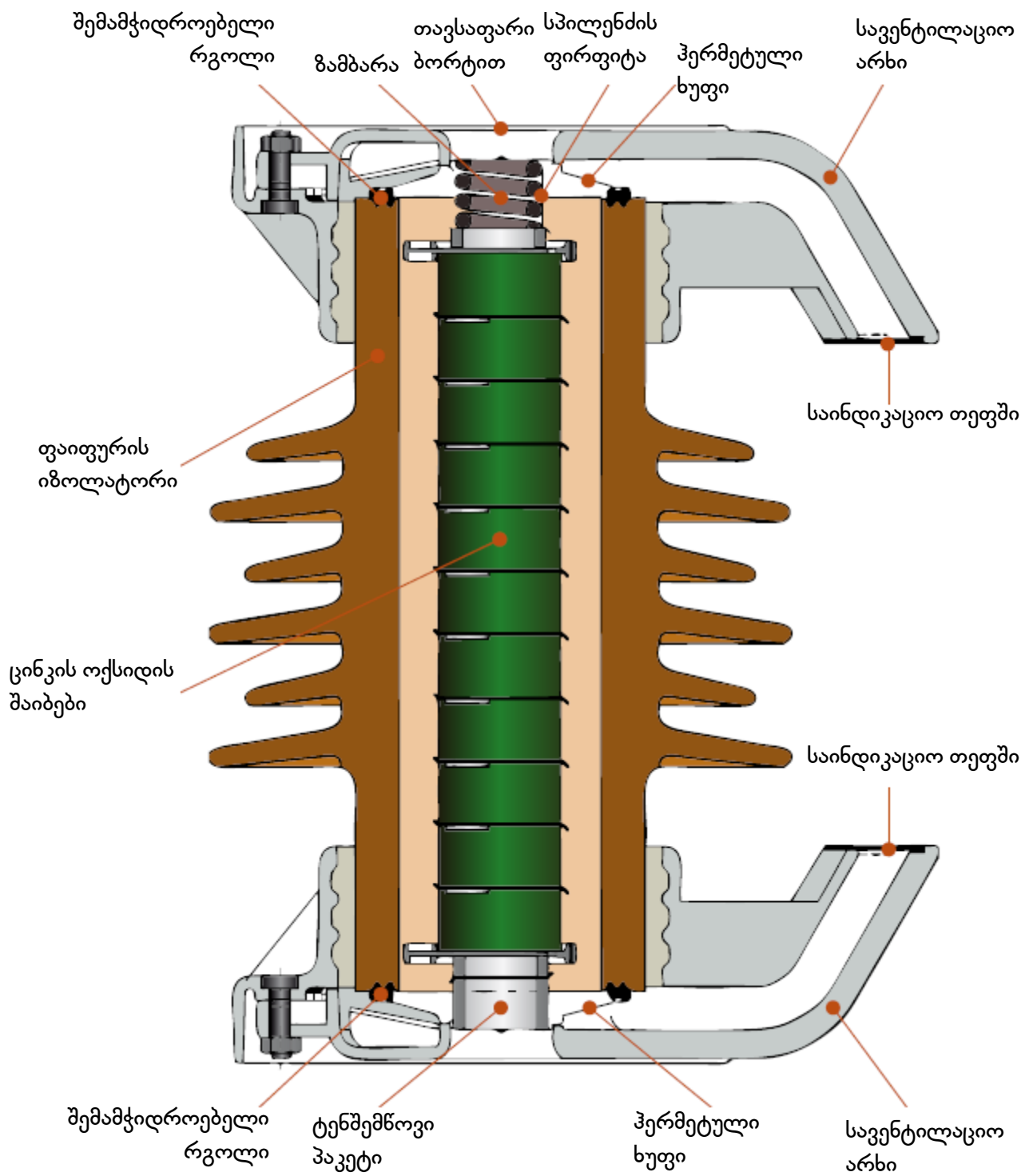
ვინაიდან არახაზოვანი შემზღუდველი მუდმივად ჩართულია, არ ხდება ძაბვის აწევა საშიშ დონეზე მაღლა, როგორც ატმოსფერული, ასევე კომუტაციური გადამეტაბვების შემთხვევაში.

არახაზოვან შემზღუდველებს ახასიათებენ შემდეგი პარამეტრებით:

- ნომინალური ძაბვა - ქსელის ნომინალური ძაბვა;
- მაქსიმალური დასაშვები ძაბვა - ეს იმ ძაბვის ეფექტური მნიშვნელობაა, რომელიც შეიძლება მოდებული იქნას შემზღუდველზე ხანგრძლივად, მისი დაზიანების გარეშე;

- შემზღუდველის საკლასიფიკაციო ძაბვა - 50 ჰერცის სიხშირის იმ ძაბვის ეფექტური მნიშვნელობა, რომელიც უნდა მოვდოთ შემზღუდველს, რომ მისი ზედაპირის ერთ კვადრატულ სანტიმეტრში გავიდეს 0.05 ± 1 მილიამპერი დენი (საკვალაფიკაციო დენი);
- განმუხტვის ნომინალური იმპულსური დენი - ეს გამოსაცდელი დენის იმპულსია (8/20 მიკროწამი). შემზღუდველმა უნდა გაატაროს 20 ასეთი იმპულსი ისე, რომ მისი პარამეტრები არ შეიცვალოს;
- მაქსიმალური იმპულსური დენი - ეს ისეთი დენის იმპულსის (8/20 მიკროწამი) სიდიდეა, რომელიც შემზღუდველმა უნდა გაატაროს ერთხელ ისე რომ არ დაზიანდეს;
- ნარჩი ძაბვა – შემზღუდველზე ძაბვის ვარდნის სიდიდეა, მასში დენის იმპულსის გასვლისას;
- დაცვის დონე - ნარჩი ძაბვის სიდიდეა შემზღუდველში ნომინალური იმპულსური დენის გავლისას. მეტალოოქსიდური შემზღუდველების ამოქმედების დრო არ აღემატება 25×10^{-10} წამს.
- არახაზოვანი შემზღუდველის დაცვის დიაპაზონი კომუტაციური გადამეტძაბვის დროს შეადგენს $(1.65 \pm 1.8) U_{\text{ფ}}$, ხოლო ატმოსფერული გადამეტძაბვის დროს 110 კვ ქსელებისთვის - $(2.2 \pm 2.4) U_{\text{ფ}}$, 750 კვ ქსელებისთვის კი მცირდება $2 U_{\text{ფ}}$ სიდიდემდე.

ფაიფურის გარსაცმინი გამ EXLIM (Excellent Limit) (ნახ. 8.12) შედგება ორი ან მეტი ცალკეული გამ-ისგან, რომელთაგან თითოეული წარმოადგენს ფაიფურის იზოლაციის გარსაცმში მოთავსებულ, ცინკის ოქსიდის ZnO არანრფივი წინალობის შაიბებისგან შემდგარ სვეტს, რომელიც დეტალურად არის გამოცდილი დამზადებისას. ზემალაღ ნომინალურ ძაბვებზე მომუშავე გამ-ებს, ბუნებრივია, გააჩნიათ დიდი სიგრძე (სიმაღლე). ამიტომ ისინი ალჭურვილნი არიან პოტენციალის გამათანაბრებელი რგოლებით, რაც განსაკუთრებულად მაღალი გადაძაბვების ზემოქმედებისგან იცავს გამ-ის კორპუსს. გამ-ის ფაიფური ყავისფერი ან ნაცრისფერია. ბორტიანი ხუფი და შემამჭიდროებელი რგოლები უზრუნველყოფენ გამ-ის ჰერმეტიულობას მთელი სიცოცხლის მანძილზე, რაც აუცილებელია მისი გამართული მუშაობისათვის. შემამჭიდროებელი დამზადებულია წინასწარ დაჭიმული ფოლადის ფირფიტისა და რეზინის სადებისგან. ეს ფირფიტები ზემოქმედებს შემამჭიდროებელზე იზოლაციის ზედაპირის საპირისპიროდ, იმ შემთხვევაშიც კი, როდესაც შემამჭიდროებელი რგოლი ბრტყელდება დაძველების გამო. შემამჭიდროებელმა ფირფიტამ ასევე უნდა შეასრულოს შინაგანი წნევის გაზრდისგან დაცვის ფუნქცია, რაც შეიძლება წარმოიშვას გამ-ში რკალის ანთებისას. ამ შემთხვევაში წნევის მკვეთრი ზრდის ზემოქმედებით, ფირფიტა გაიხსნება სარქველის მსგავსად და იონიზირებული აირების ჭავლი გავა სავენტილაციო არხების გავლით. ვინაიდან ეს არხები განლაგებულია ერმანეთის საპირისპიროდ, ზედა და ქვედა მხარეებზე, ამიტომ ზემოაღნიშნული ჭავლების გამოტყორცნისას შეიძლება ადგილი ჰქონდეს გარე რკალის ანთებას. შედეგად, აღდგება შიგა ნორმალური წნევა და აცილებული იქნება იზოლაციის მსხვრევა.

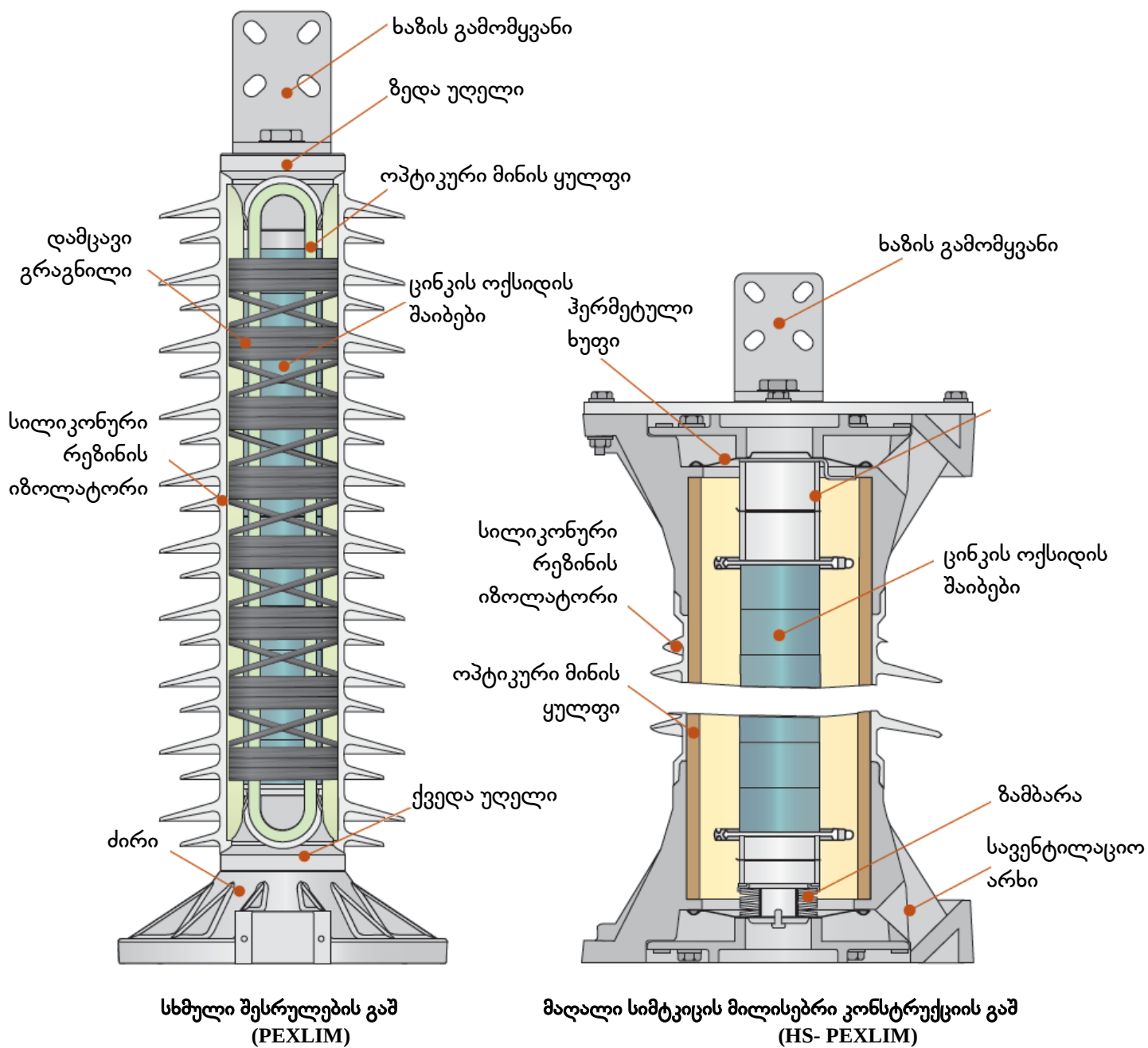


ნახ. 8.12
გაშ ფაიფურის იზოატორის გარსაცმით

სხმული სილიკონის რეზინის გარსაცმისი გაშ PEXLIM (Excellent Limit) (ნახ. 8.13) ასეთი შესრულების შემზღუდველი შედგება ერთი ან მეტი ცალკეული შემზღუდველისგან, რომელიც, თავის მხრივ, შეიძლება შედგებოდეს ორი ან მეტი მოდულისგან. აქაც, ფაიფურის იზოლაციის იზოლაციის შემზღუდველის მსგავსად, სილიკონის გარსაცმის შიგნით, მოთავსებულია ცინკის ოქსიდის ZnO არანაწივი წინააღმდეგობის შიგნითგან შემდგარი სვეტი, რომელიც დეტალურად არის გამოცდილი დამზადებისას.

თითოეული მოდულის აქსიალური მიმართულებით, ცილინდრის კორპუსის ფორმის გათვალისწინებით, წინასწარ დაპრესილი ZnO -ს შიგნით სიმტკიცე გაძლიერებულია ოპტიკურბოჭკოვანი მინის ყუთებით, რომლებიც დამაგრებულია ორ უღელს შორის. უღლებიც ასევე ელექტროდების როლს ასრულებენ. ამის შემდეგ დამცავი ოპტიკური მინა გარშემოწვევა ყუთებზე და მოდულისთვის ქმნის „ღია გალიის“ მსგავს კონსტრუქციას. აღნიშნული შესრულება უზრუნველყოფს მაღალ სიმტკიცეს, როგორც მექანიკური, ასევე თერმული ზემოქმედებისადმი. ქარხანაში სილიკონური იზოლაციის გარსაცმი განიცდის მაღალი წნევისა და ტემპერატურის ზემოქმედებას, შედეგად, იგი მტკიცედ გარშემოწვევა გაშ-ის აქტიურ ნაწილს, თანაც, ისე, რომ არ რჩება მათ შორის სიცარიელები და ჰაერაზრთები. მაშასადამე, ფაიფურიანი გაშ-ებისგან განსხვავებით, ბორტიანი თავსაფრები და შემამჭიდროებელი როგორები საჭირო აღარაა. თითოეული მოდულის ინტენსიური გამოცდების შემდეგ ხდება მათი შეერთება და კვლავ გამოცდების ჩატარება.

გაშ-ის მოქმედებისას მის შიდა ნაწილში ხდება რკალის ანთება. ღია გალიის ტიპის შესრულების გამო, რბილი სილიკონის მასალა იწვის და გაზებს აძლევს საშუალებას, პირდაპირ და სწრაფად გამოვიდნენ გაშ-ის კორპუსიდან. ამავე დროს, ოპტიკური მინის გრაგნილები, ხელს უშლიან შიდა ნაწილების ფეთქებად გამოტყორცნას გარეთ. ამრიგად, სპეციალური გამომტყორცნი არხების საჭიროებაც აღარ არის.

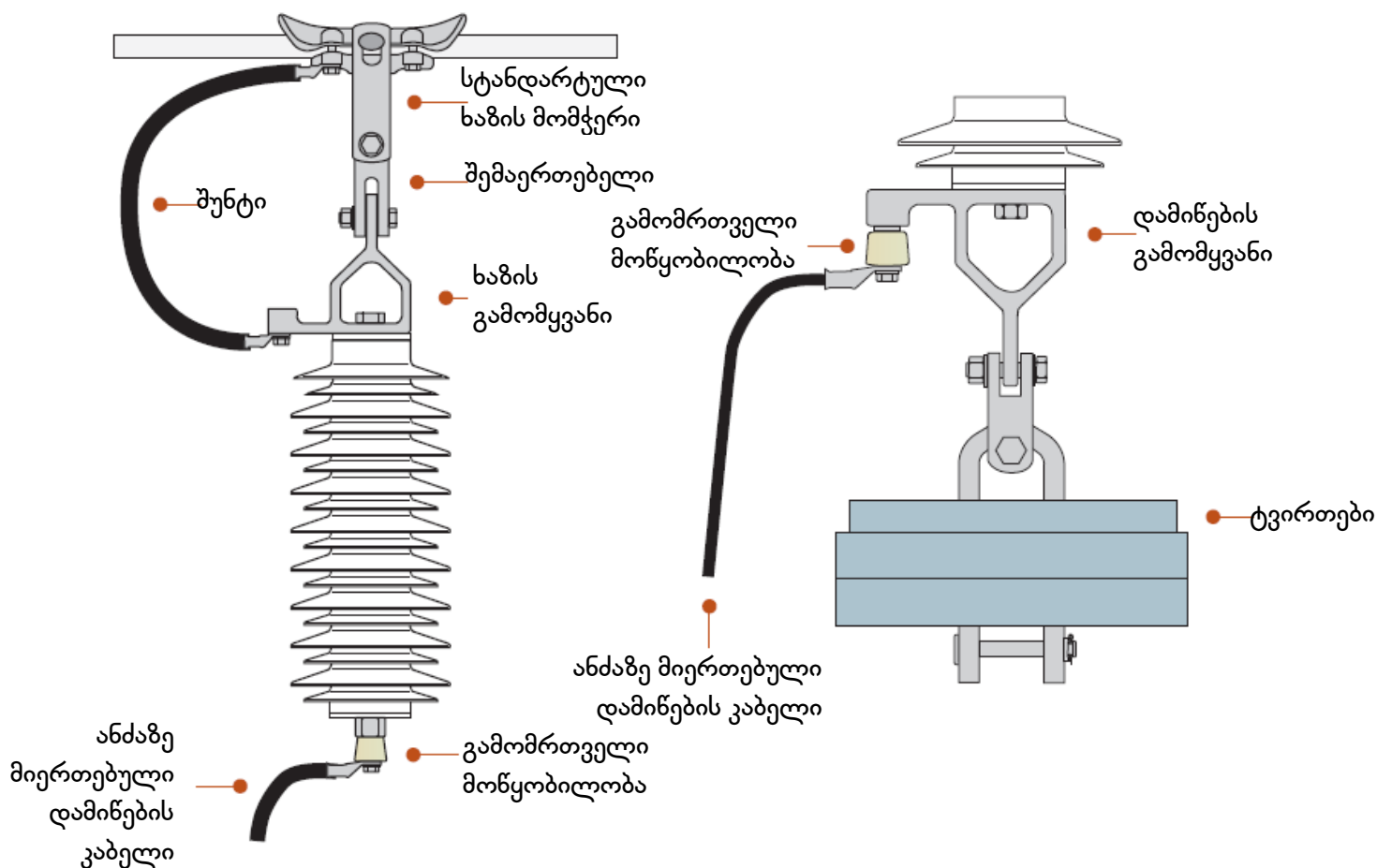


ნახ. 8.13

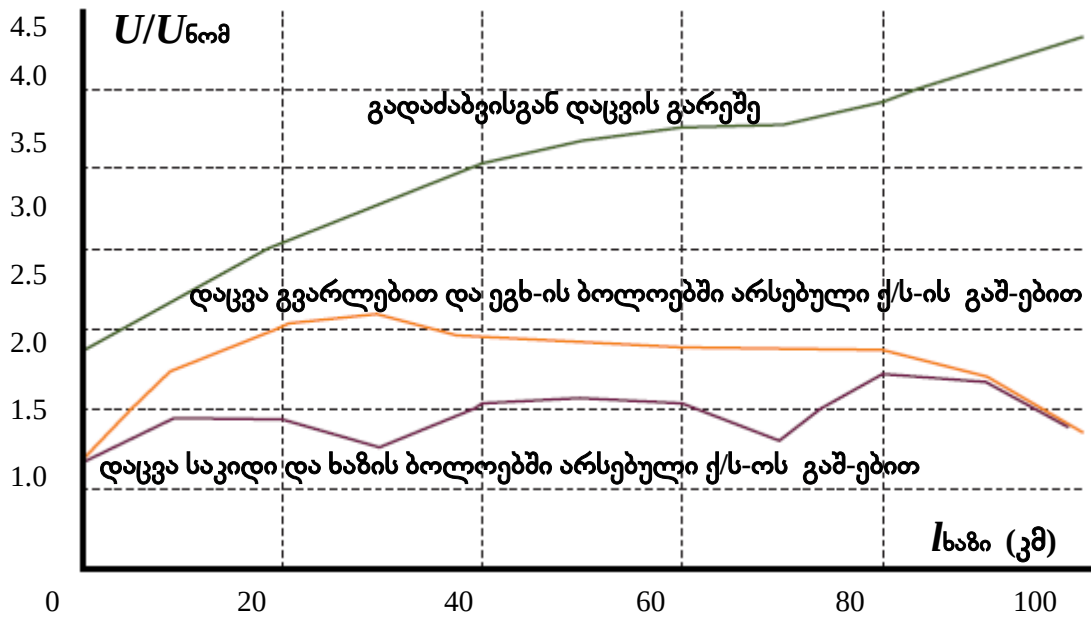
გადაცემის ხაზების საკიდი ტიპის გაშ-ები PEXLINK. ჩვეულებრივ, ატმოსფერული გადამეტაბვებისგან ელექტროგადაცემის ხაზების დაცვა ხდება, მათ გაყოლებაზე ანძებს ზემოთ განლაგებული, დამცავი გვარლებისა და ქვესადგურებში დამონტაჟებული გაშ-ების ერთობლიობით. თუმცა, ელექტროგადაცემის ხაზებზე, მათ დასაცავად როგორც ატმოსფერული, ასევე კომუტაციური გადამეტაბვების ტალღებისგან, შესაძლებელია, დამცავი გვარლების ნაცვლად, დამონტაჟებული იქნას ე.წ. საკიდი გაშ-ები (ნახ. 8.14).

საკიდ გაშ-ებს გააჩნიათ პოლიმერული იზოლაცია და, შესაბამისად, შემსუბუქებული კონსტრუქცია. ნახ. 8.15-ზე ერთმანეთთან შედარებულია 550 კვ ნომინალური ძაბვის 200 კმ სიგრძის ხაზის გასწვრივ გადაძაბვის განაწილება სამფაზა აგჩ-ის შემდეგ, ქვემოთ მოცემული ვარიანტებისთვის:

1. დაცვის გარეშე;
2. დაცვა გვარლებით და ეგხ-ის ბოლოებში არსებული ქვესადგურების გაშ-ებით;
3. დაცვა ხაზის სიგრძეზე ორ სხვადასხვა დისტანციაზე ჩართული საკიდი გაშ-ებითა და ქვესადგურების გაშ-ებით.



ნახ. 8.14

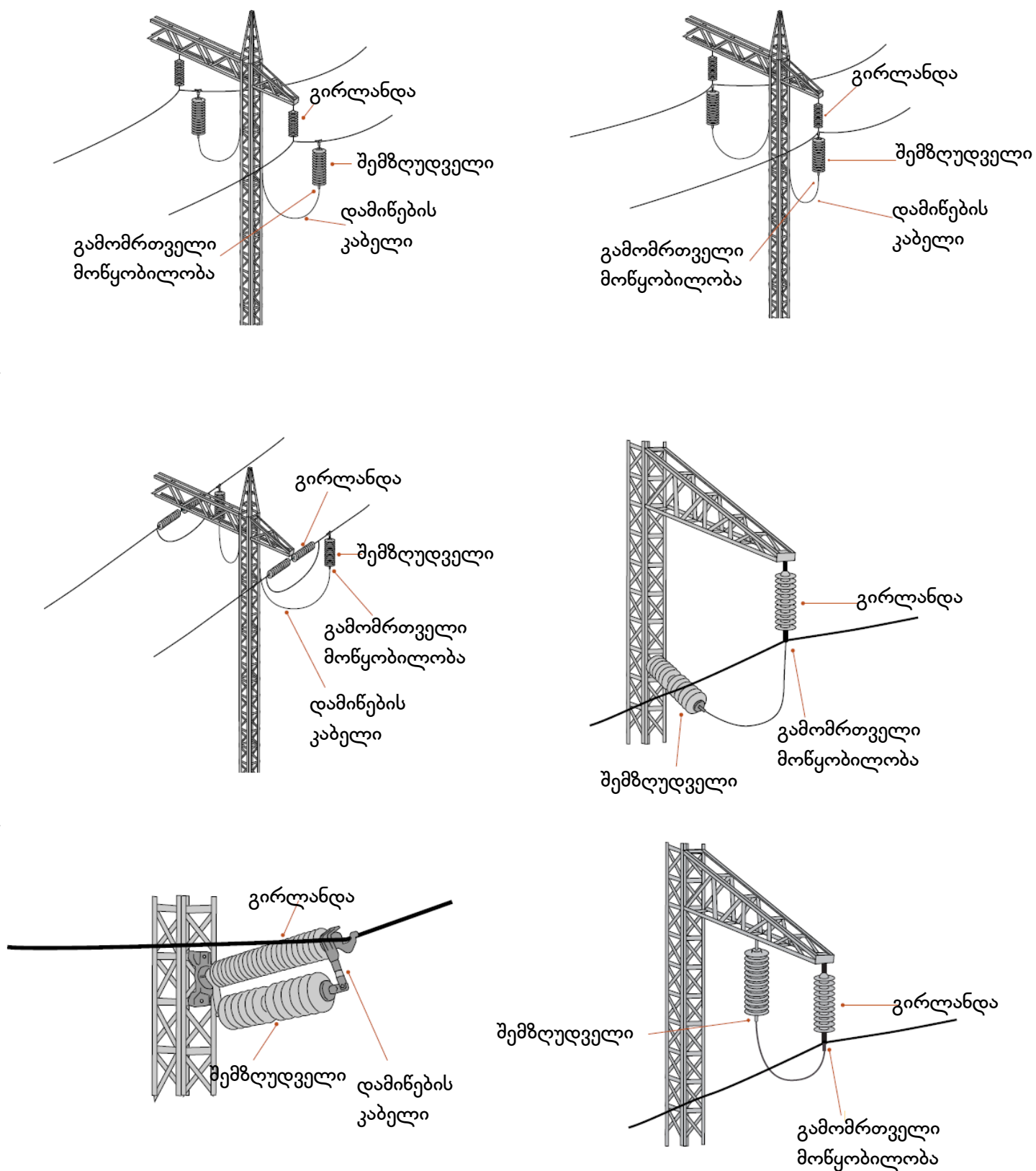


ნახ. 8.15
550 კვ ნომ ძაბვის 200 კმ სიგრძის ხაზის გასწვრივ
გადაძაბვის განაწილება სამფაზა აგჩ-ის შემდეგ

როგორც ნახ. 8.15-დან ჩანს, ელექტროგადაცემის ხაზის სიგრძის ორ სხვადასხვა ნაწილზე, თუმცა ორი გაშ-ის დაყენება, გადაძაბვის სიდიდეს ხაზის შუა ნაწილში დაახლოებით 25%-ით ეფექტურად ამცირებს.

ელექტროგადაცემის ხაზებზე საკიდი გაშ-ების განლაგების სხვადასხვა ვარიანტები მოყვანილია ნახ. 8.16-ზე.

ნახ. 8.17-სა და ნახ. 8.18-ზე მოცემულია ABB-ს ფირმის სხვადასხვა მოდიფიკაციის გაშ-ების ზოგადი ხედები, ცხრილ 8.4-ში კი მოცემულია ამ ნახ-ებზე ნაჩვენები გაშ-ების გადაძაბვის შეზღუდვის შესაძლებლობები და პარამეტრები.

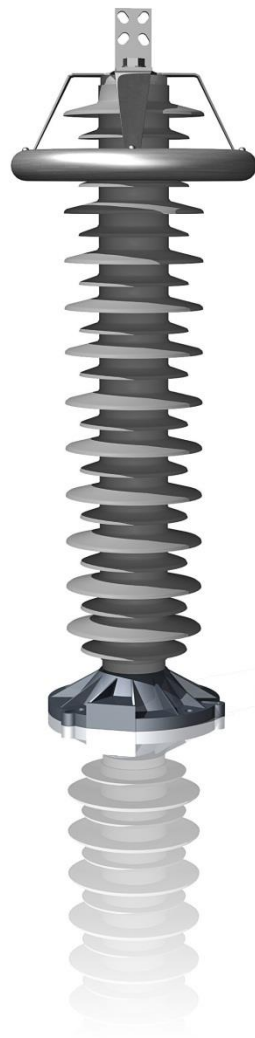


ნახ. 8.16
ელექტროგადაცემის ხაზებზე
საკიდი გაშ-ების განლაგების სხვადასხვა ვარიანტები

PEXLIM R-Z



PEXLIM R-Y



PEXLIM Q



PEXLIM Q



PEXLIM P-Y



ნახ. 8.17

ABB-ს ფირმის სხვადასხვა მოდიფიკაციის გაზ-ები

HS PEXLIM P-T/T-T



EXLIM R



EXLIM Q-E



EXLIM Q-D



EXLIM P



ნახ. 8.18

ABB-ს ფირმის სხვადასხვა მოდიფიკაციის გაბ-ები (გაგრძელება)

ცხრილი 8.4. ABB-ს ფირმის სხვადასხვა მოდიფიკაციის გაშ-ების ტექნიკური მონაცემები

გაშ-ის ტიპი	კლასი	ენერგეტიკული მედევობა [2 იმპულსურ განმუხტვაზე] კჯ/კვ ($U_{\text{ნომ}}$)	გამოყენების ნომ ძაბვების ფარგლები (კვ)	განმუხტვის ნომ დენი (კა)	$U_{\text{იზ}} / U_{\text{ნომ}}$ 10 კა-ზე	$U_{\text{იზ}} / U_{\text{ნომ}}$ 20 კა-ზე	$U_{\text{კომ}} / U_{\text{ნომ}}$
EXLIM R	2	5.0	≤ 170	10	2.590		2.06-0.5 კა-ზე
PEXLIM R-Z	2	5.1	≤ 145	10	2.590		2.06-0.5 კა-ზე
PEXLIM R-Y	2	5.1	≤ 170	10	2.590		2.06-0.5 კა-ზე
EXLIM Q	3	7.8	170-420	10	2.350		1.981-1 კა-ზე
PEXLIM Q	3	7.8	170-420	10	2.350		1.981-1 კა-ზე
EXLIM P	4	10.8	362-550	20	2.275	2.5	2.02-0.5 კა-ზე
PEXLIM P-X	4	12.0	362-550	20	2.275	2.5	2.02-2 კა-ზე
PEXLIM P-Y	4	12.0	330-550	20	2.275	2.5	2.02-2 კა-ზე
HS PEXLIM P	4	10.5	362-550	20	2.275	2.5	2.02-2 კა-ზე
EXLIM T	5	15.4	420-800	20	2.200	2.4	1.976-2 კა-ზე
HS PEXLIM T	5	15.4	420-800	20	2.200	2.4	1.976-2 კა-ზე

თაპი IX

მუდმივი დენით გადაცემა და მუდმივი დენის ჩანართი

9.1 ზოგადი ცნობები

ენერგიის მუდმივი დენით გადაცემას, ცვლადი დენით გადაცემასთან შედარებით, აქვს მთელი რიგი უპირატესობები:

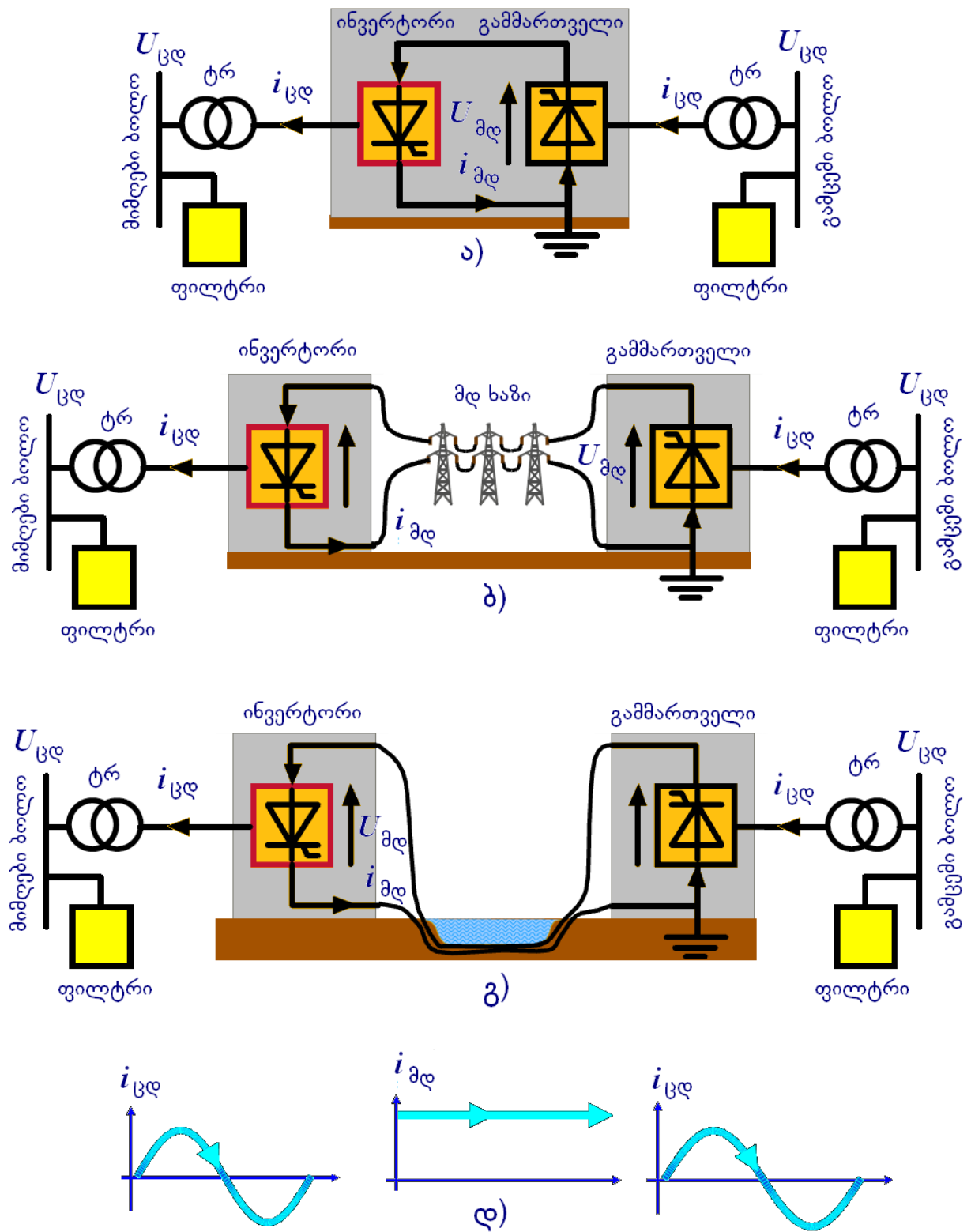
- ადგილი აღარ აქვს ტალღურ პროცესებს, ანუ აღარ არსებობს რეაქტიული წინაღობები და გამტარობები, ამიტომ აღარ აქვს ადგილი მათში სიმძლავრის დანაკარგებს;
- აღარ არსებობს ე.წ. ზედაპირული ეფექტი, ანუ დენი გადის არა მხოლოდ სადენის ზედაპირის სიახლოვეს, არამედ იგი თანაბრად გაედინება სადენის მთელს კვეთში. ანუ პრაქტიკულად მთლიანი სადენის განიკვეთი გამოყენებულია ენერგიის გადაცემისთვის;
- საჭიროა მხოლოდ ერთი ან იშვიათად ორი სადენი (როდესაც მინა ვერ ასრულებს ნეიტრალის მოვალეობას), მაშინ როდესაც ცვლადი დენით გადაცემის შემთხვევაში საჭიროა სამი ან ოთხი (როდესაც ნეიტრალისთვის ცალკე სადენია საჭირო) სადენი.

თუმცა, მუდმივი დენით ენერგიის გადაცემა შეიძლება დიდ კაპიტალდაბანდებს მოითხოვდეს, რაც გამოიხატება გარდამსახი დანადგარებისა და მათი მართვის მოწყობილობებზე გასაწევი სოლიდური ხარჯებით.

მთელ რიგ შემთხვევებში, შესაძლებელია ელექტროენერგიის გადაცემა უფრო ეფექტური იყოს არა ცვლადი დენით, არამედ, მუდმივი დენით, კერძოდ, როდესაც:

1. ორი სისტემის სინქრონული დაკავშირება მიზანშეუწონელია მდგრადობის პრობლემისა და/ან ნომინალურ სიხშირეებს შორის განსხვავების გამო;
2. ორი სისტემის დამაკავშირებელი ხაზის სიგრძე 400 კმ-ზე მეტია (მუდმივი დენით გადაცემას მაქსიმუმ ორი სადენი სჭირდება, ცვლადი დენისას მინიმუმ - სამი, რის გამოც ეს უკანასკნელი უფრო გაართლებულია ეკონომიურად);
3. ორი სისტემა დასაკავშირებელია 30 კმ-ზე გრძელი წყალქვეშა კაბელით.

ამრიგად, მუდმივი დენით (მდ) ორი ცვლადი დენის (ცდ) სისტემის დაკავშირება შეიძლება მოხდეს მუდმივი დენის ჩანართით (ნახ. 9.1 ა), მუდმივი დენის ხაზით (ნახ. 9.1 ბ) და მუდმივი დენის კაბელით (ნახ. 9.1 გ). ყველა ზემოაღნიშნულ შემთხვევაში გამცემი სისტემის მხარეს ყენდება ცვლადი დენის მუდმივ დენად გარდამქმნელი ანუ გამმართველი მოწყობილობა, ხოლო მიმღები სისტემის მხარეს – მუდმივი დენის ცვლად დენად გარდამქმნელი მოწყობილობა ანუ ინვერტორი. მაშასადამე, ძირითადი განსხვავება მუდმივი დენის ჩანართსა და მუდმივი დენის ხაზს (კაბელს) შორის არის დაშორება კონვერტორულ მოწყობილობებს შორის და, შესაბამისად, მუდმივი დენის გამტარის სიგრძე. მუდმივი დენის ჩანართის შემთხვევაში ეს სიგრძე არ აღემატება 250 მეტრს, ხოლო მუდმივი დენის კაბელის ან ხაზის შემთხვევაში რამდენიმე ათეულიდან დაწყებული, 2000 კმ-ზე გრძელიც შეიძლება იყოს. აღსანიშნავია, რომ ნებისმიერ მუდმივი დენის ჩანართზე კონვერტორებს უნდა გააჩნდეთ სიმძლავრის შეზღუდვის და ფუნქციების ე.წ. შექცევადობის უნარი ანუ საჭიროებისას გამმართველი შეიძლება გახდეს ინვერტორი და ინვერტორი – გამმართველი.



ნახ. 9.1

ა - მუდმივი დენის ჩანართი, ბ - მუდმივი დენის ხაზი, გ - მუდმივი დენის წყალქვეშა კაბელი

9.2 მუდმივი დენის ჩანართების კლასიფიკაცია და ძირითადი ნაწილები

განასხვავებენ მუდმივი დენის ჩანართების შემდეგ სახეებს:

- მონოპოლარული ჩანართი (ნახ. 9.2 ა);
- ბიპოლარული ჩანართი (ნახ. 9.2 ბ);
- ჰომოპოლარული ჩანართი (ნახ. 9.2 გ);.

მონოპოლარულ ჩანართში (ნახ. 9.2 ა) გამოიყენება მხოლოდ ერთი, უარყოფითი პოლარობის მქონე, გამტარი. დენის დაბრუნების გზა უზრუნველყოფილია მიწის ან წყლის საშუალებით. მათ მაგიერ შეიძლება გამოყენებული იქნას ლითონის გამტარი, თუკი დიდია მიწის წინააღმდეგობა ან წყალში ან მიწაში არსებობს ლითონის მიწები ან კონსტრუქციები.

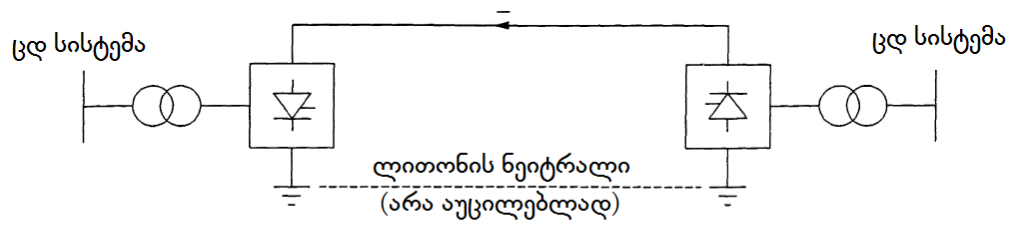
ბიპოლარულ ჩანართს (ნახ. 9.2 ბ) გააჩნია ორი გამტარი - ერთი დადებითი, მეორე უარყოფითი. ჩანართის ორივე ბოლოზე განლაგებულია ორი გარდამსახი. მათ გააჩნიათ ერთნაირი ნომინალური ძაბვები და ისინი მდ მხარეზე მიმდევრობით არიან შეერთებულნი. ჩვეულებრივ, ორივე პოლარობის დენები ერთნაირია და მიწაში დენი არ გადის. ორ პოლუსს შეუძლია დამოუკიდებლად მუშაობა. თუკი ერთ-ერთი პოლუსი გამორთული იქნა მის გამტარზე მშ-ის გამო, მეორე პოლუსი მიწით განაგრძობს მუშაობას ჩანართის ნომინალურის ნახევარი სიმძლავრით, ან უფრო მეტით, ჩანართისა და გამტარის გადატვირთვის უნარის შესაბამისად.

მარტივად რომ წარმოვიდგინოთ, ბიპოლარული ჩანართი შეიძლება ჩათვლილი იქნას ორჯაჭვად ცდ ხაზად. ნორმალურ რეჟიმებში მათ, მონოპოლარულ ჩანართებთან შედარებით, ნაკლები ჰარმონიკული გავლენა აქვთ ახლომდებარე ცდ სისტემებზე.

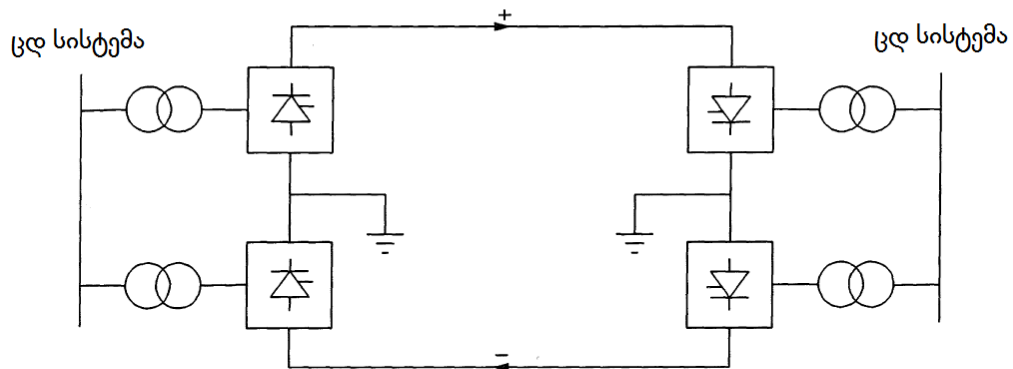
ჰომოპოლარულ ჩანართს გააჩნია ორი ან მეტი ერთნაირი პოლარობის გამტარი. ჩვეულებრივ, უარყოფითი პოლარობა გამოიყენება შედარებით მცირე გვირგვინული რადიო გამოსხივების გამო. დენის უკუ შეკვრის გზა უზრუნველყოფილია მიწით. თუკი რომელიმე გამტარი დაზიანდა, მუშაობაში დარჩენილ გამტარ(ებ)ს შეუძლიათ მთლიანი გარდამსახის კვება, რადგან გააჩნიათ ნომინალურზე მეტი სიმძლავრის გატარების უნარი (გადატვირთვის უნარი). ბიპოლარული სქემის კონვერტორების პოლარობის შესვლა გართულებულია, განსხვავებით ჰომოპოლარული სქემებისაგან. აქაც ნეიტრალის გამტარად შეიძლება გამოყენებული იქნას მიწა.

მიწაში დენების გატარებას აქვს გვერდითი ეფექტები, ეს მაშინ, თუკი ნეიტრალის სისტემასთან რამდენიმე კილომეტრის სიახლოვეშია გაზის ან ნავთობის მილსადენი. მილსადენები მოქმედებენ, როგორც გამტარები, რის გამოც შეიძლება მოხდეს მათი ლითონის კოროზია. ამის გამო ზემოხსენებული ჩანართებისათვის ნეიტრალად მიწის გამოყენება, ზოგიერთ შემთხვევაში, მიუღებელია. ასეთ დროს ნეიტრალად ლითონის ცალკე სადენი უნდა იქნას გამოყენებული.

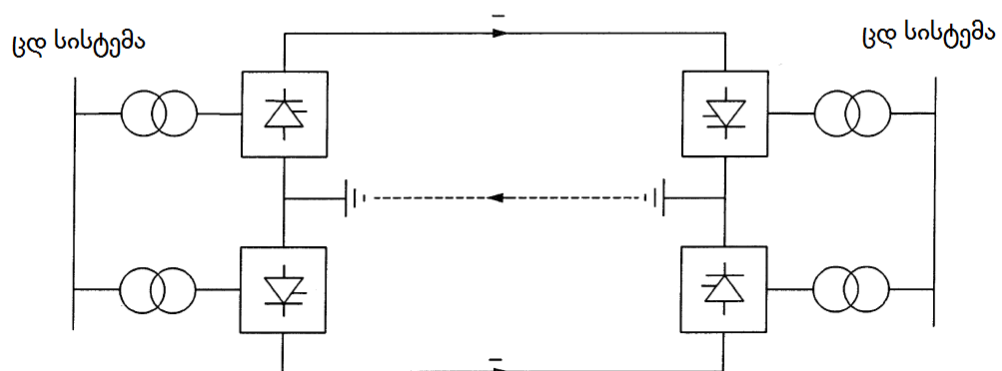
მუდმივი ჩანართების ყველა ზემოხსენებულ სისტემას, ჩვეულებრივ, გააჩნია გარდამსახების რამდენიმე კასკადური ჯგუფი, რომელთაგან თითოეული შედგება ტრანსფორმატორისა და სარქველების ჯგუფებისაგან. გარდამსახები პარალელურად არიან შეერთებულნი ცდ (ტრანსფორმატორის) მხარეზე და მიმდევრობით - მდ (სარქველის) მხარეზე, რათა მიღებული იქნას გამტარსა და მიწას შორის სასურველი ძაბვის დონე.



მონოპოლარული ჩანართი



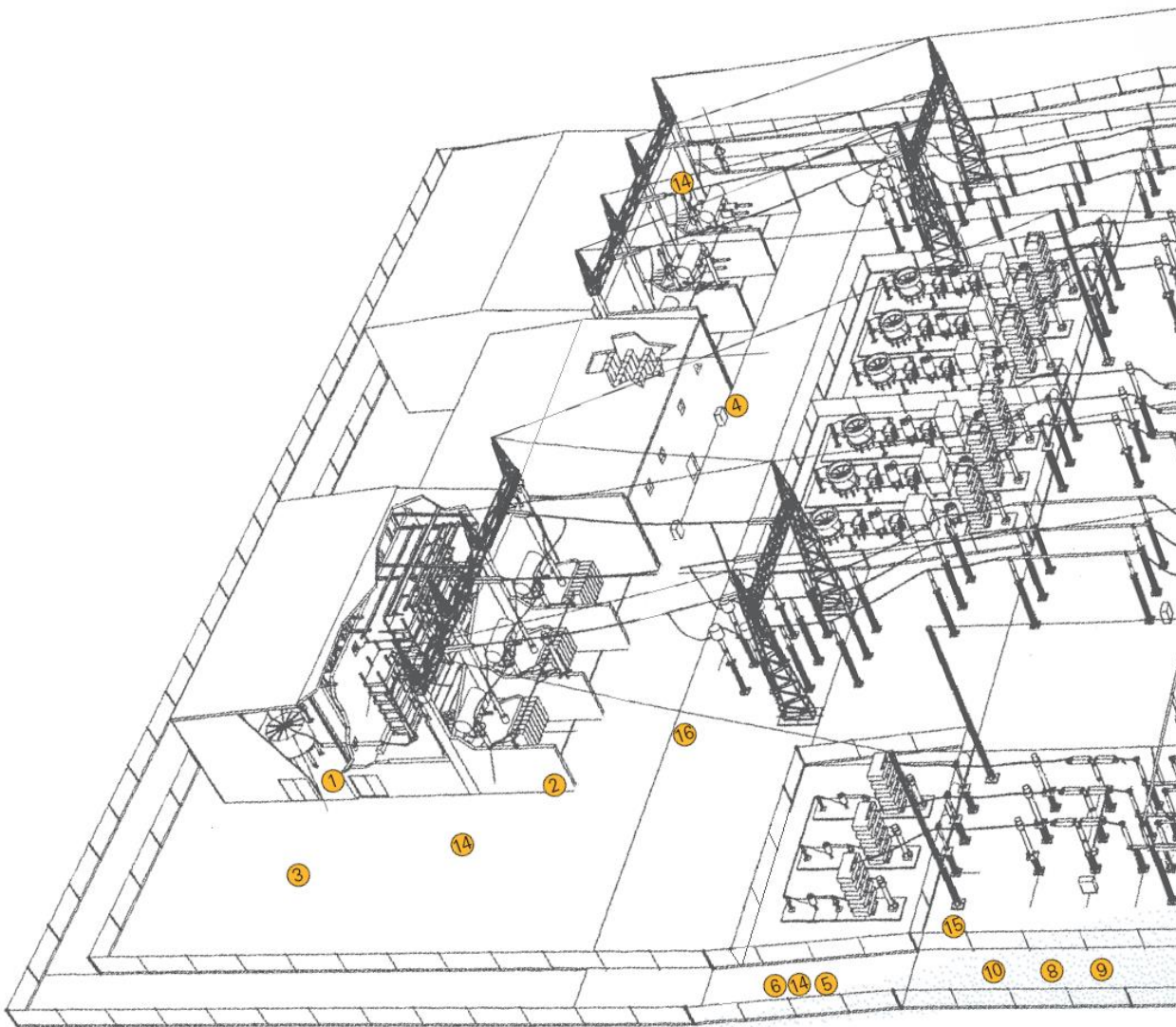
ბიპოლარული ჩანართი



ჰომოპოლარული ჩანართი

ნახ. 9.2. ჩანართების ტიპები.

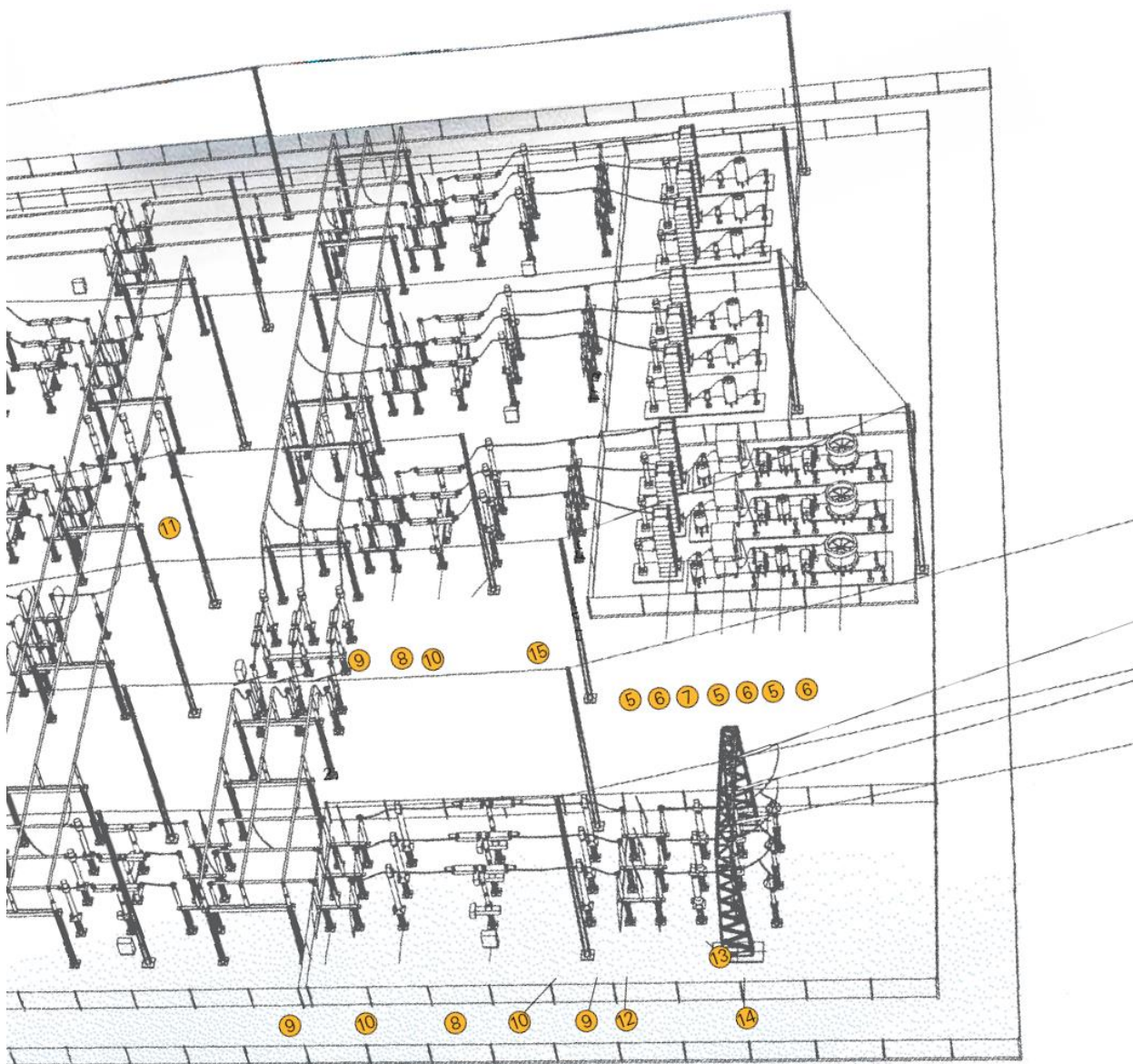
მუდმივი დენის ჩანართის ძირითადი ნაწილები ნაჩვენებია ნახ. 9.3-ზე



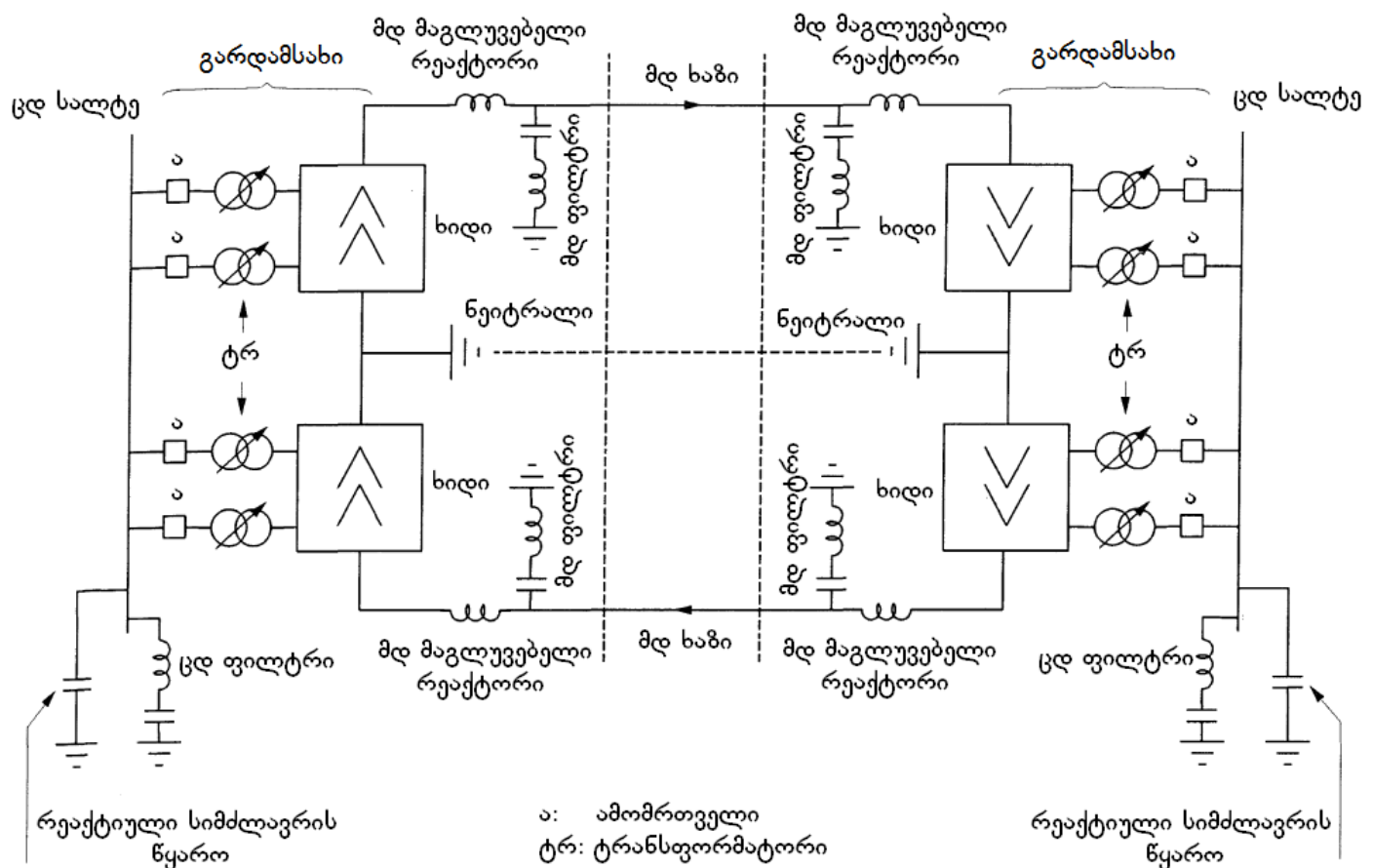
ნახ. 9.3

მუდმივი დენის ჩანართის ქვესადგურის კონცეპტუალური სქემა და მისი ელემენტები

1 - ოთხმაგი ტირისტორული სარქველი; 2 - გარდამსახის ტრანსფორმატორი 3 - საშუალო ვულარიანი მაგლუვებელი რეაქტორი; 4- მართვის ოთახი და მართვის ფარი; 5 - ცდ ფილტრის ტევადობა; 6 - ცდ ფილტრის რეაქტორი; 7 - ცდ ფილტრის აქტიური წინაღობა; 8 - ამომრთველი; 9 - გამთიშველი; 11 - დენის ტრანსფორმატორი; 12 - ძაბვის ტრანსფორმატორი; 13 - კომბინირებული ძაბვისა და დენის ტრანსფორმატორი; 13 - ტევადური ძაბვის ტრანსფორმატორი; 14 - ვენტილური მცლელი; 15 - დამამიწებელი დანა; ცდ PLC ფილტრი.



ნახ. 9.3



ნახ. 9.4.

მუდმივი დენის ჩანართი და მისი ძირითადი ნაწილები

გარდამსახები ანუ კონვერტორები წარმოადგენენ ცდ→მდ (გამმართველი) ან მდ→ცდ (ინვერტორი) გარდამქნელებს. ისინი შედგებიან სარქველების ხიდებისა და ტრანსფორმატორებისაგან, რომელთაც გააჩნიათ დატვირთვის ქვეშ ძაბვის რეგულირების უნარი. სარქველების ხიდები შესრულებულია მაღალი ძაბვის 6-პულსიანი ან 12-პულსიანი სქემებით. გარდამქმნელების ტრანსფორმატორების დანიშნულებაა სარქველური ხიდების საჭირო დონის სამუშაო დაუმინებელი ძაბვის წყაროთი უზრუნველყოფა. ტრანსფორმატორები სარქველების მხარეს დაუმინებელია, რათა მიწა გამოყენებული იქნას მუდმივი დენის გამტარად, რაც ხორციელდება სარქველური გამმართველის დადებითი ან უარყოფითი ბოლოს დამინებით.

გამგლუვებელ რეაქტორებს გააჩნია დიდი - 1 ჰნ-მდე - ინდუქტიურობა. ისინი მიმდევრობით არიან ჩართული გარდამქმნელი სადგურის თითოეულ პოლუსთან. მათი ფუნქციებია:

- ჰარმონიკული ძაბვებისა და დენების შემცირება მდ ხაზში (ან ელექტროდში);
- კომუტაციის ჩაშლის პრევენცია ინვერტორებში;
- დენის წყვეტის პრევენცია დაბალი დატვირთულობისას;
- დარტყმის დენის შეზღუდვა გამმართველში, მდ ხაზზე მოკლე პერთვის განმავლობაში.

ჰარმონიკების ფილტრები. კონვერტორები წარმოქმნიან ჰარმონიკულ ძაბვებსა და დენებს, როგორც ცდ, ასევე მდ მხარეებზე. ამ ჰარმონიკებმა შეიძლება გამოიწვიოს ახლომდებარე სინქრონული გენერატორების და ტევალობების გადახურება ან ტელეკომუნიკაციის სისტემების

სიგნალებზე ზედდება. ამიტომ ფილტრები ყენდება გარდამქნელი სადგურების ორივე - ცვლად და მუდმივ - მხარეზე.

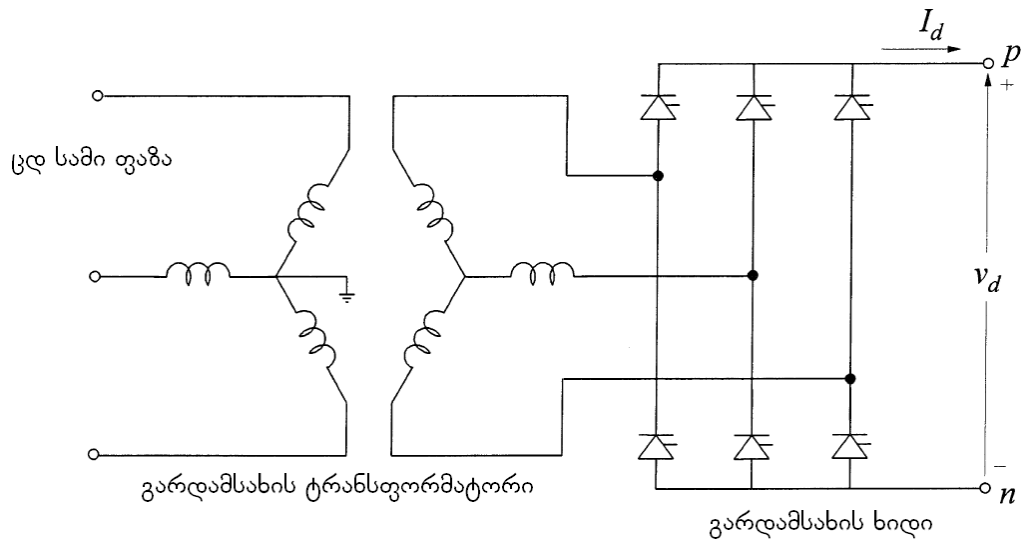
რეაქტიული ენერგიის წყაროები. კონვერტორები მუშაობისას მოიხმარენ რეაქტიულ ენერგიას. ნორმალურ დამყარებულ რეჟიმში რეაქტიული ენერგიის მოხმარება აქტიური გადასაცემი აქტიური ენერგიის დაახლოებით 50%-ს შეადგენს. ავარიებისას მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრე შეიძლება ბევრად გაიზარდოს. მაშასადამე, რეაქტიული სიმძლავრის წყაროები უნდა იქნას დაყენებული კონვერტორების სიახლოვეს. მძლავრი ცდ სისტემების შემთხვევაში ასეთ წყაროებს წარმოადგენენ უბრალოდ ტევადობები. მუდმივი დენის ჩანართის დაყენებისა და მისით დაკავშირებული ცდ სისტემების სიძლიერიდან გამომდინარე, რეაქტიული სიმძლავრის წყაროდ შეიძლება გამოყენებული იქნას სინქრონული კომპენსატორები და/ან სტატიკური ვარ კომპენსატორები. აღსანიშნავია, რომ ფილტრებში გამოყენებული ტევადობებიც უზრუნველყოფენ კონვერტორებისათვის საჭირო რეაქტიული სიმძლავრის გარკვეული ნაწილის მიწოდებას.

მდ ხაზები და ელექტროდები. მუდმივი დენის ჩანართში და ხაზში ძირითად გამტარად შეიძლება გამოყენებული იქნას საჰაერო გადაცემის ხაზი ან კაბელი. მათი კონსტრუქცია ძალიან ჰგავს ცდ ხაზებს, განსხვავებაა გამტართა რიცხვი და მათ შორის დაშორებები. ნეიტრალად შეიძლება გამოყენებული იქნას მიწა. ამ შემთხვევაში უნდა გამოყენებული იქნას მიწის დიდი ფართობის მქონე ზედაპირი, რათა შეზღუდული იქნას დენების სიმკვრივე და ზედაპირული ძაბვებების გრადიენტები. თუკი ეს შეუძლებელია რაიმე მიზეზის გამო, ნულოვან ნეიტრალად შეიძლება გამოყენებული იქნას დამატებითი სადენი.

ცდ ამომრთველები. ტრანსფორმატორებში წარმოქმნილი მოკლე შერთვების მოსახსნელად და მუდმივი დენის ჩანართის გამოსართველად ცდ მხარეს დაყენებული ამომრთველები. მდ მხარეს მოკლე შერთვების მოსახსნელად გამოიყენება არა ამომრთველები, არამედ ეს უფრო სწრაფად და ეფექტურად ხორციელდება კონვერტორების კონტროლის გამოყენებით.

9.3 მუდმივი დენის ჩანართის მოქმედების ანალიზი

მუდმივი დენის ჩანართის ძირითად მოდულს წარმოადგენს სრულპერიოდული ხიდური (ბოგური) წრედი (ნახ. 9.5). გარდამსახის ტრანსფორმატორს ცდ მხარეს ძაბვის რეგულირებისათვის გააჩნია უქმი სვლის გამოყენება. ტრანსფორმატორის ცდ მხარე, ჩვეულებრივ, შეერთებულია ვარსკვლავად და დამინებულია, ხოლო სარქველების მხარეზე მყოფი მდ მხარე სამკუთხედად ან დაუმინებელ ვარსკვლავად არის შეერთებული.



ნახ. 9.5.
სამფაზა სრულპერიოდული გამმართველი

ანალიზის სიმარტივისთვის დავუშვათ რომ:

- ცდ სისტემა, გარდამსახის ტრანსფორმატორის ჩათვლით, წარმოადგენს იდეალურ ძაბვის წყაროს;
- გამართული დენი (I_d) მუდმივი სიდიდისაა და თავისუფალია პულსირებისაგან, რაც მიღწეულია მაგლუვებელი რეაქტორის დიდი ინდუქციურობის წყალობით (L_d);
- სარქველები წარმოადგენენ იდეალურ გადამრთველებს. მათ გააჩნიათ ნულოვანი წინაღობა, როდესაც დენს ატარებენ და უსასრულო წინაღობა, როდესაც არ ატარებენ.

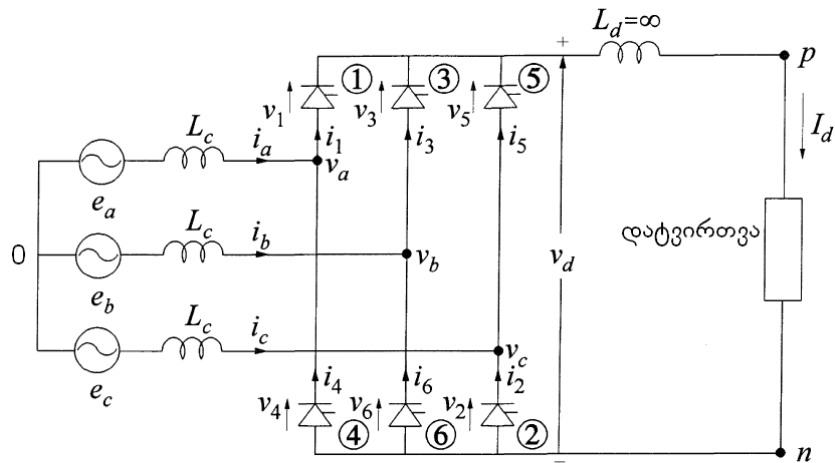
ვთქვათ, ამ დაშვებების საფუძველზე, ნახ. 9.5-ზე მოცემული ხიდური გარდამსახის ძაბვების მყისა ფაზური მნიშვნელობი წარმოვადგინეთ შემდეგი სახით:

$$\begin{aligned} e_a &= E_m \cos(\omega t + 60^\circ) \\ e_b &= E_m \cos(\omega t - 60^\circ) \\ e_c &= E_m \cos(\omega t - 180^\circ) \end{aligned} \quad (9.1)$$

მაშინ ძაბვების ხაზური მნიშვნელობებისათვის გვექნება:

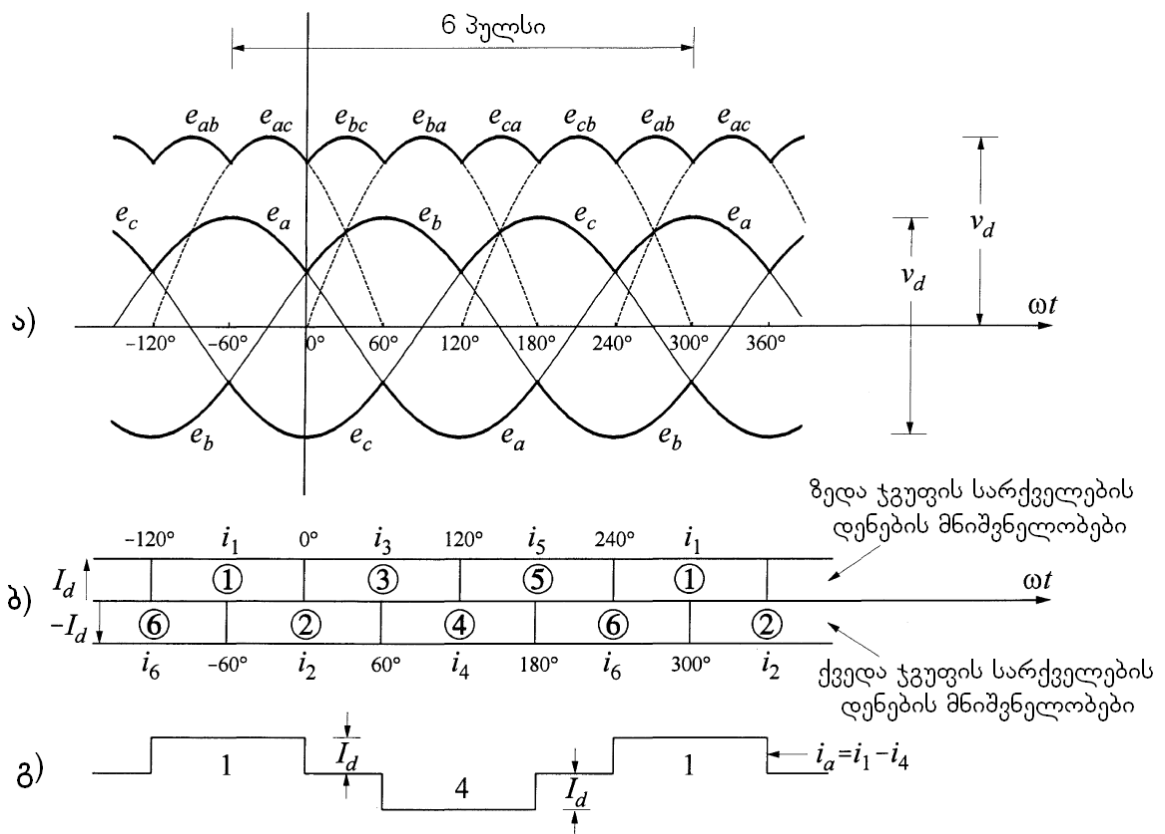
$$\begin{aligned} e_{ac} &= e_a - e_c = \sqrt{3}E_m \cos(\omega t + 30^\circ) \\ e_{ba} &= e_b - e_a = \sqrt{3}E_m \cos(\omega t - 90^\circ) \\ e_{cb} &= e_c - e_b = \sqrt{3}E_m \cos(\omega t + 150^\circ) \end{aligned} \quad (9.2)$$

ამავე დროს, დავუშვათ, რომ გამმართველების ძაბვის წყაროს არ აქვს ინდუქციურობა და სარქველების გაღების დაცოვნება.



ნახ. 9.6

სამფაზა სრულპერიოდული გამართველის ეკვივალენტური წრედი (სარქველები დანომრილია გალების თანმიმდევრობით)



ნახ. 9.7

ნახ. 9.6-ზე მოცემული ხიდის წრედის ძაბვებისა და დენების მრუდები

ა) წყაროს ფაზური და ხაზური ძაბვები, ბ) სარქველების დენები გატარების დროს, გ) ფაზის დენი i_a

ნახ. 9.6-ზე ზედა ჯგუფის 1, 2 და 5 სარქველების კათოდები ერთმანეთთანაა შეერთებული. მაშასადამე, თუკი a ფაზის დადებითი ძაბვა დანარჩენი ფაზების ძაბვებზე დიდი იქნება, გაატარებს 1 სარქველი. სამივე სარქველის კათოდების საერთო პოტენციალი 1 სარქველის ანოდის პოტენციალის ტოლია. იმდენად, რამდენადაც 3 და 5 სარქველების კათოდებს უფრო დიდი პოტენციალი აქვთ, ვიდრე ანოდებს, ამიტომ ეს სარქველები არ გაატარებს.

ქვედა ჯგუფში 2, 4 და 6 სარქველების ანოდები ერთმანეთთან არის შეერთებული. ამრიგად, 2 სარქველი ატარებს მაშინ, როდესაც c ფაზის ძაბვა უფრო მეტადაა უარყოფითი, ვიდრე დანარჩენი ორი ფაზისა.

ნახ. 9.7 ა-ზე მოცემული მრუდებიდან ჩანს, რომ 1 სარქველი ატარებს $\omega t = -120^\circ \div 0^\circ$ შუალედში, როდესაც e_a აღემატება e_b -სა და e_c -ს. 2 სარქველი ატარებს $\omega t = -60^\circ \div 60^\circ$ შუალედში, როდესაც e_c უფრო უარყოფითია, ვიდრე e_a და e_b . ნახ. 9.7-ბ-ზე მოცემულია თითოეული სარქველის გატარების პერიოდები, დენის ამპლიტუდები და ხანგრძლივობა. რადგან I_d გამართული დენი ჩავთვალეთ მუდმივ სიდიდედ, ამიტომ გატარებისას თითოეული სარქველის დენი იქნება I_d -ს ტოლი, ხოლო არ გატარებისას – ნული.

ახლა ვნახოთ, რა ხდება $\omega t = 0^\circ \div 120^\circ$ შუალედში. უშუალოდ $\omega t = 0^\circ$ -მდე ატარებდნენ სარქველები 1 და 2. $\omega t = 0^\circ$ მომენტის შემდეგ e_b უფრო დადებითი გახდება, ვიდრე e_a . სარქველი 3 აინთება და სარქველი 2 ჩაიკეტება, რადგან ამ შემთხვევაში მის კათოდს უფრო დიდი პოტენციალი აქვს, ვიდრე ანოდს. შემდეგი 60° -ის განმავლობაში ატარებენ სარქველები 2 და 3. $\omega t = 60^\circ$ -ზე e_a უფრო უარყოფითი გახდება, ვიდრე e_c , რაც გამოიწვევს სარქველის 4 გაღებას და 2-ის ჩაკეტვას.

$\omega t = 120^\circ$ -მომენტში e_c უფრო დადებითია, ვიდრე e_b . ამიტომ იხსნება სარქველი 5 და იკეტება სარქველი 3. აღნიშნულის მსგავსად, $\omega t = 180^\circ$ - მომენტში მოხდება გატარების „გადართვა“ ქვედა ჯგუფის სარქველიდან 4 სარქველზე 6. $\omega t = 240^\circ$ მომენტში გატარება გადაირთვება ზედა რიგის 5 სარქველიდან 1 სარქველზე. ამით მთავრდება გადართვების ერთი ციკლი და მიმდევრობა მეორდება.

როგორც ნახ. 9.7-დან ჩანს, თითოეული სარქველი გაღებულია 120° პერიოდით. როდესაც ის ატარებს, დენის სიდიდეა I_d . ზემო ჯგუფის სარქველები ატარებენ დადებით დენს, ხოლო ქვემო ჯგუფისა – უარყოფითს (შებრუნებულს).

ცდ წყაროს თითოეულ ფაზაში დენი შედგება ამ ფაზაში ჩართული სარქველების დენებისაგან. მაგალითად. a ფაზის დენი რომელიც გადის ნახ. 9.6-ზე ნაჩვენები გარდამსახის ტრანსფორმატორის მეორად გრაგნილში ტოლია $i_1 - i_4$. დენის გადასვლას იგივე ჯგუფის ერთი სარქველიდან მეორეზე ეწოდება „კომუტაცია“. ნახ. 9.7 ა)-დან ჩანს, რომ გამართულ ძაბვას v_d ერთ პერიოდში გააჩნია ექვსი პულსაცია. ამიტომაც უწოდებენ ნახ. 9.6-ზე მოცემულ ხიდების წრედს „6-პულსიანი ხიდის წრედს“.

გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა. გამართული ძაბვის მყისა მნიშვნელობა (ზედა ჯგუფის კათოდებსა და ქვედა ჯგუფის ანოდებს შორის) შედგება ხაზური ძაბვების 60° -იანი სეგმენტებისაგან. მაშასადამე, მუდმივი ძაბვის პოვნა შესაძლებელია მყისა ძაბვის გაინტეგრებით ნებისმიერ 60° -იან პერიოდში.

ωt აღვნიშნოთ θ -თი და განვიხილოთ პერიოდი $\omega t = -60^\circ \div 0$, მაშინ გამართული საშუალო ძაბვა, გაღების კუთხის გაუთვალისწინებლად, იქნება:

$$V_{d0} = \frac{1}{\pi/3} \int_{-60^\circ}^0 e_{ac} d\theta = \frac{3}{\pi} \int_{-60^\circ}^0 e_{ac} d\theta \quad (9.3)$$

(9.1) ფორმულიდან ჩავსვათ e_{ac} -ს მნიშვნელობა (9.3)-ში, მივიღებთ:

$$V_{d0} = \frac{3}{\pi} \int_{-60^\circ}^0 \sqrt{3} E_m \cos(\theta + 30^\circ) = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} E_m \sin(\omega t + 30^\circ) \Big|_{-60^\circ}^0 =$$

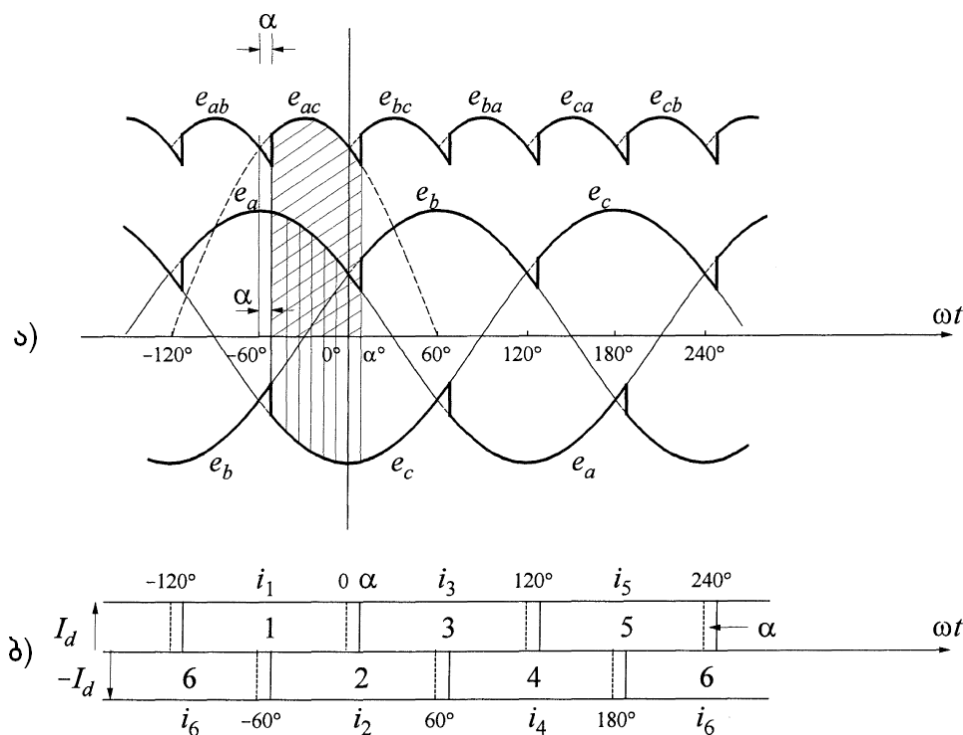
$$= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} E_m 2 \sin 30^\circ = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} E_m = 1.65 E_m$$
(9.4)

სადაც E_m არის ფაზური ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობა.

მოქმედი ფაზური ($E_{ფ}$) და ხაზური ($E_{\text{ხ}}$) ძაბვები V_{d0} -ით გამოისახება შემდეგნაირად:

$$V_{d0} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} E_{ფ} = 2.34 E_{ფ} \text{ და } V_{d0} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} E_{\text{ხ}} = 1.35 E_{\text{ხ}}$$
(9.5)

9.3.1 გალების დაყოვნება. მუდმივი დენის ჩანართზე გადაღინების რეგულირებისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნას „გალების დაყოვნების კუთხის“ ცვლილება. იგი აღინიშნება α -თი და შეესაბამება α/ω წმ-ის ტოლ დროის დაყოვნებას. ამრიგად, სარქველი 3 გაიხსნება როდესაც $\omega t = \alpha$ (ნაცვლად $\omega t = 0$ -ისა), სარქველი 4 გაიხსნება, როდესაც $\omega t = \alpha + 60^\circ$, სარქველი 5 - როდესაც $\omega t = \alpha + 120^\circ$ და ა.შ. (ნახ. 9.8).



ნახ. 9.8.

ძაბვების და დენების მრუდები, გალების დაყოვნების გათვალისწინებით

გალების კუთხე შეზღუდულია 180° -მდე. თუკი α გადააჭარბებს 180° -ს, მაშინ სარქველის გახსნის პროცესი ჩაიშლება. მაგალითად, სარქველი 3 შეიძლება აინთოს $\alpha = \omega t = 0 \div 180^\circ$ შუალედში. ამის შემდეგ e_b აღარ არის e_a -ზე დიდი და ამიტომ სარქველი 3 აღარ გაიხსნება.

ნახ. 9.8-ის თანახმად, მუდმივი ძაბვა V_d , დაყოვნების α -ის ტოლი კუთხის გათვალისწინებით, იქნება:

$$V_{d0} = \frac{3}{\pi} \int_{-(60^\circ-\alpha)}^{\alpha} e_{ac} d\theta = \frac{3}{\pi} \int_{\alpha-60^\circ}^{\alpha} \sqrt{3} E_m \cos(\theta + 30^\circ) d\theta = V_{d0} \int_{\alpha-60^\circ}^{\alpha} \cos(\theta + 30^\circ) d\theta = V_{d0} \cos(\theta + 30^\circ) \Big|_{\alpha-60^\circ}^{\alpha} =$$

$$= V_{d0} [\sin(\theta + 30^\circ) - \sin(\theta - 30^\circ)] = V_{d0} (2 \sin 30^\circ) \cos \alpha = V_{d0} \cos \alpha \quad (9.6)$$

ამრიგად, გალების დაყოვნების ეფექტი ამცირებს საშუალო მუდმივ ძაბვას $\cos \alpha$ ნამრავლით.

რადგან α იცვლება 0-დან 180° , ამიტომ $\cos \alpha$ შეიძლება იცვლებოდეს -1-დან 1-მდე ზღვარში. ამიტომ V_d შეიძლება იცვლებოდეს V_{d0} დან $-V_{d0}$ მდე. უარყოფითი V_d შეესაბამება გამართვის შებრუნებას ანუ ინვერტირებას.

9.3.2 დენისა და ფაზის ურთიერთდამოკიდებულება. α -ს გაზრდით, ძვრა მკვეთრად ფაზის ცვლად დენსა და ცვლად ძაბვას შორის ასევე იზრდება. ეს ნაჩვენებია ნახ. 9.9-ზე α ფაზისთვის. დენის ტალღის ფორმა, როგორც ნახ. 9.8-ბ)–დან ჩანს, შედგება სწორკუთხა სეგმენტებისაგან, რომლებიც შეესაბამება სარქველების 1 და 4 დენებს.

გამართული დენი, დაშვების თანახმად, მუდმივად ჩავთვალოთ. ვინაიდან თითოეული სარქველი იხსნება 120° -იანი პერიოდით, ამიტომ ცვლადი დენს ექნება I_d ამპლიტუდის მქონე სწორკუთხა ფორმა – ხანგრძლივობით 120° ანუ $2\pi/3$ რად. თუ დავუშვებთ, რომ გადათარვას არ აქვს ადგილი, მაშინ ცვლადი დენის ფორმა არ იქნება დამოკიდებული α -ზე. α -ს ცვლილება მხოლოდ ფაზური ძვრის ცვლილებას იწვევს.

თუკი გარდამსახში დანაკარგებს უგულებელვყოფთ, ცვლადი და მუდმივი სიმძლავრეები უნდა იყოს ერთმანეთის ტოლი. შესაბამისად:

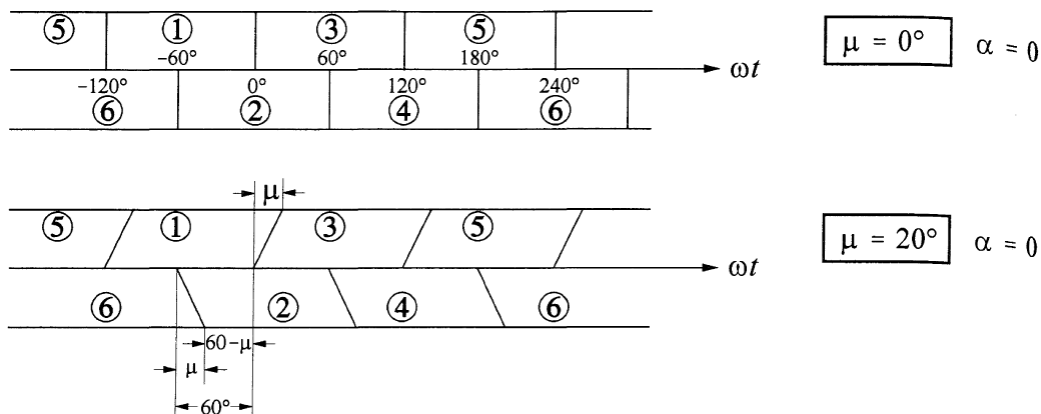
$$3E_{\text{ფ}} I_{\text{ფ}} \cos \phi = V_d I_d = (V_{d0} \cos \alpha) I_d \quad (9.7)$$

$\cos \phi = \cos \alpha$ -ს ეწოდება ვექტორული სიმძლავრის კოეფიციენტი, ან ძვრის კოეფიციენტი.

მაშასადამე, გარდამსახში გარდაქმნის მუდმივ დენს ცვლადად (ან პირიქით) ისე, რომ დენის სიდიდე მუდმივი რჩება, მაგრამ იცვლება ძაბვის სიდიდე, გახსნის კუთხის მიხედვით. აღნიშნული ხორციელდება სარქველების გალების რეგულირებით.

დაყოვნების კუთხე α ძრავს დენის ტალღას და მის ძირითად ნაწილს $\phi = \alpha$ კუთხით, რაც ნავენებია ნახ. 9.9-ზე. როცა $\alpha = 0^\circ$ ძირითადი დენის ნაწილისა i_{a1} ფაზით ემთხვევა e_a ძაბვის ფაზას; აქტიური სიმძლავრე $P_a = E_a I_{a1} \cos \phi$ დადებითია, ხოლო რეაქტიული სიმძლავრე $Q_a = E_a I_{a1} \sin \phi$ უდრის ნულს. როდესაც α იზრდება 0° -დან 90° -მდე, P_a მცირდება, ხოლო Q_a იზრდება. $\alpha = 90^\circ$ -ზე P_a ნულის ტოლია, ხოლო Q_a მაქსიმალურია. როდესაც α იზრდება 90° -დან 180° -მდე, P_a ხდება უარყოფითი, მაგრამ მისი ამპლიტუდა იზრდება, ხოლო Q_a რჩება დადებითი, მაგრამ მისი ამპლიტუდა მცირდება. $\alpha = 180^\circ$ -ზე P_a უარყოფითია და მაქსიმალური მნიშვნელობა აქვს, ხოლო Q_a ნულის ტოლია. როგორც ვხედავთ, მიუხედავად იმისა, გარდამსახში მუშაობს გამართვის თუ ინვერტირების რეჟიმში, იგი სისტემიდან მოიხმარს რეაქტიულ სიმძლავრეს.

ნორმალური მუშაობისას, გადაფარვის კუთხე არ აღემატება 60° -ს და ტიპური სრულად დატვირთული სარქველებისათვის $15^\circ < \mu < 25^\circ$. როცა $0^\circ < \mu < 60^\circ$, კომუტაციის პერიოდში ერთდროულად სამი სარქველია გახსნილი, თუმცა კომუტაციებს შორის მხოლოდ ორი სარქველი ატარებს დენს. ახალი კომუტაცია იწყება ყოველ 60° -ში და გრძელდება კუთხური დროით μ . მაშასადამე, კუთხური პერიოდი, როცა ადგილი აქვს დენის გატარებას ორი სარქველის მიერ, გალების დაყოვნების კუთხის გაუთვალისწინებლად (ე.ი. $\alpha = 0$) არის $60^\circ - \mu$, რაც ნაჩვენებია ნახ. 9.9-ზე. ნებისმიერი კომუტაციის პერიოდის განმავლობაში გალებად სარქველში დენი იზრდება 0-დან I_d -მდე, ხოლო დახურვად სარქველში - მცირდება I_d -დან 0-მდე. ნახ. 9.10-ზე მოცემულია სარქველების კომუტაციის პერიოდები.



ნახ. 9.10.

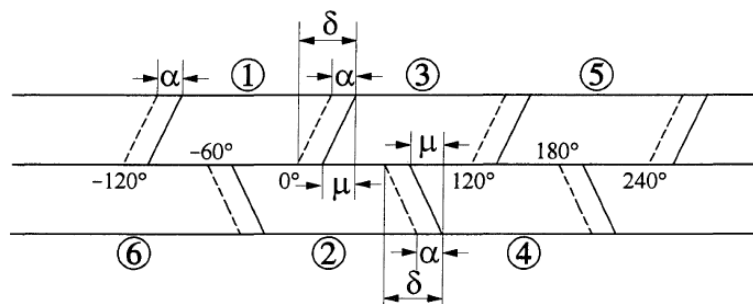
გადაფარვის კუთხის მოვლენა სარქველების გალების პერიოდებში

როცა $60^\circ < \mu < 120^\circ$, არანორმალური მუშაობის რეჟიმი მყარდება, რომელშიც სარქველები 3 და 4 ატარებენ. ჩვენ განვიხილავთ მხოლოდ ნორმალური მუშაობის რეჟიმს, როდესაც $\mu < 60^\circ$.

განვიხილოთ გადაფარვის მოვლენა, როდესაც ხდება კომუტაცია სარქველიდან 3 სარქველზე 4. ნახ. 9.11-ზე მოცემულია სარქველების გახსნის პერიოდები, როდესაც გათვალისწინებულია გალების კუთხეები. კომუტაცია იწყება, როდესაც $\omega t = \alpha$ (გალების ანუ გახსნის დაყოვნების კუთხე) და მთავრდება, როდესაც $\omega t = \alpha + \mu = \delta$, სადაც δ არის ანთების კუთხე (დაყოვნებისა და გადაფარვის კუთხეების ჯამის ტოლი).

კომუტაციის დასაწყისში ($\omega t = \alpha$): $i_1 = I_d$ და $i_3 = 0$;

კომუტაციის დასასრულს ($\omega t = \alpha + \mu = \delta$): $i_1 = 0$ და $i_3 = I_d$;

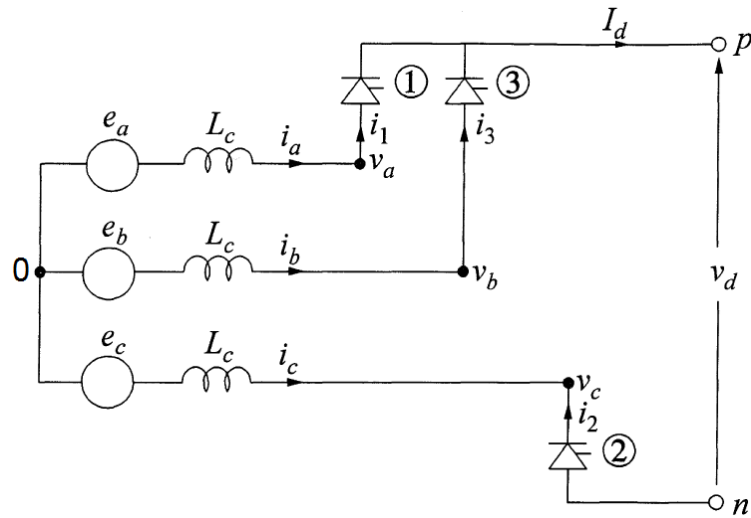


ნახ. 9.11.

სარქველების გახსნის პერიოდები გალების კუთხის გათვალისწინებით

კომუტაციის პერიოდში სარქველები 1, 2 და 3 გახსნილია და გარდამსახის მოქმედი წრედი მოცემულია ნახ. 9.12-ზე. ამ ნახ-დან, სარქველებისათვის 1 და 3 გვაქვს:

$$e_b - e_a = L_c \frac{di_3}{dt} - L_c \frac{di_1}{dt} \quad (9.8)$$



ნახ. 9.12.

კომუტაციის ეკვივალენტური წრედი (ჩაკეტილი სარქველები ნაჩვენები არ არის)

ძაბვას $e_b - e_a$ ეწოდება „კომუტაციის ძაბვა“. (9.8)-დან

$$\sqrt{3}E_m \sin \omega t = L_c \frac{di_3}{dt} - L_c \frac{di_1}{dt} \quad (9.9)$$

ვინაიდან $i_1 = I_d - i_3$

$$\frac{di_1}{dt} = 0 - \frac{di_3}{dt} \quad (9.10)$$

მაშასადამე,

$$e_b - e_a = \sqrt{3}E_m \sin \omega t = 2L_c \frac{di_3}{dt} \quad (9.11)$$

ანუ

$$\frac{di_3}{dt} = \frac{\sqrt{3}E_m}{2L_c} \sin \omega t \quad (9.12)$$

გამოვთვალოთ განსაზღვრული ინტეგრალი t -ის მიმართ, რომლიც ქვემო ზღვარი შეესაბამება კომუტაციის საწყის მომენტს $\omega t = \alpha$ ანუ $t = \alpha / \omega$ -ს:

$$\int_0^{t_3} di_3 = \frac{\sqrt{3}E_m}{2L_c} \int_{\alpha/\omega}^t \sin \omega t dt \quad (9.13)$$

ზემოთ მოცემული გამოსახულების ინტეგრირების შედეგად მივიღებთ

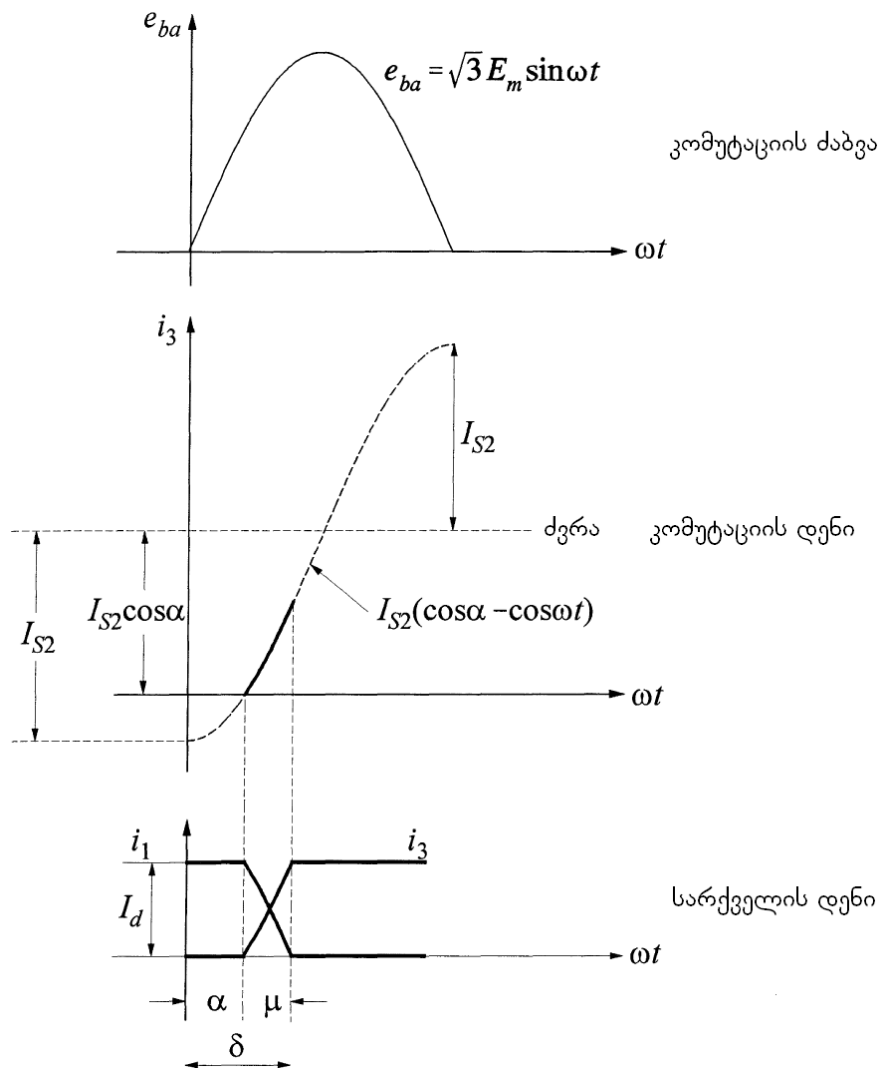
$$i_3 = \frac{\sqrt{3}E_m}{2\omega L_c} (\cos \alpha - \cos \omega t) = I_{s2} (\cos \alpha - \cos \omega t) \quad (9.14)$$

სადაც

$$I_{s2} = \frac{\sqrt{3}E_m}{2\omega L_c} \quad (9.15)$$

i_3 დენი შედგება მუდმივი მდგენელისაგან $I_{S2} \cos \alpha$ და სინუსოიდური მდგენელისაგან $-I_{S2} \cos \omega t$, რომელიც კომუტაციურ ძაბვას ჩამორჩება 90° -ით. ეს იმიტომ, რომ პრაქტიკულად ფაზათაშორის მშ-სთან გვაქვს საქმე $2\omega L_c$ წინალობის გავლით. i_3 -ის მუდმივი ნაწილი დამოკიდებულია α -ზე და ემსახურება კომუტაციის დასაწყისში გახადოს $i_3 = 0$.

როგორც ნახ. 9.13-დან ჩანს, კომუტაციის განმავლობაში დენი წარმოადგენს $I_{S2} = \sqrt{3}E_m : (2\omega L_c)$ -ის ტოლი პიკის მქონე სინუსოიდური დენის სეგმენტს. სეგმენტის ფორმა დამოკიდებულია კონტროლის კუთხეზე α . მაშასადამე, გადაფარვის კუთხე დამოკიდებულია სიდიდეებზე I_d , L_c და α .



ნახ. 9.13.

კომუტაციის დროს დენების დამოკიდებულება კომუტაციის ძაბვაზე

კომუტაციის განმავლობაში i_1 -ის ფორმა შეესაბამება $i_1 = I_d - i_3$ -ს. როდესაც α არის 0° -ის ან 180° -ის სიახლოვეს, კომუტაციის პერიოდი ანუ გადაფარვა უდიდესია. გადაფარვა უმოკლესია, როდესაც $\alpha = 90^\circ$, რადგან i_3 შეესაბამება სინუსოიდის თითქმის წრფივ სეგმენტს. ამასთანავე, თუკი E_m მცირდება ან I_d იზრდება, იზრდება გადაფარვა.

კომუტაციური გადაფარვით გამოწვეული ძაბვის შემცირება. კომუტაციის დროს:

$$v_a = v_b = e_b - L_c \frac{di_3}{dt} \quad (9.16)$$

(9.11)-დან

$$L_c \frac{di_3}{dt} = \frac{e_b - e_a}{2} \quad (9.17)$$

ანუ

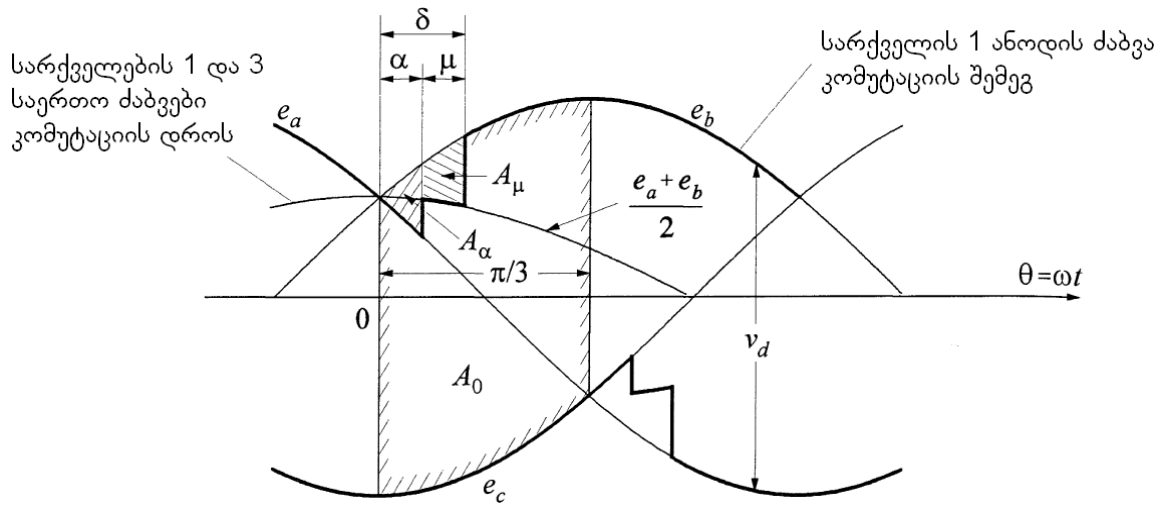
$$v_a = v_b = e_b - \frac{e_b - e_a}{2} = \frac{e_a + e_b}{2} \quad (9.18)$$

გადატარვის გამო p გამომყვანის ძაბვა (ნახ. 9.12) $\omega t = \alpha$ -ის შემდეგ მყისიერად ხდება $(e_a + e_b)/2$ და არა e_b . მაშასადამე, როგორც ნახ. 9.13-დან ჩანს, გადატარვის ეფექტი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ყოველ 60° ($\pi/3$ რად) - ში ერთხელ A_0 ფართიდან A_μ ფართის ამონაჭერი.

$$A_\mu = \int_\alpha^\delta \left(e_b - \frac{e_b + e_a}{2} \right) d\theta = \int_\alpha^\delta \frac{e_b - e_a}{2} d\theta = \frac{\sqrt{3}E_m}{2} \int_\alpha^\delta \sin\theta d\theta = \frac{\sqrt{3}E_m}{2} (\cos\alpha - \cos\delta) \quad (9.19)$$

გადატარვის შესაბამისი საშუალო ძაბვის შემცირება ტოლია:

$$\Delta V_d = \frac{A_\mu}{\pi/3} = \frac{3}{\pi} \frac{\sqrt{3}}{2} E_m (\cos\alpha - \cos\delta) = \frac{V_{d0}}{2} (\cos\alpha - \cos\delta) \quad (9.20)$$



ნახ. 9.14.

ძაბვის მრუდები, რომელიც უჩვენს გადატარვის ეფექტს, სარქველი 1-დან სარქველზე 3 გადასვლისას

სადაც V_{d0} არის იდეალური, უქმი სვლის ძაბვა მოცემული (9.6)-ით

(9.14) –დან კომუტაციის განმავლობაში

$$i_3 = \frac{\sqrt{3}E_m}{2\omega L_c} (\cos\alpha - \cos\omega t) \quad (9.21)$$

ვინაიდან კომუტაციის დასასრულს $\omega t = \delta$ და $i_3 = I_d$, ამიტომ

$$I_d = \frac{\sqrt{3}E_m}{2\omega L_c} (\cos\alpha - \cos\delta) = I_s (\cos\alpha - \cos\delta) \quad (9.22)$$

მაშასადამე,

$$\frac{\sqrt{3}E_m}{2}(\cos\alpha - \cos\delta) = I_d\omega L_c \quad (9.23)$$

(9.23)-ის (9.20)-ში ჩასმის შემდეგ ვღებულობთ:

$$\Delta V_d = \frac{3}{\pi} I_d \omega L_c \quad (9.24)$$

კომუტაციური გადაფარვისად და გახსნის დაყოვნება, ფორმალურად ძაბვის შემცირებას ასახავს A_μ და A_α , შესაბამისი შემცირებული მუდმივი ძაბვა ტოლია:

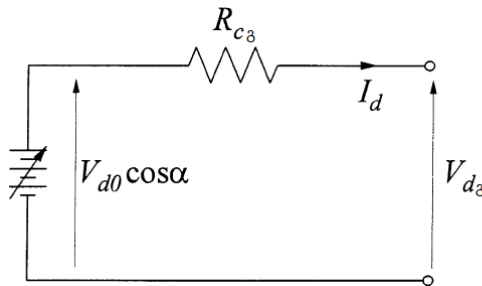
$$V_d = V_{d0} \cos\alpha - \Delta V_d = V_{d0} \cos\alpha - R_c I_d \quad (9.25)$$

სადაც

$$R_c = \frac{3}{\pi} \omega L_c = \frac{3}{\pi} X_c \quad (9.26)$$

და R_c -ს უწოდებენ „ეკვივალენტურ კომუტაციურ აქტიურ წინაღობას“. იგი იანგარიშება კომუტაციური გადაფარვით გამოწვეული ძაბვის შემცირების გამოსახად. მაგრამ აღსანიშნავია, რომ ის არ წარმოადგენს რეალურ სიდიდეს და მასში არ იკარგება სიმძლავრე.

გამმართველის მუშაობა. ზემოთ ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე შედგენილი გამმართველის ეკვივალენტური წრედი მოყვანილია ნახ. 9.15-ზე. ამ წრედისთვის ძაბვა და დენი მოცემულია საშუალო მნიშვნელობებით. შიგა ძაბვა არის გაღების α კუთხის ფუნქცია. გადაფარვის μ კუთხე მართალია უშუალოდ არაა ამ წრედში გათვალისწინებული, მაგრამ კომუტაციური გადაფარვის მოვლენა წარმოდგენილია R_{cg} -ით. გარდამსახის გამმართველის რეჟიმში მუშაობისას, ძაბვების მრუდები და სარქველების გახსნის პერიოდები მოცემულია ნახ. 9.16-ზე.



$$R_{c3} = \frac{3}{\pi} X_{c3}$$

$$V_{d0} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} E_m$$

ნახ. 9.15.

გამმართველი ხიდის ეკვივალენტური წრედი.

ინვერტორის მუშაობა. თუკი არ აქვს ადგილი კომუტაციურ გადაფარვას, მაშინ $V_d = V_{d0} \cos\alpha$, მაშასადამე V_d შებრუნდება $\alpha = 90^\circ$ -ზე.

გადაფარვის შემთხვევაში

$$V_d = V_{d0} \cos\alpha - \Delta V_d \quad (9.27)$$

თუკი ΔV_d -ს მიშვნელობას გავითვალისწინებთ (9.20)-დან, გექნება:

$$V_d = V_{d0} \cos\alpha - \frac{V_{d0}}{2}(\cos\alpha - \cos\delta) = \frac{V_{d0}}{2}(\cos\alpha + \cos\delta) \quad (9.28)$$

გახსნის კუთხის გარდამავალი მნიშვნელობა α_{δ} , რომლის შემდეგაც პეტრიალეზას (ინვერსიას) ექნება ადგილი, შეიძლება განისაზღვროს შემდეგნაირად:

$$\cos \alpha_{\delta} + \cos \delta_{\delta} = 0 \quad (9.29)$$

ანუ

$$\alpha_{\delta} = \pi - \delta_{\delta} = \pi - \alpha_{\delta} - \mu = \frac{\pi - \mu}{2} \quad (9.30)$$

ამრიგად, გადაფარვის მოვლენა α_{δ} -ს 90^0 -დან შეამცირებს $90^0 - \mu/2$ -მდე.

ერთი შეხედვით შეიძლება უცნაურად ჩანდეს გახსნის პულისის დაყოვნება, ვიდრე ანოდის მოქმედი ძაბვა გახდებოდა უარყოფითი. მაგრამ უნდა გავითვალისწინოთ, რომ კომუტაცია ყოველთვის არის შესაძლებელი, რადგან კომუტაციის ძაბვა ($e_{ba} = e_b - e_a$) დადებითია და რადგან დახურვად სარქველზე შებრუნებული ძაბვა მოედება მისი ჩაქრობის შემდეგ.

ვინაიდან სარქველი მხოლოდ ერთი მიმართულებით ატარებს, ამიტომ გარდამსახის დენს არ შეუძლია მიმართულების შეცვლა. V_d -ს შეცვლა ინვერსიის სიმძლავრის მიმართულების შეცვლას.

ინვერტორის მუშაობა. გადაფარვის არარსებობის შემთხვევაში $V_d = V_{d0} \cos \alpha$, მაშასადამე V_d ნიშნის იცვლის $\alpha = 90^0$.

გადაფარვის არსებობისას კი

$$V_d = V_{d0} \cos \alpha - \Delta V_d \quad (9.31)$$

აქ ΔV_d -ს მნიშვნელობა შევითანოთ (9.20)-დან, გვექნება

$$V_d = V_{d0} \cos \alpha - \frac{V_{d0}}{2} (\cos \alpha - \cos \delta) = \frac{V_{d0}}{2} (\cos \alpha + \cos \delta) \quad (9.32)$$

გარდამავალი კუთხე α_t , რომლის შემდეგაც ნიშანცვლას ექნება ადგილი, მოიცემა შემდეგი ტოლობით:

$$\cos \alpha_t + \cos \delta_t = 0 \quad (9.33)$$

ან

$$\alpha_t = \pi - \delta_t = \pi - \alpha_t - \mu \quad (9.34)$$

$$\alpha_t = \frac{\pi - \mu}{2} \quad (9.35)$$

გადაფარვის ეფექტის შედეგად, α_t 90^0 -დან მცირდება $90^0 - \mu/2$ -მდე.

ერთი შეხედვით, შეიძლება უცნაური იყოს გამტები იმპულსის მიწოდება, ვიდრე ანოდის ძაბვა გახდებოდა უარყოფითი. თუმცა უნდა გავითვალისწინოთ, რომ კომუტაცია მუდამ შესაძლებელია, რადგან კომუტაციის ძაბვა ($e_{ba} = e_b - e_a$) დადებითია და რადგან ჩაქრობად სარქველზე მისი ჩაქრობის შემდეგ მოედება ნიშანცვლილი ძაბვა.

ვინაიდან სარქველი მხოლოდ ერთი მიმართულებით ატარებს, გარდამსახში დენს არ შეუძლია ნიშანცვლა. ნიშანცვლილი V_d ნიშნავს ნიშანცვლილ სიმძლავრეს. ინვერტორის მუშაობისთვის ტრანსფორმატორის პირველად მხარეზე უნდა არსებობდეს ცვლადი ძაბვა. ინვერტორის მუდმივი ძაბვა დენის საწინააღმდეგოდაა მიმართული, ისევე როგორც მდ ძრავში და მას დენძაბვა ან უკუძაბვა ეწოდება. გამმართველის მხრიდან მოდებული მუდმივი ძაბვა აიძულებს დენებს ინვერტორის სარქველებში გასვლასა და უკუძაბვის გადალახვას.

ნახ. 9.16-ზე მოცემულია ძაბვების ცვლილების მრუდები და საქრეველების გალების პერიოდები, გარდამსახის ინვერტორულ რეჟიმში მუშაობისას. წარმატებული კომუტაციისათვის, ჩაქრობადი სარქველიდან ანთებად სარქველზე გადასვლა უნდა დასრულდეს მანამ, სანამ კომუტაციის ძაბვა გახდება უარყოფითი. მაგალითისათვის, 1-დან 3-ე სარქველზე გადასვლა მხოლოდ მაშინ არის შესაძლებელი, როდესაც e_b -ს გააჩნია უფრო დიდი დადებითი მნიშვნელობა ვიდრე e_a -ს. გადასვლა 1-დან 3-ე სარქველზე უნდა დასრულდეს, ვიდრე e_b უფრო დიდი გახდებოდეს ვიდრე e_a , სარქველების დეიონიზაციისათვის საჭირო მარაგის გათვალისწინებით.

გამმართველის მოქმედების აღსაწერად გამოვიყენოთ შემდეგი კუთხეები:

α = გალების დაყოვნების დრო;

μ = გადაფარვის კუთხე;

$\delta = \alpha + \mu$ = ქრობის კუთხე;

α ეს არის კუთხე რომლითაც ხდება ანთების დაყოვნება, რომლითაც მყისიერი გახსნიდან.

ინვერტორის მოქმედებაც ასევე შეიძლება ზემოაღნიშნული კუთხეებით, მაგრამ მათ ექნებათ მნიშვნელობები 90° -დან 180° -მდე შუალედში. თუმცა, მიღებულია რომ ინვერტორის კუთხეები აღნიშნულ იქნას შემდეგნაირად:

$\beta = \pi - \alpha$ = გალების დაყოვნების დრო;

$\mu = \delta - \alpha$ = გადაფარვის კუთხე;

$\gamma = \pi - \delta$ = ქრობის კუთხე;

ვინაიდან $\cos \alpha = -\cos \beta$ და $\cos \delta = -\cos \gamma$, გამოსახულებები (9.22) და (9.25) β -თი და γ -თი შეიძლება ჩაწერილი იქნას შემდეგნაირად:

$$I_d = I_{s2}(\cos \gamma - \cos \beta) \quad (9.36)$$

$$V_d = V_{d0} \frac{\cos \gamma + \cos \beta}{2} \quad (9.37)$$

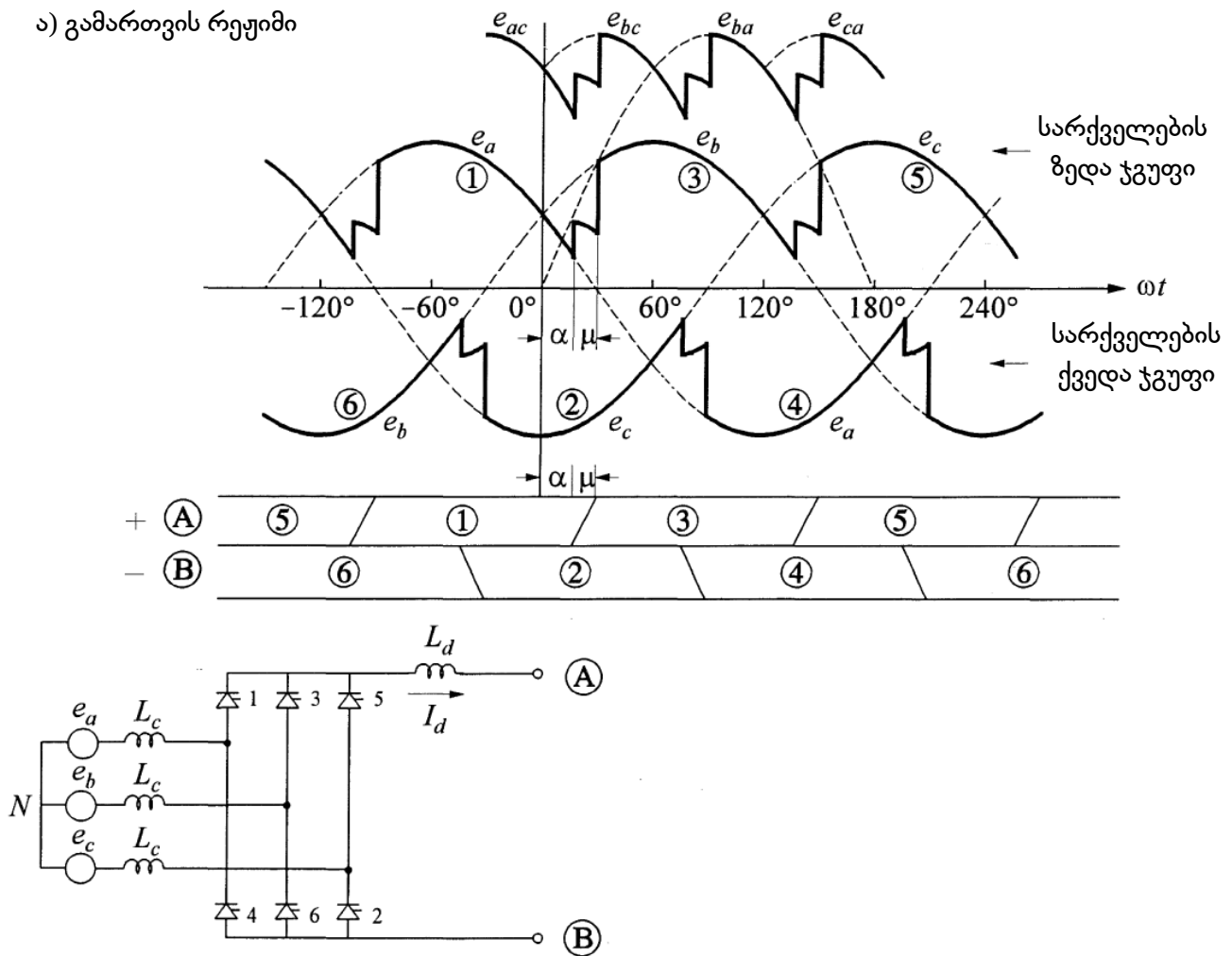
აბ

$$V_d = V_{d0} \cos \beta - R_C I_d \quad (9.38)$$

აბ

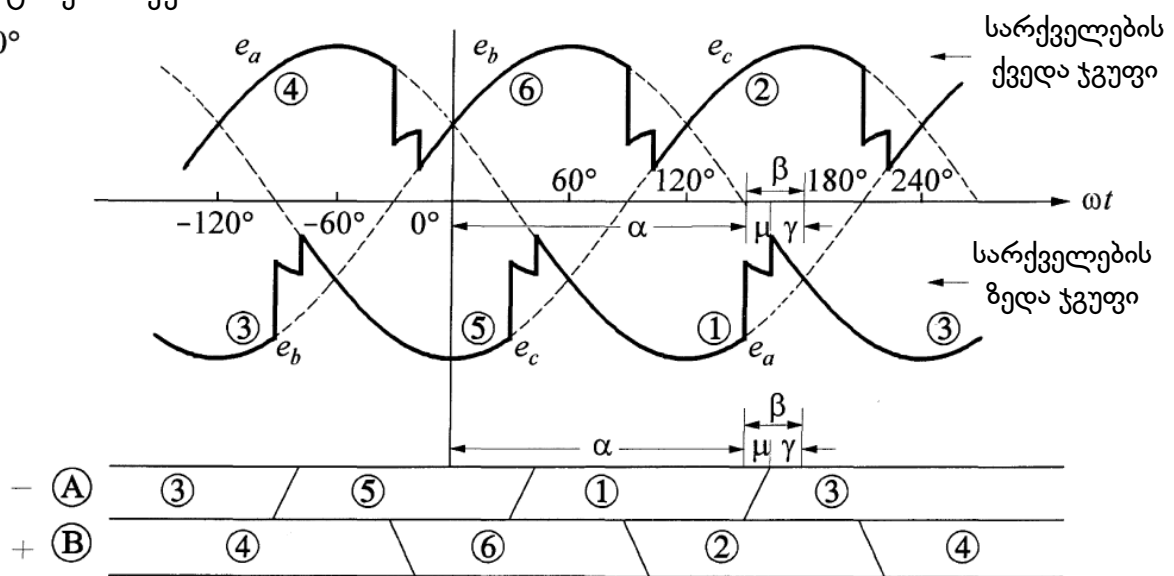
$$V_d = V_{d0} \cos \gamma - R_C I_d \quad (9.39)$$

ა) გამართვის რეჟიმი



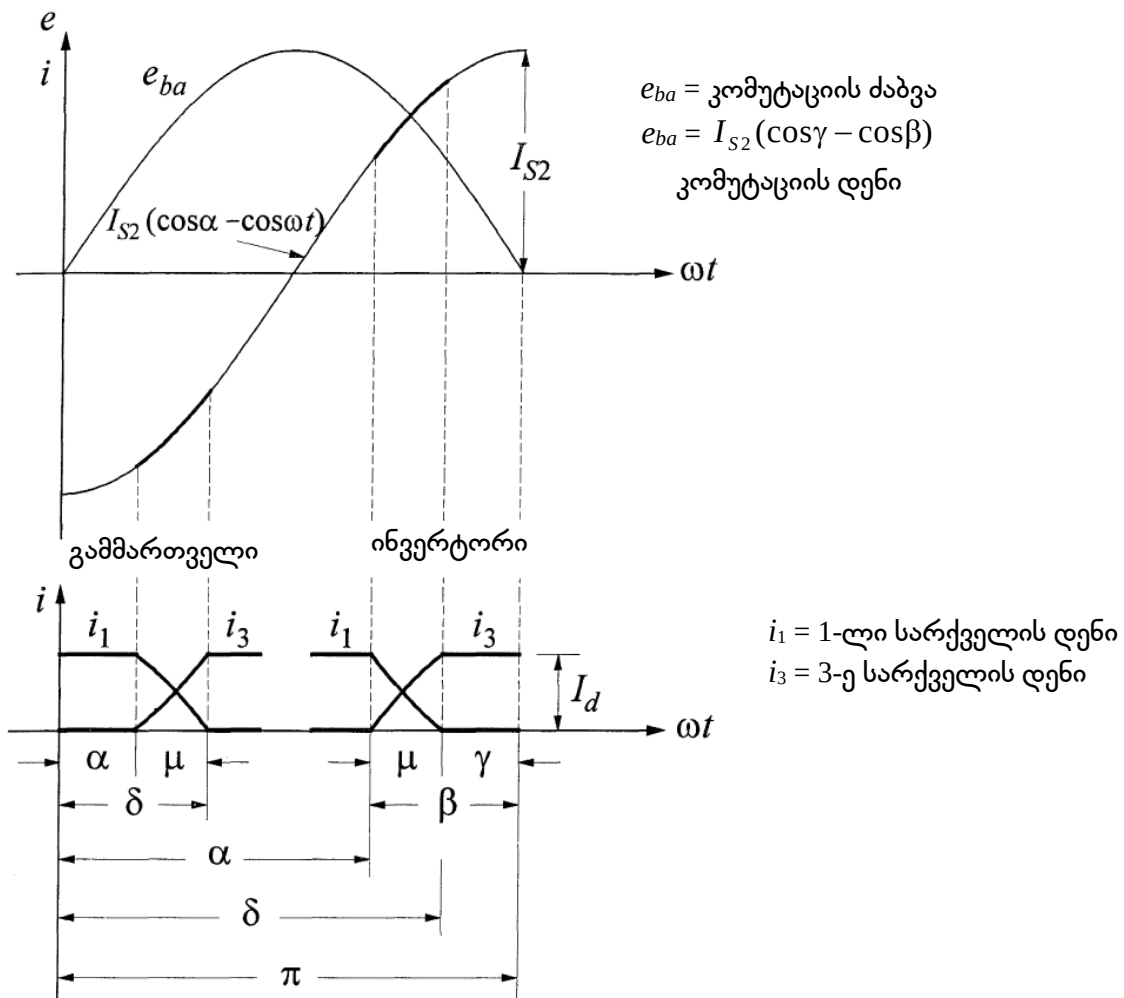
ბ) ინვერტირების რეჟიმი

$\alpha > 120^\circ$



ნახ. 9.16

ძაბვების მრუდები და სარქველების გატარების პერიოდები

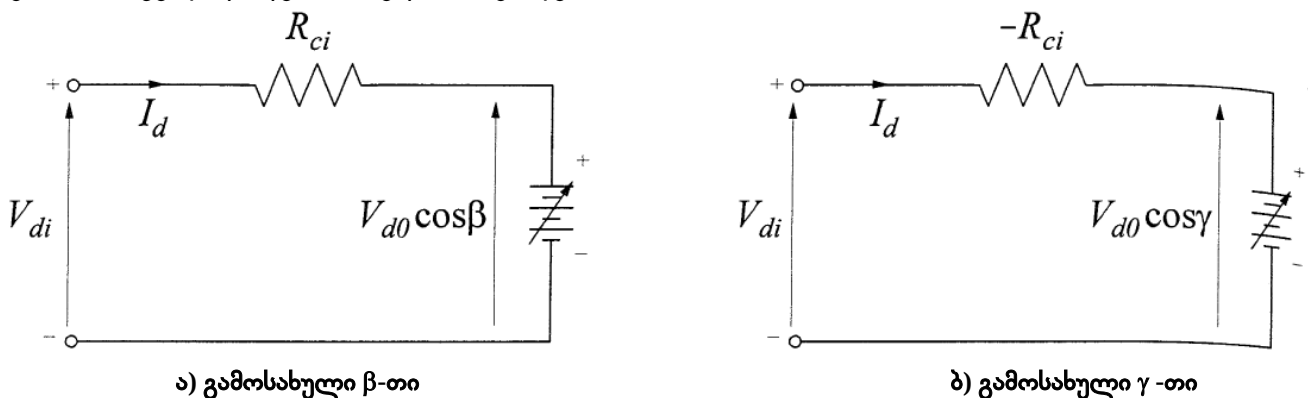


ნახ. 9.17.

გამმართველის და ინვერტორის მუშაობის აღსანიშნად გამოყენებული კუთხეები

ინვერტორის ძაბვა, გარდამსახის განტოლებებში, ძირითადად, აიღება უარყოფითი ნიშნის, მაგრამ როდესაც უშუალოდ ინვერტორთან გვაქვს შეხება, მას ვიღებთ დადებითს.

ზემოაღნიშნული განტოლებების საფუძველზე, ინვერტორი შეიძლება წარმოდგენილი იქნას ორი ცვლადი დენის წრედის საშუალებით (ნახ. 9.18).



ნახ. 9.18.

ინვერტორის ეკვივალენტური წრედები (V_{di} დადებითია)

დამოკიდებულება ცვლადი დენის და მუდმივი დენის სიდიდეებს შორის. (9.27)-ის თანახმად:

$$V_d = V_{d0} \cos \alpha - \Delta V_d = V_{d0} \frac{\cos \alpha + \cos \delta}{2} \quad (9.39)$$

V_{d0} (9.5-დან) შევცვალოთ ცვლადი ფაზური ემძ-ის მოქმედი E_{φ} მნიშვნელობით, მივიღებთ:

$$V_d = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \frac{\cos \alpha + \cos \delta}{2} E_{\varphi} \quad (9.40)$$

თუ დანაკარგებს უგულებელვყოფთ, ცვლადი დენის და მუდმივი დენის სიმძლავრეები ტოლია:

$$P_{\text{ცვლ}} = P_{\text{მდ}} \quad (9.41)$$

მაშასადამე:

$$3E_{\varphi} I_{\varphi} \cos \phi = V_d I_d \quad (9.42)$$

სადაც

E_{φ} = ცვლადი ფაზური ემძ-ის მოქმედი მნიშვნელობაა,

I_{φ} = ძირითადი (ნომინალური) სიხშირის დენის მოქმედი მნიშვნელობა.

(9.40)-დან

$$3E_{\varphi} I_{\varphi} \cos \phi = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \frac{\cos \alpha + \cos \delta}{2} E_{\varphi} I_d \quad (9.43)$$

საიდანაც

$$I_{\varphi} \cos \phi = \left(\frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d \right) \left(\frac{\cos \alpha + \cos \delta}{2} \right) \quad (9.44)$$

$\mu=0$ -სთვის

$$I_{\varphi} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d \quad (9.45)$$

ამ დენის მნიშვნელობა $\mu=0$ -სთვის აღვნიშნოთ $I_{\varphi 0}$ -ით. მაშინ (9.45) შეიძლება შემდეგნაირად იქნას ჩანერგილი:

$$I_{\varphi} \cos \phi = I_{\varphi 0} \left(\frac{\cos \alpha + \cos \delta}{2} \right) \quad (9.46)$$

სადაც

$$I_{\varphi 0} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d \quad (9.47)$$

მიახლოებითი გამოსახულებები. შეგვიძლია ვთქვათ, რომ დაახლოებით

$$I_{\varphi} \approx I_{\varphi 0} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d \quad (9.48)$$

ამ დაშვების ცდომილება $\mu=0$ -ზე 0-ია, $\mu=30^\circ$ -ზე 1.1%-ია, ხოლო $\mu=60^\circ$ -ზე 4.3%-ია.

აქედან გამომდინარე, სიმძლავრის კოეფიციენტი შეიძლება შემდეგნაირად იქნას გამოსახული:

$$\cos\phi \approx \frac{\cos\alpha + \cos\delta}{2} \quad (9.49)$$

მაშასადამე (9.28) მიიღებს სახეს:

$$V_d \approx V_{d0} \cos\phi \quad (9.50)$$

საიდანაც

$$\cos\phi \approx \frac{V_d}{V_{d0}} \quad (9.51)$$

(9.31)-დან

$$V_d = V_{d0} \cos\alpha - R_C I_d \quad (9.52)$$

მაშასადამე:

$$\cos\phi \approx \cos\alpha - \frac{R_C I_d}{V_{d0}} \quad (9.53)$$

V_{d0} -ის გამოვსახვით (9.4) გამოსახულება შევითანოთ (9.50)-ში, მივიღებთ:

$$V_d = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} E_g \cos\phi \quad (9.54)$$

(9.47)-დან ჩანს, რომ გარდამსახს გააჩნია დენის ფიქსირებული შეფარდება I_d / I_g , რომელიც მხოლოდ რამდენიმე პროცენტის ფარგლებში იცვლება. (10.25)-ის თანახმად, კი სიმძლავრის კოეფიციენტი $\cos\phi$ დამოკიდებულია დატვირთვისა და ანთების α კუთხეზე.

გარდამსახი ტრანსფორმატორის სიმძლავრე. ტრანსფორმატორის მეორეული (სრული და არა მხოლოდ ძირითადი სიხშირის) დენის მოქმედი მნიშვნელობა ტოლია:

$$I_\phi^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt \quad (9.55)$$

ვინაიდან გარდამსახი ტრანსფორმატორის ცვლადი დენი შედგება სწორკუთხა I_d ამპლიტუდითა და $2\pi/3$ ხანგრძლივობით (ნახ. 10.12). მაშასადამე

$$I_\phi^2 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} i^2(t) dt = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi/3}^{\pi/3} I_d^2 dt = \frac{2}{3} I_d^2 \quad (9.56)$$

და მაშასადამე,

$$I_\phi = \sqrt{2/3} I_d \quad (9.57)$$

გარდამსახი ტრანსფორმატორის მეორეული ფაზური ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა იქნება:

$$E_g = \frac{\pi}{3\sqrt{6}} V_{d0} \quad (9.58)$$

გარდამსახი ტრანსფორმატორის სრული სამუშაო სიმძლავრე ტოლია:

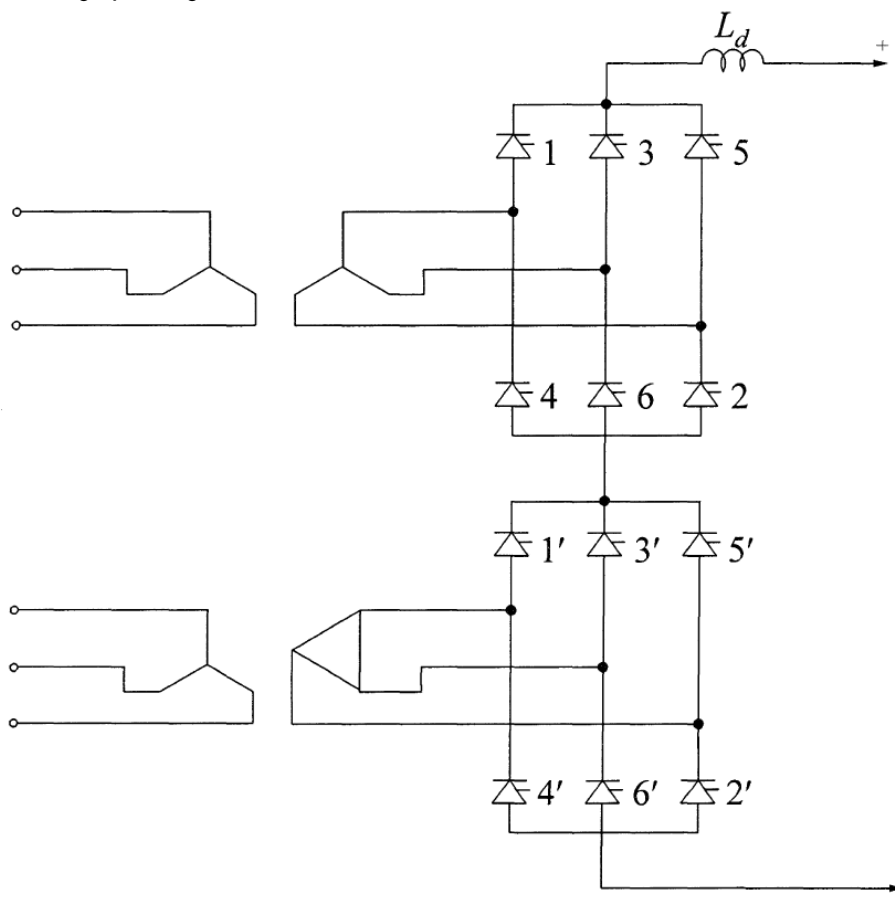
$$S_\phi = 3E_g I_\phi = 3 \left(\frac{\pi}{3\sqrt{6}} \right) V_{d0} \sqrt{\frac{2}{3}} I_d = \frac{\pi}{3} V_{d0} I_d \quad (9.59)$$

ანუ ნომინალურ ძაბვასა და დენზე

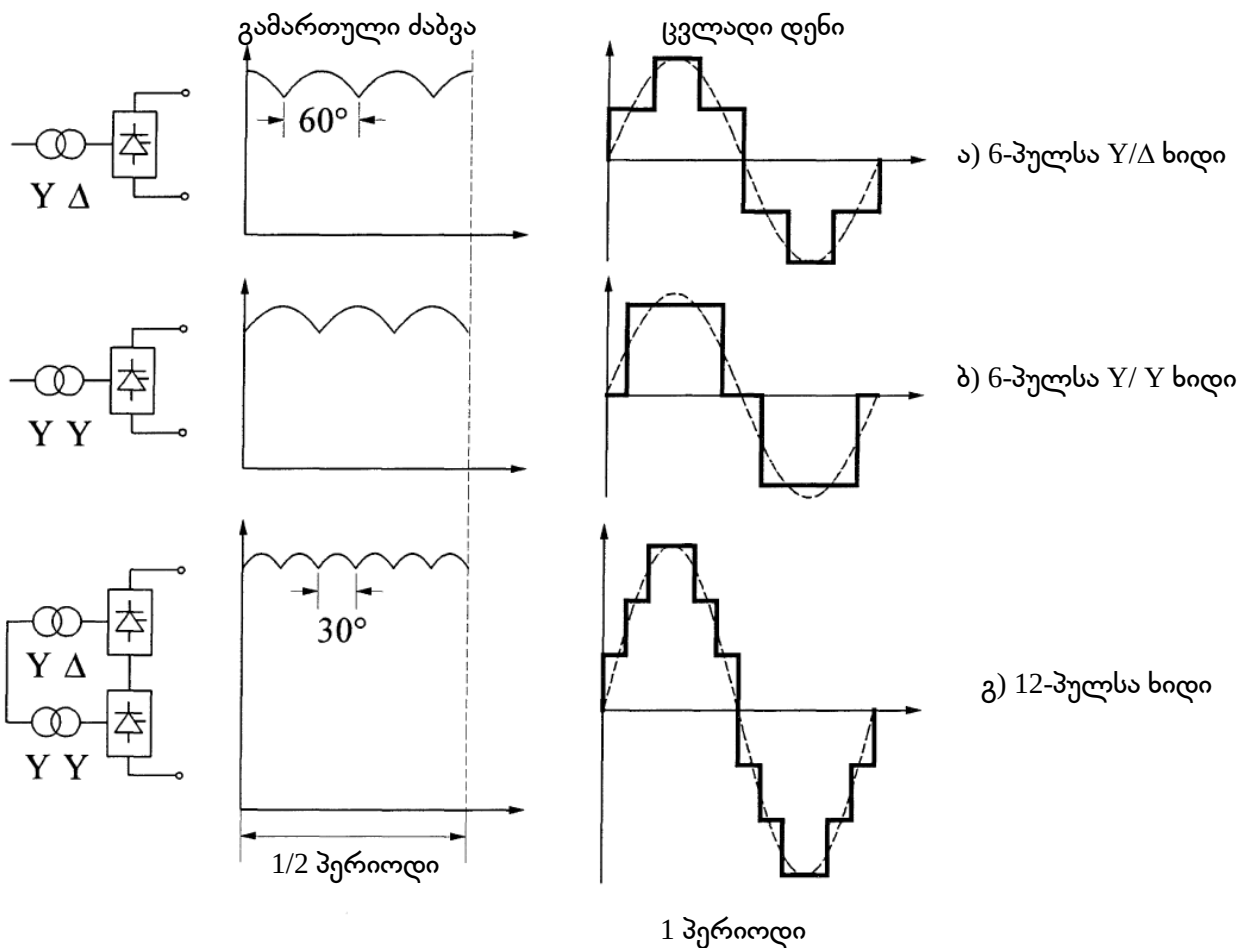
$$S_\phi = 1.0472 V_{d0} I_d \quad (9.60)$$

მრავალხიდიანი გარდამსახები. სასურველი მუდმივი ძაბვის მისაღებად, ჩვეულებრივ, ხდება ორი ან მეტი ხიდის მიმდევრობით შეერთება. აღნიშნული ხიდები მიმდევრობით არის ჩართული მდ მხარეს და პარალელურად ცდ მხარეს. ავზიანი ტრანსფორმატორი განლაგებულია ცვლად წყაროსა და სარქველების ხიდებს შორის. მათი ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი რეგულირდება დატვირთვის ცვლილების შესაბამისად.

რეალურად, მრავალხიდიან გარდამსახებს იმგვარი შესრულება გააჩნიათ, რომ მიღებული იქნას 12-პულსა გამართული ძაბვა (ნახ. 9.19).



ნახ. 9.19.
12-პულსა ხიდური გამმართველი



ნახ. 9.20.

გამართული ძაბვისა და ცვლადი დენის მრუდები

ამ შემთხვევაში გარდამსახების თითო წყვილი იკვებება ორი ძალოვანი ტრანსფორმატორიდან. პირველ მათგანის გრაგნილების შეერთებაა Y/Y, ხოლო მეორესი - Y/Δ. გრაგნილების ამგვარი შეერთებისას ხიდების ერთსახელა ფაზების ძაბვები ერთმანეთისაგან დაძრულნი არიან 30°-ით. ნახ. 9.20-ზე მოცემულია 12 პულსა გარდამსახის გამართული ძაბვები და დენები. Y/Y და Y/Δ ხიდების დენების ზედდების შედეგად მიღებული დენი უფრო მიახლოებულია სინუსოიდასთან, ვიდრე თითოეული ხიდის დენი. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ ლიკვიდირდება 5-ე და 7-ე რიგის ჰარმონიკები, რაც საჭირო ფილტრების ფასს მნიშვნელოვნად ამცირებს.

ამასთან 12 პულსა შესრულებისას ძაბვის ფეთვადობა მნიშვნელოვნად არის შემცირებული; 6-ე და 18-ე რიგის ჰარმონიკების ლიკვიდირებულია (6 პულსა ხიდს გააჩნია მხოლოდ 6-ის ჯერადი ჰარმონიკები, ხოლო 12 პულსიანს - 12-ის ჯერადი).

გარდამსახებს, რომელთაც გააჩნიათ ორზე მეტი ხიდი, შესაძლოა ჰქონდეთ უფრო დიდი პულსირება: 3-ხიდიან გამმართველს - 18 პულსი, 4-ხიდიანს - 24 პულსი. თუმცა ტრანსფორმატორების გრაგნილების შეერთება ბევრად გართულებულია ვიდრე 12-პულსა შესრულებისას. ამიტომ პრაქტიკაში ძირითადად ეს უკანასკნელი შესრულება გამოიყენება გარდამსახებისთვის, შესაბამისი ფილტრების უზრუნველყოფით.

ცდ და მდ სიდიდეების დამოკიდებულება, მრავალი ხიდის შემთხვევაში

დავუშვათ

N = მიმდევრობით შერთებული ხიდების რაოდენობა;

K = ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი (მდ/ლდ);

ნომინალურ ძაბვასა და ღენზე (9.5-ის მსგავსად):

$$V_{d0} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \frac{N}{K} E_b = 1.3505 \frac{N}{K} E_b \quad (9.61)$$

ვინაიდან ძაბვის ვარდნა თითო ხიდზე არის $I_d (3X_C / \pi)$ -ის ტოლი, N რაოდენობის მიმდევრობით ჩართული ხიდის შემთხვევაში მდ ღენი (9.25 გამოსახულების მსგავსად) გვექნება:

$$V_d = V_{d0} \cos \alpha - I_d N \left(\frac{3}{\pi} X_C \right) \quad (9.62)$$

ა6

$$V_d = V_{d0} \cos \gamma - I_d N \left(\frac{3}{\pi} X_C \right) \quad (9.63)$$

(9.50)-ისა და (9.61)-ის მიხედვით, გამართული ძაბვა

$$V_d \approx V_{d0} \cos \phi = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \frac{N}{K} E_b \cos \phi \quad (9.64)$$

ძირითადი სიხშირის ღენი (9.48-ის მსგავსად) იქნება:

$$I_{\gamma} \approx \frac{\sqrt{6}}{\pi} \frac{N}{K} I_d = 0.78 \frac{N}{K} I_d \quad (9.65)$$

მაგალითი 9.1

(ა) სამუშაო 12-პულსიან გამმართველს კვებავს ტრანსფორმატორი, ნომ ძაბვებით 500 კვ / 96 კვ. დავადგინოთ გამოსავალი მდ ძაბვა, თუკი ანთების კუთხე $\alpha = 21^\circ$, ხოლო კომუტაციის კუთხე $\mu = 16^\circ$.

(ბ) თუ გამმართველის მუდმივი ღენია 1000 ა, გამოვთვალოთ ეფექტური ინდუქტიური წინაღობა X_C , ძირითადი სიხშირის ღენის მოქმედი მნიშვნელობა, სიმძლავრის კოეფიციენტი $\cos \phi$ და ტრანსფორმატორის პირველად მხარეზე მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრე.

ამოხსნა

(ა) ვინაიდან 12-პულსიანი ხიდის წრედი შედგება ორი 6-პულსიანი ხიდისგან, მაშასადამე $N = 2$.

ვინაიდან ტრანსფორმატორის ნომ ძაბვებია 500 კვ და 96 კვ, ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი

$$K = 500/96 = 5.2083$$

იდეალური გამართული ძაბვა:

$$V_{d0} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \frac{N}{K} E_b = 1.3505 \times \frac{2}{5.2083} \times 500 = 259.3 \text{ კვ}$$

ანთების კუთხე

$$\delta = \alpha + \mu = 21^\circ + 16^\circ = 37^\circ$$

მაშასადამე კომპუტაციური გადაფარვით გამოწვეული ძაბვის შემცირება იქნება

$$\Delta V_d = V_{d0} \frac{\cos \alpha - \cos \delta}{2} = 259.3 \times \frac{\cos 21^\circ - \cos 37^\circ}{2} = 17.5 \text{ კვ}$$

მაშინ გამოსავალი გამართული ძაბვა იქნება:

$$V_d = V_{d0} \cos \alpha - \Delta V_d = 259.3 \times \cos 21^\circ - 17.5 = 224.58 \text{ კვ}$$

იმავეს მივიღებდით ფორმულით:

$$V_d = V_{d0} \frac{\cos \alpha + \cos \delta}{2} = 259.3 \times \frac{\cos 21^\circ + \cos 37^\circ}{2} = 224.58 \text{ კვ}$$

(ბ) $\Delta V_d = NR_C I_d$, მაშასადამე

$$R_C = \frac{\Delta V_d}{NI_d} = \frac{17.5}{2 \times 1} = 8.75 \text{ ომი}$$

$$X_C = \frac{\pi R_C}{3} = \frac{3.1416 \times 8.75}{3} = 9.16 \text{ ომი/ფაზა}$$

პირველადი (მძ) მხარის ნომინალური სიხშირის ცვლადი დენი

$$I_{\text{ფ1}} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \frac{N}{K} I_d = 0.7797 \times \frac{2}{5.2083} \times 1 = 0.2994 \text{ კა}$$

სიმძლავრის კოეფიციენტი მძ სალტესთან

$$\cos \phi \approx \frac{V_d}{V_{d0}} = \frac{224.58}{259.3} = 0.8661$$

აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეები იქნება

$$P_{\text{გლ}} = P_{\text{მლ}} = V_d I_d = 224.58 \times 1 = 224.58 \text{ მგვტ}$$

$$Q_{\text{მძ}} = P_{\text{გლ}} \tan \phi = P_{\text{გლ}} \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \phi} - 1} = 224.58 \times \sqrt{\frac{1}{0.8661^2} - 1} = 129.62 \text{ მგვარ}$$

დანართი

ცხრილი დ-1. გამავალი იზოლატორები

ტიპი	ნომ ქაბვა (კვ)	ნომ ღენი (ა)	დამანგრეველი დატვირთვა ლუნვაზე (კნ)
Π-6	6	250; 400	3.75
Π-10	10	400; 630; 1000;1500	7.5
Π-10	10	1000; 2000	20
Π-10	10	1000; 1600;2000; 3200	30
Π-10	10	5000; 6000;8000; 10000	42.5
Π-20	20	1000; 1600;2000; 3200	20
Π-20	20	6300	30
Π-20	20	8000; 10000; 12500	42.5
Π-35	35	400; 630; 1000	7.5

ცხრილი. დ-2 საყრდენი იზოლატორები

ტიპი	ნომ ქაბვა (კვ)	სიმაღლე (მმ)	დამანგრეველი დატვირთვა ლუნვაზე (კნ)
OF-6-375	6	100	3.75
OF -10-375	10	120	3.75
OF -10-750	10	120	7.5
OFP -10-750	10	120	7.5
OF -10-1250	10	120	12.5
OF -10-2000	10	134	20
OF -10-2000-KB	10	235	20
OF -10-3000	10	134	30
OFP -10-3000	10	134	30
OF -10-4250-KB	10	235	42.5
OF -10-6000	10	235	60
OF -20-375	20	210	3.75
OFP-20-375	20	210	3.75
OFP-20-750	20	210	7.5
OF -20-2000-KB	20	315	20
OF -20-3000	20	206	30
OF -20-4250-KB	20	305	42.5
OF -35-375	35	372	3.75
OF-35-750	35	372	7.5
OF -35-1250-KB	35	372	12.5
OF -35-2000-KB	35	412	20

ცხრილი დ-3. სპილენძის და ალუმინის სწორკუთხა კვეთის შეღებილი ხისტი სალტეები

ზომები	ერთი ზოლის კვეთი (მმ²)	ერთი ზოლის მასა (კგ/მ)		დასაშვები დენი (ა)					
				ერთი ზოლი		ორი ზოლი		სამი ზოლი	
		სპილენძი	ალუმინი	სპილენძი	ალუმინი	სპილენძი	ალუმინი	სპილენძი	ალუმინი
15×3	45	0.400	0.122	210	165	-	-	-	-
20×3	60	0.534	0.162	275	215	-	-	-	-
25×3	75	0.668	0.203	340	265	-	-	-	-
30×4	120	1.066	0.324	475	365	-	-	-	-
40×4	160	1.424	0.432	625	480	-	-	-	-
40×5	200	1.780	0.540	700	540	-	-	-	-
50×5	250	2.225	0.675	860	665	-	-	-	-
50×6	300	2.670	0.810	955	740	-	-	-	-
60×6	360	3.204	0.972	1125	870	1740	1350	2240	1720
60×8	480	4.272	1.295	1320	1025	2160	1680	2790	2180
60×10	600	5.340	1.620	1475	1155	2560	2010	3300	2650
80×6	480	4.272	1.295	1480	1150	2110	1630	2720	2100
80×8	640	5.698	1.728	1690	1320	2620	2040	3370	2620
80×10	800	7.12	2.160	1900	1480	3100	2410	3990	3100
100×6	600	5.340	1.620	1810	1425	2470	1935	3170	2500
100×8	800	7.120	2.16	2080	1625	3060	2390	3930	3050
100×10	1000	8.900	2.7	2310	1820	3610	2860	4650	3650
120×8	960	8.460	2.6	2400	1900	3400	2650	4340	3380
120×10	1200	10.650	3.245	2650	2070	4100	3200	5200	4100

ცხრილი დ-4. სპილენძის და ალუმინის კოლოფისებური კვეთის შეღებილი ხისტი სალტეები

ზომები (მმ)				ერთი სალტის კვეთი (მმ²)	წინალობის მომენტები (მმ³)			ინერციის მომენტები (მმ⁴)			დასაშვები დენი ორ სალტეზე (ა)	
<i>h</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>r</i>		ერთი სალტის		ორი შეზრდილი სალტის <i>W_{y0-y0}</i>	ერთი სალტის		ორი შეზრდილი სალტის <i>J_{y0-y0}</i>	სპილენძი	ალუმინი
					<i>W_{x-x}</i>	<i>W_{y-y}</i>		<i>J_{x-x}</i>	<i>J_{y-y}</i>			
75	35	4	6	520	10.1	2.52	23.7	41.6	6.2	89	2730	-
75	35	5.5	6	695	14.1	3.17	30.1	53.1	7.6	113	3250	2670
100	45	4.5	8	775	22.2	4.51	48.6	111	14.5	243	3620	2820
100	45	6	8	1010	27	5.9	58	135	18.5	290	4300	3500
125	55	6.5	10	1370	50	9.5	100	290.3	36.7	625	5500	4640
150	65	7	10	1785	74	14.7	167	560	68	1200	7000	5650
175	80	8	12	2440	122	25	250	1070	114	2190	8550	6430
200	90	10	14	3435	193	40	422	1930	254	4220	9900	7590
200	90	12	16	4040	225	46.5	490	2250	294	4900	10500	8830
225	105	12.5	16	4880	307	66.5	645	3450	490	7250	12500	10300
250	115	12.5	16	5450	360	81	824	4500	660	10300	-	10800

ცხრილი დ-5. ფაბაეკრანირებული დენგამტარები

გამტარის მარკა	ნომ ძაბვა (კვ)	ნომ დენი (ა)	დარყმის დენი (კა)	მშ პერიოდული დენი (კა)
TЭHE-10-3150-250 YXJI1	10	3150	250	100
TЭHE-10-3150-128 YXJI1	10	3150	128	100
TЭHE-10-4000-250 YXJI1 TЭHE-10-4000-250 T1	10	4000	250	100
TЭHE-10-5000-250 YXJI1 TЭHE-10-5000-250 T1	10	5000	250	100
TЭHE-10-5500-250 YXJI1	10	5500	250	100
TЭHE-10-6000-250 YXJI1	10	6000	250	100
TЭHE-20-1600-560 YXJI1, T1	20	1600	560	220
TЭHE-20-1800-560 YXJI1	20	1800	560	220
TЭHE-20-2000-560 YXJI1	20	2000	560	220
TЭHE-20-2500-560 YXJI1	20	2500	560	220
TЭHE-20-5000-300 YXJI1	20	5000	300	120
TЭHE-20-5500-300 YXJI1	20	5500	300	120
TЭHE-20-6300-300 YXJI1 TЭHE-20-6300-300 T1	20	6300	300	120
TЭHE-20-7200-300 YXJI1	20	7200	300	120
TЭHE-20-8000-300 YXJI1 TЭHE-20-8000-300 T1	20	8000	300	120
TЭHE-20-9000-560 YXJI1	20	9000	300	120
TЭHE-20-10000-300 YXJI1	20	10000	300	120
TЭHE-20-11250-400 YXJI1 TЭHE-20-11250-400 T1	20	11250	400	160
TЭHE-20-12500-400 YXJI1 TЭHE-20-12500-400 T1	20	12500	400	160
TЭHE-24-3150-750 YXJI1, TЭHE-24-3150-750 T1	24	3150	750	300
TЭHE-24-10000-560 YXJI1	24	10000	560	220
TЭHE-24-15000-560 YXJI1	24	15000	560	220
TЭHE-24-16000-560 YXJI1	24	16000	560	220
TЭHE-24-18000-560 YXJI1	24	18000	560	220
TЭHE-24-18700-560 T1	24	18700	560	220
TЭHE-24-20000-560 YXJI1	24	20000	560	220
TЭHE-24-22000-560 YXJI1	24	22000	560	220
TЭHE-24-24000-560 YXJI1	24	24000	560	220
TЭHII-24-18700-560 T1	24	18700	560	220
TЭHII-24-23500-560 T1	24	23500	560	220
TЭHII-24-24000-560 YXJI1	24	24000	560	220
TЭHII-24-29500-560 T1	24	29500	560	220
TЭHII-24-31500-560 YXJI1	24	31500	560	220
TЭHII-24-33000-600 YXJI1	24	33000	600	240
TЭHE-27-30000-560 T1	27	30000	560	220

ცხრილი დ-6. ფაზაეკრანირებული დენგამტარები (გავრძელება)

გამტარის მარკა	გარე დიამეტრი D, (მმ)	ფაზებშორის მანძილი, A (მმ)	მანძილი ლერძიდან კოჭამდე, H,	ერთი ფაზის 1 მ სიგრძის მასა
T9HE-10-3150-250 YXJI1	408	500	330	39
T9HE-10-3150-128 YXJI1	408	500	330	32
T9HE-10-4000-250 YXJI1	408	500	330	39
T9HE-10-5000-250 YXJI1	408	500	330	46
T9HE-10-5500-250 YXJI1	550	1000	483	65
T9HE-10-6000-250 YXJI1	550	1000	483	69
T9HE-20-1600-560 YXJI1, T1	550	1000	483	60
T9HE-20-1800-560 YXJI1	550	1000	483	60
T9HE-20-2000-560 YXJI1	550	1000	483	60
T9HE-20-2500-560 YXJI1	550	1000	483	60
T9HE-20-5000-300 YXJI1	550	1000	483	65
T9HE-20-5500-300 YXJI1	550	1000	483	68
T9HE-20-6300-300 YXJI1	678	1000-1200	563	83
T9HE-20-7200-300 YXJI1	678	1000-1200	563	83
T9HE-20-8000-300 YXJI1	678	1000-1200	563	89
T9HE-20-9000-560 YXJI1	750	1000-1200	583	98
T9HE-20-10000-300 YXJI1	750	1000-1200	583	98
T9HE-20-11250-400 YXJI1	890	1300-3000	668	100
T9HE-20-12500-400 YXJI1	890	1300-3000	668	100
T9HE-24-3150-750 YXJI1, T1	678	1000-1200	563	80
T9HE-24-10000-560 YXJI1	750	1000-1200	583	98
T9HE-24-15000-560 YXJI1	1172	1500-3000	858	193
T9HE-24-16000-560 YXJI1	1172	1500-3000	858	193
T9HE-24-18000-560 YXJI1	1172	1500-3000	858	193
T9HE-24-18700-560 T1	1362	1800	968	250
T9HE-24-20000-560 YXJI1	1172	1500-3000	858	220
T9HE-24-22000-560 YXJI1	1362	1800	968	217
T9HE-24-24000-560 YXJI1	1362	1800	968	250
T9HII-24-18700-560 T1	1172	1500-3000	858	220
T9HII-24-23500-560 T1	1172	1500-3000	858	220
T9HII-24-24000-560 YXJI1	1172	1500-3000	858	220
T9HII-24-29500-560 T1	1172	1500-3000	858	220
T9HII-24-31500-560 YXJI1	1172	1500-3000	858	220
T9HII-24-33000-600 YXJI1	1172	1500-3000	858	220
T9HE-27-30000-560 T1	1362	1800	968	250

ცხრილი დ-7. სადენები (დრეკადი სალტეები)

მარკა	ერთი მ სიგრძის სალტის მასა	სალტის გარე დიამეტრი (სმ)	დასაშვები დენი (ა)	აქტიური წინაღობა 20°C-ის დროს
AC-50	193	0.99	210	0.63
AC-70	269	1.17	265	0.45
AC-95	431	1.39	330	0.33
AC-120	504	1.53	380	0.27
AC-150	623	1.7	445	0.21
AC-185	781	1.91	510	0.17
AC-240	995	2.15	610	0.131
AC-300	1258	2.45	690	0.105
AC-400	1637	2.78	835	0.078
ACO-150	105	1.12	450	0.155
ACO-185	252	1.53	505	0.137
ACO-240	675	1.94	605	0.120
ACO-300	1098	2.35	690	0.108
ACO-400	1521	2.76	825	0.078
ACO-500	1861	3.06	975	0.065
ACO-600	2237	3.35	1020	0.055
ACO-700	2794	3.75	1220	0.044
ACY-120	650	1.68	515	0.182
ACY-150	700	1.75	610	0.165
ACY-185	830	1.83	705	0.146
ACY-240	1200	2.02	850	0.122
ACY-300	1420	2.56	375	0.106
ACY-400	1878	2.94	450	0.078

გამოყენებული ლიტერატურა

1. ვ. გიორგობიანი, შ. ნაჭყებია, მ. რუხვაძე, ელექტრული სადგურებისა და ქვესადგურების ელექტრული ნაწილი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 2007.
2. Л. Д. Рожкова, В. С. Козулин, Электрооборудование станций и подстанций, «Энергия», Москва, 1975;
3. Л. Д. Рожкова, В. С. Козулин, Электрооборудование станций и подстанций, «Энергия», Москва, 2004;
4. მ. რუხვაძე, ელექტრულ სისტემებში მოკლე შერთვის დენების გაანგარიშების მეთოდები, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 2005;
5. Prabha Kundur, Power System Stability and Control, McGraw-Hill Inc, Madrid, London 1994;
6. გ. მახარაძე, გ. ბეგიაშვილი, ბ. დარჩია, ელექტრული ენერგიის გადაცემა და განაწილება, უნივერსალი 2006;
7. ა. კობტაშვილი, ლ. ხუხუნიშვილი, ელექტრული სადგურებისა და ქვესადგურების ელექტრული ნაწილი, საკურსო დაპროექტება, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 2008;
8. გ. თხინვალელი, ჰიდრავლიკური მანქანები, განათლება, თბილისი, 1978;
9. Васильев А.А, Электрическая часть станций и подстанций, М. Энергоиздат, 1980;
10. Васильев А.А, Электрическая часть станций и подстанций, М. Энергоиздат, 1990;
11. Васильев А.А, Электрическая часть станций и подстанций, М. Энергоиздат, 2001;
12. M. A. Laughton, D. J. Warne, Electrical Engineer's Reference Book, Newnes, London, Paris, 2003;
13. L.L.Grisby, The Electric Power Engineering Handbook, Press LLC, Florida, 2000;
14. High Voltage Surge Arresters Buyer's Guide, ABB, Edition 9, 2011-10, 2009
15. Live Tank Circuit Breakers, Application Guide, ABB, Publication 1HSM 9543 23-02en, Edition 1.1, Ludvika, 2009-06
16. Gas Insulated Switchgear ELK – GIS For Maximum Performance 550 kV, ABB, 2010
17. Outdoor Instrument Transformers Buyer's Guide, ABB, Edition 6.1, 2011-01, 2011
18. Rubend D. Garzon, Marcel Dekkeirn, High Voltage Circuit Breakers, Design and Applications, Inc, New York, Basel 2002;
19. Комплектные Токопроводыи Шинопроводы, Техническое описание, Мосэлектрощит, Москва, 2007;
20. XLPE Cable Systems, User's guide, Brochure issued by ABB Power Technologies AB, 2009;

21. გ. არზიანი, ნ. გვარამაძე, მ. რუხვაძე, “გადამეტძაბვები და მათგან დაცვა ელექტრულ სისტემებში”, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 2011;
22. А. И. Долгинов, Техника Высоких Напряжений в Электроэнергетике, «Энергия», Москва, 1968;
23. Д. Э. Брускин, А. Е. Захорович, В. С. Хвостов, Электрические Машины, Част 2, «Высшая Школа», Москва, 1979;
24. Transformer Handbook, ABB, Business Unit Transformers, Affolternstrasse 44, 8050 Zürich, Switzerland, 2004;
25. Mr.B.Ramesh ,Basic Mechanical Engineering-Hydraulic Turbines, , Jeppiaar Trust, Chennai-119, 2012
26. http://en.wikipedia.org/wiki/Power_transformer, [11.05.2012];
27. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Трансформатор>, [11.05.2012];
28. მ. რუხვაძე, ელექტრული სადგურებისა და ქვესადგურების ელექტრული ნაწილი, ელექტრონული კონსპექტი (isp-fails). თბილისი, 2003;
29. <http://leg.co.ua/info/kabeli/klassifikaciya-kabeley-i-kabelnyh-setey-po-konstruktivnym-priznakam.html> [11.05.2012];
30. <http://www.allkabel.cz/high-voltage-cables-3630-kv/> [11.05.2012];
31. http://en.wikipedia.org/wiki/Water_turbine [11.05.2012];
32. <http://www.diracdelta.co.uk/science/source/g/a/gas%20turbine/source.html> [11.05.2012];
33. http://en.wikipedia.org/wiki/Gas_turbine [11.05.2012];
34. http://www.idsc.ethz.ch/Research_Guzzella/Power_Applications/Gas_Turbine_Systems/Micro_Gas_Turbine/index [11.05.2012];
35. <http://ga.water.usgs.gov/edu/wuhy.html> [11.05.2012];
36. <http://www.meppi.com/Products/Transformers/Pages/AutoTransformer.aspx> [27.11.2012];
37. <http://www.mitsubishielectric.com/bu/powersystems/products/transmission/transformers/index.html> [27.11.2012];
38. XLPE Submarine Cable Systems Attachment to XLPE Land Cable Systems -User’s Guide, ABB, ABB’s high voltage cable unit in Sweden, 2010
39. ა. ზამკოვი, კ. წერეთელი, ა. ზერეკიძე, ელექტრული მანქანები, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 2011;
40. Г. Н. Петров, Электрические Машины, «Энергия», Москва, 1974;
41. Instrument Transformers, Application Guide, ABB, Edition-3, Ludvika, 2009;

42. Outdoor Instrument Transformers, Buyer's Guide, ABB, Edition-6.1, Ludvika, 2011;
43. Leonard L. Grigsby, Electric Power Engineering Handbook, Second Edition, Boca Raton, London, New York, 2006;
44. Switchgear Manual, ABB, Edition 1.1, 2005
45. Dead Tank Power Circuit Breakers, ABB
46. <http://www.southwire.com> [11.05.2012];
47. Bulb/pit/S-turbines and generators, Voith Hydro, Voith Hydro Holding GmbH & Co. KG, Heidenheim, 2009