

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

დ. ბერიაშვილი

რადიოტექნიკური სისტემები (სატელევიზიო სისტემები)

ნაწილი I



დამტკიცებულია სტუ-ს
სარედაქციო-საგამომცემლო
საბჭოს მიერ

თბილისი
2009

სახელმძღვანელოში განხილულია ანალოგური და ციფრული სატელევიზიო სისტემების აგების ფიზიკური საფუძვლები და ფუნქციონირების პრინციპები. მოყვანილია სამაუწყებლო სატელევიზიო სისტემის ძირითადი პარამეტრების მნიშვნელობები გამომდინარე ვიზუალური ინფორმაციის მიმღების – ადამიანის თვალის თვისებებიდან. განხილულია სრული სატელევიზიო სიგნალის ფორმა, სიხშირული სპექტრი და სპექტრის სტრუქტურა. ჩამოყალიბებულია კოლორიმეტრიის ელემენტები, რომლებიც საფუძვლად უძევს ფერად ტელეხედვას. დეტალურადაა გარჩეული თავსებადი ფერადი სამაუწყებლო სატელევიზიო სისტემები *NTSC*, *PAL* და *SECAM-3b*.

სახელმძღვანელო შედგენილია იმ კურსის შესაბამისად, რომელიც ეკითხება საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის “ტელეკომუნიკაციის” სპეციალობის სტუდენტებსა და მაგისტრანტებს. ის აგრეთვე სასარგებლო იქნება დაინტერესებულ მკითხველთა ფართო წრისათვის.

სახელმძღვანელოს თან ახლავს ჩ ტექსტში მოყვანილი ფერადი ილუსტრაციების ფაილებით.

ავტორი მადლობას უხდის ასოც. პროფ. ლ. ფერაძეს მასალის მომზადების პროცესში გაწეული დახმარებისათვის.

რეცენზენტი:

ტელეკომუნიკაციის დეპარტამენტის სრული პროფესორი

ჯ. ხუნწარია

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2009

ISBN 978-9941-14-498-1 (ყველა ნაწილი)

ISBN 978-9941-14-499-8 (პირველი ნაწილი)

<http://www.gtu.ge/publishinghouse/>



ყველა უფლება დაცულია. ამ წიგნის არც ერთი ნაწილი (იქნება ეს ტექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა) არათანო ფორმით და საშუალებით (იქნება ეს ელექტრონული თუ მექანიკური), არ შეიძლება გამოყენებულ იქნას გამომცემლის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

საავტორო უფლებების დარღვევა იხვევა კანონით.

ს ა რ ჩ ე ვ ი

შესავალი	5
თავი I ტელეხედვის ძირითადი პრინციპები	6
1.1 ტელეხედვის პირველი პროექტები და ძირითადი ცნებები	6
1.2 სატელევიზიო სისტემის განზოგადოებული ბლოკ-სქემა	9
თავი II სატელევიზიო სისტემის ძირითადი პარამეტრები და მხედველობა	12
2.1 სტრიქონების რაოდენობა კადრში და მხედველობის სიმახვილე	12
2.2 კადრების გამეორების სიხშირე და თვალის ინერციულობა	14
2.3 გაშლის წესი	16
2.4 კადრის ფორმატი და ნათელხედვის ველი	17
თავი III სატელევიზიო გამოსახულების ხარისხობრივი მაჩვენებლები და მხედველობა	18
3.1 სიკაშკაშე	18
3.2 კონტრასტულობა	19
3.3 სიკაშკაშის გრადაციების რაოდენობა m და თვალის კონტრასტული მგრძობიარობა	19
3.4 მკაფიობა და თვალის გარჩევის უნარი	22
3.5 გეომეტრიული მსგავსება	22
თავი IV ვიდეოსიგნალის ფორმა და სიხშირული სპექტრი	24
4.1 ვიდეოსიგნალის (სრული სატელევიზიო სიგნალის) ფორმა	24
4.2 სრული სატელევიზიო სიგნალის ფორმა ნახევარკადრის უკუსვლის არეში	26
4.3 ვიდეოსიგნალის სიხშირული სპექტრი	30
4.4 ვიდეოსიგნალის სპექტრის სტრუქტურა	35

თავი V	ციფრული ტელეხედვის საფუძვლები	37
5.1	სატელევიზიო სისტემების განვითარების თანამედროვე ეტაპი – ციფრული ტელეხედვა	37
5.2	ციფრული ტელეხედვის სისტემის აგების ზოგადი პრინციპები	38
5.3	ციფრული ინფორმაციის გადაცემის სიჩქარე	41
5.4	კომპრესია	43
5.5	ციფრული სატელევიზიო სისტემის განზოგადოებული ბლოკ-სქემა	44
თავი VI	ფერადი ტელეხედვის საფუძვლები	45
6.1	სინათლე, ფერი და კოლორიმეტრია	45
6.2	ფერების ადიტიური და სუბტრაქტიური მიღება	47
6.3	ფერის მახასიათებლები	49
6.4	ფერთა ადიტიური შერევის კანონები	50
6.5	ფერის გეომეტრიული წარმოდგენა. <i>RGB</i> და <i>XYZ</i> კოლორიმეტრიული სისტემები	50
6.6	ფერადი გამოსახულების ანალიზი და სინთეზი	61
6.7	სიკაშკაშის სიგნალი	65
6.8	ფერთასხვაობითი სიგნალები	65
6.9	თავსებადი ფერადი სატელევიზიო სისტემის განზოგადოებული სტრუქტურული სქემა	67
თავი VII	ფერადი ტელეხედვის თავსებადი სამაუწყებლო სისტემები	70
7.1	ფერადი ტელეხედვის სისტემა <i>NTSC</i>	70
7.2	ფერადი ტელეხედვის სისტემა <i>PAL</i>	82
7.3	ფერადი ტელეხედვის სისტემა <i>SECAM-3B</i>	93
საკონტროლო კითხვები		102
ლიტერატურა		106

შესავალი

“რადიოტექნიკური სისტემების” კურსის შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს “სატელევიზიო სისტემები”. კურსის ამ ნაწილში შეისწავლება ვიზუალური ინფორმაციის ელექტროკავშირის მეთოდებით გადაცემის თეორიული და პრაქტიკული საკითხები.

მხედველობის ორგანოს – თვალის მეშვეობით ადამიანი აღიქვამს 80 – 85% ინფორმაციას გარე სამყაროს შესახებ. ამიტომაც ოდითგან ადამიანის გონება დაკავებული იყო მანძილზე ხედვის (ტელეხედვის) პრობლემებით, რაც აისახა მრავალრიცხოვან ზღაპარსა თუ მითში.

ტელეხედვას საფუძვლად უდევს სამი ფიზიკური პროცესი:

1. ოპტიკური გამოსახულების გარდაქმნა ელექტრულ სიგნალებად (გარდაქმნა “სინათლე–სიგნალი”);
2. ელექტრული სიგნალების მანძილზე გადაცემა კავშირის არხით;
3. მიღებული ელექტრული სიგნალების კვლავ ოპტიკურ გამოსახულებად გარდაქმნა (გარდაქმნა “სიგნალი–სინათლე”).

სამივე ფიზიკური პროცესის განხორციელება შესაძლებელი გახდა მეცხრამეტე საუკუნის დამლევს. 1873 წელს ინგლისელმა უ.სმიტმა აღმოაჩინა სელენის გამტარობაზე სინათლის ზეგავლენა – შინაგანი ფოტოეფექტი. 1887 წელს ჰ.ჰერცმა გარეგანი ფოტოეფექტი აღმოაჩინა, რომელიც შემდგომში შეისწავლა რუსმა ა.სტოლეტოვმა (1888 წ.) და დაადგინა ფოტოეფექტის ძირითადი კანონები. შედეგად რეალიზებული გახდა “სინათლე–სიგნალის” გარდაქმნის პროცესი.

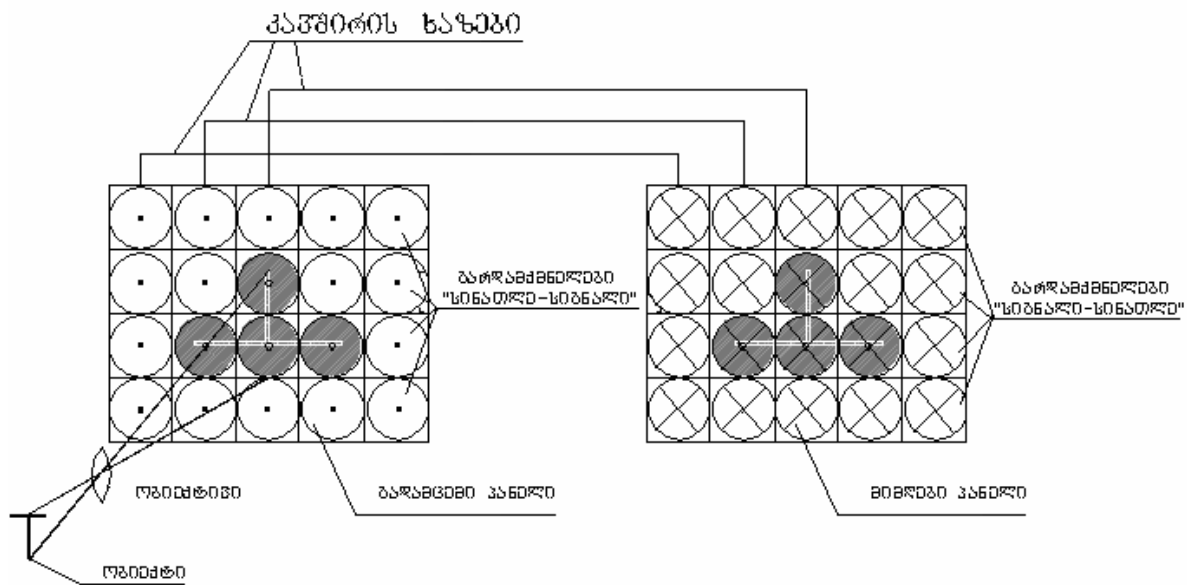
პირველად სადენიანი კავშირის ხაზი გამოიყენა ელექტრომაგნიტურ ტელეგრაფში პ.შილინგმა 1832 წელს, ხოლო რადიოარხის გამოყენებას კავშირისათვის საფუძველი ჩაეყარა 1895 წელს, როდესაც იტალიელმა გ.მარკონიმ და რუსმა ა.პოპოვმა მოახდინეს ელექტრომაგნიტური ტალღების რეგისტრაცია.

1802 წელს რუსმა ვ.პეტროვმა პირველად მიიღო ელექტრული რკალი და ელექტროლუმინისცენტური ნათება. 1874 წელს კი ა.ლოდიგინმა შექმნა ვარვარის ნათურა – გარდამქმნელი “სიგნალი–სინათლე”.

თავი I ტელეხედვის ძირითადი პრინციპები

1.1 ტელეხედვის პირველი პროექტები და ძირითადი ცნებები

ტელეხედვის ერთ-ერთი პირველი ცნობილი პროექტი ეკუთვნის ამერიკელ ჯ.კერის. მან 1875 წელს ჩამოაყალიბა სატელევიზიო სისტემის აგების პროექტი, რომელშიც იგი ადამიანის თვალის შუქმგრძობიარე ზედაპირის – ბადურის აგების პრინციპს იყენებდა. გადამცემ მხარეს თავსდებოდა ე.წ. გადამცემი პანელი, რომელზედაც ობიექტივის მეშვეობით პროექტირდებოდა ობიექტის გადასაცემი ოპტიკური გამოსახულება. გადამცემ პანელზე განლაგებული შუქმგრძობიარე ელემენტები (გარდამქმნელები “სინათლე-სიგნალი”) მეტნაკლებად იყვნენ განათებული მათზე პროექტირებული ოპტიკური გამოსახულების შესაბამისად. თითოეული შუქმგრძობიარე ელემენტი (მაგ., ფოტოელემენტი) დამოუკიდებელი სადენით უკავშირდებოდა მიმღებ პანელზე განლაგებულ შესაბამის სინათლის წყაროს (გარდამქმნელს “სიგნალი-სინათლე”), რომელზედაც მიიღებოდა გადაცემული გამოსახულება (ნახ.1.1).



ნახ.1.1

ჯ.კერის პროექტში ჩამოყალიბებულია **თანამედროვე ტელეხედვის პირველი ძირითადი პრინციპი – გადასაცემი ოპტიკური გამოსახულების ელემენტებად დაშლა**. ამ ელემენტებს სატელევიზიო გამოსახულების დაშლის ელემენტები ან პიქსელები (pixel – picture x element) ეწოდება.

გამოსახულების სასრული რაოდენობის ელემენტად დაშლა სხვა არაფერია თუ არა მისი **სივრცითი დისკრეტიზაცია**, რაც, როგორც აღვნიშნეთ, ტელეხედვის პირველი ფუნდამენტური პრინციპია. პიქსელების რაოდენობა N განსაზღვრავს ერთის მხრივ

გამოსახულების მკაფიოობას ანუ მასში მცირე ზომის დეტალების აღწარმოების უნარს, ხოლო მეორეს მხრივ – სატელევიზიო სისტემის სირთულესა და ღირებულებას. კერის პროექტში სიგნალი ყველა ფოტოელემენტიდან გადაიცემა ერთდროულად დამოუკიდებელი კავშირის სახებით, რომელთა რაოდენობაც N -ის ტოლია და რომლებიც მიმღებ პანელზე განლაგებულ შესაბამის ნათურებს უკავშირდება. ნათურების რაოდენობა და განლაგება აქ ზუსტად იმეორებს ფოტოელემენტების რაოდენობასა და განლაგებას. ამ პროექტის პრაქტიკული რეალიზაცია შეუძლებელი აღმოჩნდა უპირველეს ყოვლისა დიდი რაოდენობის N კავშირის სახის საჭიროების გამო. მაგალითად, ამჟამინდელ სტანდარტულ სატელევიზიო გამოსახულებაში პიქსელების რაოდენობა მიახლოებით 0,5 მლნ–ს შეადგენს!

შემდეგი ნაბიჯი ტელეხედვის განვითარებაში გადაიდგა 1878–80 წლებში, როდესაც პორტუგალიელმა ა. დე პაივამ, ფრანგმა კ.სენლეკმა და რუსმა კ.ბახმეტიევმა ერთიმეორისაგან დამოუკიდებლად მრავალი კავშირის სახი კერის პროექტში ერთით შეცვალეს, რითაც “ჩამოაყალიბეს” **თანამედროვე ტელეხედვის მეორე ძირითადი პრინციპი – დაშლის ელემენტების (პიქსელების) სიკაშკაშეების შესაბამისი ელექტრული სიგნალების თანმიმდევრული რიგრიგობითი გადაცემა ერთი კავშირის სახით.**

დე პაივა თვლიდა, რომ თუ დაშლის ელემენტების შესახებ ინფორმაცია გადაიკა ერთი კავშირის სახით თანმიმდევრულად და რიგრიგობით ისე, რომ ერთი კადრის (N დაშლის ელემენტების ერთობლიობა შეადგენს ერთ კადრს) გადაცემის დრო არ აღემატება 0,1 წამს, ხოლო კადრების რაოდენობა წამში 10–ზე ნაკლები არ არის, დამკვირვებელი მიმღებ პანელზე დაინახავს ერთიან შერწყმულ გამოსახულებას.

გამოსახულების გაშლა ეწოდება დაშლის ელემენტების შესახებ ინფორმაციის თანმიმდევრულ რიგრიგობით გადაცემას.

გაშლის წესი განისაზღვრება დაშლის ელემენტების შესახებ ინფორმაციის გადაცემის რიგრიგობით.

განასხვავებენ გაშლის დეტერმინირებულ და არადეტერმინირებულ წესებს.

დეტერმინირებული გაშლის შემთხვევაში გამშლელი ელემენტის მოძრაობის ტრაექტორია განსაზღვრულია და წინასწარ ცნობილი.

არადეტერმინირებული გაშლის დროს გამშლელი ელემენტის მოძრაობის ტრაექტორია დამოკიდებულია გამოსახულების შინაარსზე.

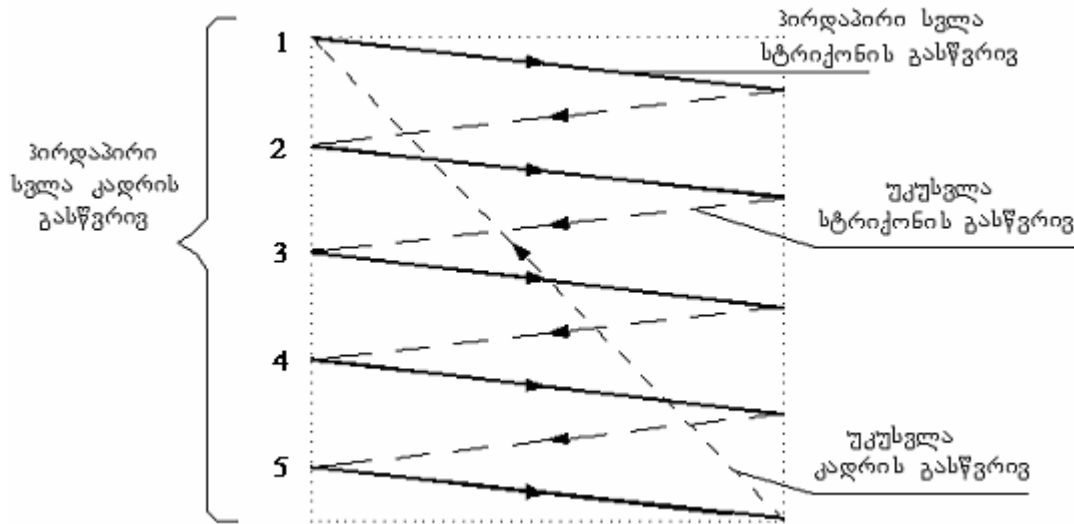
სამაუწყებლო სატელევიზიო სისტემებში, როგორც წესი, გამოიყენება დეტერმინირებული გაშლა, ხოლო გამშლელი ელემენტის მოძრაობის ტრაექტორია შეიძლება იყოს ნებისმიერი. აუცილებელია მხოლოდ, რომ გამშლელი ელემენტები გარდამქმნელებში “სინათლე–სიგნალი” და “სიგნალი–სინათლე” მოძრაობდნენ სინქრონულად და სინფაზურად.

სატელევიზიო სამაუწყებლო სისტემებში გამოიყენება წრფივი სტრიქონული გაშლის წესის ორი კერძო შემთხვევა – **სტრიქონსტრიქონობითი** (პროგრესული, progressive) და **სტრიქონგამოტოვებითი** (interlacing) გაშლის წესები.

სტრიქონსტრიქონობითი გაშლისას გამშლელი ელემენტი მოძრაობს მუდმივი სიჩქარით მარცხნიდან მარჯვნივ სტრიქონის გასწვრივ და ზემოდან ქვემოთ კადრის

გასწვრივ (წერა-კითხვის პროცესის ანალოგიურად). ყველა დაშლის ელემენტის შემოვლის შემდეგ ანუ კადრის დასრულებისას ყველაფერი იწყება თავიდან და ა.შ.

ნახ.12-ზე ნახვენებია 5 სტრიქონისაგან შემდგარი სტრიქონსტრიქონობითი (პროგრესული) რასტრი (კადრში სულ 5 სტრიქონია). **რასტრი** ეწოდება სტრიქონებისაგან შემდგარ გამოსახულებას, რომელიც ასახავს გამშლელი ელემენტის მოძრაობის ტრაექტორიას.



ნახ.12

აქ შეიძლება გამოვყოთ დროის შემდეგი ინტერვალები:

T_z – სტრიქონის გაშლის პერიოდი;

$$T_z = T_{z1} + T_{z2}, \text{ სადაც}$$

T_{z1} – პირდაპირი სვლის დრო სტრიქონის გასწვრივ (სტრიქონის გაშლის აქტიური პერიოდი);

T_{z2} – უკუსვლის დრო სტრიქონის გასწვრივ (სტრიქონის გაშლის პასიური პერიოდი);

T_n – კადრის გაშლის პერიოდი;

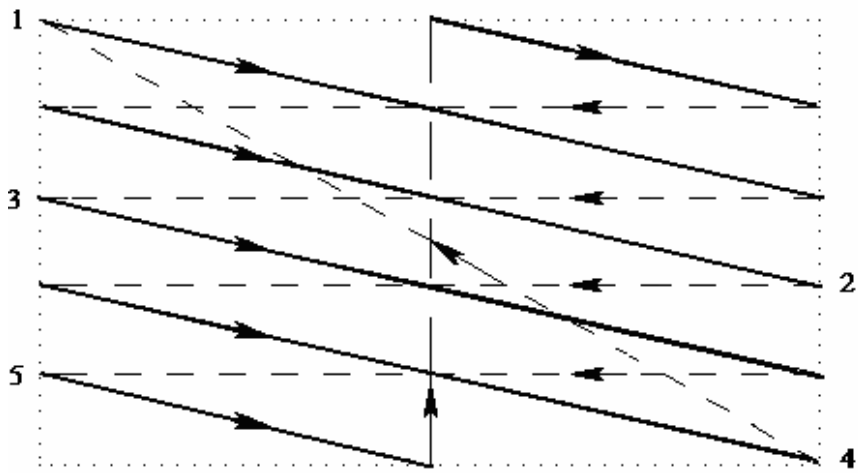
$$T_n = T_{n1} + T_{n2}, \text{ სადაც}$$

T_{n1} – პირდაპირი სვლის დრო კადრის გასწვრივ (აქტიური პერიოდი);

T_{n2} – უკუსვლის დრო კადრის გასწვრივ (პასიური პერიოდი).

თანამედროვე სტანდარტულ სამაუწყებლო სატელევიზიო სისტემებში გამოიყენება სტრიქონგამოტოვებითი გაშლის წესი, რომლის დროსაც კადრი იყოფა ორ ნახევარკადრად (ველად) – კენტი და ლუწი ველებად. კენტი ველი შეიცავს ყველა კენტი სტრიქონს, ხოლო ლუწი ველი – ყველა ლუწს. ჯერ იშლება კენტი ველის სტრიქონები, შემდეგ კი ლუწი ველის სტრიქონები და ა.შ.

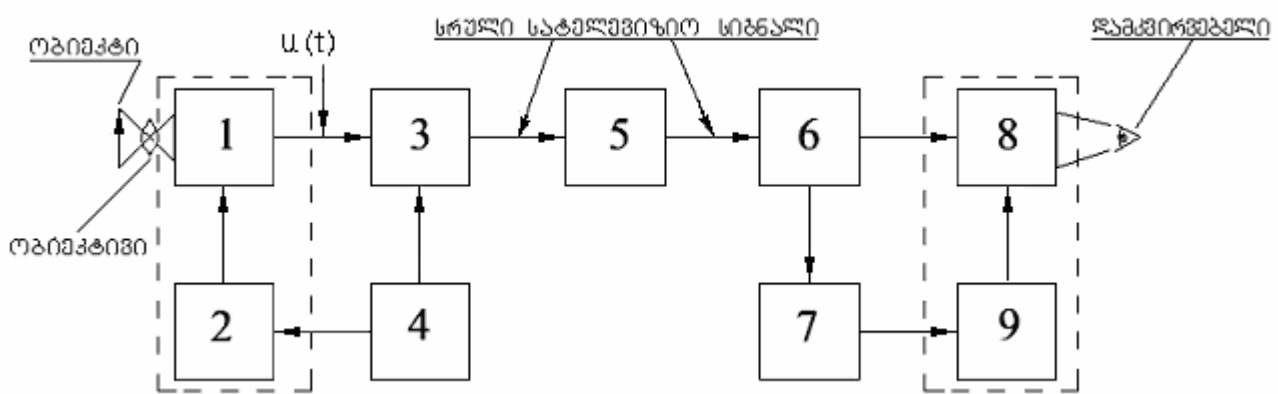
ნახ.13–ზე ნაჩვენებია 5 სტრიქონისაგან შემდგარი სტრიქონგამოტოვებითი რასტრი. ყოველი ველი შეიცავს ორ–ორ სტრიქონსა და კიდევ ნახევარს. აღვნიშნოთ, რომ სტრიქონგამოტოვებითი რასტრი ყოველთვის შეიცავს სტრიქონების კენტ რაოდენობას. ეს აიხსნება იმით, რომ მისი ფორმირება ამ შემთხვევაში ტექნიკურად უფრო მარტივია.



ნახ.13

12 სატელევიზიო სისტემის განზოგადოებული ბლოკ–სქემა

სატელევიზიო სისტემის ზოგადი ბლოკ–სქემა ნაჩვენებია ნახ.14–ზე. იგი შეიცავს ტექნიკური საშუალებების სრულ კომპლექსს, რომელიც უზრუნველყოფს ვიზუალური ინფორმაციის მანძილზე გადაცემას.



ნახ.14

- აქ 1 – გარდამქმნელი “სინათლე–სიგნალი”;
- 2 – გამშლელი მოწყობილობა;
- 3 – მაძლიერებელ–სუმატორი;
- 4 – სინქროგენერატორი;
- 5 – კავშირის არხი;
- 6 – ვიდეომაძლიერებელი;
- 7 – სინქრონიზაციის იმპულსების სელექტორი;
- 8 – გარდამქმნელი “სიგნალი–სინათლე”;
- 9 – გამშლელი მოწყობილობა.

ობიექტის ბრტყელი მოძრავი ოპტიკური გამოსახულება, რომელშიაც სიკაშკაშის განაწილება აღიწერება სამი ცვლადის ფუნქციით $L = f_L(x, y, t)$, პროექტირდება გარდამქმნელ “სინათლე–სიგნალი”-ს ოპტიკურ შესავალზე. გარდამქმნელში გამშლელი მოწყობილობის (2) მეშვეობით გამოსახულების გაშლის შედეგად ფორმირდება ვიდეოსიგნალი, რომელსაც **სიკაშკაშის სიგნალი** ეწოდება და წარმოადგენს ერთი ცვლადის – დროის – ფუნქციას $u = f(t)$.

აღწერილი პროცესის დროს წარმოებს გამოსახულების **ანალიზი**. მიმდებ მხარეს გარდამქმნელში “სიგნალი–სინათლე” გამშლელი მოწყობილობის (9) მეშვეობით წარმოებს ოპტიკური გამოსახულების **სინთეზი**.

მანალიზებელი (1,2) და მასინთეზირებელი (8,9) მოწყობილობების სინქრონული და სინფაზური მუშაობისათვის აუცილებელია სპეციალური სინქრონიზაციის სიგნალების გენერირება და გადაცემა გამშლელი მოწყობილობებისათვის. სინქრონიზაციის სიგნალების გენერირება წარმოებს სინქროგენერატორში (4). ტელეხედვაში გამოიყენება გამშლელი მოწყობილობების (2 და 9) იძულებითი სინქრონიზაცია ერთხელ სტრიქონის განმავლობაში და ერთხელ კადრის (ველის) განმავლობაში. ამისათვის სინქროგენერატორში ფორმირდება სტრიქონული სინქრონიზაციის იმპულსები – *სხ0* და კადრული სინქრონიზაციის იმპულსები – *კხ0*. ეს იმპულსები სინქროგენერატორიდან მიეწოდება გამშლელ მოწყობილობა 2–ს და მაძლიერებელ–სუმატორ 3–ს, რომელშიც წარმოებს სიკაშკაშის სიგნალისა და სინქრონიზაციის იმპულსების სუმირება. გარდა სინქრონიზაციის იმპულსებისა სინქროგენერატორი გამოიმუშავებს სტრიქონულ და კადრულ ჩამქრობ იმპულსებს *სხ0* და *კხ0*, რომლებიც ასევე ემატება სიკაშკაშის სიგნალს. შედეგად მაძლიერებელ–სუმატორის (3) გამოსასვლელზე გვაქვს **სიკაშკაშის სრული სიგნალი** (სრული სატელევიზიო სიგნალი), რომელიც შეიცავს:

- 1. სიკაშკაშის სიგნალს;
- 2. სტრიქონულ და კადრულ ჩამქრობ იმპულსებს;
- 3. სტრიქონულ და კადრულ სინქრონიზაციის იმპულსებს.

სრული სატელევიზიო სიგნალი კავშირის არხის 5–ის მეშვეობით ხვდება სატელევიზიო მიმდების მაძლიერებელში (6). აქედან იგი მიეწოდება გარდამქმნელ “სიგნალი–სინათლეს” (8) და აგრეთვე სინქრონიზაციის იმპულსების სელექტორს (7). ამ უკანასკნელში სრული სატელევიზიო სიგნალიდან გამოიყოფა *სხ0* და *კხ0*, რომლებიც მართავენ გამშლელ მოწყობილობას.

კავშირის არხი (5) შეიცავს რადიოგადამცემს, რომელშიაც სორციელდება გადამტანი სიხშირის მოდულაცია, საკაბელო, რადიოსარელო, თანამგზავრულ, ოპტიკურ-ბოჭკოვან და სხვა კავშირის ხაზებს და დემოდულატორს, რომელიც გარდაქმნის მოდულირებულ სიგნალს კვლავ სატელევიზიო სიგნალად.

სატელევიზიო სისტემა ხასიათდება შემდეგი ძირითადი პარამეტრებით:

1. სტრიქონების რაოდენობა კადრში – Z ;
2. კადრების რაოდენობა წამში – n ;
3. გაშლის წესი (სტრიქონსტრიქონული, პროგრესული – p , სტრიქონგამოტოვებითი, interlacing – i);
4. კადრის ფორმატი – $k = l/h$,
სადაც l – გამოსახულების სიგანე, h – სიმაღლე;
5. ვიდეოსიგნალის სპექტრის ზედა სასაზღვრო სიხშირე – $F_{ზ.სას.}$;
6. ფერადობის სიგნალის კოდირების მეთოდი.

ბიქსელების რაოდენობა კადრში განისაზღვრება სტრიქონების რაოდენობითა და კადრის ფორმატით.

$$N = kZ^2$$

ვიდეოსიგნალის სპექტრის ზედა სასაზღვრო სიხშირე დამოკიდებულია როგორც ბიქსელების რაოდენობაზე კადრში, ასევე კადრების გადაცემის სიხშირეზე და გაშლის წესზე.

პირველი ოთხი პარამეტრი განსაზღვრავს ე.წ. **გაშლის სტანდარტს**.

ამჟამად მსოფლიოში მოქმედებს სტანდარტული გარჩევის უნარის მქონე სატელევიზიო სისტემები *SDTV (Standard definition TV)* და მაღალი გარჩევის უნარის მქონე სატელევიზიო სისტემები *HDTV (High definition TV)*.

განასხვავებენ ევროპულ და ამერიკულ სისტემებს.

ამ სისტემების ძირითადი პარამეტრები თავმოყრილია შემდეგ ცხრილში:

პარამეტრები	ევროპული		ამერიკული	
	<i>SDTV</i>	<i>HDTV</i>	<i>SDTV</i>	<i>HDTV</i>
სტრიქონების სრული რაოდენობა Z	625	1250	525	1125
აქტიური სტრიქონების რაოდენობა Z_0	576	1080	488	1080
კადრების რაოდენობა წამში n	25	24, 25	30	24, 25, 30
გაშლის წესი	i	i, p	i	i, p
კადრის ფორმატი k	4/3	16/9	4/3	16/9
$F_{ზ.სას.}$, მგჰც	6,5	30(i), 60(p)	4,2	30(i), 60(p)

აღსანიშნავია, რომ 2005 წელს იაპონიის სახელმწიფო ტელეკომპანიამ NHK მოახდინა ახალი ტექნოლოგიის Super Hi-Vision-ის – დიდი ზომის სატელევიზიო ეკრანის დემონსტრაცია. პიქსელების რაოდენობა სტრიქონში 7680-ია, ხოლო აქტიური სტრიქონების რაოდენობა – 4320. პიქსელების რაოდენობა კადრში შეადგენს დაახლოებით 33 მილიონს, ეკრანის დიაგონალი უდრის 6,95 მეტრს, ვიდუოსინალის სპექტრის ზედა სასაზღვრო სიხშირე კი 12 გიგაჰერცია!

სატელევიზიო სისტემის პარამეტრების მნიშვნელობები დაკავშირებულია ვიზუალური ინფორმაციის მიმღების (ადამიანის თვალის) თვისებებზე და განსაზღვრავს სატელევიზიო გამოსახულების ხარისხობრივ მაჩვენებლებს.

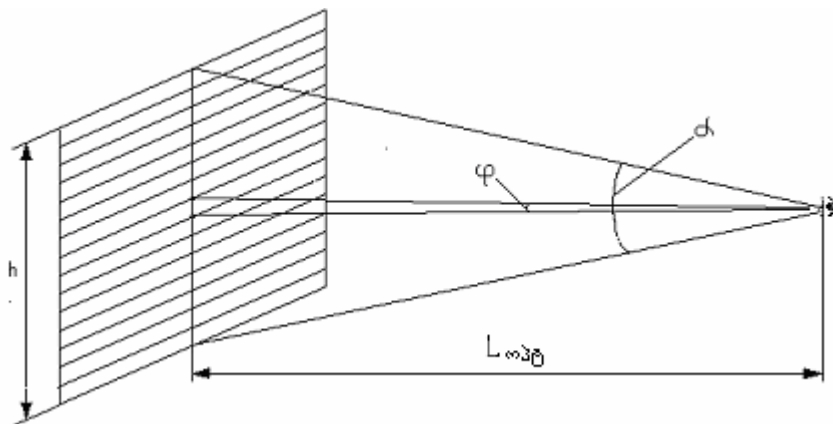
სისტემის პარამეტრების განსაზღვრისას ასევე აუცილებელია იმის გათვალისწინება, რომ გამოსახულების ხარისხის ზრდას თან სდევს სატელევიზიო სისტემის გაძვირება.

თავი II სატელევიზიო სისტემის ძირითადი პარამეტრები და მხედველობა

2.1 სტრიქონების რაოდენობა კადრში და მხედველობის სიმახვილე

განვიხილოთ, თუ როგორ მოხდა კადრში სტრიქონების რაოდენობის (Z) დადგენა ამჟამად მოქმედ SDTV სისტემაში წინა საუკუნის ორმოციან წლებში.

სტრიქონების რაოდენობა კადრში უნდა იყოს ისეთი, რომ დაკვირვების ოპტიმალური მანძილიდან $L_{\text{ოპტ}} = (4 \div 6)h$ გამოსახულების სტრიქონული სტრუქტურა გარჩევის ზღურბლზე იყოს (ნახ.2.1).



ნახ.2.1

ნახ.2.1-დან ჩანს, რომ $Z = \frac{\alpha}{\varphi}$, სადაც α – ხედვის კუთხეა, ხოლო $\varphi = 1'$ – თვალის

გარჩევის უნარის განმსაზღვრელი კუთხე. $\varphi = 1'$ კუთხით ორი ახლომდებარე წერტილი, რომლებსაც თვალი აკვირდება, იმყოფება გარჩევის ზღურბლზე.

ნახ.2.1-დან გამომდინარე ხედვის კუთხე ვერტიკალურად:

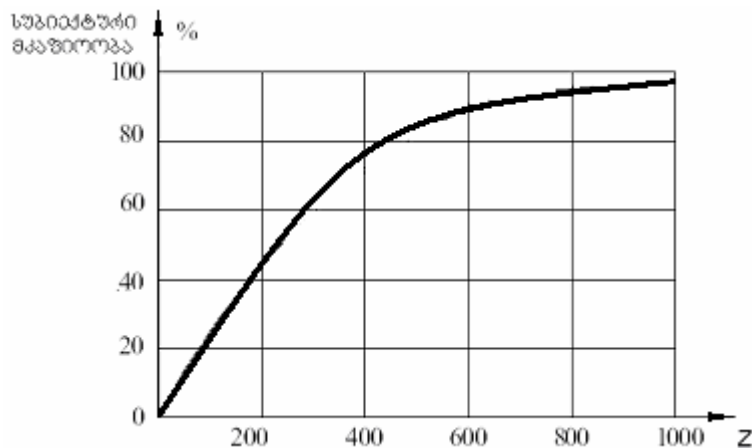
$$\alpha = 2 \arctg \frac{h}{2L} = 2 \arctg \frac{1}{8 \div 12} = 10^\circ \div 14^\circ ,$$

ხოლო

$$Z = \frac{\alpha}{\varphi} = \frac{10 \div 14}{1/60} = 600 \div 840 \text{ სტრიქონი.}$$

Z-ის დასაზუსტებლად გასათვალისწინებელია შემდეგი:

1. ვიდუოსიგნალის სპექტრის ზედა სასაზღვრო სიხშირე $F_{ზ.ს.ს.}$ Z^2 -ის პროპორციულია, რასაც მოგვიანებით დავამტკიცებთ;
2. სუბიექტური ცდებიდან გამომდინარე სტრიქონების რაოდენობის ზრდისას 600–დან 800–მდე მკაფიოობის ნამატი ხუთიოდე პროცენტს შეადგენს (ნახ.2.2). ამიტომაც სასურველი და ხელსაყრელია სტრიქონების რაოდენობა 600–ის ფარგლებში შეირჩეს.



ნახ.2.2

Z-ის შემდგომი დაკონკრეტებისათვის გათვალისწინებულია კიდევ ის, რომ:

1. Z უნდა იყოს კენტი ანუ $Z = 2m + 1$ (m – ნებისმიერი მთელი რიცხვია) ვინაიდან სტრიქონგამოტოვებითი რასტრის მიღება უფრო მარტივია ტექნიკური თვალსაზრისით;

2. Z უნდა იშლებოდეს 10–ზე ნაკლებ მარტივ მამრავლად. ეს მოთხოვნა გამომდინარეობს იქიდან, რომ სინქროგენერატორში კადრული სიხშირის მისაღებად გაორმაგებული სტრიქონული სიხშირე უნდა გაიყოს Z–ზე. ვინაიდან Z დიდი რიცხვია, სიხშირის გამყოფი სტაბილურად ვერ მუშაობს (სიხშირის გამყოფი მუშაობს სტაბილურად, თუ გაყოფის კოეფიციენტი არ აღემატება 10–ს). სწორედ ამიტომ $Z = 625 = 5 * 5 * 5 * 5$, ე.ი. შეიძლება სიხშირის გაყოფა ოთხი მიმდევრობით შეერთებული სიხშირის გამყოფით ხუთზე.

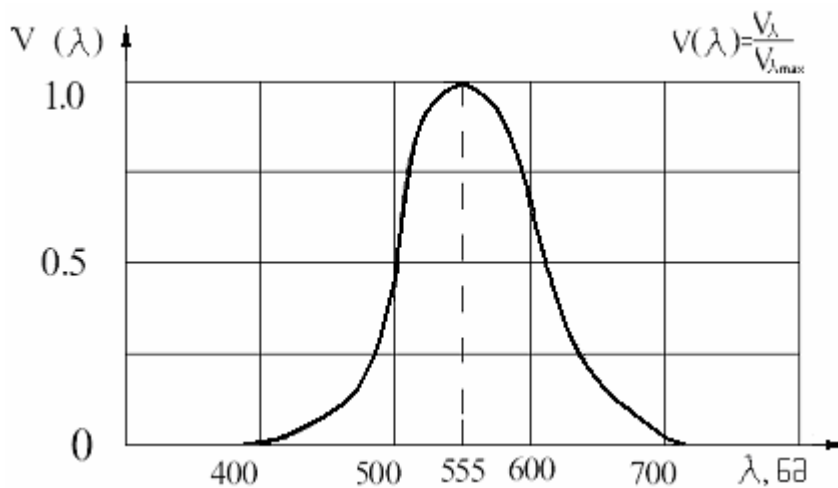
ამერიკელებმა ოცდაათიანი წლების მიწურულს ზუსტად იგივე მოსაზრებით აირჩიეს სტრიქონთა რაოდენობა თავიანთ სტანდარტში $Z = 525 = 5 * 5 * 3 * 7$.

2.2 კადრების გამეორების სიხშირე და თვალის ინერციულობა

ტელეხედვაში მოძრავი გამოსახულების გადასაცემად გამოიყენება იგივე პრინციპი, რაც კინოში – გადაიცემა ცალკეული უძრავი გამოსახულებები, რომლებიც უმნიშვნელოდ განსხვავდებიან ერთიმეორისაგან მოძრაობის ფაზით. ამ უძრავი გამოსახულებების თანმიმდევრული წარდგენისას მაყურებელი აღიქვამს შერწყმულ მოძრავ გამოსახულებას, რაც თვალის ინერციულობით აიხსნება.

კადრების სიხშირის ზრდა იწვევს $F_{ზ.ს.ს.}$ -ს პროპორციულ ზრდას (რაშიაც მოგვიანებით დავრწმუნდებით). ამიტომ სასურველია დადგინდეს კადრების გადაცემის ის მინიმალური სიხშირე, რომლის დროსაც მოძრაობაში წყვეტილობა ჯერ კიდევ არ შეიმჩნევა. ექსპერიმენტალურად დადგინდა, რომ ეს სიხშირე $10 \div 15$ კადრია წამში. აღმოჩნდა აგრეთვე, რომ ამ სიხშირით კადრების გამეორებისას გამოსახულება კი აღიქმება შერწყმულად, მაგრამ იგი საგრძნობლად ციმციმებს. იმისათვის, რომ გამოსახულებამ არ იციმციმოს, საჭიროა კადრების გამეორების სიხშირე არ იყოს ციმციმის კრიტიკულ სიხშირეზე $F_{ც.კრ.}$ ნაკლები.

ციმციმის კრიტიკული სიხშირე $F_{ც.კრ.}$. ეწოდება მოციმციმე სინათლის წყაროს ისეთ სიხშირეს, რომლის დროსაც მისი ციმციმი დამკვირვებლისათვის შეუმჩნეველია. $F_{ც.კრ.}$ დამოკიდებულია მოციმციმე სინათლის წყაროს საკაშკაშეზე, ფერზე და ზომაზე. სიკაშკაშისა და ზომის ზრდისას იზრდება $F_{ც.კრ.}$ -იც. მწვანე ფერისათვის იგი მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს თვალის მაქსიმალური მგრძნობიარობის გამო ამ ფერის მიმართ. ნახ.2.3-ზე მოყვანილია თვალის სპექტრალური მგრძნობიარობის მრუდი (ხილვადობის მრუდი).



ნახ.2.3

$F_{ც.კრ.}$ -ის არსებობა აიხსნება თვალის ინერციულობით, რაც ილუსტრირებულია ნახ.2.4-ზე. თვალზე II-სებური L_m სიკაშკაშის სინათლის იმპულსების მოქმედებისას მისი შესაბამისი შეგრძნება ადამიანის გონებაში მყარდება არა მყისიერად, არამედ მატულობს ექსპონენციალურად.

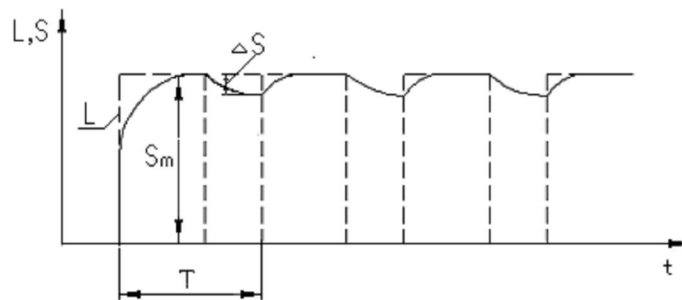
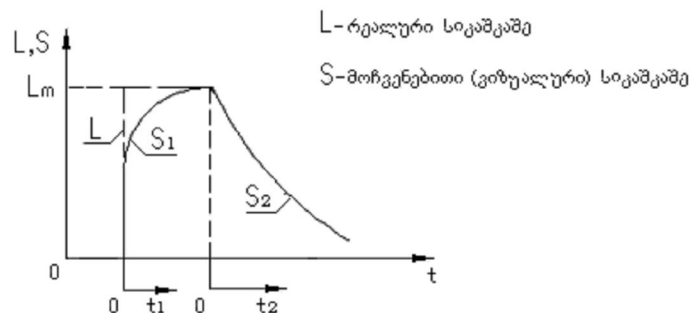
აღზნების ექსპონენტაა

$$S_1 = S_m (1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}})$$

იმპულსის შეწყვეტისას სინათლის შეგრძნება არ ქრება მყისიერად, არამედ მიიღევა აგრეთვე ექსპონენციალურად:

$$S_2 = S_m e^{-\frac{t}{\tau_2}}$$

აქ τ_1 და τ_2 თვალის დროის მუდმივებია, რომლებიც გვიჩვენებს, თუ მოჩვენებითი სიკაშკაშე რა დროის შემდეგ გაიზრდება (τ_1) ან შემცირდება (τ_2) e -ჯერ. $\tau_2 \gg \tau_1$, $\tau_2 \approx 0,1$ წმ.



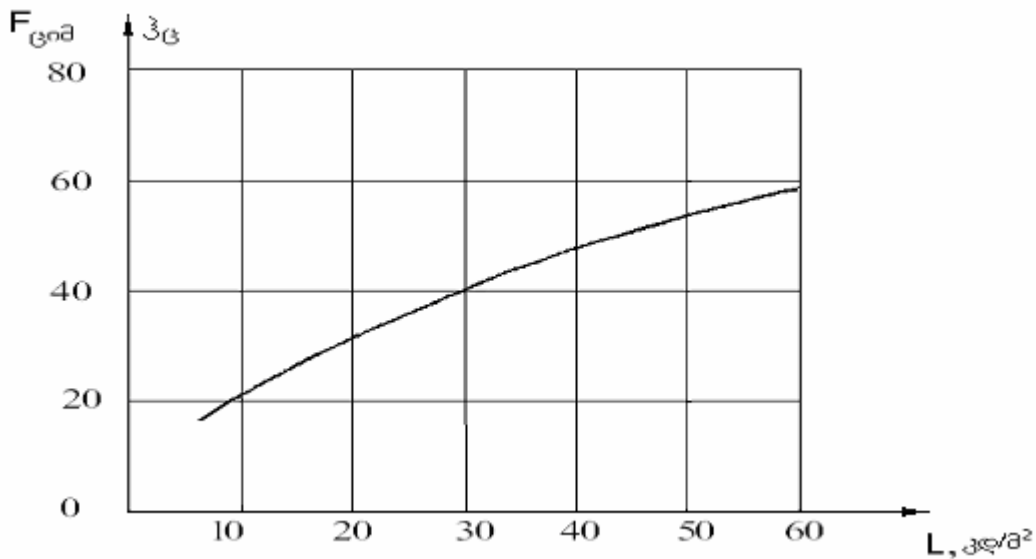
ნახ.2.4

თუ სინათლის იმპულსები საკმაოდ ხშირად მეორდება და სიკაშკაშის შეგრძნების ფარდობითი ვარდნა $\frac{\Delta S}{S_m}$ სინათლის იმპულსებს შორის არ აღემატება 5%-ს, ადამიანი ციმციმს ვერ შეამჩნევს.

როგორც აღვნიშნეთ, $F_{ც.კრ.}$ დამოკიდებულია მოციმციმე სინათლის წყაროს სიკაშკაშეზე (ნახ.2.5). ნახატიდან ჩანს, რომ თუ მოციმციმე სინათლის წყაროს სიკაშკაშე 40 კდ/მ²-ის ფარგლებშია (სატელევიზიო გამოსახულების საშუალო სიკაშკაშე), ციმციმის კრიტიკული სიხშირე შეადგენს $F_{ც.კრ.} \approx 45 \div 48$ ჰერცს.

ამრიგად, სამაუწყებლო სატელევიზიო სისტემაში კადრების გამეორების სიხშირე უნდა შერჩეულიყო არანაკლები 45 ÷ 48 ჰერცისა. თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ იმ პერიოდში, როდესაც წყდებოდა კადრების სიხშირის შერჩევის საკითხი, სასურველი იყო

მისი ქსელის სიხშირესთან “მიბმა”, იგი უნდა შერჩეულიყო ზუსტად 50 პერცის ტოლი (ამერიკაში 60 პერცის ტოლი).



ნახ.2.5

კადრების სიხშირის სამრეწველო ელექტროქსელის სიხშირესთან “მიბმა” მნიშვნელოვნად ამცირებდა დაბრკოლებების “შემჩნევადობას”. დაბრკოლებების მიზეზს წარმოადგენდა სატელევიზიო მიმღებების კვების ბლოკებში გამართული ძაბვების ცუდი ფილტრაცია. დაბრკოლებები ვლინდებოდა გამოსახულებაზე მუქი და ღია პორიზონტალური ზოლების ზედდებაში და გამრუდებული გვერდითი კიდების სახით. დაბრკოლებების “შემჩნევადობის” შემცირება აიხსნება იმით, რომ მათი გამოსახულება ამ დროს უძრავია და შედეგად ნაკლებად შესამჩნევი.

აღსანიშნავია, რომ ამჟამად კადრების სიხშირის ქსელის სიხშირესთან “მიბმამ” აქტუალობა დაკარგა. ამის მიზეზია ის, რომ სატელევიზიო პროგრამები ვრცელდება მთელს მსოფლიოში, ქსელთან “მიბმას” კი აზრი აქვს მხოლოდ მაშინ, როდესაც ტელეცენტრიც და სატელევიზიო მიმღებიც ერთი და იმავე ქსელიდან იკვებება. თანამედროვე სატელევიზიო მიმღებების კვების ბლოკები გამოიმუშავებენ კარგად გაფილტრულ დიდი სტაბილურობის მქონე მუდმივ ძაბვებს, რაც უზრუნველყოფს აღნიშნული დაბრკოლებებიდან თავის დაღწევას.

2.3 გაშლის წესი

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, კადრების რაოდენობა წამში უნდა შერჩეულიყო 50-ის ტოლი. კადრების ასეთი სიხშირით გადაცემისას ვიდეოსიგნალის სპექტრის ზედა სასაზღვრო სიხშირე გაუტოლდება 13 მეგაჰერცს (როდესაც $Z = 625$ და $k = 4/3$), რაც ძალზედ ბევრია და მნიშვნელოვნად გაართულებდა და გააძვირებდა სატელევიზიო სისტემას.

გამოსავალი მოიძებნა სტრიქონგამოტოვებითი გაშლის წესის (interlacing) გამოყენებაში. შედეგად ორჯერ, 25 ჰც–მდე, შემცირდა კადრების სიხშირე და შესაბამისად შემცირდა ვიდეოსიგნალის სპექტრის ზედა სასახლვრო სიხშირე, რომელიც მიახლოებით 6,5 მეგაჰერცს გაუტოლდა.

როგორც ვიცით, სტრიქონგამოტოვებითი გაშლის დროს კადრი იყოფა ორ ნახევარკადრად – კენტი და ლუწი ნახევარკადრებად. ყოველი ნახევარკადრი “ციმციმებს” 25 ჰც სიხშირით, ხოლო კენტი და ლუწი ნახევარკადრების მიმდევრობის ერთობლივი “ციმციმის” სიხშირე შეადგენს 50 ჰც–ს. სწორედ ამიტომ თვალი მოციმციმე გამოსახულებას აღიქვამს ციმციმის გარეშე.

აღსანიშნავია, რომ ანალოგიური გადაწყვეტილება იქნა მიღებული კინოშიც, სადაც კადრების სიხშირე შეადგენს 24 ჰერცს, რაც ციმციმის კრიტიკულ სიხშირეზე ბევრად ნაკლებია. იმისათვის, რომ კინოეკრანის ციმციმი იყოს შეუმჩნეველი, ყოველი კინოკადრის პროექტირება ეკრანზე წარმოებს ორჯერ. შედეგად კინოეკრანი ციმციმებს 48 ჰერცის ტოლი სიხშირით, რაც ადამიანის თვალისთვის შეუმჩნეველია.

თანამედროვე სატელევიზიო მიმღებების ეკრანების საკაშკაშე მნიშვნელოვნად გაიზარდა და რიგ შემთხვევაში მისი ციმციმი შესამჩნევია და გამაღიზიანებელი. ამიტომ ამჟამად ე.წ. 100 და 200 ჰერციან ციფრულ სატელევიზიო მიმღებებში ციმციმის მოსასპობად (არსებული სტანდარტის პირობებში) იყენებენ კადრების დამახსოვრებასა და ოთხჯერ და რვაჯერ უფრო მეტი სიხშირით წაკითხვას სტრიქონსტრიქონობითი გაშლის წესის გამოყენებით.

2.4 კადრის ფორმატი და ნათელხედვის ველი

ადამიანის თვალის ხედვის ველი საკმაოდ დიდია ($120^{\circ} \div 130^{\circ}$), მაგრამ ძირითადი ვიზუალური ინფორმაცია თავმოყრილია თვალის ნათელხედვის სივრცით კუთხეში α ნ. მისი ზომები შეადგენს $\alpha_{\text{ნ.გ.}} = 12^{\circ}$ –ს ვერტიკალური მიმართულებით და $\alpha_{\text{ნ.ჰ.}} = 16^{\circ}$ –ს ჰორიზონტალური მიმართულებით. სწორედ აქედან გამომდინარე დაადგინეს **კადრის ფორმატის** (გამოსახულების სიგანის შეფარდება მის სიმაღლესთან) რიცხვითი მნიშვნელობა 4:3 (1,3(3):1) თავდაპირველად კინოში, ხოლო შემდეგ ტელევიზიაში.

$$k = \alpha_{\text{ნ.ჰ.}} / \alpha_{\text{ნ.გ.}} = \frac{l}{h} = \frac{16^{\circ}}{12^{\circ}} = \frac{4}{3}.$$

კადრის აღნიშნული ფორმატი ამჟამად მიღებულია მთელ მსოფლიოში.

ორმოცდაათიანი წლების დასაწყისში კინემატოგრაფში გავრცელება დაიწყო ფართოეკრანიანმა ფილმებმა ფორმატით 1,85:1 და ფართოფორმატიანმა ფილმებმა ფორმატით 2,35:1. ვინაიდან კინოჩვენება ტელემაუწყებლობის მნიშვნელოვან ნაწილს შეადგენს, ტელეხედვის თანამედროვე HDTV სისტემებში შეჩერდნენ შუალედურ ფორმატზე 16:9 (1,78:1).

თავი III სატელევიზიო გამოსახულების ხარისხობრივი მაჩვენებლები და მხედველობა

სატელევიზიო გამოსახულების ძირითადი ხარისხობრივი მაჩვენებლებია: სიკაშკაშე, კონტრასტულობა, სიკაშკაშის გრადაციების რაოდენობა, მკაფიოობა, გეომეტრიული მსგავსება, ფერადობის ტონი და ფერის გაჯერება.

3.1 სიკაშკაშე

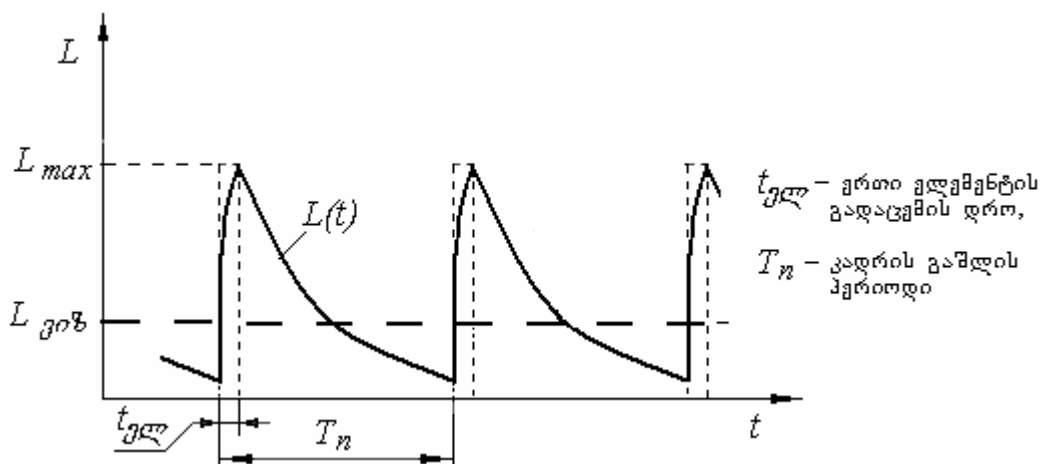
სატელევიზიო გამოსახულება წარმოადგენს მოციმციმე სინათლის წყაროს, რომელიც თვალის ინერციულობის წყალობით გვეჩვენება უწყვეტად განათებული.

მოციმციმე სინათლის წყაროს ვიზუალური (სუბიექტური) სიკაშკაშე განისაზრვრება ტალბოტის კანონით:

$$L_{ვიზ.} = \frac{1}{T} \int_0^T L(t) dt \quad ,$$

სადაც T – სინათლის იმპულსების გამეორების პერიოდი, ხოლო $L(t)$ – ობიექტური სიკაშკაშის ცვლილების ამსახველი ფუნქციაა.

ნახ.3.1–ზე ნაჩვენებია კინესკოპის ეკრანზე ობიექტური (უწყვეტი) და ვიზუალური (პუნქტირით) სიკაშკაშის ცვლილების გრაფიკი გამოსახულების ერთი პიქსელისათვის.



ნახ.3.1

ტალბოტის კანონით შეიძლება დავადგინოთ, რომ ლუმინოზორული ეკრანებისათვის

$$L_{ვიზ.} \approx \frac{1}{3} L_{max} \quad ,$$

სადაც L_{max} – პიქსელის სიკაშკაშეა ელექტრონული სხივის ლუმინოზორზე ზემოქმედების მომენტში.

სუბიექტური ცდებით დადგენილია, რომ სატელევიზიო გამოსახულების კომფორტული დაკვირვებისათვის მისი 50 ჰც სიხშირით გამეორების პირობებში

საკმარისია საშუალო ვიზუალური სიკაშკაშე იყოს დაახლოებით 50 კდ/მ^2 . ამ დროს ტაბლოტის კანონის შესაბამისად გამოსახულების სიკაშკაშის მაქსიმალური მნიშვნელობა $L_{\max} \approx 3 L_{\text{ვიზ.}} \approx 150 \text{ კდ/მ}^2$.

თანამედროვე სატელევიზიო მიმღებებს ძალუბთ გაცილებით მეტი სიკაშკაშის მქონე გამოსახულების ფორმირება, რაც აუცილებელია დიდი გარეშე განათების პირობებში. გამოსახულების გაზრდილი სიკაშკაშე იწვევს მის შესამჩნევ ციმციმს, რომლის მოსპობა შესაძლებელია კადრების გამეორების სიხშირის 100 ჰერცამდე გაზრდით გადაცემის სტანდარტის შეუცვლელად (კადრის ელექტრონული დამახსოვრებითა და მისი საჭირო სიხშირით აღწარმოებით).

3.2 კონტრასტულობა

კონტრასტულობა წარმოადგენს გამოსახულების ყველაზე ნათელი უბნის სიკაშკაშის ფარდობას მისი ყველაზე ბნელი უბნის სიკაშკაშესთან:

$$\beta = \frac{L_{\max}}{L_{\min}} .$$

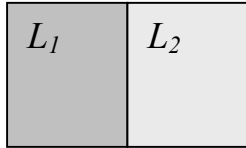
სატელევიზიო გამოსახულების ხარისხი ფასდება როგორც კარგი, როდესაც $\beta = 30$ და როგორც ძალიან კარგი, როდესაც $\beta = 100$. კონტრასტულობის შემდგომი ზრდა უმნიშვნელოდ აუმჯობესებს გამოსახულების ხარისხს, თუმცა თანამედროვე სატელევიზიო მიმღებები უზრუნველყოფენ 1000 და მეტი კონტრასტულობის მქონე გამოსახულებას!

განასხვავებენ კონტრასტულობას გამოსახულების მსხვილ და მცირე ზომის დეტალებისათვის. როდესაც დიდი ზომის დეტალების კონტრასტულობა ასის ტოლია, მცირე ზომის დეტალებისათვის $\beta \approx 5 \div 8$.

3.3 სიკაშკაშის გრადაციების რაოდენობა m და თვალის კონტრასტული მგრძნობიარობა

სატელევიზიო გამოსახულება ხასიათდება სიკაშკაშის არა მარტო მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობებით, არამედ მისი შუალედური მნიშვნელობებითაც – ე.წ. ნახევარტონებით ანუ სიკაშკაშის გრადაციებით. რაც უფრო მეტია სიკაშკაშის გრადაციების რაოდენობა გამოსახულებაში, მით უფრო ბუნებრივია იგი. გავარკვიოთ თუ რა რაოდენობის სიკაშკაშის გრადაციის გადაცემაა საჭირო მაღალი ხარისხის გამოსახულების მისაღებად.

ვთქვათ, მაყურებელი აკვირდება L_1 სიკაშკაშის მქონე ველს. ამ ველის მეორე ნახევრის სიკაშკაშე გაეზარდოს L_2 მნიშვნელობამდე, რომლის დროსაც შესამჩნევი ხდება მისი განსხვავება საწყის სიკაშკაშესთან. ცდებით დამტკიცებულია, რომ სიკაშკაშის მინიმალური შესამჩნევი ნაზრდი $\Delta L = L_2 - L_1$



დამოკიდებულია საწყის სიკაშკაშეზე და სიკაშკაშეთა სატელევიზიო დიაპაზონში მოქმედებს **ვებერ-ფეხნერის კანონი**:

$$\delta = \frac{\Delta L}{L_F} = const ,$$

სადაც $L_F = L_1$ - საწყისი ანუ ფონის სიკაშკაშე, რომელზედაც დამოკიდებულია სიკაშკაშის მინიმალური შესამჩნევი ნაზრდი.

$\delta = 0,02 \div 0,05$. იგი განსაზღვრავს **თვალის კონტრასტულ მგძნებარობას** და მას **ზღურბლური კონტრასტი** ეწოდება.

მოცემული კონტრასტულობის პირობებში მაყურებელს ძალუძს აღიქვას ნახევარტონების სრულიად გარკვეული რაოდენობა m . შევაფასოთ მისი მნიშვნელობა.



$$\Delta L = \delta * L_F ;$$

$$L_1 = L_{\min} ;$$

$$L_2 = L_1 + \Delta L_1 = L_1 + \delta * L_1 = L_1(1 + \delta) ;$$

$$L_3 = L_2 + \Delta L_2 = L_2 + \delta * L_2 = L_2(1 + \delta) = L_1(1 + \delta)^2 ;$$

.....

$$L_m = L_{\min} (1 + \delta)^{m-1} .$$

გავალოგარიტმით და გავითვალისწინოთ, რომ $\frac{L_{\max}}{L_{\min}} = \beta$:

$$\ln \beta = (m - 1) \ln(1 + \delta) .$$

ვიცით, რომ როდესაც $\delta \ll 1$, $\ln(1 + \delta) \approx \delta$, ამიტომ $m = \frac{\ln \beta}{\delta} + 1$.

გავითვალისწინოთ, რომ $\frac{\ln \beta}{\delta} \gg 1$ და გადავიდეთ ათობით ლოგარიტმებზე. მივიღებთ:

$$m = \frac{2,3 \lg \beta}{\delta} .$$

თუ ჩავსვათ $\beta = 100$ და $\delta = 0,02 \div 0,05$, მივიღებთ, რომ გადასაცემ გამოსახულებაში თვალის მიერ აღქმული სიკაშკაშის გრადაციების რაოდენობა

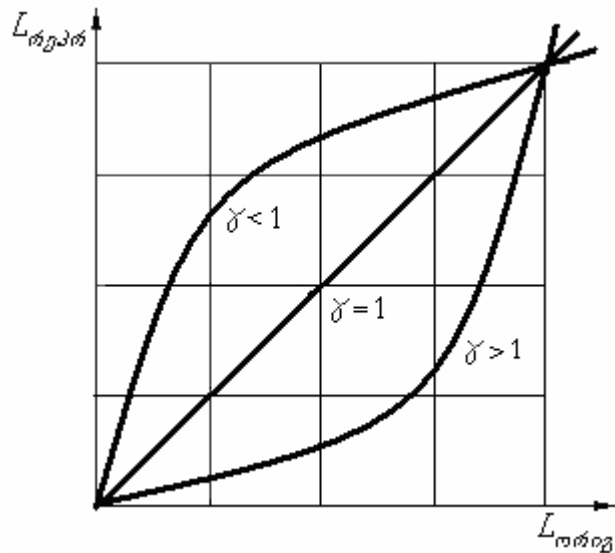
$m = 230 \div 92$ და სატელევიზიო სისტემამ უნდა უზრუნველყოს სიკაშკაშის გრადაციების ამ რაოდენობის გადაცემა და აღწარმოება.

პრაქტიკულად, ვინაიდან გადასაცემი გამოსახულებისა და მისი სატელევიზიო რეპროდუქციის კონტრასტულობები განსხვავდება, შეუძლებელია მათი სიკაშკაშის გრადაციების რაოდენობები იყოს ტოლი (m -ის განმსაზღვრელი ფორმულიდან გამომდინარე). მნიშვნელოვანია მხოლოდ ის, თუ როგორ ნაწილდება აღწარმოებული გრადაციები ორიგინალის გამოსახულების გრადაციებთან მიმართებაში – პროპორციულად თუ არა. აღნიშნული აისახება სატელევიზიო სისტემის გამჭოლ შუქურ მახასიათებელში, რომელიც წარმოადგენს გადასაცემი გამოსახულების სიკაშკაშესა და მისი სატელევიზიო რეპროდუქციის სიკაშკაშეს შორის დამოკიდებულებას:

$$L_{რეპრ} = k L_{ორიგ}^{\gamma}$$

სადაც k – პროპორციულობის კოეფიციენტია.

ნახ. 3.2–ზე ნაჩვენებია გამჭოლი შუქური მახასიათებლების ოჯახი γ -ს სახვადასხვა მნიშვნელობებისათვის.



ნახ.3.2

სატელევიზიო სისტემის გამჭოლი შუქური მახასიათებლის გასაწრფივებლად სატელევიზიო ტრაქტის შემადგენლობაში როგორც წესი შეყავთ სპეციალური მოწყობილობა – გამა კორექტორი.

სატელევიზიო გამოსახულების სიკაშკაშისა და კონტრასტულობის ოპტიმალური რეგულირებისათვის საცდელ სატელევიზიო ტაბულებში (ნახ.3.3) გათვალისწინებულია გრადაციული სოლები.

3.4 მკაფიოობა და თვალის გარჩევის უნარი

თვალის გარჩევის უნარის ($\varphi = 1'$) მიხედვით დადგინდა სტრიქონების მიახლოებითი რაოდენობა კადრში. სწორედ სტრიქონების რაოდენობა (საბოლოო ჯამში კი პიქსელების რიცხვი კადრში) განსაზღვრავს გამოსახულების მკაფიოობას – მცირე ზომის დეტალების აღწარმოების უნარს. ტელეხედვაში განასხვავებენ ორი სახის მკაფიოობას: ჰორიზონტალურს და ვერტიკალურს. ეს აიხსნება გამოსახულების სტრიქონული სტრუქტურით და იმით, რომ მკაფიოობა სტრიქონისა და კადრის გასწვრივ სხვადასხვა ტექნიკურ ფაქტორზეა დამოკიდებული.

მკაფიოობა ორივე მიმართულებით უნდა იყოს ერთნაირი ვინაიდან თვალის გარჩევის უნარი არ არის დამოკიდებული მიმართულებაზე.

მკაფიოობა ჰორიზონტალურად ძირითადად დამოკიდებულია ვიდეოსიგნალის სპექტრის ზედა სასაზღვრო სიხშირეზე და **იზომება შავი და თეთრი ვერტიკალური ხაზების იმ რაოდენობით, რომელიც აღიწარმოება ეკრანზე კადრის სიმაღლის ტოლ ჰორიზონტალურ მონაკვეთში**. 625 სტრიქონიან SDTV-ში იგი არ აღემატება 500 ხაზს.

მკაფიოობა ვერტიკალურად დამოკიდებულია სტრიქონთა რაოდენობაზე კადრში და სტრიქონგამოტოვებითი გაშლის ხარისხზე. იგი **იზომება შავი და თეთრი ჰორიზონტალური ხაზების იმ რაოდენობით, რომლებიც აღიწარმოება ეკრანზე კადრის მთელ სიმაღლეში**. თეორიულად ვერტიკალური მკაფიოობის მაქსიმალური მნიშვნელობა იმის გათვალისწინებით, რომ სტრიქონების აქტიური რაოდენობა 625 სტრიქონიან კადრში $Z_v=0,92Z$, უდრის 576-ს. მაგრამ რეალური მაქსიმალური ვერტიკალური მკაფიოობა ნაკლებია და არ აღემატება თეორიული მაქსიმუმის 75%-ს ანუ 432 ხაზს. ამის მიზეზია შავი და თეთრი ჰორიზონტალური ხაზებისა და რასტრის სტრიქონების ცვალებადი ურთიერთგანლაგება.

საცდელ სატელევიზიო ტაბულებში (მაგ., ნახ.3.3) გათვალისწინებულია ჰორიზონტალური მკაფიოობის განმსაზღვრელი ელემენტები – კლებადი სისქის შავი და თეთრი ვერტიკალური ხაზების ჯგუფები, რომლებსაც მარცხნიდან მარჯვნივ შეესაბამება მკაფიოობა 100, 200, 300, 400 და 500 ხაზი.

3.5 გეომეტრიული მსგავსება

იდეალურ შემთხვევაში ობიექტის სატელევიზიო გამოსახულება და თვით ობიექტი უნდა იყვნენ გეომეტრიულად მსგავსნი. წინააღმდეგ შემთხვევაში გამოსახულება გეომეტრიულად დამახინჯებულია.

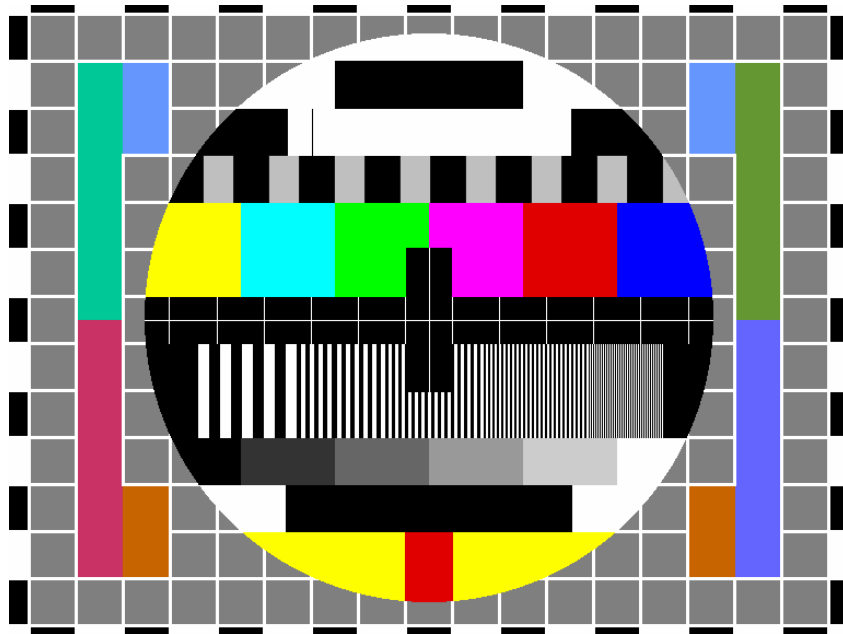
დამახინჯების მიზეზი ძირითადად მდგომარეობს “სინათლე-სიგნალი” და “სიგნალი-სინათლე” გარდამქმნელებში გამოსახულების ანალიზისა და სინთეზისას რასტრის ფორმისა და გაშლის ფარდობითი სიჩქარეების არაიდენტურობაში.

რასტრის ნომინალური ფორმატი და გაშლის ფარდობითი სიჩქარეები მკაცრად განსაზღვრულია სტანდარტით. ამიტომ გამოსახულების გეომეტრიული დამახინჯების შეფასება წარმოებს **გეომეტრიული დამახინჯების კოეფიციენტებით**, რომლებიც ასახავენ აღნიშნული პარამეტრების ნომინალურიდან გადახრის ხარისხს.

გეომეტრიული დამახინჯების დასადგენად და გასაზომად გამოიყენება საცდელი სატელევიზიო ტაბულები, მაგალითად, ნაჩვენები ნახ.3.3-ზე, რომლებიც შეიცავენ გეომეტრიულად სწორ, ნაცნობ ფიგურებს – კვადრატებს და წრეწირებს.

თუ კვადრატების ნაცვლად ტაბულის გამოსახულებაში მართკუთხედია, ხოლო წრეწირის ნაცვლად – ელიფსი, საქმე გვაქვს კადრის ფორმატის დარღვევასთან.

თუ კვადრატები იქცა სხვადასხვა ზომის მართკუთხედებად, ხოლო წრეწირები კვერცხისებური ფორმისაა – დარღვეულია გაშლის წრფივობა.



ნახ.3.3

ამ შემთხვევაში გეომეტრიული დამახინჯება ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებით ფასდება არაწრფივობის კოეფიციენტებით $k_{აჰ}$ და $k_{ავ}$:

$$k_{აჰ} = 2 \frac{a_{\max} - a_{\min}}{a_{\max} + a_{\min}} 100\% ; \quad k_{ავ} = 2 \frac{b_{\max} - b_{\min}}{b_{\max} + b_{\min}} 100\% ,$$

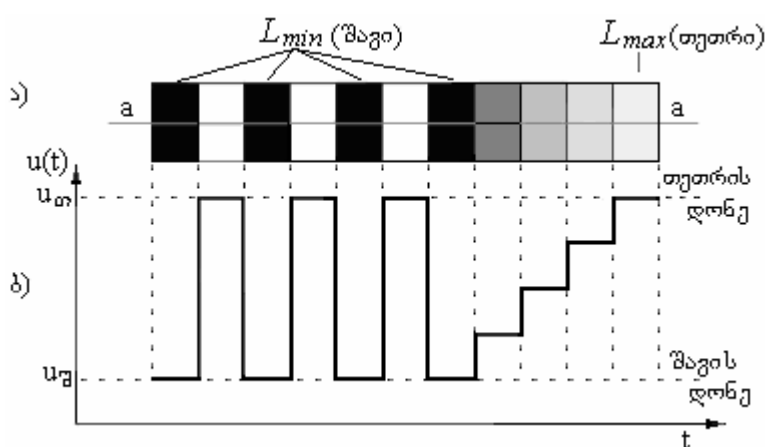
სადაც a_{\max} და b_{\max} – ყველაზე განიერი და ყველაზე მაღალი მართკუთხედების ზომებია, ხოლო a_{\min} და b_{\min} – ყველაზე დაბალი და ყველაზე ვიწრო მართკუთხედების ზომებია.

გაშლის არაწრფივობა თვალის შეუმჩნეველია, თუ ის $\leq 5\%$. დასაშვებად მიიჩნევა არაწრფივობის კოეფიციენტების მნიშვნელობები 15%-მდე.

თავი IV ვიდეოსიგნალის ფორმა და სისშირული სპექტრი

4.1 ვიდეოსიგნალის (სრული სატელევიზიო სიგნალის) ფორმა

„სინათლე-სიგნალის“ გარდაქმნელის გამოსავალზე მიღებული ვიდეოსიგნალის მნიშვნელობა გადასაცემი გამოსახულების ელემენტების სიკაშკაშის პროპორციულია და წარმოადგენს დროის ფუნქციას. ნახ.4.1-ზე ნაჩვენებია „სინათლე-სიგნალის“ გარდაქმნის მაგალითი გამოსახულებისათვის, რომელიც შეიცავს ვერტიკალურ შავ და თეთრ ზოლებსა და გრადაციულ სოლს (სტრიქონის მარჯვენა მხარეს).



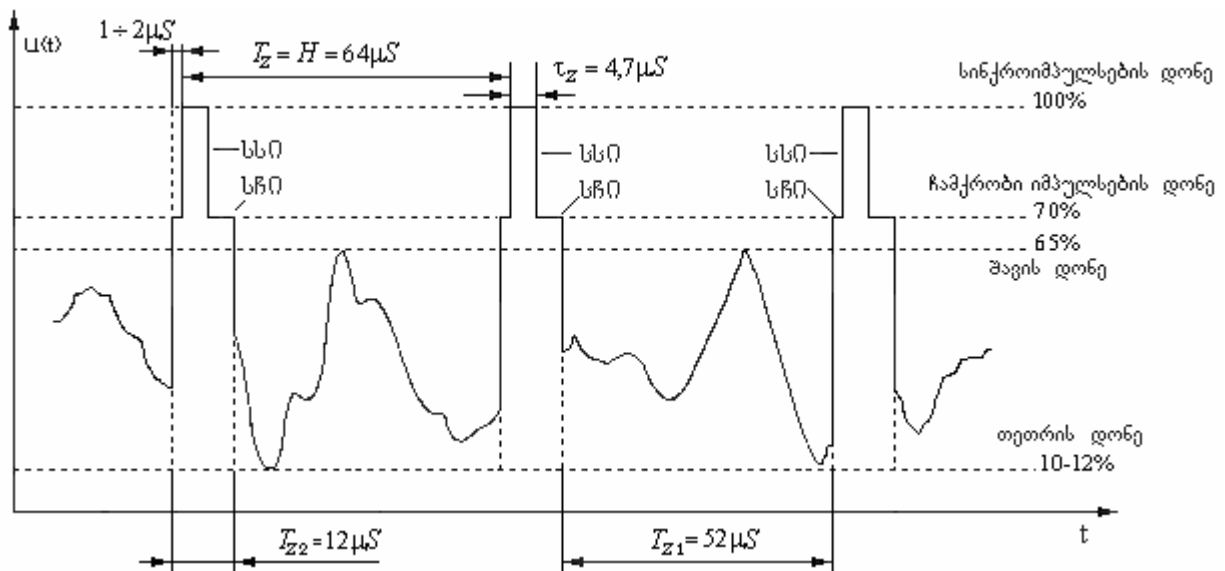
ნახ.4.1

ვიდეოსიგნალი $u(t) = \varphi(L)$ და, როგორც ნახ.4.1-დან ჩანს, ზუსტად იმეორებს გამოსახულების ყოველი წერტილის სიკაშკაშის მნიშვნელობას a - a სტრიქონის გასწვრივ. სიკაშკაშის ცვლილებას შავიდან (L_{min}) თეთრამდე (L_{max}) შეესაბამება ვიდეოსიგნალის ცვლილება $u_{\text{შ}}$ -დან $u_{\text{თ}}$ -მდე. ამასთან იგულისხმება, რომ „სინათლე-სიგნალი“ გარდაქმნის პროცესი წრფივია, ხოლო გამშლელი აპერტურის ზომა (პიქსელის ზომა) – უსასრულოდ მცირე. განხილულ ვიდეოსიგნალს ეწოდება **სიკაშკაშის სიგნალი**. მისი პოლარობა **პოზიტიურია**, თუ თეთრის დონე ჭარბობს შავის დონეს (იხე, როგორც ნახ.4.1-ზე) და **ნეგატიურია**, როდესაც შავის დონე მეტია თეთრის დონის მნიშვნელობაზე.

განვიხილოთ სრული სატელევიზიო სიგნალის (სიკაშკაშის სრული სიგნალის) ფორმა (ნახ.4.2, ნახ.4.3).

იგი შეიცავს შემდეგ სამ მდგენელს:

1. სიკაშკაშის სიგნალს;
2. სტრიქონულ და კადრულ სინქრონიზაციის იმპულსებს ($სხ0$, $პხ0$);
3. სტრიქონულ და კადრულ ჩამქრობ იმპულსებს ($სჩ0$, $პჩ0$).



ნახ.4.2

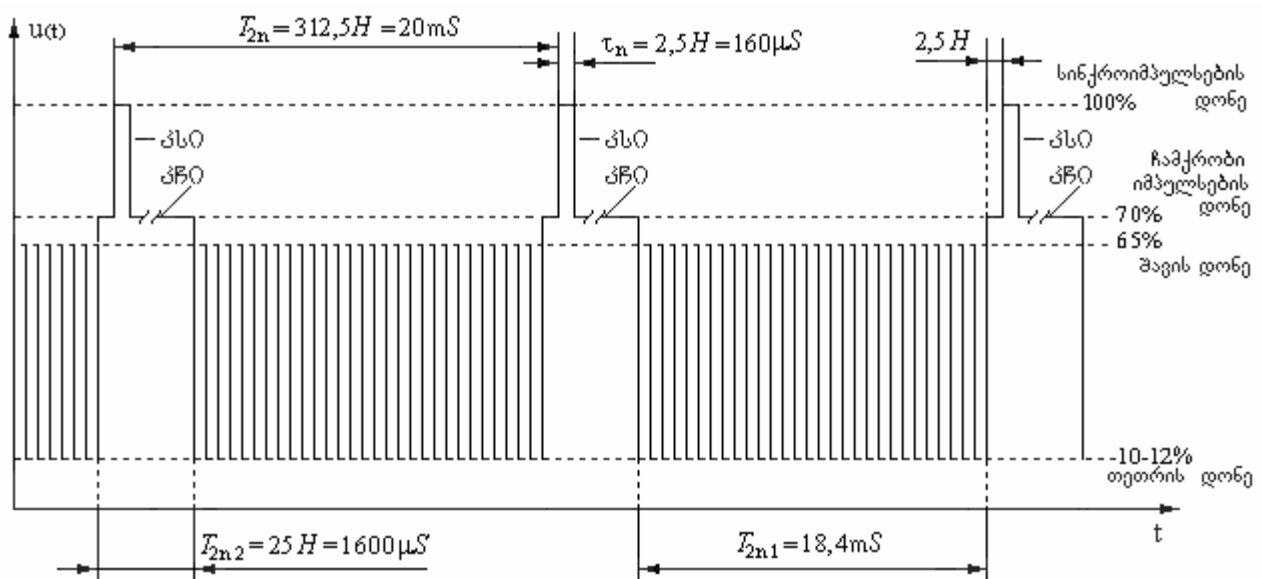
ნახ.4.2-ზე ნახვენებია სრული სატელევიზიო სიგნალი სტრიქონის ორი პერიოდისათვის *ნეგატიურ პოლარობაში*. აქ T_z – სტრიქონის პერიოდი; T_{z1} – სტრიქონის აქტიური (პირდაპირი სვლის) პერიოდი; T_{z2} – სტრიქონის პასიური (უკუსვლის) პერიოდი; τ_z – სტრიქონის სინქრონიზაციის იმპულსის ხანგრძლივობა.

ნახ.4.3-ზე წარმოდგენილია სრული სატელევიზიო სიგნალის ფორმა ერთი კადრის (ორი ნახევარკადრის) პერიოდისათვის *ნეგატიურ პოლარობაში* გამარტივებული სახით (სტრიქონული ჩამქრობი და სინქრონიზაციის იმპულსების გარეშე).

აქ T_{2n} – ნახევარკადრის გაშლის პერიოდი;

T_{2n1} – ნახევარკადრის აქტიური პერიოდი (პირდაპირი სვლა);

T_{2n2} – ნახევარკადრის პასიური პერიოდი (უკუსვლა).



ნახ.4.3

ნახ.4.2 და ნახ.4.3–ზე აღნიშნულია სრული სატელევიზიო სიგნალის დონეთა სტანდარტული თანაფარდობა პროცენტებში და დროითი ინტერვალების მნიშვნელობები ჩვენში მოქმედი სტანდარტისათვის.

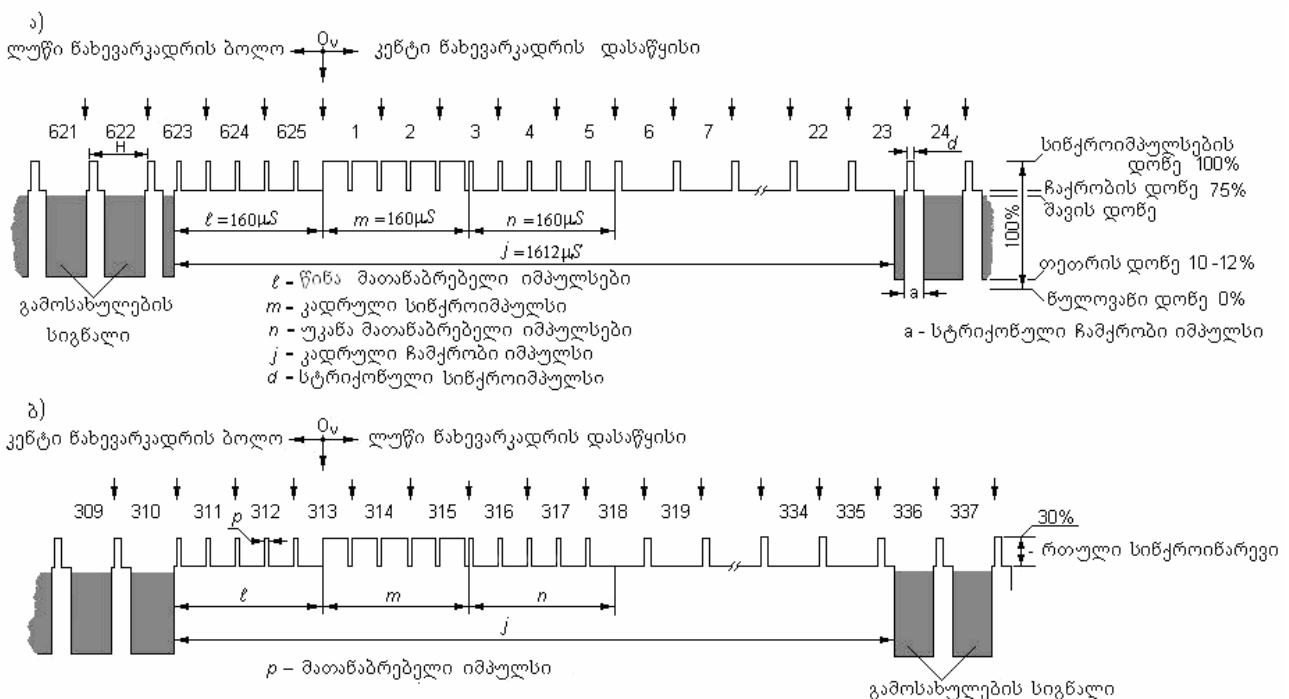
„ტექნიკის მომენტს“ სინქრონიზაციის პროცესში შეესაბამება სინქრონიზაციის წინა ფრონტი. ამ დროს პირდაპირი სვლა T_1 ძალდატანებით წყდება და იწყება უკუსვლა T_2 . აუცილებელია, რომ უკუსვლა დამთავრდეს ჩამქრობი იმპულსის დასრულებამდე, რათა არ მოხდეს გამოსახულების „შემობრუნება“ კადრის მარცხენა და ზედა ნაწილებში.

საყურადღებოა სინქრონიზაციის განლაგება ჩამქრობი იმპულსებზე. როგორც სტრიქონული, ისე ნახევარკადრული (კადრული) სინქრონიზაციის დაძრული არიან შესაბამისი ჩამქრობი იმპულსების მარცხენა კიდისაკენ. ამის მიზეზი შემდეგში მდგომარეობს: სტრიქონული (კადრული) სინქრონიზაციის წინა ფრონტი შეესაბამება დროის იმ მომენტს, როდესაც მთავრდება წინამავალი სტრიქონის (კადრის) გაშლა და იწყება უკუსვლა. უკუსვლის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია კონკრეტული სატელევიზიო მიმღების გაშლის გენერატორის პარამეტრებზე და შესაძლოა მეტნაკლებად განსხვავდებოდეს სხვადასხვა მიმღებში, მაგრამ აუცილებელია, რომ უკუსვლა ყველა მიმღებში დამთავრდეს ჩამქრობი იმპულსების მოქმედების შეწყვეტამდე (მათი უკანა ფრონტის დადგომამდე). ამისათვის კი უკუსვლის ხანგრძლივობა სატელევიზიო მიმღებებში არ უნდა აღემატებოდეს დროის ინტერვალს სინქრონიზაციის წინა და ჩამქრობი იმპულსის უკანა ფრონტებს შორის. ცხადია, რომ ეს ინტერვალი მით მეტია, რაც უფრო ახლოსაა სინქრონიზაციის ჩამქრობი იმპულსის წინა ფრონტთან. უკიდურესი შემთხვევა, როდესაც სინქრონიზაციისა და ჩამქრობი იმპულსის წინა ფრონტები ერთმანეთს ემთხვევა, გამორიცხულია გამოსახულების სიგნალით სინქრონიზაციის შესაძლო დამახინჯების გამო.

4.2 სრული სატელევიზიო სიგნალის ფორმა ნახევარკადრის უკუსვლის არეში

განვიხილოთ სრული სატელევიზიო სიგნალი ნახევარკადრის უკუსვლის არეში. მისი ფორმა ნეგატიურ პოლარობაში ჩვენში მოქმედი სტანდარტისათვის ნაჩვენებია ნახ.4.4–ზე. სიგნალის მდგენელების დანიშნულების გასარკვევად მივმართოთ ნახ.4.5 ა)–ს. მასზე წარმოდგენილი ვიდეოსიგნალი თითქოსდა შეიცავს ყველა საჭირო ელემენტს – სტრიქონული სინქრონიზაციის იმპულსებს ნახევარკადრის აქტიურ პერიოდში და ნახევარკადრულ სინქრონიზაციის იმპულსებს. მათ უნდა უზრუნველყონ სისტემის გადამცემი და მიმღები მხარეების სინქრონიზაციის და სინფაზური მუშაობა. ნახატიდან ჩანს, რომ ნახევარკადრული ჩამქრობი იმპულსის მოქმედების განმავლობაში სტრიქონული

სინქროიმპულსები არ გადაიცემა. შეიძლება მოგვეჩვენოს, რომ მათი გადაცემა არც არის საჭირო. უკუსვლის დროს კადრის გასწვრივ სულაც არ არის აუცილებელი, რომ გადამცემი და მიმღები მხარეები სინქრონულად მუშაობდნენ, მაგრამ საქმე იმაშია, რომ მომდევნო ნახევარკადრის აქტიური პერიოდის დაწყებისას, როდესაც კვლავ იწყება სტრიქონული სინქროიმპულსების გადაცემა, ვერ ხერხდება სატელევიზიო მიმღების სტრიქონული გაშლის გენერატორის მყისიერი სინქრონიზაცია პირველივე სტრიქონული სინქროიმპულსით. ეს კი იწვევს გამოსახულების რამდენიმე ზემო სტრიქონის ძვრას პორიზონტალური მიმართულებით, რაც დაუშვებელია. სწორედ ამ ხარვეზის ასაცილებლად არ შეიძლება სტრიქონული სინქროიმპულსების მიმდევრობის შეწყვეტა კადრის უკუსვლის დროს (ნახ.4.5 ბ)). ნახევარკადრული სინქროიმპულსების მოქმედების განმავლობაში სტრიქონული სინქროიმპულსების გადასაცემად ნახევარკადრულ სინქროიმპულსებს უკეთებენ „ჩანაჭრებს“ ისე, რომ მათი უკანა ფრონტები ემთხვეოდნენ საგარაუდო სტრიქონული სინქროიმპულსების წინა ფრონტებს.



ნახ.4.4

სტრიქონული სინქროიმპულსების გამოყოფა სტრიქონული და კადრული სინქროიმპულსების მიმდევრობიდან (რთული სინქრონარევიდან) შესაძლებელია ამ მიმდევრობის დიფერენცირებით მადიფერენცირებელ წრედში. ნახ.4.5 დ)– ზე წარმოდგენილია სტრიქონული სინქროიმპულსების მიმდევრობა, რომელიც მიიღება ნახ.4.5 ბ)– ზე ნახევრები ვიდეოსიგნალის რთული სინქრონარევის დიფერენცირების შემდეგ.

თუ შევადარებთ ერთმანეთს ვიდეოსიგნალის კენტ და ლუწ ნახევარკადრული ჩამქრობი იმპულსების არეებს (ნახ.4.5 ბ) და გ)), შევამჩნევთ განსხვავებას მათ ფორმაში –

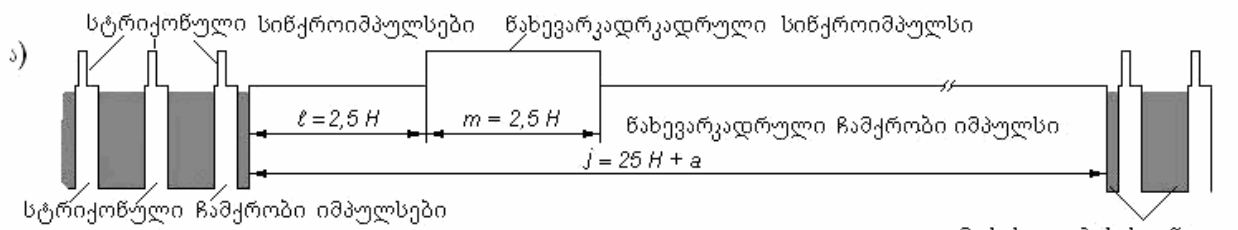
დროის ინტეგრალი კენტი ნახევარკადრის სინქროიმპულსის წინა ფრონტიდან პირველი ჩანაჭრის უკანა ფრონტამდე ტოლია H -ის, ხოლო ლუწი ნახევარკადრის სინქროიმპულსის წინა ფრონტიდან პირველი ჩანაჭრის უკანა ფრონტამდე $-H/2$ -ის. აღნიშნული სხვაობა თავს იჩენს ნახევარკადრთა სინქროიმპულსების ინტეგრების შემდეგ მაინტეგრებელ წრედში, რომელიც გამოიყენება ნახევარკადრული სინქროიმპულსების გამოსაყოფად რთული სინქრონარევიდან. ნახ.4.5 ე)–ზე ნაჩვენებია რთული სინქრონარევის ინტეგრების შედეგად მიღებული კენტი (უწყვეტი) და ლუწი (წყვეტილი) ნახევარკადრული სინქროიმპულსების დაკბილული მრუდები. შედარების მიზნით ისინი ზედღებულა და როგორც ჩანს მათი ფორმა განსხვავებულია.

ინტეგრებული ნახევარკადრული სინქროიმპულსები მიეწოდება სატელევიზიო მიმღების კადრული გაშლის გენერატორს და ახდენს მის სინქრონიზაციას. გენერატორის სინქრონიზაცია ხდება დაკბილული სინქროიმპულსის მიერ გარკვეული დონის მიღწევის მომენტში. ლუწი ნახევარკადრული სინქროიმპულსი სინქრონიზაციის დონეს აღწევს Δt დროით გვიან, ვიდრე კენტი ნახევარკადრული სინქროიმპულსი (ნახ.4.5 ე)). ეს იწვევს ლუწი ნახევარკადრის რასტრის ვერტიკალურ ძვრას კენტი ნახევარკადრის რასტრის მიმართ, რის შედეგადაც სტრიქონები წყვილდება და მცირდება გამოსახულების ვერტიკალური მკაფიოობა.

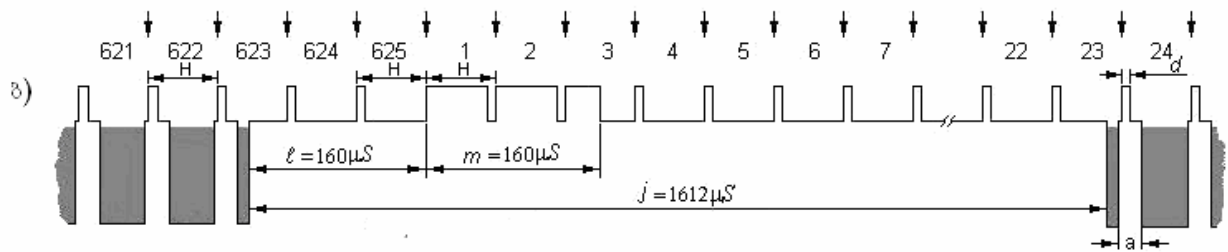
სტრიქონების დაწყვილების თავიდან ასაცილებლად საჭიროა, რომ კენტი და ლუწი ნახევარკადრული სინქროიმპულსები ფორმით არ განსხვავდებოდნენ. ამისათვის ნახევარკადრულ სინქროიმპულსებში ჩანაჭრების სიხშირეს ზრდიან ორჯერ (ნახ.4.5 ვ) და ზ)). ასეთი იმპულსების ინტეგრების შედეგად მიღებული დაკბილული მრუდების ფორმა აღარ უნდა განსხვავდებოდეს, მაგრამ იმის გამო, რომ სხვადასხვაა ნახევარკადრული სინქროიმპულსის წინამავალი და მომდევნო სტრიქონული სინქროიმპულსების დაცილება მისი წინა და უკანა ფრონტებიდან, ინტეგრების საწყისი პირობები ნახევარკადრული სინქროიმპულსებისთვის განსხვავებულია. ეს კვლავ იწვევს სტრიქონების დაწყვილებას, თუმცა ნაკლებად აშკარას. სტრიქონების დაწყვილების ამ უკანასკნელი მიზეზის აღმოსაფხვრელად ნახევარკადრული სინქროიმპულსების წინ და უკან სტრიქონულ სინქროიმპულსებს შორის ათავსებენ დამატებით იმპულსებს, რომლებიც იქვე მდებარე სტრიქონულ სინქროიმპულსებთან ერთად ქმნიან ე.წ. წინა და უკანა მათანაბრებელ იმპულსებს (ნახ.4.4 ა), ბ)). დამატებითი იმპულსები არ იწვევს სტრიქონული გაშლის გენერატორის სინქრონიზაციას, რადგანაც ის ამ დროს სიხშირის ორზე გაყოფის რეჟიმში მუშაობს.

მათანაბრებელი იმპულსებისა და ჩანაჭრების ხანგრძლივობა ორჯერ ნაკლებია სტრიქონთა სინქროიმპულსების ხანგრძლივობაზე.

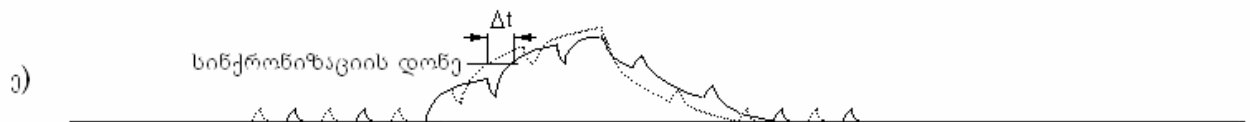
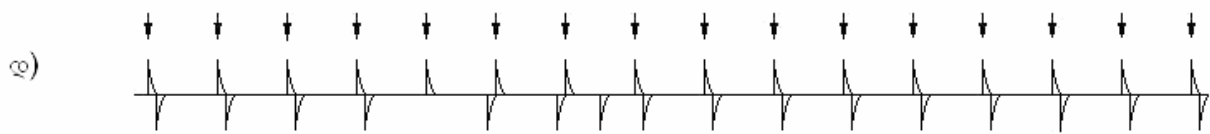
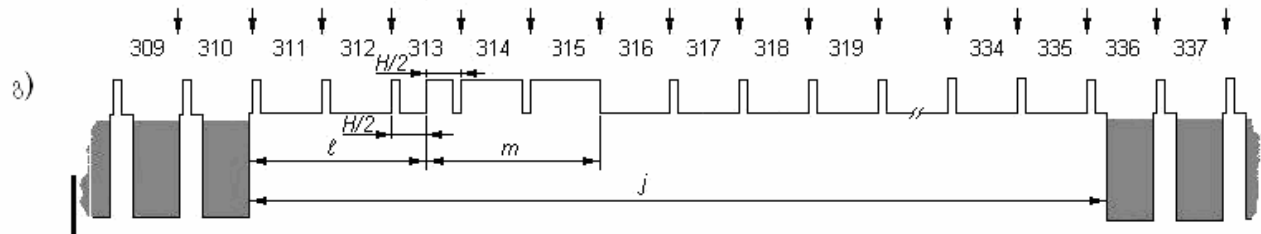
აქვე უნდა აღინიშნოს სტანდარტით გათვალისწინებული სტრიქონების დანომვრის თანმიმდევრობა. სტრიქონების ნუმერაცია იწყება კენტი ნახევარკადრის დასაწყისიდან. ლუწი ნახევარკადრი იწყება 313-ე სტრიქონის შუიდან.



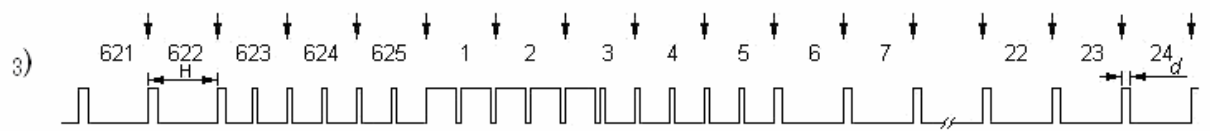
ლუწი ნახევარკადრის ბოლო Q_v კენტი ნახევარკადრის დასაწყისი



კენტი ნახევარკადრის ბოლო Q_v ლუწი ნახევარკადრის დასაწყისი

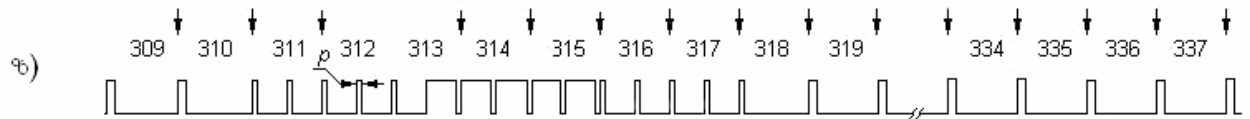


ლუწი ნახევარკადრის ბოლო Q_v კენტი ნახევარკადრის დასაწყისი



კენტი ნახევარკადრის ბოლო Q_v ლუწი ნახევარკადრის დასაწყისი

როტული სინქრონიზაციის

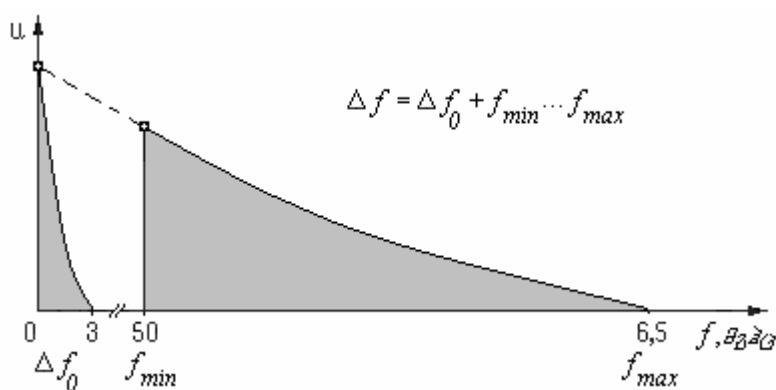


ნახ.4.5

4.3 ვიდეოსიგნალის სიხშირული სპექტრი

განვსაზღვროთ ვიდეოსიგნალის სიხშირული სპექტრი Δf . იგი უნდა შეიცავდეს დაბალ სიხშირეებს Δf_0 დიაპაზონში 0–დან 3 ჰერცამდე და ასევე სიხშირულ მდგენელებს f_{min} –დან f_{max} –მდე:

- დაბალსიხშირული მდგენელები დიაპაზონში $\Delta f_0 = 0 \div 3$ ჰც ასახავენ გამოსახულების საშუალო სიკაშკაშის ცვლილებას ძალიან დაბალი სიხშირით;
- f_{min} – მინიმალური სიხშირეა, რომელსაც უნდა ატარებდეს სატელევიზიო ტრაქტის ნებისმიერი მოწყობილობა;
- f_{max} – სპექტრის ყველაზე მაღალი – ზედა სასაზღვრო სიხშირეა $F_{ზ.სას}$. (ნახ.4.6).

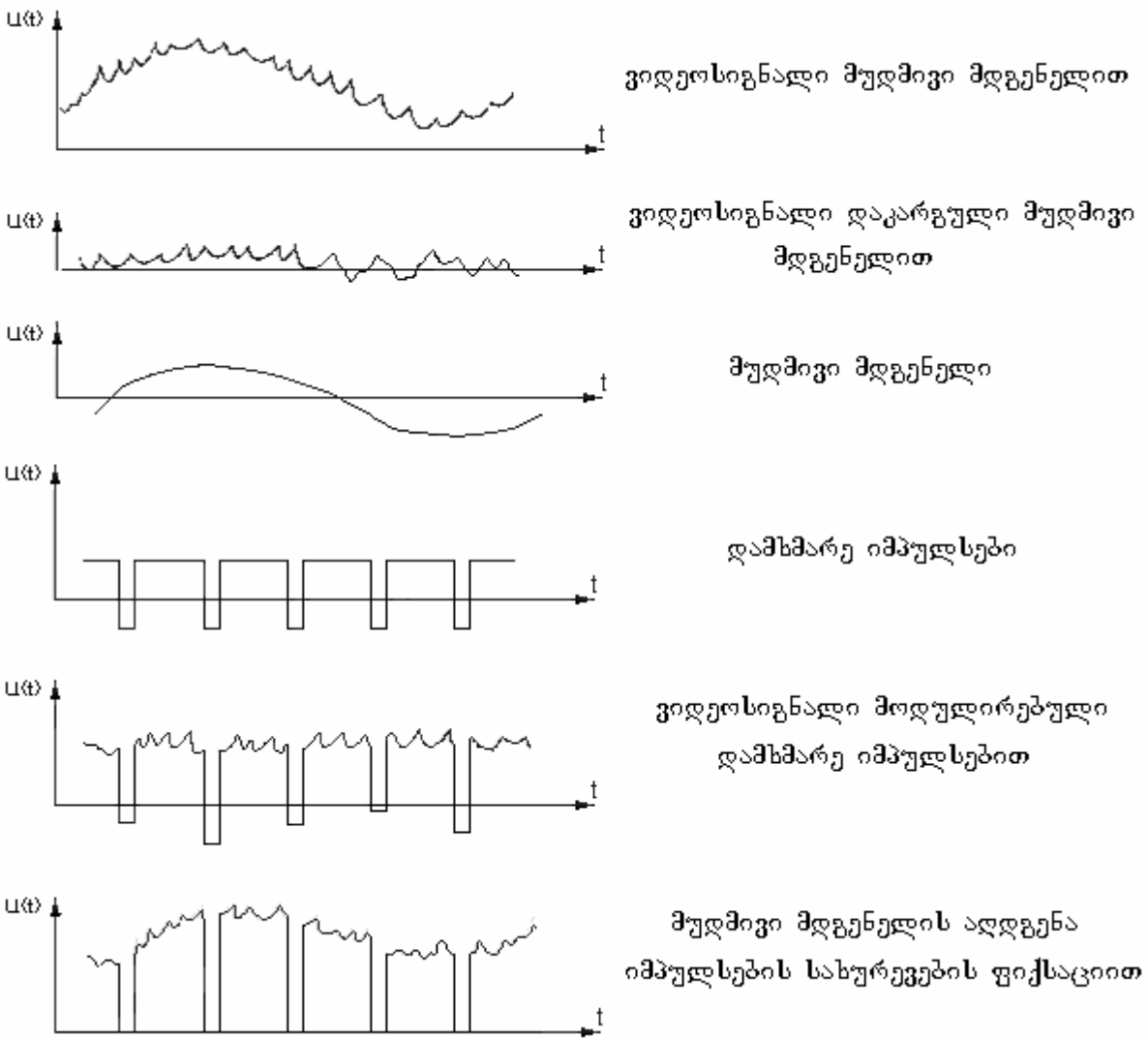


ნახ.4.6

გამოსახულების საშუალო სიკაშკაშე აისახება ვიდეოსიგნალის ე.წ. „მუდმივი მდგენელით“. იგი დიდი ხნის განმავლობაში შეიძლება უცვლელი იყოს (უძრავი გამოსახულების გადაცემისას) ან იცვლებოდეს ძალიან ნელა (კადრში მოძრაობისას ან კადრის ცვლისას).

„მუდმივი მდგენელის“ ცვლილების სიხშირე არ აღემატება 2–3 ჰერცს. ამ სიხშირეების უშუალო გადაცემა სატელევიზიო ტრაქტში შეუძლებელია, ვინაიდან მასში არ უნდა არსებობდეს არც ერთი გარდამავალი ტევადობა, რაც პრაქტიკულად მიუღწეველია (პირველივე ტევადობაში ინფორმაცია „მუდმივი მდგენელის“ ცვლილების შესახებ დაიკარგება). ამიტომ „მუდმივი მდგენელი“ გადაიცემა ხელოვნური მეთოდის გამოყენებით.

თუ მუდმივი მდგენელის სიგნალით ამპლიტუდურად გამოდულირეთ დამხმარე იმპულსები, შემდეგ კი ავჯამეთ ვიდეოსიგნალის ცვლად მდგენელთან, მივიღებთ ვიდეოსიგნალს, რომელშიაც ინფორმაცია მუდმივი მდგენელის შესახებ თავმოყრილი იქნება დამხმარე იმპულსების ამპლიტუდაში (ნახ.4.7).

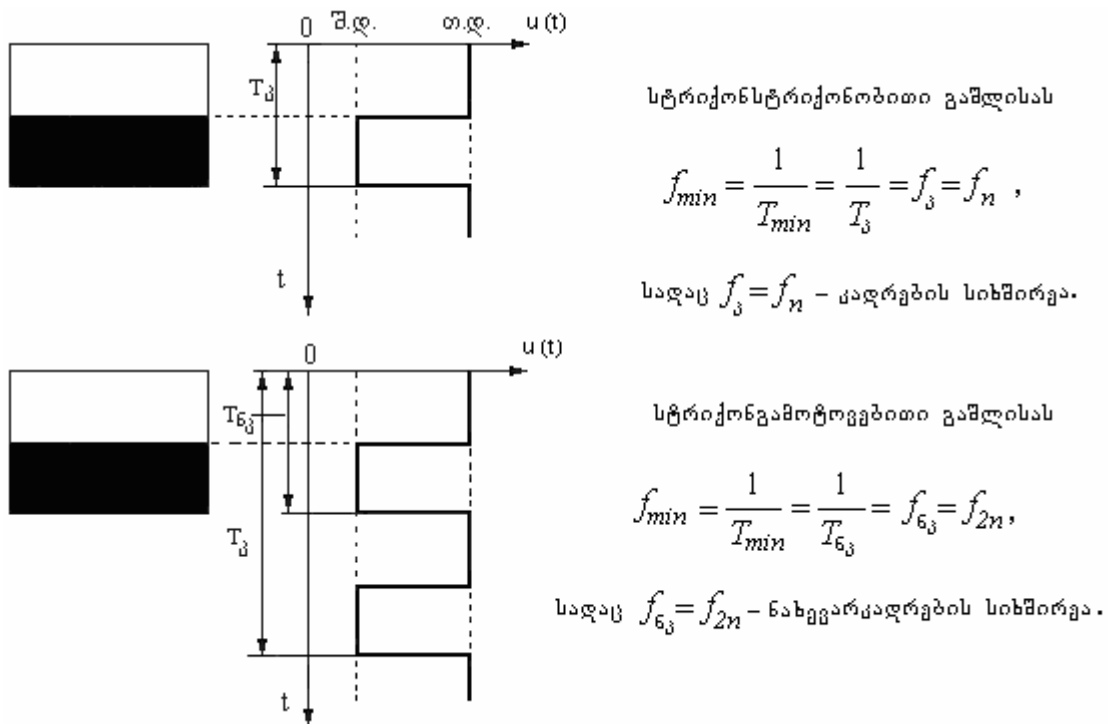


ნახ.4.7

როგორც აღვნიშნეთ, პირველივე გარდამავალ ტევალობაში მუდმივი მდგენელი ვერ გაივლის. მუდმივი მდგენელის აღსადგენად საკმარისია დამხმარე იმპულსების სახურეების ფიქსაცია გარკვეულ დონეზე ე.წ. შავის დონის მაფიქსირებელ წრედებში. პრაქტიკულად დამხმარე იმპულსების ფუნქციას სტრიქონული ჩამქრობი იმპულსები ასრულებენ.

განესაზღვროთ მინიმალური სიხშირე f_{min} .

ამისათვის განვიხილოთ ყველაზე „მარტივი“ გამოსახულება, რომელიც პორიზონტალურ შავ და თეთრ ზოლს წარმოადგენს (ნახ.4.8). დავადგინოთ ამ გამოსახულების შესაბამისი ვიდეოსიგნალის ფორმა და ამ ფორმის მიხედვით განესაზღვროთ მისი სიხშირე.



ნახ.4.8

ე.ი. ჩვენში მოქმედი გაშლის სტანდარტისათვის

$$f_{min} = f_{2n} = 50 \text{ კც.}$$

დავადგინოთ ზედა სასაზღვრო სიხშირე f_{max} .

ვიდეოსიგნალის სპექტრის მაღალი სიხშირეებით წარმოებს გამოსახულების მცირე ზომის დეტალებისა და საგნების კიდეების აღწარმოება.

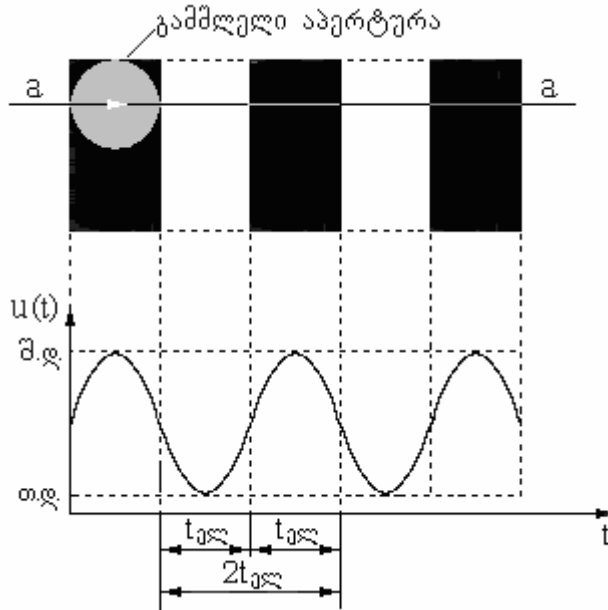
წარმოვიდგინოთ ყველაზე „რთული“ გამოსახულება, რომელიც პიქსელის დიამეტრის ტოლი შავი და თეთრი ვერტიკალური ზოლებისაგან შედგება. დავადგინოთ ამ გამოსახულების შესაბამისი ვიდეოსიგნალის ფორმა ა— სტრიქონის გასწვრივ და მის მიხედვით განვსაზღვროთ ზედა სასაზღვრო სიხშირე f_{max} (ნახ.4.9).

$$f_{max} = \frac{1}{2t_{ელ}}$$

სადაც $t_{ელ}$ — ერთი პიქსელის (ელემენტის) გადაცემის დროა.

დავადგინოთ პიქსელის გადაცემის ხანგრძლივობა.

როგორც ვიცით, პიქსელების რაოდენობა ერთ კადრში $N = kZ^2$. ერთ წამში



ნახ.4.9

გადაცემული პიქსელების რაოდენობა $N_0 = N f_n = kZ^2 f_n$, ხოლო ერთი პიქსელის გადაცემის დრო

$$t_{გვ} = \frac{1}{N_0} = \frac{1}{kZ^2 f_n} ,$$

ამიტომ

$$f_{max} = \frac{1}{2t_{გვ}} = \frac{kZ^2 f_n}{2} .$$

აღრე აღვნიშნეთ, რომ ვერტიკალური მკაფიოობა რასტრის დისკრეტული სტრუქტურის გამო სტრიქონების აქტიური რაოდენობის 75%-ს არ აღემატება. ამიტომ ვერტიკალური და ჰორიზონტალური მკაფიოობის ტოლობიდან გამომდინარე ზედა სასაზღვრო სისშირე შეიძლება შემცირდეს $p=0,75 \div 0,85$ ჯერ, სადაც p – კელის კოეფიციენტი. მაშინ

$$f_{max} = p \frac{kZ^2 f_n}{2} .$$

მიღებული ფორმულა სამართლიანია იდეალიზირებული გაშლისათვის, სადაც უკუსვლების დრო სტრიქონისა და კადრის გასწვრივ ნულის ტოლია. რეალურად უკუსვლის დრო ნულს არ უდრის. სტრიქონის გაშლის აქტიური პერიოდის ხანგრძლივობა ტოლია $T_{z1} = (1-\alpha)T_z$, სადაც $\alpha = \frac{T_{z1}}{T_z} = \frac{12\mu S}{64\mu S} = 0,187$ – სტრიქონული ჩამქრობი იმპულსის ფარდობითი ხანგრძლივობაა. იგივე ეხება კადრულ გაშლას. კადრის აქტიური პერიოდის

ხანგრძლივობაა $T_{n1} = (1 - \beta)T_n$, სადაც $\beta = \frac{T_{n2}}{T_n} = \frac{1,6mS}{20mS} = 0,08$ – კადრული ჩამქრობი

იმპულსის ფარდობითი ხანგრძლივობაა.

გაშლის სტანდარტით მოცემულია სტრიქონების რაოდენობა კადრში Z და კადრების სიხშირე f_n , სინამდვილეში კადრის აქტიური პერიოდის განმავლობაში იშლება $Z_0 = (1 - \beta)Z$ სტრიქონი, ხოლო βZ სტრიქონი იკარგება კადრის უკუსვლის დროს. ამრიგად სტრიქონთა რეალური რიცხვი კადრში ნაკლებია ნორმალურზე და შეადგენს 576–ს.

აღსანიშნავია, რომ კადრული გაშლის პირდაპირი და უკუსვლის დროთა გადანაწილება მოქმედებს მხოლოდ ვერტიკალურ მკაფიოობაზე. იგი არ ცვლის სტრიქონის გაშლის სიჩქარეს და აქედან გამომდინარე ვიდეოსიგნალის ზედა სასაზღვრო სიხშირეს ანუ მკაფიოობას პორიზონტალურად. ვერტიკალური და პორიზონტალური მკაფიოობების გასათანაბრებლად საჭიროა პორიზონტალური მკაფიოობა ხელოვნურად შემცირდეს ვიდეოსიგნალის სპექტრის სივანის შევიწროებით $1/(1 - \beta)$ ჯერ.

სხვაგვარადაა საქმე სტრიქონების გაშლისას. სტრიქონის აქტიური პერიოდის შემცირებისას უკუსვლის ხანგრძლივობის ზრდის ხარჯზე და სტრიქონში $N_Z = kZ$ ნომინალური რაოდენობის ელემენტების შენარჩუნებისას ვიდეოსიგნალის სპექტრის სასაზღვრო სიხშირე იზრდება. მართლაც, ერთი პიქსელის გაშლის რეალური დროა

$$t_{ელ.რ.} = \frac{T_Z(1 - \alpha)}{N_Z} = \frac{(1 - \alpha)}{kZ^2 f_n} = t_{ელ.} (1 - \alpha),$$

სადაც $T_Z = \frac{1}{f_z} = \frac{1}{Z f_n}$, ხოლო ვიდეოსიგნალის სპექტრის სასაზღვრო სიხშირე

$$f_{max} = p \frac{kZ^2 f_n}{2(1 - \alpha)},$$

ანუ იგი აღემატება ნომინალურ მნიშვნელობას (ვინაიდან α ყოველთვის დადებითია და $1 - \alpha$ ნაკლები). ამრიგად პორიზონტალური და ვერტიკალური მკაფიოობების ტოლობის შემთხვევაში მივიღებთ

$$f_{max} = p \frac{kZ^2 f_n (1 - \beta)}{2(1 - \alpha)}.$$

ამ განტოლებაში კოეფიციენტების მნიშვნელობების ჩასმისას ($p = 0,8$; $\alpha = 0,18$; $\beta = 0,08$) მივიღებთ უფრო მარტივ გამოსახულებას

$$f_{max} \approx 0,9 \frac{kZ^2 f_n}{2}.$$

თუ გამოსახულებაში ჩავსვათ გაშლის პარამეტრების მნიშვნელობებს ($k = 4/3$, $Z = 625$, $f_n = 50$ ჰც), მივიღებთ

$$f_{max} = 0,9 \frac{4/3 \cdot 625^2 \cdot 50}{2} = 0,9 \cdot 13 \cdot 10^6 \text{ ჰც} \approx 12 \text{ მგჰც}.$$

როგორც ვხედავთ, სტრიქონსტრიქონობითი გაშლისას f_{max} საკმაოდ დიდია, რაც ვიდუოსიგნალის სატელევიზიო ტრაქტში გადაცემისას გამოიწვევს გარკვეულ სირთულეებს. სწორედ ამიტომ სამაუწყებლო ტელეხედვაში გამოიყენეს სტრიქონგამოტოვებითი გაშლის წესი კადრების სიხშირით 25ჰც. შედეგად ვიდუოსიგნალის სპექტრის სიგანე Δf ორჯერ შემცირდა და შეადგენს მიახლოებით 6 მეგაჰერცს.

4.4 ვიდუოსიგნალის სპექტრის სტრუქტურა

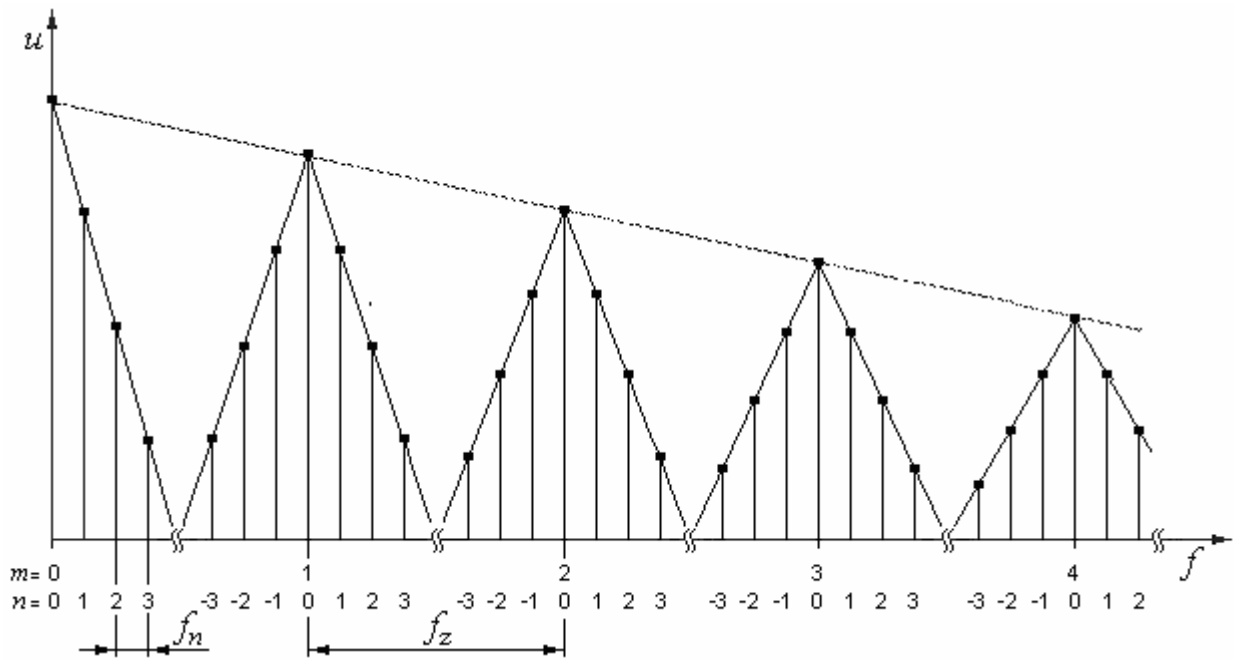
ჩვენ დავადგინეთ ვიდუოსიგნალის სპექტრის სასაზღვრო სიხშირეები (ნახ.4.6). ახლა გავარკვიოთ სპექტრის სტრუქტურა სასაზღვრო სიხშირეებს შორის.

ნახ.4.10–ზე ნაჩვენებია ვიდუოსიგნალის სიხშირული სპექტრი ვერტიკალური სტრუქტურის მქონე უძრავი გამოსახულებისთვის (ნებისმიერი ფერის ვერტიკალური ზოლები) პროგრესული გაშლის დროს. ამ შემთხვევაში ვიდუოსიგნალი წარმოადგენს დროის პერიოდულ ფუნქციას. მისი სპექტრის ხასიათი დისკრეტულია და იგი აღიწერება ფურიეს ორმაგი მწკრივით:

$$u(f_z, f_n) = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} U_{m,n} \cos[(m f_z \pm n f_n)t - (\varphi_m + \varphi_n)].$$

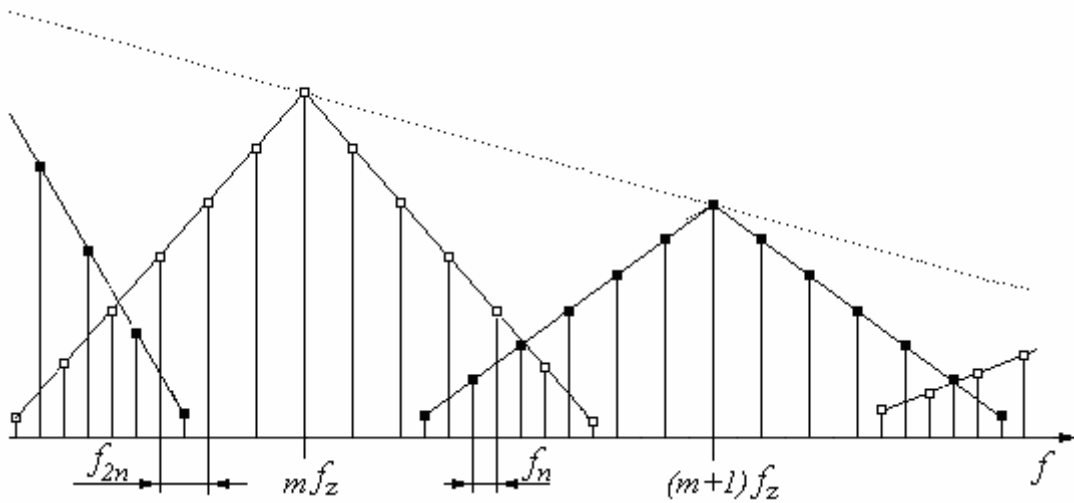
სპექტრი შეიცავს სტრიქონული და კადრული სიხშირეების ჯერად ჰარმონიკებს $f_{m,n} = m f_z \pm n f_n$. ნახატიდან ჩანს, რომ ენერგია ვიდუოსიგნალში ძირითადად თავმოყრილია სტრიქონული და კადრული სიხშირის ჰარმონიკებზე. მანძილი ჰარმონიკებს შორის კადრული სიხშირის (f_n) ტოლია.

რეალური მოძრავი გამოსახულების შემთხვევაში ვიდუოსიგნალი კვაზიპერიოდულ სიგნალს წარმოადგენს. მისი ყოველი სპექტრალური მდგენელის ირგვლივ წარმოიშვება გარკვეული უბანი, სადაც სპექტრი შეიცავს ყველა სიხშირეს უბნის ფარგლებში. უბნის სიგანე დამოკიდებულია გამოსახულებაში მოძრაობის სისწრაფეზე. იგი მით მეტია, რაც უფრო სწრაფია მოძრაობა და უკიდურესად დიდი სისწრაფისას შეიძლება სპექტრის მეზობელმა უბნებმა ერთმანეთი გადაფარონ. პრაქტიკულად ასე არ ხდება და სპექტრის მეზობელ უბნებს შორის რჩება საკმაოდ მანძილი იმისათვის, რომ მოხერხდეს დამატებითი ინფორმაციის გადაცემა, მაგალითად, ინფორმაციისა ფერის შესახებ, როგორც ეს ხდება ფერად სატელევიზიო სისტემებში *PAL*, *SECAM*, *NTSC*.



ნახ.4.10

ნახ.4.11-ზე წარმოდგენილია ვიდეოსიგნალის სპექტრის ფრაგმენტი სტრიქონგამოტოვებითი გაშლის შემთხვევისთვის. აქ მანძილი მეზობელი სტრიქონული ჰარმონიკების ჯგუფში მდებარე მდგენელებს შორის შეადგენს კადრების სიხშირეს (f_n), ხოლო მანძილი სტრიქონული ჰარმონიკის ჯგუფში მდებარე მდგენელებს შორის ნახევარკადრების სიხშირის f_{2n} -ის ტოლია.



ნახ.4.11

თავი V ციფრული ტელეხედვის საფუძვლები

5.1 სატელევიზიო სისტემების განვითარების

თანამედროვე ეტაპი – ციფრული ტელეხედვა

სატელევიზიო სიგნალის ბუნებისა და ხასიათის გარკვევისას დავრწმუნდით, რომ მისი ფორმა იმეორებს სიკაშკაშის განაწილებას იმ წრფის გასწვრივ, რომელზეც ხორციელდება გაშლა, ანუ იგი წარმოადგენს გამოსახულების ელექტრულ ანალოგს. ამის შესაბამისად **ტელეხედვის იმ სისტემებს, რომლებშიც გადაცემისათვის, კონსერვაციისათვის ან სხვა სახის დამუშავებისათვის იყენებენ ანალოგურ სიგნალს, ანალოგური ტელეხედვის სისტემები ეწოდებათ.** რამდენიმე ათწლეულის განმავლობაში ტელეხედვა ანალოგური იყო. მისი განვითარების პროცესში უკანასკნელ წლებში თავი იჩინა ანალოგური მეთოდების შეზღუდვებმა, რომლებიც სერიოზულად აფერხებდნენ ტელეხედვის შემდგომ განვითარებას.

აღნიშნული შეზღუდვების ერთ-ერთ ძირითად მიზეზად შეიძლება ჩაითვალოს ანალოგური სიგნალის სუსტი დაბრკოლებამდგრადობა. სატელევიზიო ტრაქტის მრავალრიცხოვან მოწყობილობაში ანალოგური სიგნალი განიცდის ხმაურისა და სხვა დაბრკოლებების გავლენას. თანამედროვე სამაუწყებლო სატელევიზიო სისტემა კი წარმოადგენს სიგნალების გარდაქმნისა და გადაცემისათვის საჭირო მოწყობილობათა საკმაოდ გრძელ ჯაჭვს, რომლის რგოლების რაოდენობა ტელეხედვის განვითარებასთან ერთად მატულობს. ამ რთული ჯაჭვის ყოველივე რგოლში გამოსახულების ხარისხის კარგვა გარდაუვალია. ამის მიზეზია დაბრკოლებები, რომლებიც ნებისმიერ მოწყობილობაში სიგნალის ყოველი გარდაქმნისას მოქმედებენ. სატელევიზიო სიგნალის გაძლიერებისა და დამუშავების ანალოგური მეთოდების გამოყენებისას აღნიშნული დაბრკოლებები გროვდება რგოლიდან რგოლში. ვიდრე გარდაქმნათა რაოდენობა მცირეა, ჯამური დამახინჯებანი შეუმჩნეველია, მაგრამ ტელეხედვის განვითარებისას გარდაქმნათა რაოდენობა ძალზე სწრაფად მატულობს: იზრდება მანძილები გადამცემ და მიმღებ პუნქტებს შორის, მატულობს სხვადასხვა ვიდეოეფექტების ნომენკლატურა და რაოდენობა, რომლებიც ელფერს მატებენ გადაცემებს, მაგრამ მოითხოვენ დამატებით გარდაქმნებს. რთულდება აგრეთვე სატელევიზიო პროგრამების მონტაჟის ტექნოლოგია. ამნაირ სისტემებში საჭირო დაბრკოლებამდგრადობის უზრუნველყოფის პრობლემა უმთავრესი ხდება.

კავშირგაბმულობის ტექნიკაში უკვე კარგად ცნობილი ციფრული მეთოდები საშუალებას იძლევა მნიშვნელოვნად შემცირდეს დაბრკოლებებით გამოწვეული დამახინჯებანი სატელევიზიო სიგნალების ფორმირებისა და გადაცემისას. სწორედ ამიტომ უკანასკნელ წლებში სულ მეტი ყურადღება ექცევა ეგრეთ წოდებულ ციფრულ ტელეხედვას.

ციფრული ტელეხედვა წარმოადგენს სატელევიზიო ტექნიკის არეს, რომელშიც სატელევიზიო სიგნალის დამუშავების, კონსერვაციისა და გადაცემის ოპერაციები დაკავშირებულია ციფრულ ფორმაში მის გარდაქმნასთან.

შეიძლება წარმოვიდგინოთ ორი სახის ციფრული ტელეხედვის სისტემა. პირველი ტიპის სისტემაში – სრულიად ციფრულში – გადასაცემი გამოსახულების გარდაქმნა ციფრულ სიგნალად და პირიქით, ციფრული სიგნალის გარდაქმნა გამოსახულებად, მიმღებ ეკრანზე ხორციელდება უშუალოდ გარდამქმნელებში “სინათლე–სიგნალი” და “სიგნალი–სინათლე”. გამოსახულების გადაცემის ტრაქტის ყველა რგოლში ინფორმაცია გადაიცემა ციფრული ფორმით. ასეთი გარდამქმნელების შექმნა პერსპექტივაში სავსებით რეალურია, მაგრამ ამჟამად ისინი ჯერ არ არსებობენ და ამიტომ მიზანშეწონილია მეორე ტიპის ციფრული სატელევიზიო სისტემების განხილვა, რომელშიაც მიმწოდებისაგან მიღებული ანალოგური სატელევიზიო სიგნალი გარდაიქმნება ციფრულ ფორმაში, განიცდის საჭირო დამუშავებას, გადაცემას ან კონსერვაციას, შემდეგ კი კვლავ ანალოგურ ფორმაში გარდაიქმნება. ამიტომ შეიძლება გამოყენებული იქნას არსებული ანალოგური სიგნალების მიმწოდები და სატელევიზიო მიმღებები. ამ თავში ძირითადი ყურადღება დაეთმობა სწორედ მეორე ტიპის სისტემებს.

5.2 ციფრული ტელეხედვის სისტემის აგების

ზოგადი პრინციპები

აღნიშნულ სისტემებში ციფრული ტელეხედვის ტრაქტის შესასვლელს ეწოდება ანალოგური სატელევიზიო სიგნალი, რომელიც შემდეგ გარდაიქმნება ციფრულ ფორმაში. ეს გარდაქმნა წარმოადგენს ოპერაციების კომპლექსს, რომელთაგანაც ყველაზე არსებითია **დისკრეტიზაცია, დაკვანტვა და კოდირება.**

დისკრეტიზაცია არის უწყვეტი ანალოგური სიგნალის $u(t)$ -ს შეცვლა ამ სიგნალის ცალკეული ანათვლებით დროის გარკვეულ მომენტებში.

ყველაზე გავრცელებულია მუდმივი პერიოდის მქონე **თანაბარი დისკრეტიზაცია**, რომელიც ეფუძნება **ნაიკვისტ–კოტელნიკოვის თეორემას**. ამ თეორემის მიხედვით ნებისმიერი უწყვეტი სიგნალი $u(t)$, რომელსაც შეზღუდული სპექტრი აქვს (ნახ.5.1ა)), შეიძლება წარმოდგენილი იყოს მისი მნიშვნელობებით (ანათვლებით) $u(t_n)$ დროის დისკრეტულ მომენტებში $t_n = nT$, სადაც $n = 1, 2, 3, \dots$ – მთელი რიცხვებია; T – დისკრეტიზაციის პერიოდი, რომელიც შეირჩევა ნაიკვისტ–კოტელნიკოვის თეორემის პირობიდან: $T \leq 0,5/f_{\max}$. აქ f_{\max} – თავდაპირველი $u(t)$ სიგნალის სპექტრის ზედა ზღვრული სიხშირეა.

დისკრეტიზაციის პერიოდის შებრუნებულ სიდიდეს ეწოდება **დისკრეტიზაციის სიხშირე**. თეორემის მიხედვით დისკრეტიზაციის სიხშირის მინიმალური მნიშვნელობა უნდა იყოს $f_d \geq f_{max}$. ნაიკვისტ-კოტელნიკოვის თეორემის ამსახველ ანალიზურ გამოსახულებას შემდეგი სახე აქვს:

$$u(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} u(nT) \frac{\sin 2\pi f_{max}(t - nT)}{2\pi f_{max}(t - nT)} \quad (5.1)$$

აქ იგულისხმება, რომ $u(nT)$ ანათვლები წარმოადგენენ უსასრულოდ მცირე ხანგრძლივობის δ -იმპულსებს.

$u(nT)$ ანათვლების მიმდევრობიდან საწყისი ანალოგური სიგნალის $u(t)$ აღსადგენად (5.1) ფორმულის შესაბამისად საჭიროა ანათვლების გატარება f_{max} -ის ტოლი ჭრის სიხშირის მქონე იდეალურ ფილტრში (დაბალი სიხშირის ფილტრში – დსფ). $\frac{\sin 2\pi f_{max}(t - nT)}{2\pi(t - nT)}$ შეფარდება წარმოადგენს აღნიშნული ფილტრის რეაქციას ერთეულოვან იმპულსზე.

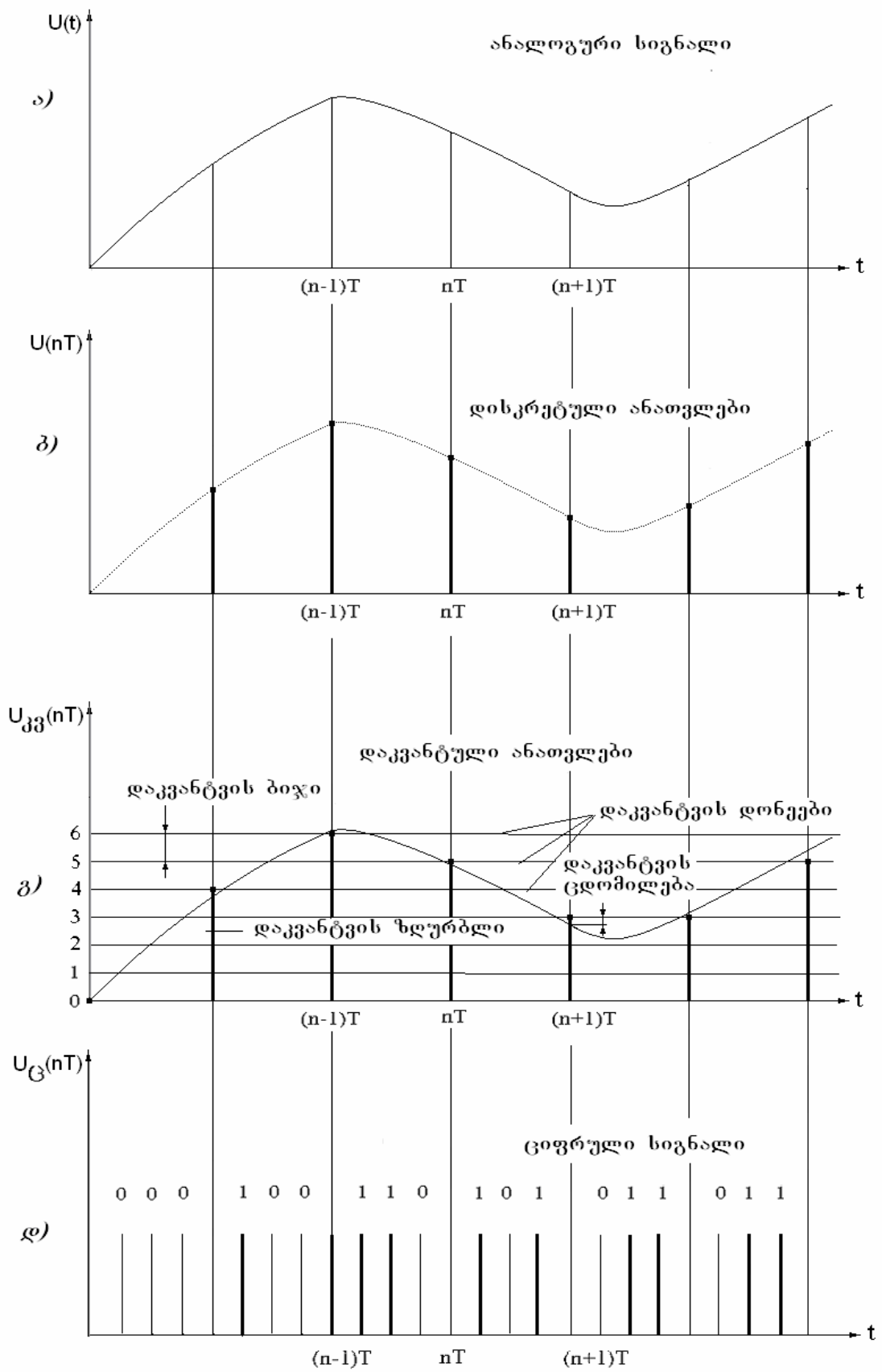
ნაიკვისტ-კოტელნიკოვის თეორემიდან გამომდინარეობს, რომ საწყისი სიგნალის ზუსტი აღდგენისათვის საჭიროა ანათვლების უსასრულოდ დიდი რაოდენობა. პრაქტიკულად კი სიგნალს ყოველთვის სასრული ხანგრძლივობა აქვს და იგი აღიწერება ანათვლების სასრული რაოდენობით. მიუხედავად თეორემის პირობებთან შეუსაბამობისა, სიგნალის აღდგენის ასეთი ხერხი ფართოდ გამოიყენება ციფრულ ტელეხედვაში, ხოლო აღდგენის სიზუსტე გარკვეული მოთხოვნების დაცვისას საკმარისად მიიჩნევა.

ანალოგური სიგნალის ციფრულ ფორმაში გარდაქმნისას დისკრეტიზაციის პროცესს მოსდევს **დაკვანტვის პროცესი**. **დაკვანტვა** (ტერმინი ნასესხებია ბირთვული ფიზიკიდან) მდგომარეობს დისკრეტიზაციისას მიღებული ანათვლების მყისიერი მნიშვნელობების შეცვლაში ცალკეული ფიქსირებული დონეების ანაკრებიდან უახლოესი მნიშვნელობებით (ნახ.5.1გ)). დაკვანტვა სატელევიზიო სიგნალის იგივე დისკრეტიზაციაა, რომელიც ხორციელდება არა დროში, არამედ $u(t)$ სიგნალის დონის მიხედვით. სწორედ ამ ცნებებს შორის გაურკვევლობის ასაცილებლად შემოდებული განსხვავებული ტერმინოლოგია.

დაკვანტვის სკალა წარმოიქმნება $u(t)$ სიგნალის ცვლილების დინამიური დიაპაზონის ცალკეულ არეებად დაყოფისას, რომლებსაც **დაკვანტვის ბიჯები** ეწოდება.

გარდაქმნის პირობებიდან გამომდინარე დაკვანტვის სკალა შეიძლება იყოს როგორც წრფივი, ისე არაწრფივი.

ანათვლის დამრგვალება ორიდან ერთ-ერთ უახლოეს დონემდე (ქვედა ან ზედა) დამოკიდებულია იმაზე, აჭარბებს თუ არა ანათვლის მნიშვნელობა **დაკვანტვის ზღურბლს** (ნახ.5.1გ)).



ნახ.5.1

დისკრეტიზირებული და დაკვანტული სიგნალი $u_{კვ}(nT)$ უკვე ციფრულ სიგნალს წარმოადგენს, მაგრამ მას დაბალი დაბრკოლებამდგრადობა აქვს. ამ უკანასკნელის ასამაღლებლად უკეთესია დაკვანტული სიგნალი გარდაიქმნას ორობით ფორმაში ისე, რომ სიგნალის ყოველი დონის მნიშვნელობა ჩაიწეროს ორობით კოდში. ამ დროს დონის ნომერი 0 და 1 სიმბოლოების კომბინაციად ჩაიწერება. სწორედ ამაში მდგომარეობს სიგნალის ანალოგურ-ციფრული გარდაქმნის დასკვნითი ოპერაცია – კოდირება.

კოდირება არის ანათვლის დაკვანტული მნიშვნელობის $u_{კვ}(nT)$ გარდაქმნა მისი შესაბამისი სიმბოლოების კოდურ კომბინაციად $u_{ც}(nT)$. დისკრეტიზირებული და დაკვანტული სატელევიზიო სიგნალის კოდირების ყველაზე გავრცელებული ხერხია – მისი წარმოდგენა ნატურალურ ორობით კოდში. ამ ხერხს **იმპულსურ-კოდური მოდულაცია (იკმ)** ეწოდება. ნახ.5.1დ)–ზე ნაჩვენებია საწყისი სიგნალის $u(t)$ ფრაგმენტის გარდაქმნის შედეგი ორობით სამთანრიგიან კოდში.

სშირად დისკრეტიზაციას, დაკვანტვას და კოდირებას უწოდებენ მოკლედ – **სატელევიზიო სიგნალის კოდირებას**. სამივე ეს ოპერაცია ერთ ტექნიკურ მოწყობილობაში ხორციელდება. ამ მოწყობილობას **ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელი (აცგ)** ეწოდება.

უკუგარდაქმნა ციფრული სიგნალისა ანალოგურში სრულდება **ციფრულ-ანალოგურ გარდამქმნელებში (ცაგ)**.

როგორც აცგ, ისე ცაგ–ი ნებისმიერი ციფრული სისტემის აუცილებელი კვანძებია.

5.3 ციფრული ინფორმაციის გადაცემის სიჩქარე

შევაფასოთ ციფრული ინფორმაციის გადაცემის სიჩქარე კავშირის არხში.

იკმ მეთოდით სატელევიზიო სიგნალის უშუალო კოდირებისას კოდური კომბინაციები იქმნება სიხშირით, რომელიც ანათვლების სიხშირის ანუ დისკრეტიზაციის სიხშირის $f_{დ}$ ტოლია.

ყოველი კოდური კომბინაცია შეესაბამება გარკვეულ ანათვალს და შეიცავს k რაოდენობის ორობით სიმბოლოს (ბიტს).

ციფრული ინფორმაციის გადაცემის სიჩქარე ეწოდება დროის ერთეულში გადაცემულ ორობით სიმბოლოების რიცხვს. სიჩქარის ერთეულად მიღებულია ბიტი/წამში.

ამრიგად ციფრული სატელევიზიო სიგნალის გადაცემის სიჩქარე დისკრეტიზაციის სიხშირისა ($f_{დ}$) და ერთ დისკრეტულ ანათვალში სიმბოლოების რაოდენობის (k) ნამრავლის ტოლია.

$$c = f_{დ} \cdot k .$$

თუ სატელევიზიო სიგნალის ზედა სასაზღვრო სიხშირე $f_{max} = 6$ მგჰც–ის ტოლია, მაშინ ნაიკვისტ–კოტელნიკოვის თეორემის მიხედვით დისკრეტიზაციის სიხშირე არ შეიძლება 12 მგჰც–ზე ნაკლები იყოს.

ციფრული ტელეხედვის სისტემებში დისკრეტიზაციის სიხშირე არჩეულია მინიმალურ დასაშვებზე მეტი და **13,5 მგჰც**-ის ტოლია. დისკრეტიზაციის სიხშირის მოყვანილი კონკრეტული მნიშვნელობა დაკავშირებულია ციფრული სიგნალის უნიფიკაციასთან ევროპული და ამერიკული გაშლის სტანდარტებისათვის – ამ შემთხვევაში პიქსელების რაოდენობა სტრიქონის ხილვად ნაწილში ორივე სტანდარტში ერთნაირია და 720-ის ტოლია.

ორობითი სიმბოლოების რაოდენობა k ერთი ანათვისის კოდურ კომბინაციაში (თანრიგების რაოდენობა ორობითი რიცხვში) დაკავშირებულია დაკვანტვის დონეთა რიცხვთან m ფორმულით $k = \log_2 m$.

დაკვანტვის დონეთა რაოდენობა m უნდა შეირჩეს არა ნაკლები თვალთ აღქმული სიკაშკაშის გრადაციების მაქსიმალური რაოდენობისა. როგორც ვნახეთ, სიკაშკაშის გრადაციების აღქმული რაოდენობა დაკვირვების პირობებიდან გამომდინარე მერყეობს 92-დან 230-მდე. სიმარტივისთვის ავიღოთ $m = 100 \div 200$. მაშინ

$$k = \log_2 (100 \div 200) = 6,6 \div 6,7.$$

ცხადია, რომ სიმბოლოების რაოდენობა ორობით კოდში შეიძლება იყოს მხოლოდ მთელი რიცხვი, ანუ $k = 7$ ან $k = 8$. პირველ შემთხვევაში $m = 128$ (2^7). მეორე შემთხვევაში $m = 2^8 = 256$. თუ ჩავთვლით, რომ $k = 8$, მაშინ

$$c = f_{\text{დ}} \cdot k = 13,5 \cdot 8 = 108 \text{ მბიტ/წმ.}$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ სიკაშკაშის სიგნალის გარდა, უნდა გადაიცეს ინფორმაცია ფერის შესახებ, საერთო ციფრული ნაკადი შეადგენს 216 მბიტს/წმ. ასეთი შედეგი სავსებით ლოგიკურია, ვინაიდან ანალოგური სიგნალიდან ციფრულზე გადასვლისას საქმე გვაქვს გაცვლით ოპერაციასთან – ამალელებული დაბრკოლებამდგრადობის საფასურია ციფრული სიგნალის სპექტრის მნიშვნელოვანი გაგანიერება.

სულ რამდენიმე წლის წინ საკმარისად ითვლებოდა დაკვანტვა 256 დონედ. ამჟამად რეკომენდირებულია დაკვანტვის წრფივი ათთანრიგის სკალა, რომელშიც დაკვანტვის 1024 (2^{10}) დონეა. ამ შემთხვევაში დაკვანტვის ხმაური, რომელიც გამოსახულებაზე ვლინდება როგორც მცდარი კონტურები და გამოწვეულია დაკვანტვის ცდომილებებით, თვალისათვის შეუმჩნეველია. რაც შეეხება ციფრული ნაკადის სიჩქარეს, *SDTV*-ში იგი შეადგენს 135 მბიტს/წმ შავ-თეთრი და 270 მბიტს/წმ ფერადი გამოსახულებისათვის, ხოლო *HDTV*-ის შემთხვევაში 1080/50p სტანდარტისათვის ციფრული ნაკადის სიჩქარე ტოლია 4,455 გიგაბიტი/წმ!

დავადგინოთ ციფრული ინფორმაციის გადასაცემად კავშირის არხის აუცილებელი სიხშირეთა გატარების ზოლის მნიშვნელობა, რომელიც ციფრული სიგნალის სპექტრის სიგანეზე ნაკლები არ უნდა იყოს. ეს უკანასკნელი ტოლია

$$\Delta f_{\text{ც}} = \frac{1}{2T_{\text{გ}}} = 0,5f_{\text{გ}},$$

სადაც $T_{\text{გ}}$ – ერთი ორობითი სიმბოლოს გადაცემის დრო ანუ ერთი ტაქტის დრო;

$f_{\text{ტ}}$ – ტაქტური სიხშირე.

ტაქტური იმპულსების თანაბარი განაწილებისას $f_{\text{ტ}} = f_{\text{დ}} \cdot k$, მაგრამ ვინაიდან $c = f_{\text{დ}} \cdot k$, ამიტომ

$$\Delta f_{\text{ტ}} = 0,5c.$$

ამრიგად, SDTV ფერადი გამოსახულების ციფრული სიგნალის გადასაცემად კავშირის არხის აუცილებელი გატარების ზოლის სიგანეა $\Delta f_{\text{ტ}} = 270/2 = 135$ მჰც, ხოლო 1080/50p სტანდარტისათვის კავშირის არხის გატარების ზოლის საჭირო სიგანე შეადგენს 2,2275 გიგაჰერცს!

ასეთი ფართოხოლოვანი არხის გამოყენება ციფრული სიგნალის გადასაცემად ეკონომიკურად არაეფექტურია. ამიტომ აუცილებელია სატელევიზიო შეტყობინების “შეკუმშვა” ანუ *კომპრესია*.

5.4 კომპრესია

არსებობს ციფრული ნაკადის შემცირების რეზერვი გამოსახულების ხარისხზე გავლენის გარეშე, რაც გამომდინარეობს სატელევიზიო სიგნალის მნიშვნელოვანი ინფორმაციული სიჭარბიდან. განასხვავებენ ფიზიოლოგიურ, სტრუქტურულ და სტატისტიკურ სიჭარბეს.

ფიზიოლოგიური სიჭარბე უკავშირდება ადამიანის თვალის თვისებებს. აღნიშნული სიჭარბის აღმოფხვრისას არ გადაიცემა სატელევიზიო სიგნალში თაემოყრილი ის ინფორმაცია, რომელსაც თვალი ვერ აღიქვავს.

სტრუქტურული სიჭარბე გამომდინარეობს ვიდეოსიგნალის სტრუქტურიდან, კერძოდ კი მასში არსებული ჩამქრობი იმპულსების ინტერვალებიდან, რომელთა გამოყენება შესაძლებელია სხვა ინფორმაციის, მაგალითად, ბგერითი თანხლების გადასაცემად.

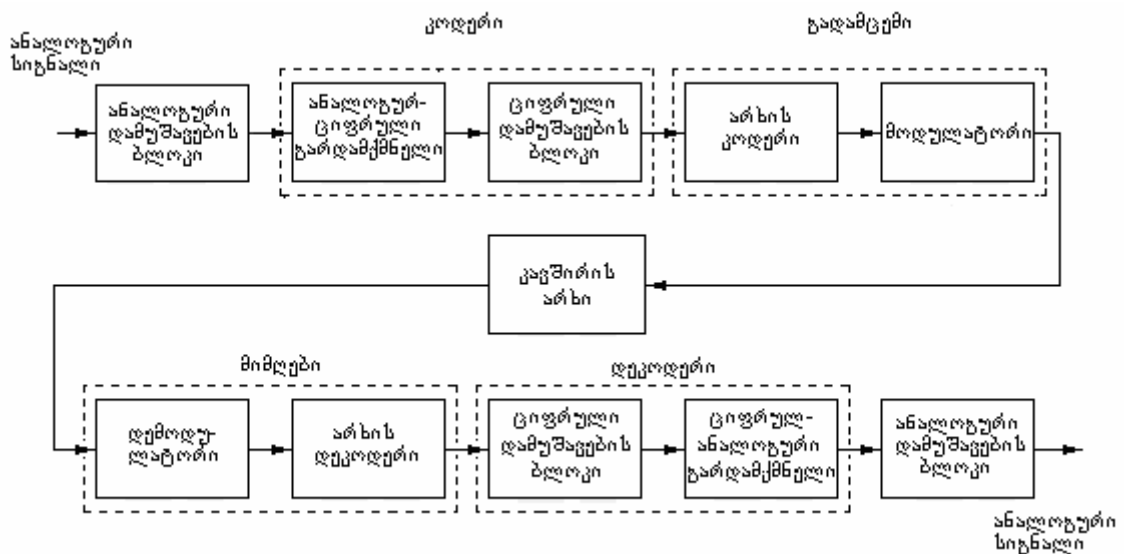
სტატისტიკური სიჭარბე დაკავშირებულია გამოსახულებასთან, რომელიც წარმოადგენს სიკაშკაშეთა და ფერის არა ქაოტურ განაწილებას, არამედ აღიწერება კანონებით, რომლებიც ადგენენ გარკვეულ კავშირებს (კორელაციას) მის ელემენტებს შორის როგორც სივრცეში, ასევე დროში. ამ კავშირების გამოყენება საშუალებას იძლევა მრავალჯერ არ გადაიცეს ერთი და იგივე მონაცემები. სწორედ ამის ხარჯზე შესაძლებელია გადასაცემი ინფორმაციის მოცულობისა და აქედან გამომდინარე ციფრული ნაკადის გადაცემის სიჩქარის შემცირება.

ამჟამად არსებობს კომპრესიის სტანდარტები, რომლებიც განსაზღვრავენ გამოსახულებისა და ბგერითი თანხლების ციფრული ნაკადების ეფექტური კოდირებისა და დეკოდირების ძირითად წესებს. მათი ზოგადი სახელწოდებაა MPEG (*Moving Pictures Experts Group*). დღეისათვის მიღწეული კომპრესიის ეფექტურობა ძალზე დიდია.

მაგალითად, სტანდარტისატვის MPEG-2 ბიტური სიჩქარე 15 მბიტი/წმ-ია არაკომპრესირებული იკმ სიგნალის 270 მბიტი/წმ-ში სიჩქარის ნაცვლად, ხოლო სტანდარტში MPEG-4 მიღწეულია ძალიან დაბალი სიჩქარეები: 64 კბიტი/წმ-დან 4 მბიტი/წმ-მდე.

5.5 ციფრული სატელევიზიო სისტემის განზოგადოებული სტრუქტურული სქემა

ციფრული სატელევიზიო სისტემის შესავალს მიეწოდება ანალოგური სატელევიზიო სიგნალი (ნახ.5.2). წინასწარი ანალოგური დამუშავების (მაგ., სიკაშშკაშის სრული სიგნალისა და ფერადობის სიგნალის სელექცია და სხვა) შემდეგ სიგნალი მიეწოდება აცგ-ს, რომელშიც იგი განიცდის დისკრეტიზაციას, დაკვანტვას და კოდირებას. მიღებულ ციფრულ სიგნალში ინფორმაციის დიდი სიჭარბეა, რომელიც აღმოიფხვრება ციფრული დამუშავების ბლოკში. შემდეგ სიგნალი მიეწოდება არხის კოდერს, რომლის დანიშნულებაცაა ციფრული სიგნალის დაცვა შესაძლო დაბრკოლებებისაგან დაბრკოლებამდგრადი კოდების გამოყენებით. საბოლოოდ ციფრული სიგნალი მიეწოდება გადამცემი მოწყობილობის მოდულატორს და შემდეგ კავშირის არხს.



ნახ.5.2

მიღებული სიგნალი მიმღებში დემოდულირდება, რის შემდეგაც განიცდის დეკოდირებას არხის დეკოდერში. ციფრული დამუშავების ბლოკში სიგნალი აღიდგენს პირვანდელ ციფრულ ფორმას და შემდეგ ცაგ-ში კვლავ ანალოგურ სიგნალად იქცევა.

თავი VI ფერადი ტელეხედვის საფუძვლები

6.1 სინათლე, ფერი და კოლორიმეტრია

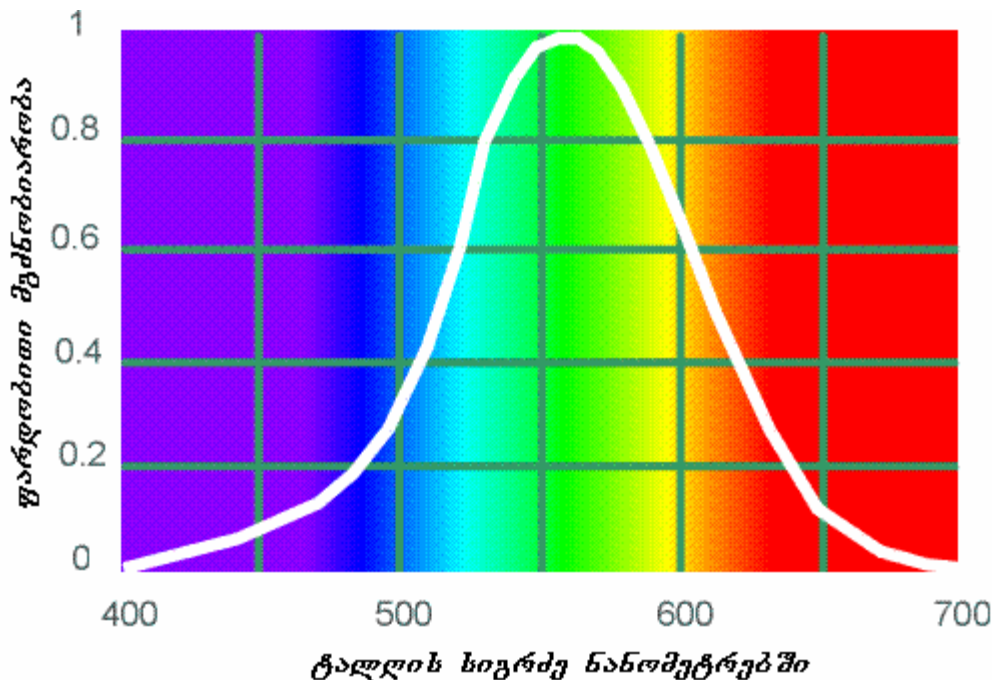
ცნობილია, რომ ყველა მატერიალური სხეული, რომლის ტემპერატურა აბსოლუტურ ნულზე მეტია, ასხივებს ენერგიას გარემომცველ სივრცეში. სხივური ენერგიის სივრცეში გავრცელება ხორციელდება სხვადასხვა სიხშირის ელექტრომაგნიტური გამოსხივებით.

ელექტრომაგნიტური გამოსხივებების სკალა მოიცავს სიხშირეთა სპექტრს ყველაზე მაღალი სიხშირის (მოკლე ტალღის სიგრძის) მქონე სხივებიდან (10^{21} ჰც, 10^{-4} ნმ) სამრეწველო ელექტროქსელის (50 ჰც, 6000 კმ) და უფრო დაბალი სიხშირის მქონე გამოსხივებებამდე.

აღნიშნული სპექტრიდან ჩვენ გვაინტერესებს ის უბანი, რომელიც მოიცავს ულტრაიისფერ (ტალღის სიგრძე $\lambda = 10 \div 380$ ნმ), ხილვად (380 \div 770 ნმ) და ინფრაწითელ (770 \div 340000 ნმ) გამოსხივებებს. ამ უბანს **სპექტრის ობიექტი არე** ეწოდება.

ხილვადი ელექტრომაგნიტური გამოსხივებები იწვევენ **სინათლის** შეგრძნებას.

სინათლე ეწოდება ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას, შეფასებულს ადამიანის თვალით იმ გავლენის მიხედვით, რომელსაც აღნიშნული გამოსხივება მასზე ახდენს. ნახ.6.1-ზე წარმოდგენილია ადამიანის თვალის მგნობიარობის სპექტრალური მახასიათებელი – **ხილვადობის მრუდი**, რომლითაც იგი ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას აფასებს სპექტრის ხილვად უბანში.



ნახ.6.1

მონოკრომატულს უწოდებენ ისეთ ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას, რომელსაც ერთი გარკვეული ტალღის სიგრძე (სიხშირე) აქვს.

რთული გამოსხივება შეიცავს სხვადასხვა ტალღის სიგრძის მქონე ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებებს.

რთული გამოსხივება ხასიათდება სპექტრში ენერგიის განაწილებით ანუ **სპექტრალული მახასიათებლით**. რთულ გამოსხივებას შეიძლება ჰქონდეს **უწყვეტი სპექტრი** (მაგ., მზის, გავარვარებული ლითონის გამოსხივება) ან **დისკრეტული (ხაზოვანი) სპექტრი** (მაგ., დღის სინათლის ნათურების გამოსხივება).

თუ ადამიანის თვალს ხვდება რთული გამოსხივება, რომელიც სპექტრის ხილვად დიაპაზონში შეიცავს ყველა სიხშირის ელექტრომაგნიტურ რხევას, ე.ი. ხასიათდება უწყვეტი სპექტრით და ამასთან მისი სპექტრალური მახასიათებელი უახლოვდება მზის სინათლის სპექტრალურ მახასიათებელს, თვალი შეიგრძნობს *თეთრ ფერს*.

ამა თუ იმ ფერის შეგრძნება ხდება მაშინ, როდესაც მზის გამოსხივებაში ნაწილობრივ ან მთლიანად ჩაეხსნება რომელიმე მდგენელს ან მდგენელებს.

ამრიგად ფერადი გამოსხივება შეიძლება მივიღოთ ხელოვნურად თეთრი ფერის გამოსხივების სპექტრის გარკვეული უბნის ჩახშობით ან პირიქით – გამოყოფით, მაგ., შუქფილტრის საშუალებით. ფერის მიღების ასეთ ხერხს **სუბტრაქტიური** (კლებითი) ეწოდება.

აუცილებელია გვახსოვდეს, რომ თვალი აღიქვამს ფერს მხოლოდ დღის პირობებში, ე.ი. მაშინ, როდესაც მუშაობს თვალის კოლებების აპარატი (დაბინდებისას ხილვას უზრუნველყოფს თვალის ჩხირების აპარატი რუხის გრადაციებში).

საგნების ოპტიკური თვისებების (არეკვლა, შტანთქმა, გატარება) სხვადასხვაგვარობა იწვევს არეკვლილი სინათლის სხივების განსხვავებას როგორც სიმძლავრით, ისე სპექტრალური შემადგენლობით. შედეგად განსხვავდება საგნების ფერიც და სინათლოვნებაც ანუ სახეზეა *თვისებრივი* სხვაობა.

ცხადია, რომ თუ საგნებიდან არეკვლილი სინათლის სხივები არ განსხვავდება არც სიმძლავრით და არც სპექტრალური შემადგენლობით, ადამიანის თვალი ვერ შეამჩნევს სხვაობას მათ ფერში და სინათლოვნებაში. თუ არეკვლილი სხივები განსხვავდებიან მხოლოდ სიმძლავრით, თვალი დააფიქსირებს განსხვავებას მათ სინათლოვნებაში ანუ *რაოდენობრივ* სხვაობას.

ფერთა ტოლობების სტატისტიკური კვლევის საფუძველზე ადამიანთა დიდი რაოდენობისათვის დადგინდა ადამიანის თვალის *საშუალო* თვისებები და შემუშავდა ფერის მათემატიკური აღწერა. შედეგად ჩამოყალიბდა მეცნიერება, რომელიც შეისწავლის ფერების მათემატიკურ წარმოდგენას და მათი გაზომვის საშუალებებს – **კოლორიმეტრია**, რომელიც ფერადი ტელეხედვის ერთ-ერთ შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს.

6.2 ფერების ადიტიური და სუბტრაქტიური მიღება

ფერადი მხედველობის ფიზიოლოგიური საფუძვლები გამომდინარეობს *ფერადი მხედველობის სამკოპმპონენტიანი თეორიიდან*, რომელიც შეიმუშავა მ. ლომონოსოვმა 1756 წელს და შემდგომში განავითარეს იუნგმა, ჰელმგოლცმა და მაქსველმა. ეს თეორია გულისხმობს ადამიანის თვალის დღის ხედვის აპარატში სამი ტიპის სხივური ენერჯიის მიმღების – სამი ტიპის კოლების არსებობას, რომელთა რაოდენობა 7 მილიონს აღწევს.

კოლების ერთი ჯგუფი ძირითადად რეაგირებს სხივებზე, რომელთა ტალღის სიგრძე $380 \div 490$ ნმ შეადგენს (ლურჯმგრძობიარე), მეორე ჯგუფი რეაგირებს ძირითადად სხივებზე, რომელთა ტალღის სიგრძეა $490 \div 600$ ნმ (მწვანემგრძობიარე), ხოლო მესამე ჯგუფი ძირითადად მგრძობიარეა $600 \div 770$ ნმ ტალღის სიგრძის გამოსხივებების მიმართ (წითელმგრძობიარე).

სამივე ჯგუფის კოლების თანაბარი მძლავრი გაღიზიანება იწვევს თეთრი ფერის შეგრძნებას. სამივე ჯგუფის კოლების თანაბარი სუსტი გაღიზიანება იწვევს რუხი ფერის შეგრძნებას, ხოლო თუ კოლები არ ღიზიანდება, ადამიანი აღიქვამს შავ ფერს.

კოლების სპექტრალური მგრძობიარობის მახასიათებლები ერთიმეორეს ნაწილობრივ ფარავს. ამიტომ აღიგზნება კოლების არა ერთი, არამედ ორი ან სამივე ჯგუფი. კოლების აღგზნების ხარისხის თანაფარდობა განსაზღვრავს ამ დროს აღქმული ფერის გვარობას. კოლების მგრძობიარობის სპექტრალური მახასიათებლების გადაფარვა არის *მეტამერული* ფერების არსებობის მიზეზი – ფერების, რომლებსაც თვალი ფერით ვერ განასხვავებს მიუხედავად მათი განსხვავებული სპექტრალური შემადგენლობისა. მაგალითად, თვალი ხედავს ყვითელ ფერს მაშინ, როდესაც მას აღაგზნებს 590 ნმ ტალღის სიგრძის მონოქრომატული გამოსხივება და მაშინაც, როდესაც თვალს ხვდება გარკვეული ტალღის სიგრძის წითელი და მწვანე მონოქრომატული სხივები.

არსებობს ფერების მიღების ორი ხერხი – ადიტიური (კრებითი) და სუბტრაქტიური (კლებითი).

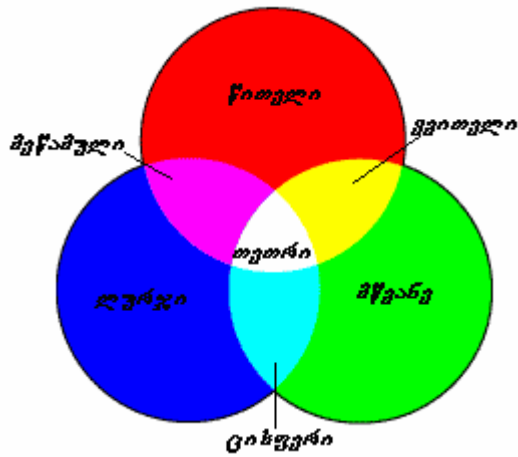
ფერების ადიტიური მიღება შეიძლება განხორციელდეს შესარევი ფერების

- ლოკალური შერევით;
- სივრცული შერევით;
- ბინოკულარული შერევით.

ფერების შერევა შესაძლებელია როგორც ერთდროულად, ისე თანმიმდევრულად.

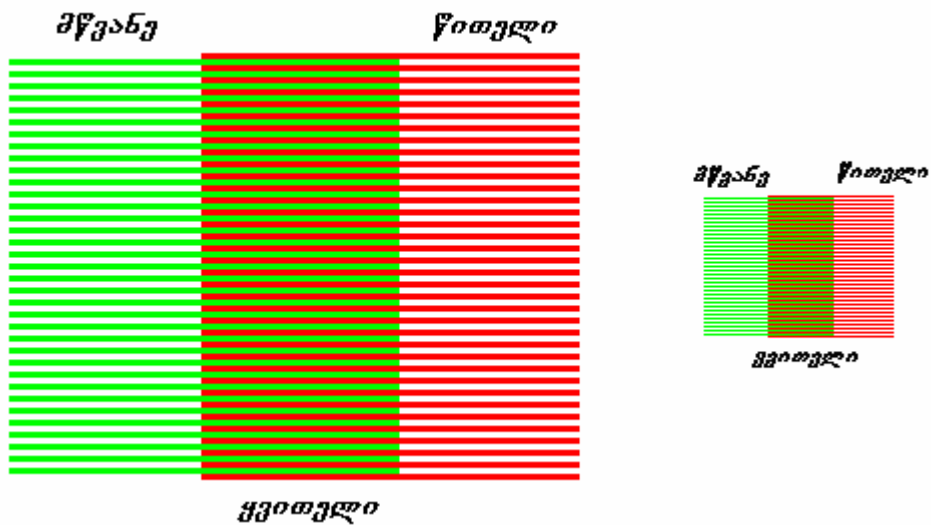
ფერების *ლოკალური შერევისათვის* შესარევი ფერების სინათლის ნაკადები უნდა მიემართოს დიფუზურად ამრეკლ ეკრანზე. ნარევის ფერი დამოკიდებული იქნება შესარევი ფერების ინტენსივობაზე და მათ გვარობაზე. ნახ.6.2–ზე წარმოდგენილია წითელი, ლურჯი და მწვანე ფერების ლოკალური შერევის მაგალითი.

ფერების ლოკალური შერევა გამოიყენება საპროექციო სატელევიზიო მიმღებებში.



ნახ.6.2

ფერების სივრცული შერევისას შესარევი ფერების მცირე ზომის (თვალის გარჩევის ზღურბლზე მყოფი) წერტილები, შტრისები, ზოლები (ნახ.6.3) ან სხვა თანაბრად გაბნეულია ზედაპირზე, რომლის ფერიც დამოკიდებულია შესარევი ფერების ელემენტების მიერ დაკავებული ფართობების თანაფარდობაზე. ნახატზე მოყვანილი მაგალითებიდან ჩანს თუ რა გავლენა აქვს ზოლების სისქეს ნარევი ფერის აღქმაზე. ფერების სივრცული შერევა გამოიყენება ფერადი სატელევიზიო მიმღებების “სიგნალი-სინათლე” გარდამქმნელებში (CRT, LCD, PDP და სხვ.).



ნახ.6.3

ფერების ბინოკულარული შერევისას ერთ თვალზე მოქმედებს ერთი ფერის სინათლის ნაკადი, ხოლო მეორე თვალზე – მეორე ფერის სინათლის ნაკადი. ამ დროს ადამიანი ხედავს შესარევი ფერების შეკრების შედეგს. ეს მეთოდი გამოიყენება შავ-თეთრ სტერეოტელევიზიაში და კინოში.

ფერების მიღების სუბტრაქტიური ხერხი, რომელიც ზემოთ ვახსენეთ, ტელეხედვაში არ გამოიყენება. მან გამოიყენება კპოვა ფერად ფოტოგრაფიაში და კინოში.

6.3 ფერის მახასიათებლები

ფერი წარმოადგენს *სამზომად* სიდიდეს. მისი დახასიათება შეიძლება სამი სუბიექტური (ფიზიოლოგიური) ან შესაბამისი სამი ობიექტური (ფიზიკური) მახასიათებლით.

სუბიექტურ სისტემაში ფერი ხასიათდება სინათლოვნებით, ფერადობის ტონით და ფერის გაჯერებით.

სინათლოვნება რაოდენობრივი მახასიათებელია. თეთრი, ღია რუხი, მუქი რუხი ეს ერთი და იგივე თეთრია, მაგრამ განსხვავებული სინათლოვნებით.

ფერადობის ტონი არის ის, რაც ფერს თეთრისაგან განასხვავებს და აღიწერება სიტყვებით ყვითელი, წითელი, მწვანე, ვარდისფერი და ა.შ.

ფერის გაჯერება განისაზღვრება იმით თუ რამდენი თეთრია მოცემულ ფერში. თეთრის რაოდენობის ზრდისას ფერში მისი გაჯერება მცირდება და პირიქით. მაქსიმალური გაჯერება აქვთ მონოქრომატულ ფერებს, მინიმალური – თეთრ ფერს.

ფერადობის ტონი და ფერის გაჯერება ახასიათებენ ფერს თვისებრივად და წარმოადგენენ ფერის **ფერადობას**.

ობიექტურ სისტემაში ფერი ხასიათდება სიკაშკაშით, დომინირებული ტალღის სიგრძით და ფერის სისუფთავით.

სიკაშკაშე – ფერის რაოდენობრივი მახასიათებელია და იზომება კდ/მ².

დომინირებული ტალღის სიგრძე და ფერის სისუფთავე – ფერის თვისებრივი მახასიათებლებია.

დომინირებული ტალღის სიგრძე $\lambda_{\text{დომ}}$ იმ მონოქრომატული გამოსხივების ტალღის სიგრძის ტოლია, რომელსაც იგივე ფერადობის ტონი აქვს, რაც მოცემულ ფერს.

ფერის სისუფთავე p განსაზღვრავს მონოქრომატული ფერის წვლილს თეთრთან ნარევაში, რომლის დროსაც მიიღწევა ვიზუალური ტოლობა მოცემულ ფერთან.

$$p = \frac{L_{\lambda}}{L_{\text{თ}} + L_{\lambda}} ,$$

სადაც L_{λ} – სპექტრალური ფერის სიკაშკაშეა,

$L_{\text{თ}}$ – თეთრი ფერის სიკაშკაშე,

$L_{\text{თ}} + L_{\lambda} = L$ – მოცემული ფერის სიკაშკაშე.

$p = 1$ მონოქრომატული ფერებისთვის, $p = 0$ თეთრი ფერისათვის.

6.4 ფერთა ადიტიური შერევის კანონები

ფერთა ადიტიური შერევა ექვემდებარება გარკვეულ კანონებს, რომლებიც კოლორიმეტრიის საფუძველს წარმოადგენენ. ფერთა ადიტიური შერევის კანონები დაადგინა 1853 წელს გერმანელმა მათემატიკოსმა გრასმანმა.

1-ლი კანონი: ნებისმიერი ფერი შეიძლება მიღებული იქნას სამი ძირითადი ფერის ადიტიური შერევით.

$$d'D = a'A + b'B + c'C \quad ,$$

სადაც A, B, C – ძირითადი ფერების ერთეულოვანი რაოდენობა,

a', b', c' – ძირითადი ფერების რაოდენობები (ძირითადი ფერების მოდულები),

D – ჯამური ფერის ერთეულოვანი რაოდენობა,

d' – ჯამური ფერის რაოდენობა.

ძირითადი ფერები ეწოდება ისეთ ფერებს, რომელთაგან ვერც ერთი ვერ მიიღება ორი დანარჩენის შერევით. მაგალითად, წითელი (R), მწვანე (G) და ლურჯი (B). ვერც წითელს, ვერც მწვანეს და ვერც ლურჯს ვერს ვერ მივიღებთ ორი დანარჩენი ფერის შერევით.

1931 წელს განათების საერთაშორისო კომისიამ **CIE** (Comission Internationale de l'Eclairage) კოლორიმეტრიული გაზომვებისათვის ძირითად ფერებად მიიღო მონოქრომატული ფერები R ($\lambda = 700$ ნმ), G ($\lambda = 546,1$ ნმ) და B ($\lambda = 435,8$ ნმ) – კოლორიმეტრიული სისტემა RGB.

მე-2 კანონი: გამოსხივების ნებისმიერ უწყვეტ ცვლილებას შეესაბამება ფერის უწყვეტი ცვლილება.

მე-3 კანონი: ნარევი ფერი განისაზღვრება მხოლოდ შესარევი ფერებით და არა მათი სპექტრალური შემადგენლობით.

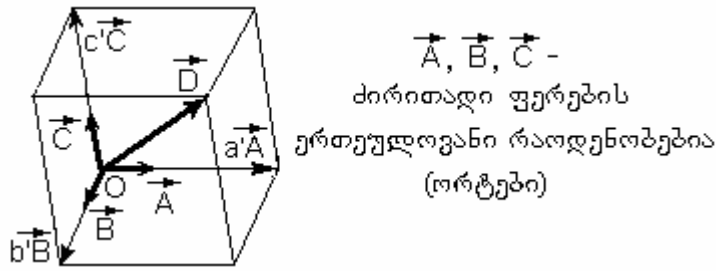
6.5 ფერის გეომეტრიული წარმოდგენა.

RGB და XYZ კოლორიმეტრიული სისტემები

ფერადი მხედველობის სამკომპონენტოანობა საფუძველს იძლევა ფერი განხილულ იქნას *წერტილის* ან *ვექტორის* სახით სამზომად *ფერთა სივრცეში*. ფერის ამსახველი ვექტორი იწყება კოორდინატთა სათავეში და მთავრდება მოცემულ წერტილში. თუ

ძირითად ფერებს A, B, C –ს წარმოვიდგენთ \vec{A}, \vec{B} და \vec{C} ვექტორებად, ნარევი ფერის განტოლება შეიძლება შემდგენაირად ჩაიწეროს (ნახ.6.4):

$$\vec{D} = a'\vec{A} + b'\vec{B} + c'\vec{C} \quad .$$

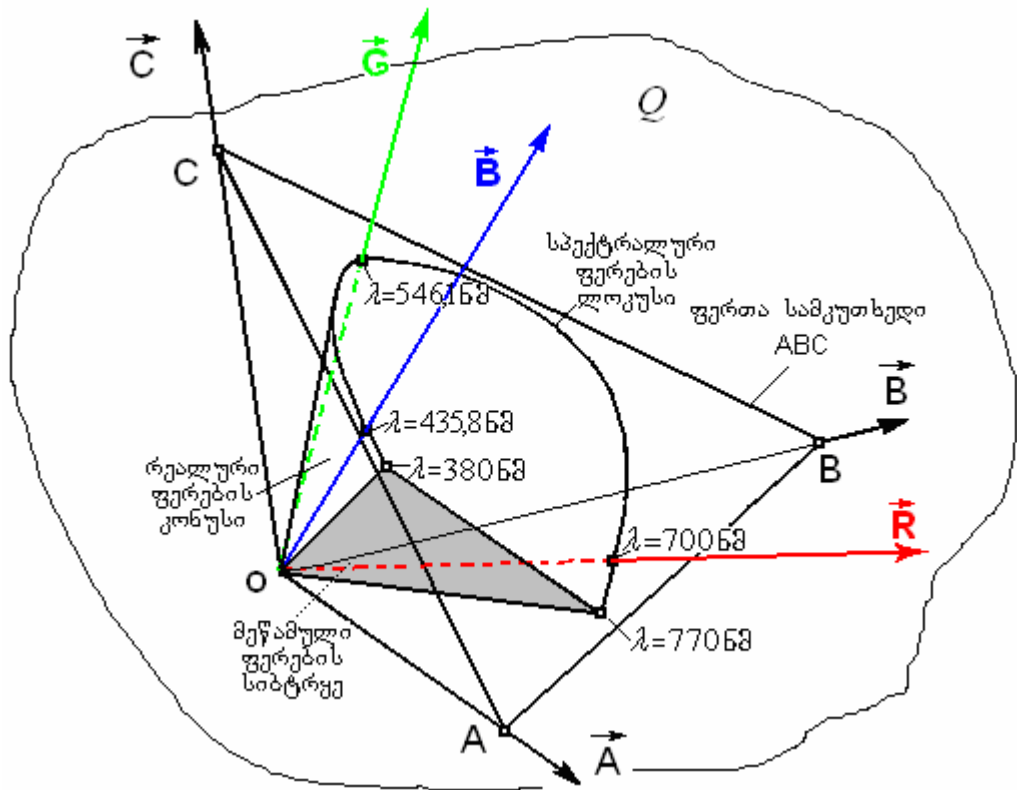


ნახ.6.4

ფერთა სივრცის ყოველი წერტილის კოორდინატები რიცხობრივად კოორდინატთა ღერძებზე ფერის ამსახველი ვექტორის პროექციების ტოლია. კოორდინატთა სათავე, სადაც იწეება ფერის ამსახველი ყველა ვექტორი, შეესაბამება ფერის ნულოვან რადიანობას – შავ ფერს. ვექტორების სიგრძე ასახავს ფერის რადიანობას ანუ მის სიკაშკაშეს, ხოლო მიმართულება სივრცეში – ფერის გვარობას – ფერადობას.

იმ სივრცეს, რომელშიაც მდებარეობენ ფერთა ვექტორები, **ფერთა სივრცე** ეწოდება. მას 2π სტერადიანზე ნაკლები ანუ ნახევარსფეროზე ნაკლები სხეულოვანი კუთხე უკავია.

(ნახ.6.5). $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}$ ძირითად ფერებზე აგებულ კოლორიმეტრიულ სისტემაში გამოსახულია კონუსური ზედაპირი, შექმნილი მონოქრომატული გამოსხივებების შესაბამისი ფერების ვექტორებით. ზედაპირს ამოზნექილი ფორმა აქვს, ვინაიდან ვერც ერთი სპექტრალური (მონოქრომატული) ფერი ვერ მიიღება ორი სხვა სპექტრალური ფერის შერევით.



ნახ.6.5

იმის გამო, რომ სპექტრის ხილვადი არე შემოფარგლულია ერთ მხარეს წითელი ფერის ($\lambda = 770$ ნმ), ხოლო მეორე მხარეს ლურჯი ფერის ($\lambda = 380$ ნმ) გამოსხივებით, სპექტრალური ფერების ზედაპირი არ არის შეკრული. აღნიშნულ ვექტორებზე გავლებულ სიბრტყეში მდებარეობენ ვექტორები, რომლებიც ასახავენ მონოქრომატული წითლისა და ლურჯი ფერების ყველანაირ ნარევს. მათ მეწამული ფერები ეწოდებათ, ხოლო სიბრტყეს – მეწამული ფერების სიბრტყე.

სპექტრალურ ფერებზე უფრო სუფთა (გაჯერებული) ფერები არ არსებობს. ამიტომ ყველა რეალური ფერის ვექტორი იმყოფება ფერთა სივრცის იმ ნაწილში, რომელიც შემოფარგლულია მონოქრომატული გამოსხივებების შესაბამისი ფერების ვექტორებით შექმნილი კონუსური ზედაპირითა და სუფთა მეწამული ფერების სიბრტყით.

რეალური ფერების შესაბამისი ვექტორების ერთობლიობას ეწოდება *რეალური ფერების კონუსი*. ყველა ფერი, რომელთა ვექტორებიც მდებარეობენ რეალური ფერების კონუსის გარეთ, ბუნებაში არ არსებობს. მათ არარეალურ ფერებს უწოდებენ.

ფერთა სივრცის ნებისმიერი \mathcal{Q} სიბრტყით გადაკვეთისას მიიღება ფერთა სამკუთხედი ABC , რომელიც წარმოადგენს ყველა ფერის ფერადობის წერტილების გეომეტრიულ ადგილს. მონოქრომატული ფერების ფერადობის კოორდინატების (ფერადობის წერტილების) მიერ შექმნილ მრუდს ეწოდება *სპექტრალური ფერების ლოკუსი*.

ლოკუსითა და მეწამული ფერების წრფით შემოფარგლული ზედაპირი წარმოადგენს ბუნებაში არსებული ყველა ფერის ფერადობის წერტილების გეომეტრიულ ადგილს.

ფერთა სივრცის კოორდინატა ღერძებად შეიძლება შეირჩეს ნებისმიერი სამი წრფივად დამოუკიდებელი ფერის შესაბამისი ვექტორი (ფერებისა, რომელთა ვექტორები ერთ სიბრტყეში არ მდებარეობს), მაგალითად, ვექტორები \vec{R} , \vec{G} და \vec{B} , რომლებიც შეესაბამება ICE -ს მიერ მიღებული RGB კოლორიმეტრიული სისტემის ძირითად (მონოქრომატულ) ფერებს (ნახ.6.6). მათემატიკურად ნებისმიერი D ფერი გამოისახება R , G , B ძირითადი ფერების მეშვეობით შემდეგი ტოლობით:

$$d'D = r'R + g'G + b'B \quad ,$$

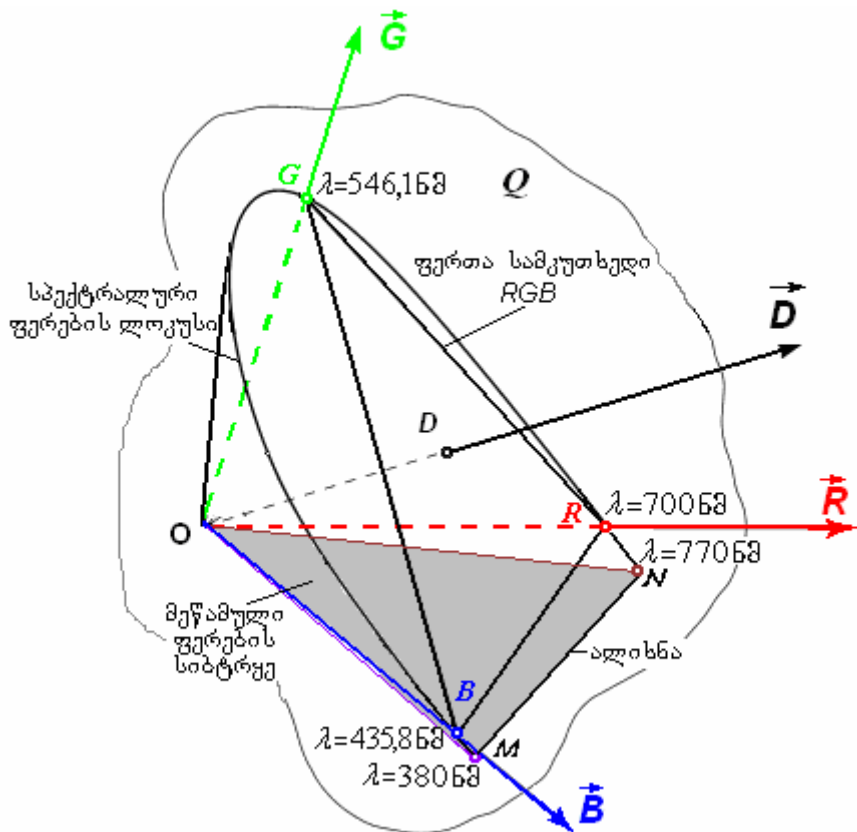
სადაც r' , g' , b' , d' – შესაბამისი ფერების რაოდენობებია (ფერის კოორდინატები, “მოდულები”),

R , G , B , D – ფერების დასახელებებია ან მათი ერთეულოვანი რაოდენობები.

ფერთა გათვლებისას ჩვეულებრივ აინტერესებთ *ფერადობა* ანუ ფერის გვარობა და არა მისი რაოდენობა. ამიტომ მიმართავენ r , g , b ფარდობით სიდიდეებს, რომლებსაც *სამფეროვანი კოეფიციენტები* ეწოდება.

თუ წინა განტოლებას გავყოფთ D ფერის რაოდენობაზე (მოდულზე) $d' = r' + g' + b'$, მივიღებთ

$$D = rR + gG + bB \quad ,$$



ნახ.6.6

სადაც

$$r = \frac{r'}{r'+g'+b'} ; \quad g = \frac{g'}{r'+g'+b'} ; \quad b = \frac{b'}{r'+g'+b'}$$

მათი ჯამი $r + g + b = 1$. ე.ი. ორი სამფეროვანი კოეფიციენტი სავსებით განსაზღვრავს ფერადობას. ამიტომ *ფერადობა ორზომადი სიდიდეა*.

თუ $\vec{R}, \vec{G}, \vec{B}$ კოორდინატა სისტემას გადაკვეთავთ ნებისმიერი Q სიბრტყით, მაშინ $\vec{R}, \vec{G}, \vec{B}, \vec{D}$ ვექტორები გადაკვეთავენ ამ სიბრტყეს R, G, B, D წერტილებში.

Q სიბრტყის გადაკვეთისას კოორდინატა სიბრტყეებთან იქმნება RGB ფერთა სამკუთხედი. \vec{D} ვექტორის მიმართულება სივრცეში ცალსახად განისაზღვრება მისი *კვალის* მდებარეობით Q სიბრტყეზე. ამრიგად ნებისმიერ წერტილს RGB სამკუთხედის სიბრტყეში შეესაბამება სრულიად გარკვეული ფერადობა. სამკუთხედს, რომლის წვეროებშიაც იმყოფება ძირითადი ფერების ფერადობის წერტილები, *ფერთა სამკუთხედი* ეწოდება.

იმის გამო, რომ ძირითად ფერებად შესაძლებელია ნებისმიერი წრფივად დამოუკიდებელი სამეულის შერჩევა, შეიძლება წარმოვიდგინოთ მრავალი კოლორიმეტრიული სისტემა. ასევე იმ მიზეზით, რომ Q მკვეთი სიბრტყის გავლება

შესაძლებელია სრულიად ნებისმიერი მიმართულებით, განსხვავებულია ფერთა სამკუთხედის ფორმა და მასზე ფერების ფერადობის წერტილების განლაგება.

აღნიშნულიდან გამომდინარე ფერთა სივრცეში სიგრძის ცნება კარგავს აზრს, (რადგან სიგრძეების თანაფარდობას აზრი აქვს მხოლოდ ერთი მიმართულების გასწვრივ ან მისი პარალელური წრფეების გასწვრივ), მაგრამ შენარჩუნებულია წრფეებისა და სიბრტყეების პარალელობის ცნება. ასეთ სივრცეს ევკლიდეს სივრცისაგან განსხვავებით აფინური სივრცე ეწოდება.

კონკრეტულად დასმული ამოცანის ამოსახსნელად ხელსაყრელი ძირითადი ფერებისა და პროექციების შერჩევით შეიძლება საჭირო თვისებების მქონე პროექციის მიღება.

თუ კოორდინატა ღერძების მიმართულებები უკვე შეირჩა, საჭიროა დადგინდეს მასშტაბები ამ ღერძების გასწვრივ. ამისათვის უნდა შეირჩეს კოლორიმეტრიული სისტემის მეოთხე – საყრდენი ფერი. *RGB* სტანდარტულ სისტემაში საყრდენ ფერად გამოიყენება თანაბარენერგეტიკული თეთრი ფერი E .

თანაბარენერგეტიკული თეთრი ფერი E ეს ნათების ისეთი ფერია, რომელშიც გამოსხივების ენერგია სპექტრის მთელ ხილვად დიაპაზონში მუდმივია ანუ არ არის დამოკიდებული ტალღის სიგრძეზე.

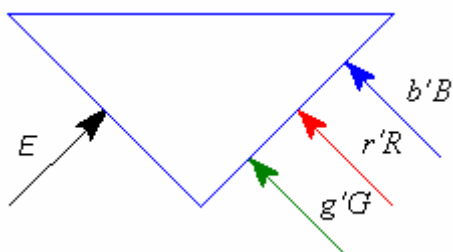
საყრდენი თეთრი ფერი E მიიღება ძირითადი ფერების ტოლი (ერთეულოვანი) რაოდენობების შერევით. ე.ი. $r'_E = g'_E = b'_E = 1$, ამიტომ $3E = 1R + 1G + 1B$.

E ფერის კოორდინატები (სამფეროვანი კოეფიციენტები) $r_E = g_E = b_E = \frac{1}{3}$. ე.ი.

საყრდენი ფერის ვექტორი განჭოლავს Q მკვეთ სიბრტყეს *RGB* სამკუთხედის ცენტრიდან (მედიანების გადაკვეთის წერტილში). Q სიბრტყე კოორდინატა ღერძებს კვეთს წერტილებში, რომლებიც ძირითადი ფერების ერთეულოვანი ვექტორების (ორტების) ბოლოებს წარმოადგენენ. ამიტომ ამ სამკუთხედს ერთეულოვან ფერთა სამკუთხედი ეწოდება. ვინაიდან სამფეროვანი კოეფიციენტები r , g და b განსაზღვრავენ მოცემული ფერის ფერადობის წერტილის მდებარეობას ერთეულოვან სიბრტყეზე, მათ აგრეთვე ფერადობის კოეფიციენტებს უწოდებენ.

სპექტრალური ფერების ფერადობის კოორდინატები და მასშტაბები კოორდინატა ღერძების გასწვრივ დგინდება ექსპერიმენტალურად.

თუ მქრქალი თაბაშირის პრიზმის ერთ წახნაგს მივმართავთ საკვლევე სინათლის



ნახ.6.7

ნაკადს, მაგალითად, E -ს, ხოლო მეორე წახნაგს – ძირითადი R , G , B ფერების სინათლის ნაკადებს (ნახ.6.7), შეიძლება ისე შევარჩიოთ მათი რაოდენობები, რომ დამკვირვებელი ვერ განასხვავებს პრიზმის მარცხენა და მარჯვენა წახნაგების ფერებს და აღიქვამს მათ ერთნაირებად (შეთანხმებულებად) როგორც სიკაშკაშით, ისე ფერადობით.

ამგვარად ექსპერიმენტალურად დადგენილია, რომ E ფერის მისაღებად R, G, B ძირითადი ფერების ერთეულოვანი რაოდენობების სიკაშკაშეების L_R, L_G, L_B თანაფარდობა უნდა იყოს შემდეგი:

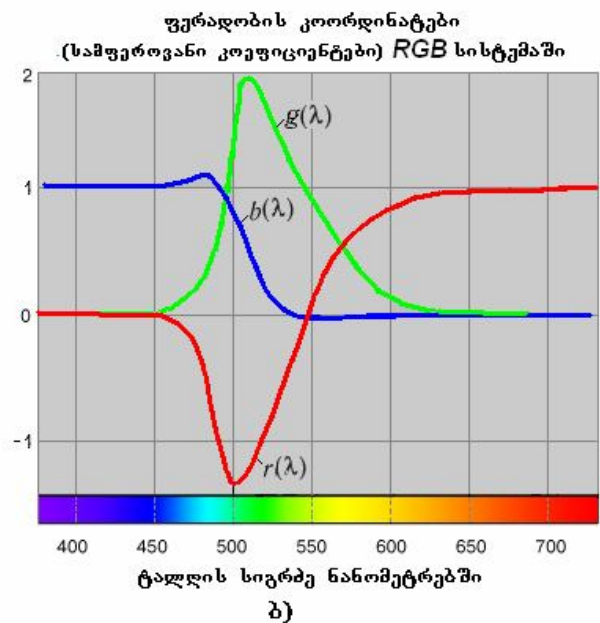
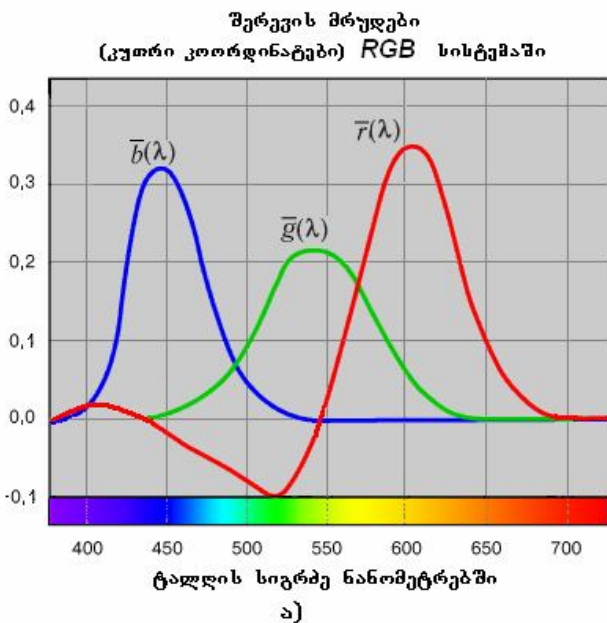
$$L_R : L_G : L_B = 1 : 4,59 : 0,06 = 0,177 : 0,812 : 0,011 .$$

როდესაც ძირითადი ფერების სიკაშკაშეების კოეფიციენტები ცნობილია, განსაზღვრულია სიკაშკაშის მასშტაბები კოორდინატა დერძების გასწვრივ. ნებისმიერი F ფერის სიკაშკაშის კოეფიციენტი გამოითვლება ძირითადი ფერების მოდულებით:

$$L_F = r'L_R + g'L_G + b'L_B .$$

ეს სიბრტყის განტოლებაა. ამიტომ ერთნაირი სიკაშკაშის მქონე ფერები ფერთა სივრცის ერთ სიბრტყეში მდებარეობენ. ამ სიბრტყეს *ტოლი სიკაშკაშის სიბრტყე* ეწოდება. ყველა ტოლი სიკაშკაშის სიბრტყე ერთმანეთის პარალელურია. თუ $L_F = 0$, მივიღებთ MON ნულოვანი სიკაშკაშის მქონე სიბრტყის განტოლებას. MN წრფეს, რომელიც წარმოადგენს ნულოვანი სიკაშკაშის სიბრტყის კვეთას Q სიბრტყესთან, უსინათლო – *აღიხნა* ეწოდება (ნახ.6.6).

თუ სპექტრალური ფერი Q სიმძლავრისაა, მაშინ მის კოორდინატებს *კუთრი კოორდინატები* ან *კუთრი კოეფიციენტები* ეწოდება და აღინიშნება ზემოდან ხაზით. ნახ.6.8 ა)–ზე ნახევრებია $\bar{r}(\lambda), \bar{g}(\lambda), \bar{b}(\lambda)$ კუთრი კოორდინატების დამოკიდებულებები Q სიმძლავრის სპექტრალური ფერის ტალღის სიგრძეზე. მათ *შერევის მრუდები* ეწოდება.



ნახ.6.8

როული (არასპექტრალური) გამოსხივების ფერის კოორდინატები (მოდულები) კუთრ კოორდინატებთან დაკავშირებულია შემდეგი განტოლებებით:

$$r' = \int_0^{\infty} P(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda; \quad g' = \int_0^{\infty} P(\lambda) \bar{g}(\lambda) d\lambda; \quad b' = \int_0^{\infty} P(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda,$$

სადაც $P(\lambda)$ – როული გამოსხივების სიმძლავრის სპექტრალური სიმკვრივეა.

თანაბარენერგეტიკული თეთრი ფერის E -სათვის $P(\lambda) = const$ და $r' = g' = b'$, ამიტომ

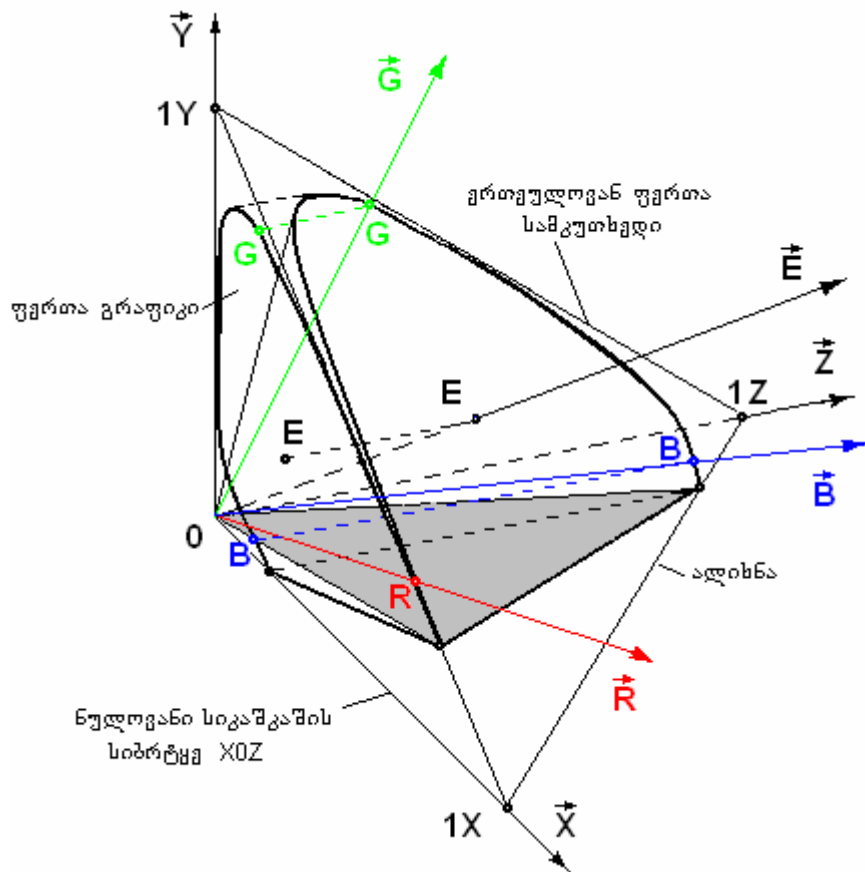
$$\int_0^{\infty} \bar{r}(\lambda) d\lambda = \int_0^{\infty} \bar{g}(\lambda) d\lambda = \int_0^{\infty} \bar{b}(\lambda) d\lambda$$

და ე.ი. ფართობები, შემოსაზღვრული $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$ და $\bar{b}(\lambda)$ მრუდებით და აბსცისების ღერძით, ტოლია.

ნახ.6.8 ბ)–ზე ნაჩვენებია სპექტრალური ფერების (მონოქრომატული გამოსხივებების) სამფეროვანი კოეფიციენტები (ფერადობის კოორდინატები). მოყვანილი მრუდებიდან ჩანს, რომ ფერთა განტოლებაში სპექტრალური ცისფერი ფერისათვის 440 ნმ–დან 540 ნმ–მდე r სამფეროვანი კოეფიციენტი უარყოფითი იქნება. ეს ნიშნავს იმას, რომ სპექტრალური ფერები ვერ მიიღება R, G, B ძირითადი ფერების შერევით და ე.ი. რეალური ფერების ნაწილი მდებარეობს RGB სამკუთხედის ფარგლებს გარეთ.

RGB კოლორიმეტრიული სისტემის ღირსებას შეადგენს ის, რომ მასში ძირითად ფერებად არჩეულია რეალური ფერები, მაგრამ ამასთან მას ნაკლიც გააჩნია – ზოგიერთი ფერისთვის ფერთა მოდულები (კოორდინატები) უარყოფითია, ხოლო ფერთა სიკაშკაშის კოეფიციენტების გამოსათვლელად საჭიროა სამივე ძირითადი ფერის სიკაშკაშის კოეფიციენტების გამოყენება.

აღნიშნულთან დაკავშირებით ICE -მ 1931 წელს მიიღო არარეალურ ძირითად ფერებზე X, Y, Z აგებული XYZ კოლორიმეტრიული სისტემა. დეკარტეს მართკუთხა კოორდინატთა სისტემა XYZ ისეა ორიენტირებული ფერთა სივრცის მიმართ, რომ XOZ სიბრტყე ემთხვეოდეს ნულოვანი სიკაშკაშის სიბრტყეს (ნახ.6.9), Y კოორდინატი იყოს ამ სიბრტყის პერპენდიკულარული, XYZ ფერთა სამკუთხედი მთლიანად მოიცავდეს ლოკუსს, ხოლო თანაბარენერგეტიკულმა E თეთრმა ფერმა შეინარჩუნოს თავისი მდებარეობა XYZ სამკუთხედის ცენტროიდაში. ამ შემთხვევაში ნებისმიერი ფერის სიკაშკაშის კოეფიციენტი განისაზღვრება მხოლოდ Y კოორდინატით და არ არის დამოკიდებული X და Z კოორდინატებზე. გარდა ამისა, ყველა რეალური ფერის წარმოდგენა ფერთა ტოლობებში ხდება მხოლოდ დადებითი X, Y, Z კოორდინატებით.



ნახ.6.9

RGB და XYZ სამკუთხედების ცენტროიდები თანხვედნილია და ე.ი. თეთრი ფერი E შეინარჩუნებს თავის მდებარეობას. მისთვის

$$r_E = g_E = b_E = x_E = y_E = z_E = \frac{1}{3} .$$

ნებისმიერი ფერისთვის შეიძლება დაიწეროს ფერთა ტოლობა როგორც XYZ , ისე RGB კოლომეტრიულ სისტემებში:

$$F = xX + yY + zZ \quad \text{და} \quad F = rR + gG + bB$$

ანუ

$$xX + yY + zZ = rR + gG + bB \quad .$$

პრაქტიკული მიზნებისათვის ICE -ს რეკომენდაციით გამოიყენება არა ერთეულოვანი ფერების სიბრტყე XYZ , არამედ მისი პროექცია XOY სიბრტყეზე. მას ICE ფერთა გრაფიკი ეწოდება (ნახ.6.10). ამ პროექციაში ფერთა სამკუთხედის Z წერტილი შეთავსებულია ფერთა XY გრაფიკის O წერტილთან, OX ღერძი წარმოიდგენს აღიხნას, ხოლო აღიხნის პარალელური $y = const$ წრფეები წარმოადგენენ ტოლი მნიშვნელობის სიკაშკაშის კოეფიციენტების გეომეტრიულ ადგილს. ICE ფერთა გრაფიკი მოხერხებულია იმით, რომ წარმოდგენილია მართკუთხა კოორდინატთა სისტემაში.

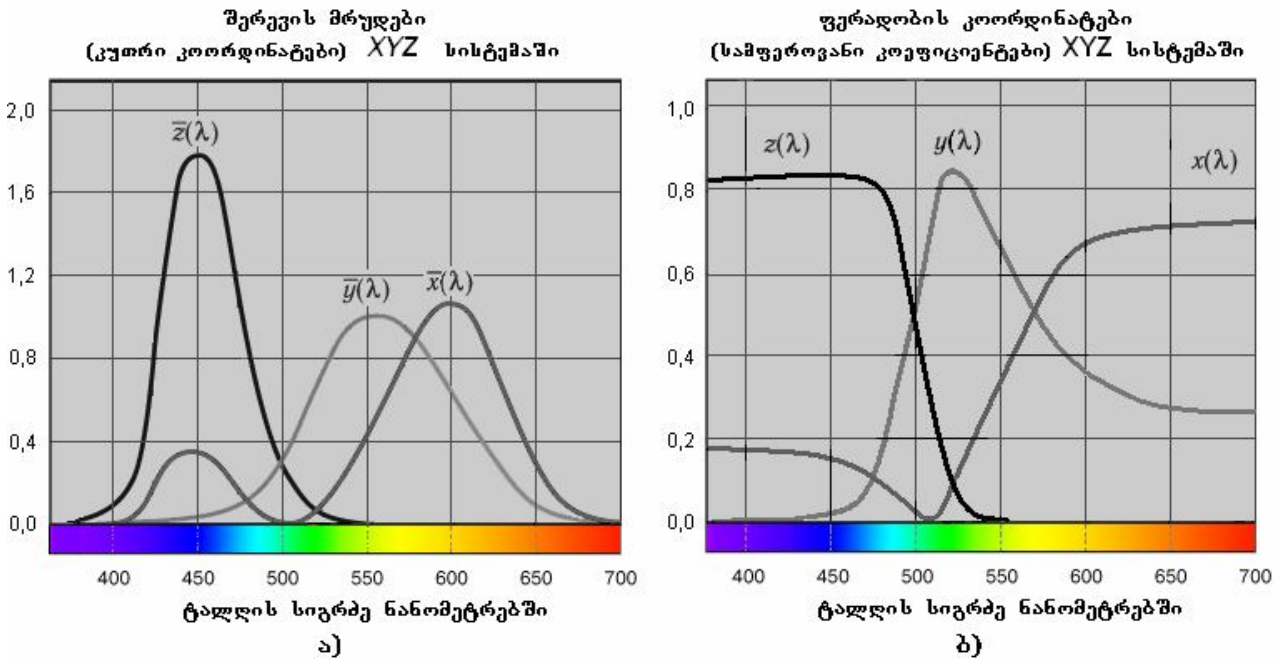
სინათლის წყაროს ფერი	ფერის წყაროს დახასიათება	ფერადობის ტემპერატურა, °K	ფერადობის კოორდინატები	
			x	y
თეთრი A	ვარვარ-ნათურა	2854	0,448	0,408
თეთრი B	დღის სინათლის ნათურა	4800	0,348	0,352
თეთრი C	ჩრდილოეთის ცა მზიან ამინდში	6500	0,310	0,316
თეთრი D	ღრუბლიანი ცა	6500	0,313	0,329
თეთრი E	თანაბარენერგეტიკუ- ლი (თეთრიული)	–	0,33(3)	0,33(3)
წითელი R	$\lambda = 700$ ნმ	–	0,7346	0,26534
მწვანე G	$\lambda = 546,1$ ნმ	–	0,2737	0,7174
ლურჯი B	$\lambda = 435,8$ ნმ	–	0,1665	0,0088

ფერთა გრაფიკის ICE-31-ის შესახებ აუცილებელია აღინიშნოს შემდეგი:

1. ყველა რეალური ფერის ფერადობის კოორდინატები იმყოფება სპექტრალური ლოკუსის შიგნით;
2. თანაბარენერგეტიკული თეთრი ფერი E ძვეს XOY სამკუთხედის სიმძიმის ცენტრში. მისი კოორდინატებია $x=1/3, y=1/3$;
3. დამატებითი ფერების ფერადობის წერტილები მდებარეობენ E წერტილზე გამავალ წრფეებზე E წერტილის აქეთ-იქიდან;
4. ორი ფერის ნარევის ფერადობის წერტილები ძვეს შესარევი ფერების ფერადობის წერტილების შემაერთებელ წრფეზე;
5. სამი ფერის ნარევის ფერადობის წერტილები ძვეს შესარევი ფერების ფერადობის წერტილებზე აგებული სამკუთხედის ფარგლებში;
6. ნებისმიერი ფერის, რომლის ფერადობის წერტილი მოცემულია ფერთა გრაფიკზე, დომინირებული ტალღის სიგრძე (ფერადობის ტონი) განისაზღვრება მონოქრომატული ფერის ტალღის სიგრძით სპექტრალური ფერების ლოკუსის იმ წერტილში, რომელსაც გადაკვეთს E წერტილზე და საკვლევი ფერის ფერადობის წერტილზე გატარებული წრფე.

ნახ.6.11 ა)–ზე წარმოდგენილია კუთრი კოორდინატების $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ მნიშვნელობები 1ვტ სიმძლავრის სპექტრალური ფერებისათვის (შერევის მრუდები). შერევის მრუდი $\bar{y}(\lambda)$ ემთხვევა ხილვადობის მრუდს $v(\lambda)$ –ს ($\bar{y}(\lambda) = v(\lambda)$) იმის გამო, რომ y კოორდინატა XYZ სისტემაში სრულად განსაზღვრავს ფერის სიკაშკაშეს.

ნახ.6.11ბ)–ზე ასახულია სპექტრალური ფერების ფერადობის კოორდინატების (სამფეროვანი კოეფიციენტების) მნიშვნელობები XYZ ფერთა გრაფიკის სიბრტყეში. $x(\lambda)$ და $y(\lambda)$ მრუდები ამავედროულად წარმოადგენენ ფერადობის კოორდინატებს ICE ფერთა გრაფიკის სიბრტყეში.



ნახ.6.11

ნებისმიერი რეალური $P(\lambda)$ გამოსხივების ფერადობის კოორდინატები XYZ სისტემაში გამოითვლება ინტეგრალური განტოლებებით:

$$x' = \int_0^{\infty} P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda, \quad y' = \int_0^{\infty} P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda, \quad z' = \int_0^{\infty} P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda.$$

სადაც $P(\lambda)$ – რთული გამოსხივების სიმძლავრის სპექტრალური სიმკვრივეა.

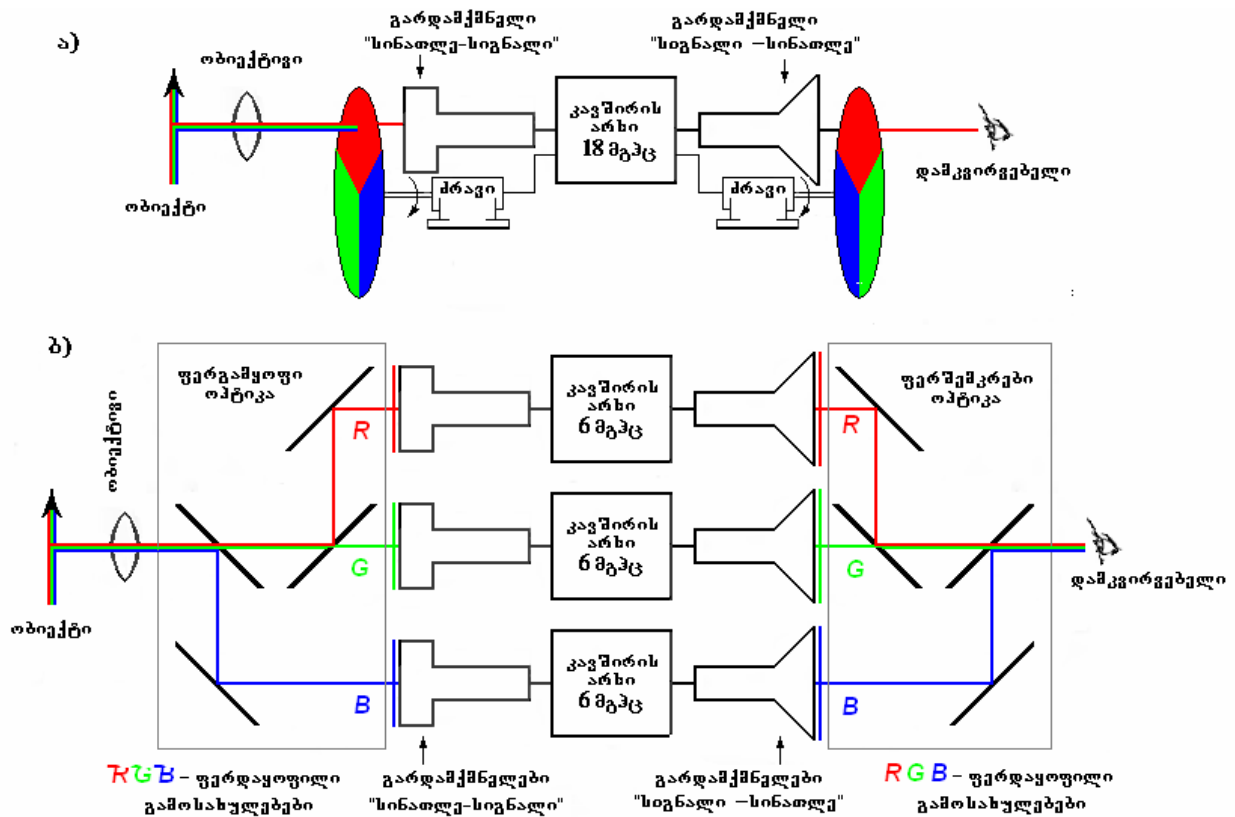
თანაბარენერგეტიკული თეთრი ფერის E -სათვის $P(\lambda) = const$ და $x' = y' = z'$, ამიტომ

$$\int_0^{\infty} \bar{x}(\lambda) d\lambda = \int_0^{\infty} \bar{y}(\lambda) d\lambda = \int_0^{\infty} \bar{z}(\lambda) d\lambda,$$

და ე.ი. ფართობები, შემოსაზღვრული $x(\lambda)$, $y(\lambda)$ და $z(\lambda)$ მრუდებით და აბსცისების ღერძით, ტოლია.

6.6 ფერადი გამოსახულების ანალიზი და სინთეზი

ფერადი სატელევიზიო სისტემის საწყის რგოლში – გარდამქმნელში “სინათლე-სიგნალი” – გამოსახულების ელემენტებად დაშლისა და გაშლის პროცესს ადამიანის თვალის მსგავსად წინ უსწრებს მისი სპექტრალური ანალიზი. შედეგად ფერადი გამოსახულება იყოფა წითელ, მწვანე და ლურჯ ფერდაყოფილ გამოსახულებებად. მიმდებ მხარეს – პირიქით – სამი ფერდაყოფილი გამოსახულების სინთეზის პროცესში ხდება გადაცემული ფერადი გამოსახულების აღწარმოება. ფერადი გამოსახულების ანალიზისა და სინთეზის პროცესები შეიძლება განხორციელდეს როგორც მიმდევრობით (ნახ.6.12 ა)), ისე ერთდროულად (ნახ.6.12 ბ)). ამის შესაბამისად განასხვავებენ მიმდევრობით და ერთდროულ ფერად სატელევიზიო სისტემებს.



ნახ.6.12

მიმდევრობით სისტემაში სამი ფერდაყოფილი გამოსახულება მიიღება *RGB* შუქფილტრებიანი დისკოს მეშვეობით, რომელიც ბრუნავს შავ-თეთრი გადაძვები კამერის წინ. მასთან სინქრონულად და სინფაზურად შავ-თეთრი სატელევიზიო მიმდების ეკრანის წინ ბრუნავს ანალოგიური შუქფილტრებიანი დისკო. ამ დროს დამკვირვებელი თანმიმდევრულად ხედავს სამ ფერდაყოფილ გამოსახულებას. ადამიანის გონებაში მათი სრულყოფილი შეკრებისათვის სამივე ფერდაყოფილი გამოსახულება უნდა გადაიციმოდეს ერთი სტანდარტული შავ-თეთრი კადრის გადაცემის ტოლ დროში, რაც ასამკეცებს

ვიდეოსიგნალის სპექტრის სიგანეს (18 მგჰც) და ხდის მიმდევრობით ფერად სისტემას არათავსებადს შავ-თეთრ სატელევიზიო სისტემასთან.

ერთდროულ სისტემაში ფერადი გამოსახულების გადასაცემად გამოიყენება სამი პარალელურად მომუშავე შავ-თეთრი სატელევიზიო არხი. მიღებული წითელი, მწვანე და ლურჯი ფერდაყოფილი გამოსახულებები სპეციალური ფერდამყოფი ოპტიკური სისტემისა და შუქფილტრების მეშვეობით პროეცირდება შესაბამის “სინათლე-სიგნალი” გარდამქმნელზე. მიმღებ მხარეს ფერდაყოფილი გამოსახულებები მიიღება შავ-თეთრი კინესკოპების ეკრანზე, რომელთა წინ განლაგებულია შესაბამისი ფერის შუქფილტრები. შუქფილტრების შემდეგ ფერდაყოფილი გამოსახულებები იკრიბება ფერშემკრები ოპტიკური მოწყობილობის მეშვეობით და წარედგინება დამკვირვებელს, რომელიც ხედავს გადაცემულ ფერად გამოსახულებას. ნახ.6.12 ბ)–დან ჩანს, რომ ფერადი გამოსახულების გადასაცემად საჭიროა გასამკეცებელი სიგანის კავშირის არხი ($3 \times 6 = 18$ მგჰც). ეს კი განხილულ ერთდროულ სისტემას ხდის შეუთავსებადს არსებულ შავ-თეთრ სისტემასთან.

ფერადი ტელეხედვის დანერგვის მომენტისათვის მსოფლიოში უკვე მოქმედებდა შავ-თეთრი სამაუწყებლო სატელევიზიო სისტემები (ამერიკული და ევროპული). ამიტომ საესეებით ლოგიკური იყო დასანერგი ფერადი სატელევიზიო სისტემისადმი შავ-თეთრთან თავსებადობის მოთხოვნა.

თავსებადობის პრინციპი გულისხმობს შემდეგს:

1. ფერადი მიმღები უნდა ღებულობდეს შავ-თეთრ გადაცემებს და ახდენდეს გამოსახულების აღწარმოებას შავ-თეთრად;
2. შავ-თეთრი მიმღები უნდა ღებულობდეს ფერად გადაცემებს და ახდენდეს გამოსახულების აღწარმოებას შავ-თეთრად;
3. “ფერადი” და “შავ-თეთრი” ვიდეოსიგნალების სპექტრის სიგანეები არ უნდა განსხვავდებოდნენ.

აღნიშნულ მოთხოვნებს აკმაყოფილებს ამჟამად მსოფლიოში მოქმედი თავსებადი ფერადი სატელევიზიო სისტემები *NTSC*, *PAL* და *SECAM-3b*.

NTSC (*National Television System Committee*) სისტემა დაინერგა აშშ-ში, კანადაში, იაპონიაში, კუბაში და სხვა ქვეყნებში 1953 წელს. *PAL* (*Phase Alternation Line*, ავტორი – ვალტერ ბრუხი, 1963 წ., ფირმა *Telefunken*) სისტემა დაინერგა დასავლეთ ევროპაში, ავსტრალიაში, იუგოსლავიაში და სხვა ქვეყნებში 1967 წელს. სისტემა *SECAM-მა* (*Séquence de Couleurs Avec Mémoire*, ავტორი ანრი დე ფრანსი, 1954 წ.) მოქმედება დაიწყო საფრანგეთში, საბჭოთა კავშირში (მოსკოვსა, კიევსა და თბილისში) და მის გავლენის ქვეშ მყოფ ქვეყნებში 1967 წელს.

ამჟამად საქართველოში მოქმედებს სისტემა *PAL*-ი.

სატელევიზიო მიმღებში მიღებული ფერდაყოფილი გამოსახულებების ფერებს ეწოდება *მიმღების ძირითადი ფერები* R_g , G_g , B_g . მათი ფერადობის კოორდინატები განისაზღვრება “სიგნალი-სინათლე” გარდამქმნელების თვისებებით, მაგალითად, კინესკოპის ლუმინოფორების ან თხევადკრისტალიანი დისპლეის შუქფილტრების მახასიათებლებით. ეკრანზე აღწარმოებული ფერთა გამა მოიცავს ყველა ფერს,

რომელთა ფერადობის კოორდინატები იმყოფება იმ ფერთა სამკუთხედის ფარგლებში, რომელიც აგებულია მიმღების ძირითადი ფერების ფერადობის წერტილებზე (კოორდინატებზე). აქედან გამომდინარე ფერთა მაქსიმალური რაოდენობის აღწარმოებისათვის ფერთა სამკუთხედი, აგებული მიმღების ძირითადი ფერების ფერადობის წერტილებზე, *ICE*-ს ფერთა გრაფიკის მაქსიმალურ ფართობს უნდა იკავებდეს. მაგრამ რაც უფრო ახლოსაა ფერადობის წერტილი ლოკუსთან, მით უფრო ვიწროხოლოვანია შესაბამისი გამოსხივების სპექტრი და ე.ი. ნაკლებია მისი სიკაშკაშე.

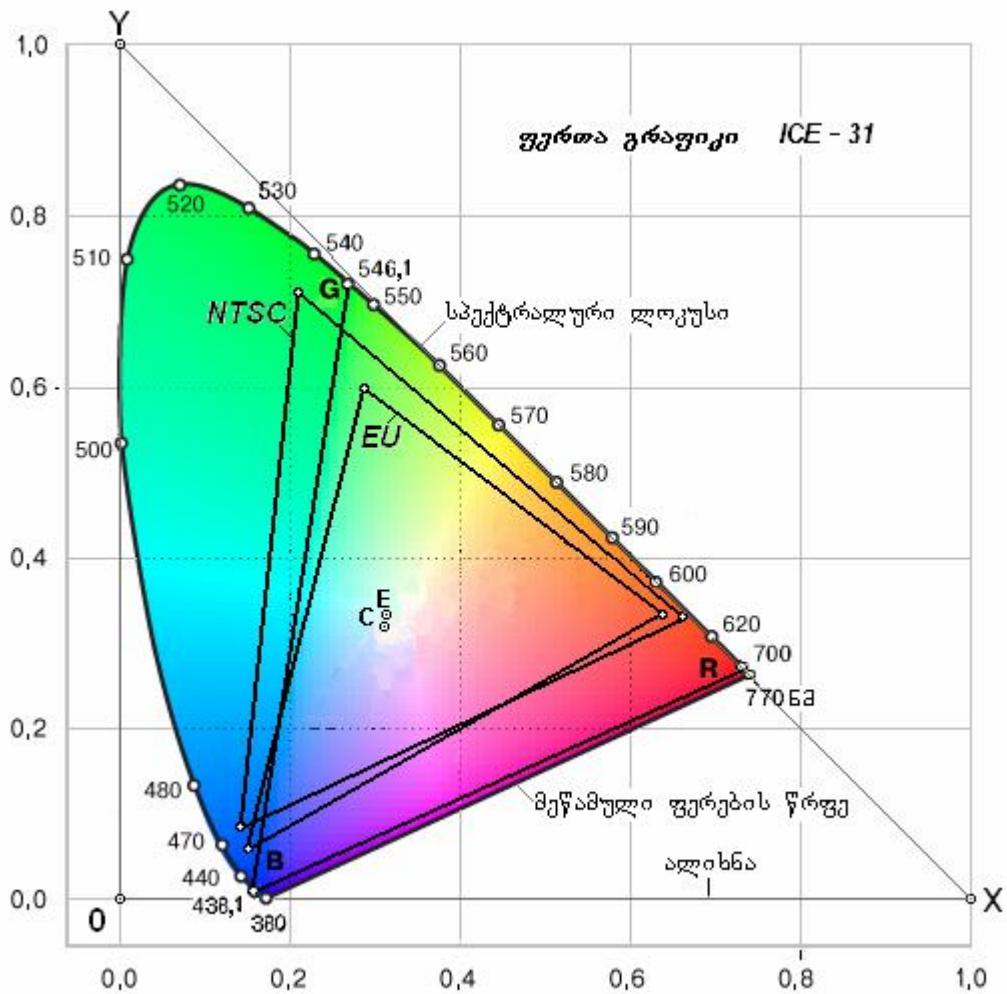
ცხრილში მოყვანილია მიმღების ძირითადი ფერების კოორდინატები ამერიკული და ევროპული სტანდარტებისათვის.

სტანდარტი	მიმღების ძირითადი ფერების კოორდინატები					
	R_g		G_g		B_g	
	x	y	x	y	x	y
ამერიკული (<i>NTSC</i>)	0,670	0,330	0,210	0,710	0,140	0,080
ევროპული (<i>EU</i>)	0,640	0,330	0,290	0,600	0,150	0,060

ნახ.6.13-ზე ნაჩვენებია შესაბამისი ფერთა სამკუთხედები *ICE-31* ფერთა გრაფიკზე, საიდანაც ჩანს, რომ ევროპული სტანდარტი წარმოადგენს კომპრომისს ორ ზემოხსენებულ პირობას შორის. ამ ნახატზე წარმოდგენილია აგრეთვე *RGB* კოლორიმეტრიული სისტემის ფერთა სამკუთხედი.

მიმღების სამი ძირითადი ფერის გარდა, სტანდარტიზებულია აგრეთვე მიმღების ტოლსიგნალიანი თეთრი ფერი. ეს ის ფერია, რომელიც მიიღება აღმწარმოებელი მოწყობილობის ეკრანზე, როდესაც მის შესავალს მიეწოდება ტოლი სიდიდის ფერდაყოფილი გამოსახულების სიგნალები $U_R = U_G = U_B$. თანამედროვე ფერად სატელევიზიო სისტემებში ტოლსიგნალიან თეთრ ფერად მიღებულია ევროპაში თეთრი ფერი *C* ($x=0,310$; $y=0,316$), ხოლო ამერიკაში თეთრი ფერი *D6500K* ($x=0,313$; $y=0,329$).

თუ გადამცემი კამერის სამივე “სინათლე-სიგნალი” გარდამქმნელის პირველადი (ძირითადი) ფერები ემთხვევა სატელევიზიო მიმღების შესაბამისი “სიგნალი-სინათლე” გარდამქმნელების ძირითად ფერებს R_g , G_g , B_g -ს, მაშინ “სინათლე-სიგნალი” გარდამქმნელების სპექტრალური მგრძობიარობის მახასიათებლები წარმოადგენენ შერევის მრუდებს (კუთრ კოორდინატებს) \bar{r}_g , \bar{g}_g , \bar{b}_g -ს $R_gG_gB_g$ მიმღების ძირითადი ფერების კოლორიმეტრიულ სისტემაში. პრაქტიკულად გადამცემი და მიმღები გარდამქმნელების ძირითადი ფერები ერთიმეორეს არ ემთხვევა. ამიტომ სატელევიზიო ტრაქტში ირთვება გადამთვლელი მატრიცა – *ფერთა კორექტორი*, რომელიც გარდაქმნის გადამცემი კამერის კოლორიმეტრიულ სისტემას მიმღების კოლორიმეტრიულ სისტემაში. ამით მიიღწევა ფერების კოლორიმეტრიულად ზუსტი აღწარმოება, რომლის დროსაც გამოსახულების ყოველი პიქსელის ფერადობა არ განსხვავდება ორიგინალის შესაბამისი პიქსელის ფერადობისაგან, ხოლო მათი სიკაშკაშეების ფარდობა ყველა ფერადობისათვის მუდმივ სიდიდეს წარმოადგენს.



ნახ.6.13

ფერების კოლორიმეტრიულად ზუსტი აღწარმოების პირობის ჩამოყალიბებისას იგულისხმებოდა, რომ სატელევიზიო ტრაქტის ყველა რგოლი “სინათლიდან სინათლემდე” წრფივია. სინამდვილეში კი რეალური სატელევიზიო სისტემის ზოგიერთი რგოლი, განსაკუთრებით გარდამქმნელი “სიგნალი-სინათლე”, არაწრფივია. მაგ., კინესკოპის სამოდულაციო მახასიათებლის არაწრფივობის კოეფიციენტები $\gamma = 2,8 \div 3,5$. არაწრფივობა იწვევს გრადაციულ დამახინჯებებს და ფერის გაჯერების არაბუნებრივ სიჭარბეს. ამიტომ ძირითადი ფერების სიგნალები E_{Rg} , E_{Gg} და E_{Bg} განიცდის გამა კორექციას სატელევიზიო ტრაქტის გადამცემ მხარეს ჩართულ გამა კორექტორში (გამაკორექტირებელი სიგნალები აღინიშნება შტრიხით). შედეგად სატელევიზიო ტრაქტის γ “სინათლიდან სინათლემდე” ყენდება 1-ზე ოდნავ მეტი ($\gamma = 1,2 \div 1,3$), რაც იწვევს ორიგინალთან შედარებით ფერის გაჯერების მცირეოდენ ზრდას. ეს კი აუმჯობესებს ფერადი გამოსახულების ფსიქოლოგიურად ზუსტ აღქმას.

6.7 სიკაშკაშის სიგნალი

ფერადი სატელევიზიო მიმღების ეკრანზე ფერადი გამოსახულების მისაღებად აუცილებელია კავშირის არხით გადაიცეს ძირითადი ფერების სიგნალები E'_R , E'_G და E'_B , რომლებიც ფორმირებულია ფერად გადამცემ კამერაში სრული სპექტრით (6 მკპც თითოეული) და გავლილი აქვთ გამა კორექციის წრედი.

შავ-თეთრ სატელევიზიო სისტემასთან თავსებადობის მიზნით იგივე კავშირის არხით უნდა გადაიცეს სიგნალი E'_Y , რომელიც უზრუნველყოფს შავ-თეთრი სატელევიზიო მიმღებების ეკრანზე ფერადი გამოსახულების შავ-თეთრად აღწარმოებას. ამ სიგნალს *სიკაშკაშის სიგნალი* ეწოდება. მისი მიღება შესაძლებელია ფერად კამერაში დამატებითი “სინათლე-სიგნალი” გარდამქმნელის გამოყენებით, რომელსაც *ხილვადობის მრუდის* მსგავსი სპექტრალური მგრძობიარობის მახასიათებელი აქვს, ან E'_R , E'_G , E'_B ძირითადი ფერების სიგნალების გარკვეული პროპორციით შეკრების შედეგად. თითოეული სიგნალის წვლილი E'_Y სიგნალში განისაზღვრება თვალის სპექტრალური მგრძობიარობით მიმღების ძირითადი ფერების გამოსხივებების მიმართ და ტოლია

$$E'_Y = \alpha E'_R + \beta E'_G + \gamma E'_B$$

სადაც α , β , γ – ძირითადი ფერების რაოდენობებია, რომელთა ნარევიც უზრუნველყოფს ტოლსიგნალიანი თეთრი ფერის მიღებას.

C თეთრი ფერის მისაღებად NTSC სამკუთხედისათვის, რომელიც ჩვენთან მოქმედ სისტემაშია სტანდარტიზებული, სიკაშკაშის სიგნალი უნდა შეიცავდეს ძირითადი ფერების შემდეგ რაოდენობებს:

$$E'_Y = 0,30 E'_R + 0,59 E'_G + 0,11 E'_B .$$

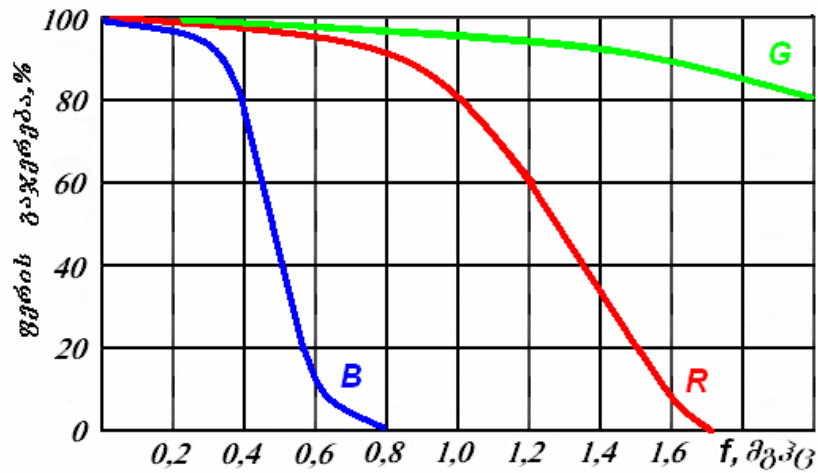
6.8 ფერთასხვაობითი სიგნალები

E'_Y სიკაშკაშის სიგნალთან ერთად საკმარისია სამი ფერდაყოფილი გამოსახულების სიგნალიდან მხოლოდ ნებისმიერი ორის გადაცემა, მაგ., E'_R და E'_B -ს. მესამე E'_G სიგნალის ფორმირება შესაძლებელია შემდეგი გამოსახულების შესაბამისად:

$$E'_G = \frac{1}{0,59} (E'_Y - 0,3 E'_R - 0,11 E'_B) .$$

გადაცემისათვის განკუთვნილი თითოეული E'_Y , E'_R და E'_B სიგნალის სპექტრის სიგანე ევროპული სტანდარტით გაშლისას 6 მკპც-ს შეადგენს. ამ შემთხვევაში E'_R და E'_B სიგნალებში აღვილი აქვს ინფორმაციის ფსიქოვიზუალურ სიჭარბეს – დამტკიცებულია, რომ ადამიანის თვალი მცირე ზომის დეტალებს (ისინი გადაიცემა

ვიდუოსიგნალის სპექტრის მაღალი სიხშირეებით) ფერში ვერ ხედავს. ეს ფაქტი ილუსტრირებულია ნახ.6.14-ზე, რომელზედაც წარმოდგენილია ფერის გაჯერების დამოკიდებულება სიგნალის სიხშირეზე. ნახატიდან გამომდინარეობს, რომ R და B



ნახ.6.14

ძირითად ფერთა გაჯერება სიხშირის ზრდისას მნიშვნელოვნად კლებულობს, G ფერი კი ინარჩუნებს მაღალ გაჯერებას ზედა სასახლვრო სიხშირემდე. წითელი ფერის გაჯერების შემცირება 10%-მდე 1,5 მგჰც სიხშირეზე ნიშნავს, რომ ოთხი პიქსელის ზომის დეტალები გადაიცემა მხოლოდ მწვანე ფერში, ხოლო იგივე მნიშვნელობამდე ლურჯის გაჯერების შემცირება 0,6 მგჰც სიხშირეზე ნიშნავს, რომ ათიდან ოთხ პიქსელამდე ზომის დეტალები გადაიცემა მხოლოდ ორ ფერში – წითელში და მწვანეში. სამივე ფერში გადაიცემა მხოლოდ დიდი ზომის (10 პიქსელზე მეტი) დეტალები.

აღნიშნული გარემოება საშუალებას იძლევა სიკაშკაშის სიგნალი E'_Y გადაიცეს სრული სპექტრით (6 მგჰც), ხოლო E'_R და E'_B სიგნალები საგრძნობლად შემცირებული სიგანის სპექტრით (1,5 მგჰც-ით E'_R -თვის და 0,5 მგჰც-ით E'_B -თვის).

სიგნალები E'_R და E'_B შეიცავენ როგორც რაოდენობრივ (სიკაშკაშე), ისე თვისებრივ (ფერადობა) ინფორმაციას ფერის შესახებ. ამავე დროს რაოდენობრივი ინფორმაცია თავმოყრილია E'_Y სიკაშკაშის სიგნალში და მისი გამეორება E'_R და E'_B სიგნალებში იწვევს ინფორმაციულ სიჭარბეს. მისი აღმოფხვრის მიზნით კავშირის არხით გადაიცემა E'_Y სიკაშკაშის სიგნალი და ორი შემდეგი სამი ფერთასხვაობითი სიგნალიდან:

$$E'_{R-Y} = E'_R - E'_Y; \quad E'_{G-Y} = E'_G - E'_Y; \quad E'_{B-Y} = E'_B - E'_Y.$$

მათი უპირატესობა E'_R , E'_G , E'_B ძირითადი ფერების სიგნალებთან მდგომარეობს შემდეგში:

1. ფერთასხვაობითი სიგნალები უტოლდება ნულს მაშინ, როდესაც გადაიცემა გამოსახულების შავი, თეთრი ან რუხი დეტალები (ამ დროს $E'_R = E'_B = E'_G = E'_Y$

და ამიტომ $E'_{R-Y} = E'_{G-Y} = E'_{B-Y} = 0$). ეს მნიშვნელოვნად ამაღლებს დაბრკოლებამდგრადობასა და თავსებადობას;

2. ფერდაყოფილი გამოსახულების სიგნალების აღდგენა სრული სპექტრით სატელევიზიო მიმღებში ხორციელდება სიკაშკაშისა და ფერთასხვაობითი სიგნალების შეკრებით:

$$E'_R = E'_{R-Y} + E'_Y ; \quad E'_G = E'_{G-Y} + E'_Y ; \quad E'_B = E'_{B-Y} + E'_Y .$$

სამი ფერთასხვაობითი სიგნალიდან (E'_{R-Y} , E'_{G-Y} და E'_{B-Y}) კავშირის არხით გადაცემა E'_{R-Y} და E'_{B-Y} ვიწროზოლოვანი სიგნალები, რომლებსაც სიგნალ/ხელშეშლის უკეთესი ფარდობა აქვთ.

მიმღებში E'_G სიგნალის მისაღებად საჭირო E'_{G-Y} სიგნალის ფორმირება ხორციელდება დეკოდერში შემდეგი ტოლობის მიხედვით:

$$E'_{G-Y} = -0,51 E'_{R-Y} - 0,19 E'_{B-Y}$$

უკანასკნელი გამოსახულება მიიღება

$$E'_Y = 0,30 E'_R + 0,59 E'_G + 0,11 E'_B \text{ -დან}$$

$$E'_Y = 0,30 E'_Y + 0,59 E'_Y + 0,11 E'_Y \text{ -ის გამოკლებით}$$

და მიღებული ტოლობის $0 = 0,30 E'_{R-Y} + 0,59 E'_{G-Y} + 0,11 E'_{B-Y} - E'_{G-Y}$ -ის მიმართ გადაწყვეტით.

6.9 თავსებადი ფერადი სატელევიზიო სისტემის განზოგადოებული სტრუქტურული სქემა

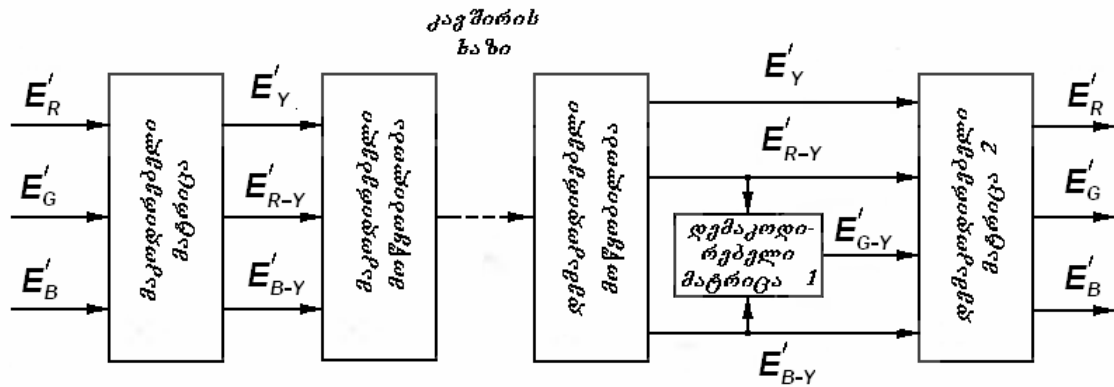
სამი ძირითადი სიგნალის გარდაქმნისა და ერთი კავშირის არხით გადაცემის განზოგადოებული სტრუქტურული სქემა ნახვენებია ნახ.6.15–ზე. იგი საერთოა სამივე თანამედროვე თავსებადი ფერადი სატელევიზიო სისტემისათვის. განსხვავება მდგომარეობს მხოლოდ ფერის შესახებ ინფორმაციის გადაცემის მეთოდებში. სამივე სისტემაში ინფორმაცია ფერის შესახებ გადაიცემა სიკაშკაშის სიგნალის სპექტრის ფარგლებში მისი შემჭიდროების გზით.

მაკოდირებელ მატრიცას მიეწოდება ძირითადი ფერების სიგნალები, რომლებმაც გაიარეს გამა და ფერთა კორექციის წრედები. მატრიცა გარდაქმნის ძირითადი ფერების სიგნალებს სიგნალებად, რომლებსაც გადაცემის პირველადი ფერების სიგნალები ეწოდება. მათი გამოსახულებები მიმღების ძირითადი ფერების სამკუთხედისათვის შემდეგია:

$$E'_Y = 0,30 E'_R + 0,59 E'_G + 0,11 E'_B ;$$

$$E'_{R-Y} = 0,70 E'_R - 0,59 E'_G - 0,11 E'_B ;$$

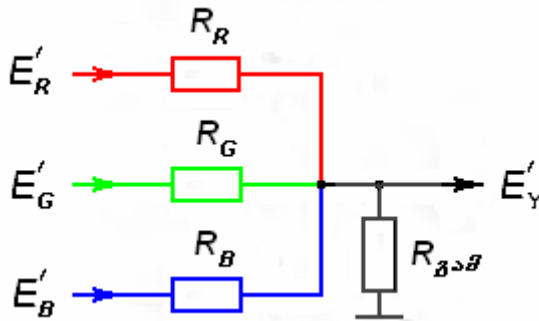
$$E'_{B-Y} = -0,30 E'_R - 0,59 E'_G + 0,89 E'_B .$$



ნახ.6.15

მაკოდირებელი მატრიცა, რომელშიაც პირველადი ფერების სიგნალები ფორმირდება, შეიცავს წრფივ რეზისტორებსა და პოლარობის ინვერტორებს. მაგალითისათვის ნახ.6.16-ზე მოყვანილია სიკაშკაშის სიგნალის მატრიცა, სადაც $R_R \gg R_{გამ}$, $R_G \gg R_{გამ}$, $R_B \gg R_{გამ}$. ამ შემთხვევაში სიგნალების ურთიერთგავლენა

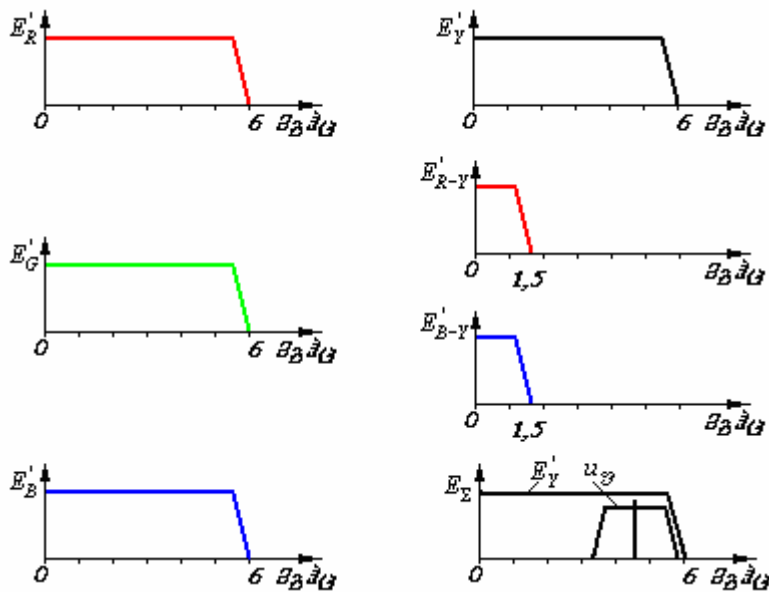
გამორიცხულია. $\frac{R_{გამ}}{R_R} = 0,30$, $\frac{R_{გამ}}{R_G} = 0,59$, $\frac{R_{გამ}}{R_B} = 0,11$.



ნახ.6.16

პირველადი ფერების სიგნალები მატრიცის გამოსავალიდან მიეწოდება მაკოდირებელ მოწყობილობას, რომელშიც ფორმირდება სრული ფერადი სატელევიზიო სიგნალი E_Σ . მისი სპექტრის სიგანე არ განსხვავდება სიკაშკაშის სიგნალის სპექტრის სიგანისაგან. სრული ფერადი სატელევიზიო სიგნალი E_Σ შეიცავს E'_Y სიკაშკაშის სიგნალს სრული სპექტრით და ორ ვიწროხოლოვან ფერთასხვაობით E'_{R-Y} და E'_{B-Y} სიგნალს, რომლებიც მოთავსებულია E'_Y სიგნალის სპექტრის მაღალსიხშირულ უბანში ერთ ან ორ ქვეგადამტან სიხშირეზე მისი (მათი) გარკვეული წესით მოდულაციის შედეგად

$(E_{\Sigma} = E'_Y + u_{\sigma})$. მოდულირებულ ქვევადამტან სიხშირეს ეწოდება *ფერადობის სიგნალი* u_{σ} . სიგნალების სპექტრის ზოგადი სახე ნაჩვენებია ნახ.6.17-ზე.



ნახ.6.17

კავშირის არხიდან მიმღებში მოხვედრის შემდეგ სრული ფერადი სატელევიზიო სიგნალი მიეწოდება დემაკოდირებელ მოწყობილობას, სადაც იგი კვლავ გარდაიქმნება გადაცემის პირველადი ფერების E'_Y , E'_{R-Y} და E'_{B-Y} სიგნალებად. მესამე ფერთასხვაობით სიგნალი E'_{G-Y} ფორმირდება დემაკოდირებელ მატრიცა 1-ში შემდეგი ტოლობის შესაბამისად: $E'_{G-Y} = -0,51E'_{R-Y} - 0,19E'_{B-Y}$. დემაკოდირებელ მატრიცა 2-ში ფერთასხვაობით სიგნალებს ემატება სიკაშკაშის სიგნალი:

$$E'_R = E'_{R-Y} + E'_Y = E'_R - E'_Y + E'_Y ;$$

$$E'_G = E'_{G-Y} + E'_Y = E'_G - E'_Y + E'_Y ;$$

$$E'_B = E'_{B-Y} + E'_Y = E'_B - E'_Y + E'_Y .$$

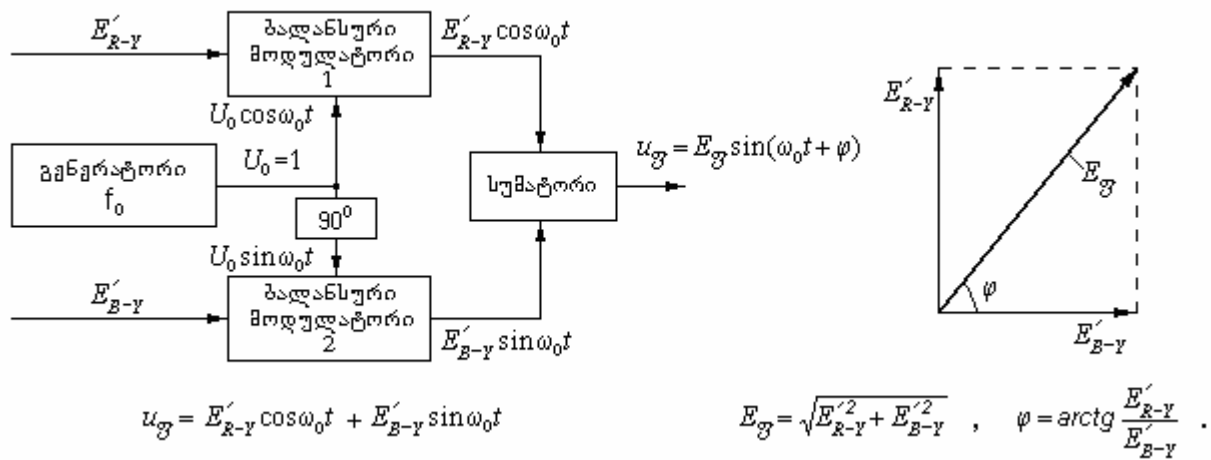
მატრიცა 2-ის გამოსავალზე E'_R , E'_G და E'_B სიგნალები ფართოზოლოვანია, რადგანაც ვიწროზოლოვან ფერთასხვაობით სიგნალებს ემატება ფართოზოლოვანი სიკაშკაშის სიგნალის მაღალსიხშირული მდგენელები (ფერთასხვაობითი სიგნალის შემადგენლობაში შემავალი $-E'_Y$ სიგნალი ვიწროზოლოვანია და აკომპენსირებს $+E'_Y$ სიგნალს მხოლოდ დაბალსიხშირულ ვიწრო უბანში). ფერდაყოფილი გამოსახულების სიგნალები E'_R , E'_G და E'_B დემაკოდირებელი მატრიცა 2-ის გამოსავალიდან მიეწოდება “სიგნალი-სინათლე” გარდამქმნელებს, სადაც ხდება მიღებული ფერადი გამოსახულების აღწარმოება.

თავი VII ფერადი ტელეხედვის თავსებადი სამაუწყებლო სისტემები

7.1 ფერადი ტელეხედვის სისტემა NTSC

NTSC სისტემაში გადაცემის სიგნალებს წარმოადგენენ სიკაშკაშისა და ორი ფერთასხვაობითი სიგნალები.

ფერთასხვაობითი სიგნალები გადაიცემა სიკაშკაშის სიგნალის სპექტრის ფარგლებში ერთ ქვეგადამტან სიხშირეზე. ამისათვის გამოყენებულია კვადრატურული ამპლიტუდური მოდულაციის მეთოდი (ნახ.7.1).



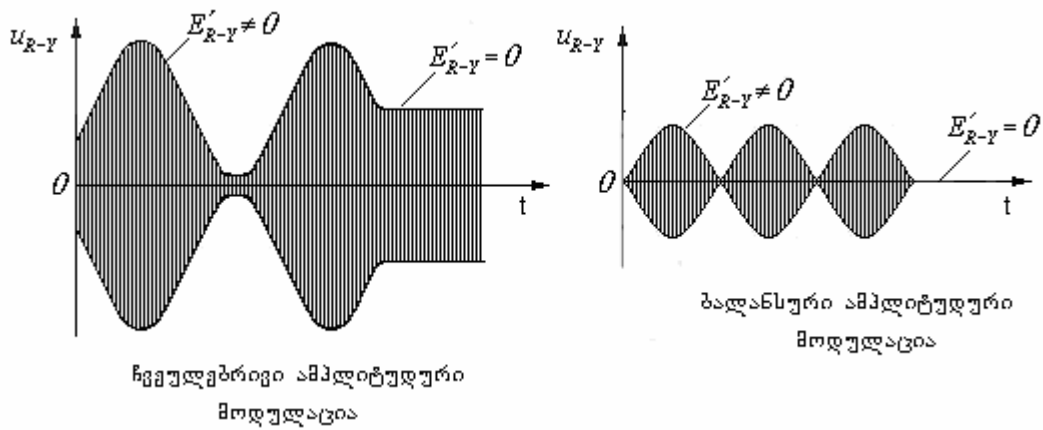
ნახ.7.1

ორი ბალანსური მოდულატორის თითო შესავალს ეწოდება მამოდულირებელი ფერთასხვაობითი სიგნალები E'_{R-Y} და E'_{B-Y} . მოდულატორების მეორე შესავალს მიეწოდება ქვეგადამტანი u_0 – ერთი და იგივე სიხშირის, მაგრამ ფაზით 90° -ით დაძრული რხევები, ანუ $U_0 \cos \omega_0 t$ და $U_0 \sin \omega_0 t$.

ამრიგად, ფერადობის სიგნალი $u_{ფ}$ შეიძლება განვიხილოთ როგორც ერთი ქვეგადამტანი სიხშირე ამპლიტუდურ-ფაზური მოდულაციით ან როგორც ორი დამოუკიდებელი კვადრატურული მდგენელი. ორივე მიდგომა ტოლფასეა.

NTSC სისტემაში გამოყენებულია არა ჩვეულებრივი ამპლიტუდური მოდულატორები, არამედ ბალანსური, რომელიც ახშობს მოდულირებული სიგნალის სპექტრში ქვეგადამტან სიხშირეს და ტოვებს მხოლოდ გვერდით მდგენელებს.

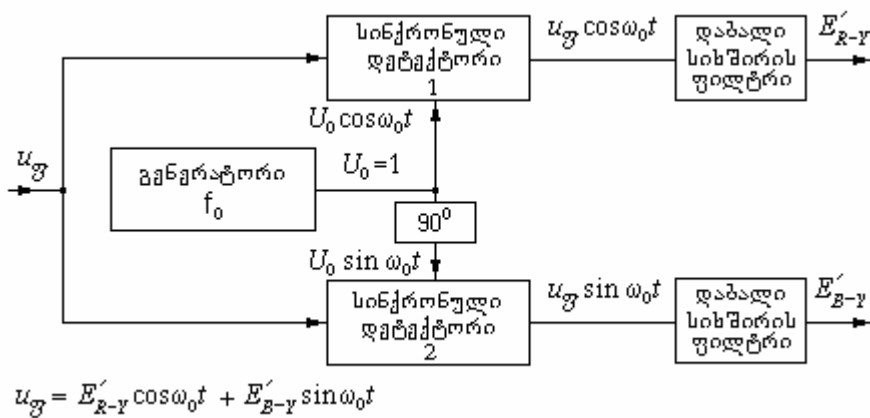
ბალანსურ მოდულაციას გააჩნია გარკვეული უპირატესობა ჩვეულებრივ ამპლიტუდურ მოდულაციასთან შედარებით. მამოდულირებელი ფერთასხვაობითი სიგნალების ნულამდე შემცირებისას ბალანსური მოდულატორის გამოსავალი სიგნალი ნულს უტოლდება, რაც ხელს უწყობს თავსებადობას (ნახ.7.2).



ნახ.7.2

ვინაიდან E'_{R-Y} და E'_{B-Y} სიგნალები დებულობენ როგორც დადებით, ისე უარყოფით მნიშვნელობებს, E_{Σ} ფერადობის სიგნალის ვექტორი შეიძლება განლაგდეს ვექტორული დიაგრამის ოთხივე კვადრანტში.

მიმღებში u_{Σ} ფერადობის სიგნალიდან უნდა გამოიყოს მისი კვადრატურული მდგენელები რათა შემდეგ მიღებულ იქნას საწყისი ფერთასხვაობითი სიგნალები E'_{R-Y} და E'_{B-Y} . ეს ამოცანა ხორციელდება სინქრონული დეტექტორების მეშვეობით (ნახ.7.3).



ნახ.7.3

სინქრონული დეტექტორებისას ორი შემავალი სიგნალი ერთიმეორეზე მრავლდება. თუ ერთი მათგანი ფერადობის სიგნალია u_{Σ} , ხოლო მეორე – საყრდენი სიხშირის ძაბვა $U_0 \sin \omega_0 t$, რომელიც წარმოადგენს ქვეკვადამტანს ნულოვანი საწყისი ფაზით, გამოსავალზე გვექნება:

$$u_{გაშ} = u_{\Sigma} U_0 \sin \omega_0 t .$$

$$u_{გაშ} = E_{\Sigma} \sin(\omega_0 t + \varphi) U_0 \sin \omega_0 t .$$

ტრიგონომეტრიიდან ვიცით, რომ

$$\sin \alpha \cdot \sin \beta = \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta) - \frac{1}{2} \cos(\alpha + \beta).$$

ამის გათვალისწინებით და თუ $U_0 = 1$, მივიღებთ

$$u_{გაგ} = \frac{1}{2} E_{ფ} \cos(\omega_0 t + \varphi - \omega_0 t) - \frac{1}{2} E_{ფ} \cos(\omega_0 t + \varphi + \omega_0 t),$$

$$u_{გაგ} = \frac{1}{2} E_{ფ} \cos \varphi - \frac{1}{2} E_{ფ} \cos(2\omega_0 t + \varphi).$$

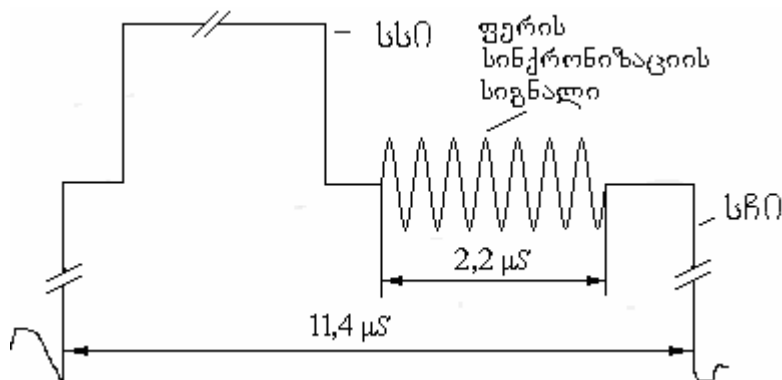
გავატაროთ მიღებული სიგნალი დაბალი სიხშირის ფილტრში, რომელიც გამორიცხავს მასში ორმაგი სიხშირის მდგენელს. მივიღებთ

$$u_{გაგ} = k E_{ფ} \cos \varphi = k E'_{B-Y}.$$

ანალოგიურად, თუ საყრდენი ძაბვა იქნება $U_0 \cos \omega_0 t$, მივიღებთ

$$u_{გაგ} = k E_{ფ} \sin \varphi = k E'_{R-Y}.$$

ამრიგად, ფერადობის სიგნალიდან $u_{ფ} = E_{ფ} \sin(\omega_0 t + \varphi)$ კვადრატურული მდგენელების E'_{R-Y} და E'_{B-Y} გამოყოფის მოწყობილობა უნდა შეიცავდეს ორ სინქრონულ დეტექტორს და საყრდენი ქვეგადამტანი სიხშირის გენერატორს, რომელიც გამოიმუშავებს ზუსტად ისეთივე სიხშირისა და ფაზის რხევას, როგორც ქვეგადამტანის გენერატორი გადამცემ მხარეს. მაგრამ ვინაიდან NTSC-ში გამოიყენება ბალანსური მოდულაცია, ქვეგადამტანი სიხშირე იხშობა, ხოლო მოდულაციის პროდუქტები – გვერდითი სიხშირეები – დამოკიდებულია გადაცემულ ფერზე და ამიტომ მათ გააჩნიათ ფაზური ძვრები არამოდულირებული ქვეგადამტანი სიხშირის მიმართ. აქედან გამომდინარე მიმღებში არ არსებობს ინფორმაცია არამოდულირებული ქვეგადამტანის სიხშირისა და ფაზის შესახებ. ამიტომ იმისათვის, რომ საყრდენი სიხშირის გენერატორი მიმღებში მუშაობდეს ტელეცენტრში გამოიმუშავებული ქვეგადამტანის სიხშირითა და ფაზით, მას ასინქრონიზირებენ სპეციალური სიგნალით. მას ფერითი სინქრონიზაციის სიგნალი ეწოდება. იგი გადაიცემა სტრიქონის უკუსვლის ინტერვალში სტრიქონული სინქრონიზაციის შემდეგ სტრიქონული ჩამქრობი იმპულსის უკანა ბაქანზე და წარმოადგენს $8 \div 10$ პერიოდისგან შემდგარი ქვეგადამტანის რხევების პაკეტს. მისი სიხშირე $f_{სსი}$ -ის ტოლია, ხოლო ფაზა 180° უდრის (ნახ.7.4).



ნახ.7.4

განვსაზღვროთ ძირითადი და დამატებითი ფერების შესაბამისი ფერადობის სიგნალის ამსახველი ვექტორის ადგილმდებარეობა კვადრატურულად მოდულირებული რხევების ვექტორულ დიაგრამაზე შემდეგი ცნობილი გამოსახულებებით:

$$E'_Y = 0,30 E'_R + 0,59 E'_G + 0,11 E'_B ;$$

$$E'_{R-Y} = 0,70E'_R - 0,59 E'_G - 0,11 E'_B ;$$

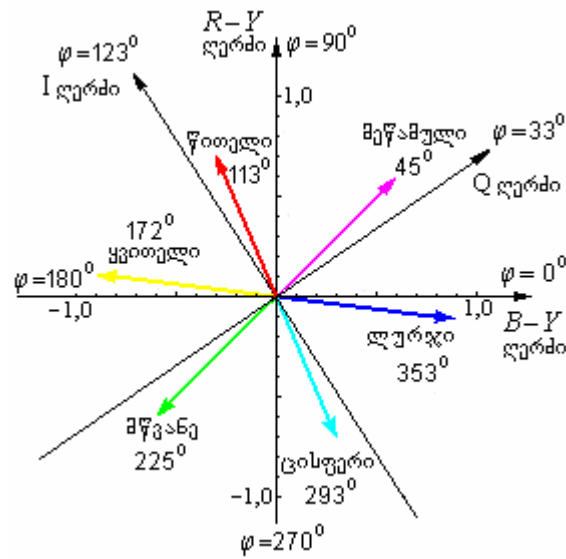
$$E'_{B-Y} = -0,30E'_R - 0,59 E'_G + 0,89 E'_B ;$$

$$E'_{G-Y} = -0,30 E'_R + 0,41 E'_G - 0,11 E'_B ;$$

$$E_{\Sigma} = \sqrt{E'_{R-Y}{}^2 + E'_{B-Y}{}^2} ; \quad \varphi = \arctg \frac{E'_{R-Y}}{E'_{B-Y}} .$$

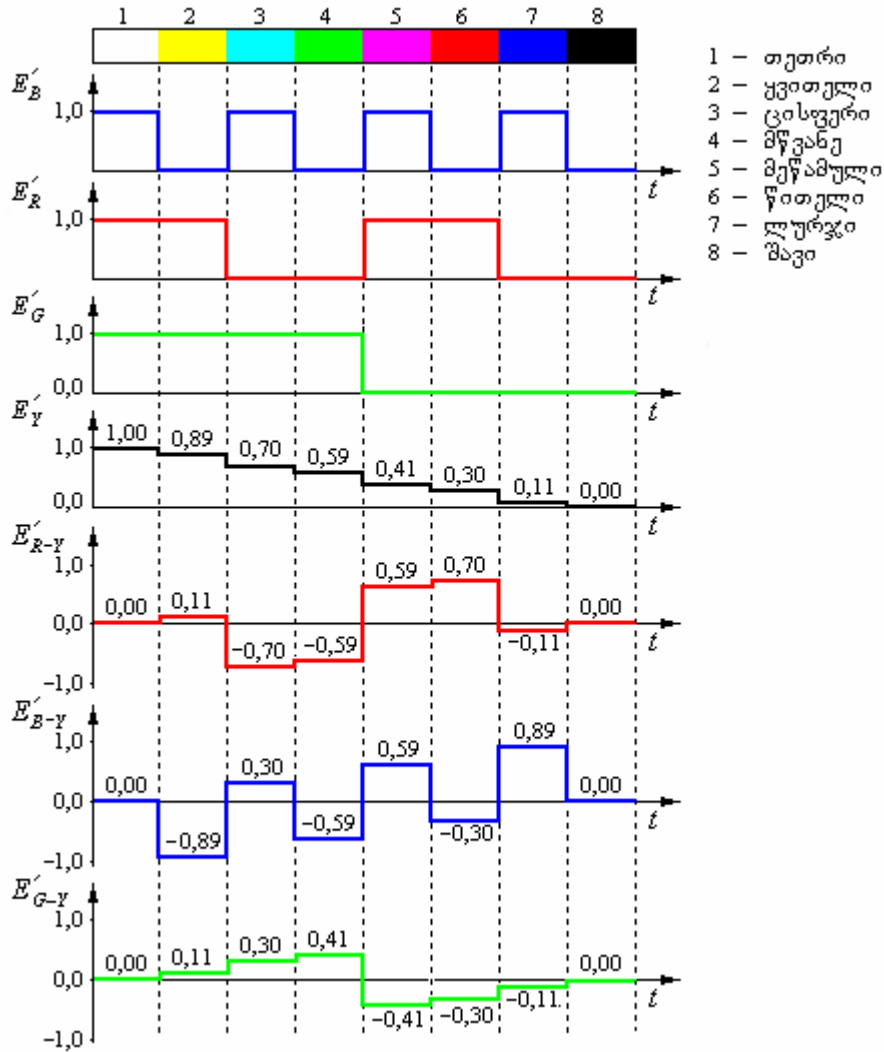
გათვლის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში და ვექტორულ დიაგრამაზე (ნახ.7.5), ხოლო ნახ.7.6-ზე ნაჩვენებია შესაბამისი დროითი დიაგრამები. ფერების მიმდევრობა ნახატზე და ცხრილში შეესაბამება ფერადი ზოლების სტანდარტულ საცდელ გამოსახულებას. ფერების ასეთი მიმდევრობა შავ-თეთრი სატელევიზიო მიმღებების ეკრანზე გრადაციული სოლის გამოსახულებას გვაძლევს.

ფერი	E'_R	E'_G	E'_B	E'_Y	E'_{R-Y}	E'_{B-Y}	E'_{G-Y}	E_{Σ}	φ°
თეთრი	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	—
ყვითელი	1,00	1,00	0,00	0,89	0,11	-0,89	0,11	0,90	172
ცისფერი	0,00	1,00	1,00	0,70	0,70	0,30	0,30	0,76	293
მწვანე	0,00	1,00	0,00	0,59	-0,59	-0,59	0,41	0,84	225
მეწამული	1,00	0,00	1,00	0,41	0,59	0,59	-0,41	0,84	45
წითელი	1,00	0,00	0,00	0,30	0,70	-0,30	-0,30	0,76	113
ლურჯი	0,00	0,00	1,00	0,11	-0,11	0,89	-0,11	0,90	353
შავი	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	—



ნახ.7.5

დიაგრამიდან ჩანს, რომ ყოველ ფერს შეესაბამება სავსებით განსაზღვრული მიმართულება. დამატებითი ფერების ფერადობის ვექტორები ერთ წრფეზე მდებარეობენ და ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულება აქვთ. ნებისმიერი ვექტორის კუთხური მდებარეობა φ განსაზღვრავს ფერადობის ტონს, ხოლო სიგრძე – ფერის გაჯერებას: რაც გრძელია ვექტორი, მით მეტია ფერის გაჯერება. შავ–თეთრ ფერებს შეესაბამება კოორდინატის სათავე ანუ ფერადობის სიგნალის ნულოვანი მნიშვნელობა. ცხადია, რომ გადაცემის პროცესში ფერადობის სიგნალის ამპლიტუდის დამახინჯება გამოიწვევს ფერის გაჯერების დამახინჯებას, ხოლო შეცდომა მიღებული სიგნალის ფაზაში გამოიწვევს ფერადობის ტონის შეცვლას.



ნახ.7.6

როგორც აღვნიშნეთ, საშუალო ზომის დეტალების ფერის დამახინჯების გარეშე გადაცემისათვის ფერთასხვაობითი სიგნალების სიხშირეთა სპექტრი უნდა შეადგენდეს $1,3 \div 1,5$ მგჰც–ს. ეს ადვილი განსახორციელებელია NTSC–ის ევროპულ ვარიანტში, სადაც ვიდუოსიგნალის სიხშირული სპექტრი საკმაოდ განიერია (6 მგჰც). NTSC–ის ამერიკულ

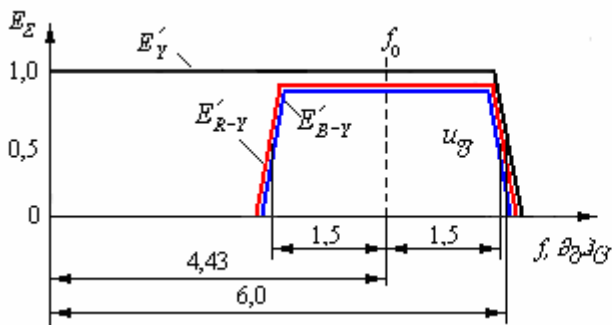
ვარიანტში E'_{R-Y} და E'_{B-Y} სიგნალების ნაცვლად გადაიცემა მათი წრფივი კომბინაციები E'_I და E'_Q :

$$E'_I = 0,74 E'_{R-Y} - 0,27 E'_{B-Y};$$

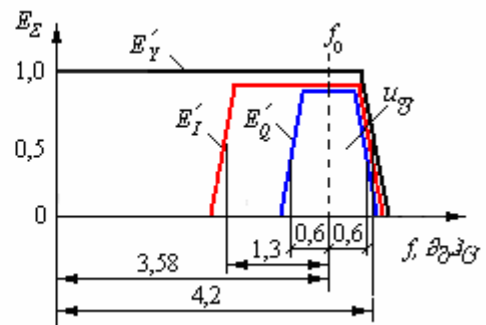
$$E'_Q = 0,48 E'_{R-Y} - 0,41 E'_{B-Y}.$$

E'_I და E'_Q ფერთასხვაობით სიგნალებს აქვთ იგივე თვისებები, რაც E'_{R-Y} და E'_{B-Y} სიგნალებს. მათი მნიშვნელობა ნულს უტოლდება ყოველთვის, როდესაც გადაიცემა გამოსახულების შავ-თეთრი ელემენტები. I და Q დერძები $R-Y$ და $B-Y$ დერძების მიმართ მობრუნებულია 33 გრადუსით საათის ისრის მოძრაობის საპირისპირო მიმართულებით (ნახ.7.5).

რით არის გამოწვეული ფერის შესახებ ინფორმაციის გადასაცემად E'_I და E'_Q სიგნალების გამოყენება? საქმე იმაშია, რომ ამ სიგნალებს, E'_{R-Y} და E'_{B-Y} სიგნალებისაგან განსხვავებით, სხვადასხვა სიგანის სიხშირული სპექტრი აქვთ. I ვექტორი შეესაბამება ნარინჯისფერ-წითელი და ცისფერ-მწვანე ფერების არეს, რომელშიც თვალი ფერში აღიქვამს გამოსახულების საშუალო ზომის დეტალებს. დანარჩენი ფერები, მათ შორის ის ფერები, რომლებიც Q ვექტორის ადგილმდებარეობას შეესაბამება, თვალის მიერ გაირჩევა მხოლოდ გამოსახულების დიდი ზომის დეტალებზე. აღნიშნულის საფუძველზე E'_Q სიგნალის სპექტრს ზღუდავენ 0,5 მგჰც-მდე, ხოლო E'_I - სას 1,5 მგჰც-მდე. ნახ.7.7-ზე წარმოდგენილია სრული სატელევიზიო სიგნალის სპექტრი NTSC სისტემის ევროპული, ხოლო ნახ.7.8-ზე - ამერიკული ვარიანტისათვის.



ნახ.7.7

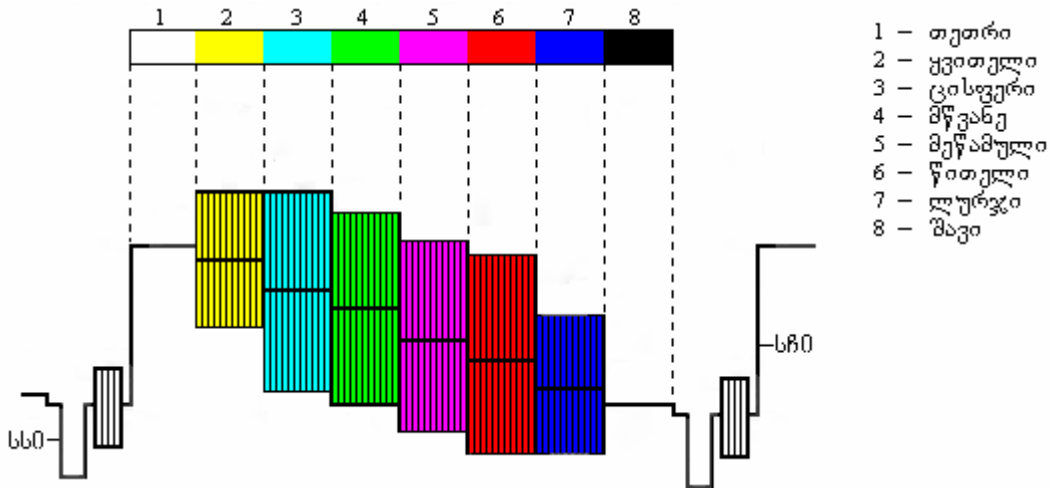


ნახ.7.8

როგორც ვიცით, ევროპული სტანდარტით კადრში 625 სტრიქონია, წამში გადაიცემა 25 კადრი და შედეგად ვიდეოსიგნალის სპექტრის სიგანე ≈ 6 მგჰც-ია. ქვევადამტანი მოდულირებულია 1,5 მგჰც სიგანის სპექტრის მქონე E'_{R-Y} და E'_{B-Y} ფერთასხვაობითი სიგნალებით. ფერადობის სიგნალის სპექტრი $\pm 1,5$ მეგაჰერცია ქვევადამტანი ($f_0=4,43$ მგჰც) სიხშირიდან აქეთ-იქით. ამერიკულ ვარიანტში სიკაშკაშის სიგნალის სპექტრის სიგანე შეადგენს სულ 4,2 მგჰც-ს (სტრიქონების რაოდენობა 525, კადრების სიხშირე 30 ჰც). ამის გამო აუცილებელი ხდება ფერადობის სიგნალის ზედა გვერდითი ზოლის ნაწილობრივი

ჩახშობა, რაც იწვევს ფერთასხვაობითი სიგნალების ჯვარედინ დამახინჯებას. დამტკიცებულია, რომ აღნიშნული დამახინჯება მინიმალურია, თუ E'_0 ფერთასხვაობითი სიგნალი გადაიცემა სრული სპექტრით, ხოლო E'_1 –ს სპექტრის ზედა გვერდითი ზოლი ნაწილობრივ ჩახშულია (ნახ.7.8).

მომდევნო ნახატზე ნაჩვენებია NTSC სისტემის სრული ფერადი სატელევიზიო სიგნალის ფორმა გაშლის ერთი სტრიქონისათვის პოზიტიურ პოლარობაში.



ნახ.7.9

ფერადობის სიგნალის ქვეგადამტანი სიხშირის შერჩევა NTSC სისტემაში

ქვეგადამტანის შერჩევისას გათვალისწინებული იყო შემდეგი გარემოებები:

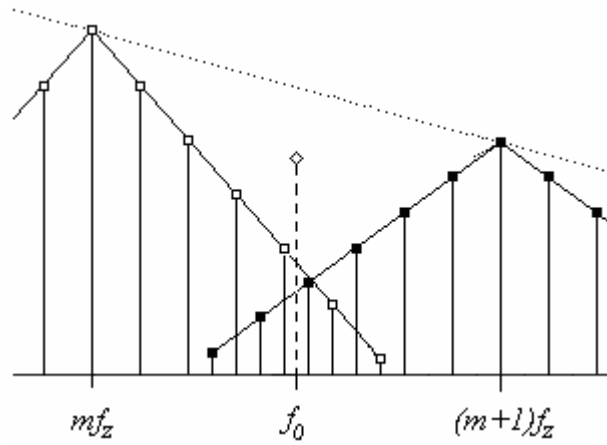
- თავსებადობის პრინციპის უზრუნველსაყოფად ფერადობის სიგნალის გადაცემა ხორციელდება სიკაშკაშის სიგნალის სპექტრის ფარგლებში (ნახ.7.7, ნახ.7.8). ქვეგადამტანი სიხშირე უნდა იყოს რაც შეიძლება მაღალი, რადგანაც მისგან გამოწვეული დაბრკოლებების გამოსახულება ეკრანზე ამ შემთხვევაში მცირე ზომისაა და ამდენად ნაკლებად შესამჩნევი.

- იმისათვის, რომ მოხერხდეს ფერადობის სიგნალის სპექტრის ზედა გვერდითი ზოლის სრულად გადაცემა, f_0 უნდა იყოს სიკაშკაშის სიგნალის სპექტრის მაქსიმალურ სიხშირეზე სულ ცოტა 0,6 მგჰც-ით ნაკლები.

- შავ-თეთრი სატელევიზიო მიმღებების ეკრანზე ფერადობის სიგნალი, რომელიც ამ შემთხვევაში დაბრკოლებას წარმოადგენს, მაყურებლისთვის შესამჩნევი არ უნდა იყოს. ამისათვის კი აუცილებელია სიკაშკაშისა და ფერადობის სიგნალების სიხშირული სპექტრების გადახლართვა, რაც სავსებით შესაძლებელია, რადგანაც აღნიშნული სიგნალების სპექტრები კვაზიპერიოდულია, მათ სავარცხლისებრი ფორმა აქვთ და სპექტრალურ მდგენელებს შორის არსებობს “თავისუფალი”, გამოუყენებელი სიხშირეები. სიკაშკაშისა და ფერადობის სიგნალების სიხშირული სპექტრების

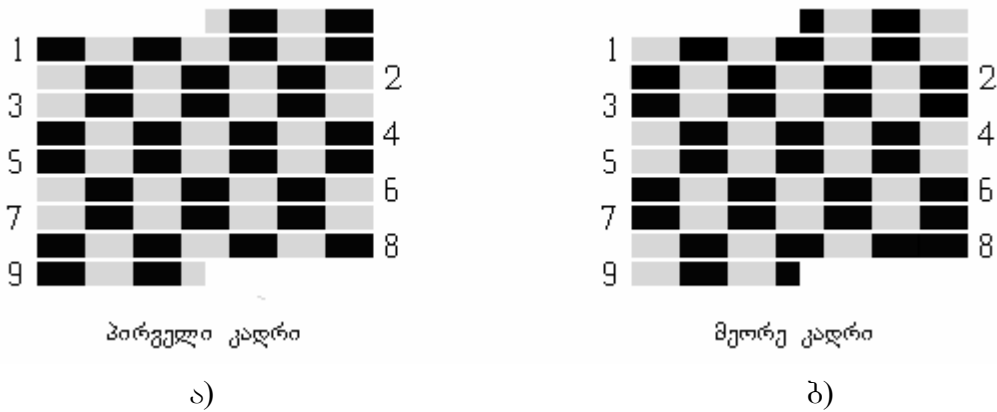
გადასახლართად ფერადობის სიგნალის ქვეგადამტანი უნდა შეირჩეს ნახევარსტრიქონული სიხშირის კენტი ჯერადი (ნახ.7.10):

$$f_0 = (2m + 1) \frac{f_z}{2}, \text{ სადაც } m - \text{ მთელი რიცხვია.}$$



ნახ.7.10

ამ შემთხვევაში სტრიქონის გაშლის ყოველ პერიოდში განთავსდება ქვეგადამტანის ნახევარპერიოდების კენტი რაოდენობა და მის მიერ გამოწვეული დაბრკოლების გამოსახულება პირველ კადრში მიიღებს ნახ.7.11ა)–ზე, ხოლო მეორე კადრში ნახ.7.11ბ)–ზე წარმოდგენილ სახეს (როგორც ვიცით, სტრიქონგამოტოვებით კადრში სტრიქონების კენტი რიცხვია). თვალსაჩინოებისთვის სტრიქონში აღებულია ქვეგადამტანის შვიდი ნახევარპერიოდი. მესამე კადრში სურათი პირველი კადრის მსგავსი იქნება და ა.შ.



ნახ.7.11

ვინაიდან დაბრკოლების გამოსახულების თეთრი და შავი უბნები კადრიდან კადრში ერთმანეთს ცვლის, ადამიანის თვალში ხდება ქვეგადამტანის გამოსახულების ავტოკომპენსაცია, თუმცა არასრული – კრიტიკულზე დაბალი ციმციმის სიხშირის გამო. გარდა ამისა, თვალის შესაბამისი “აწყოების” (გაყოფების) შემთხვევაში შესამჩნევი ხდება ქვეგადამტანის გამოსახულების “ცურვა” დიაგონალების გასწვრივ ზევიდან ქვევით და ვერტიკალური მიმართულებით ქვევიდან ზევით.

• ფერადობის სიგნალის ქვეგადამტანსა და ბგერითი თანხლების მეორე შუალედურ სიხშირეს შორის ცემა იწვევს განხილულის მსგავს დაბრკოლებას. მისი ადამიანის თვალში ანალოგიური ავტოკომპენსაციისათვის აუცილებელია შესრულდეს შემდეგი პირობა:

$$\frac{f_{\text{ბგ.გად.}} - f_{\text{გაგად.}}}{f_z} = k$$

სადაც $f_{\text{ბგ.გად.}}$ – ბგერითი თანხლების გადამტანი სიხშირე;

$f_{\text{გაგად.}}$ – გამოსახულების გადამტანი სიხშირე;

f_z – სტრიქონების სიხშირე;

k – მთელი რიცხვი.

ამერიკულ შაგ-თეთრ სტანდარტში, ევროპულისაგან განსხვავებით, მოყვანილი პირობა არ სრულდება. ამის მიზეზია ის, რომ ხსენებული სტანდარტით $f_{\text{ბგ.გად.}} - f_{\text{გაგად.}} = 4,5$ მგჰც, ხოლო $f_z = 15750$ ჰც, მათი ფარდობა კი არამთელი რიცხვია – 285,71428. პირობის შესაბამისად საჭირო გახდა k -ს დამრგვალება უახლოეს მთელ რიცხვამდე – 286-მდე, რამაც გამოიწვია გაშლის სიხშირეების 0,1%-ით შეცვლა: $f_z = 15734,26573$ ჰც, $f_{2m} = 59,940059$ ჰც (60 ჰც-ის ნაცვლად). ასეთმა უმნიშვნელო, მაგრამ პრინციპიალურმა ცვლილებამ არ იქონია გავლენა შაგ-თეთრი სატელევიზიო მიმღებების გაშლის გენერატორების სინქრონიზაციაზე, ვინაიდან ახალი სიხშირეები იმყოფება მათ მიერ სინქრონიზირებული გაშლის გენერატორების სიხშირის წატაცების ზოლში.

• ქვეგადამტანის შერჩევას გათვალისწინებული იყო მისი და გაშლის სიხშირეებს შორის მოყვანილი მყარი კავშირის ტექნიკური რეალიზაციის მარტივი შესაძლებლობა. ამისათვის $(2m+1)$ რიცხვი უნდა ყოფილიყო შეძლებისდაგვარად მცირე სიდიდეების ნამრავლის ტოლი. ეს უზრუნველყოფს სინქროგენერატორში გაშლის სიხშირეების მიღებას ქვეგადამტანი სიხშირის მდგრადი გაყოფის შედეგად. ოპტიმალურ რიცხვად შეირჩა $2m+1 = 455 = 19 \times 7 \times 5$ და დადგინდა ქვეგადამტანის ზუსტი მნიშვნელობა $f_0 = 455 \frac{f_z}{2} = 3,579545$ მგჰც ± 10 ჰც.

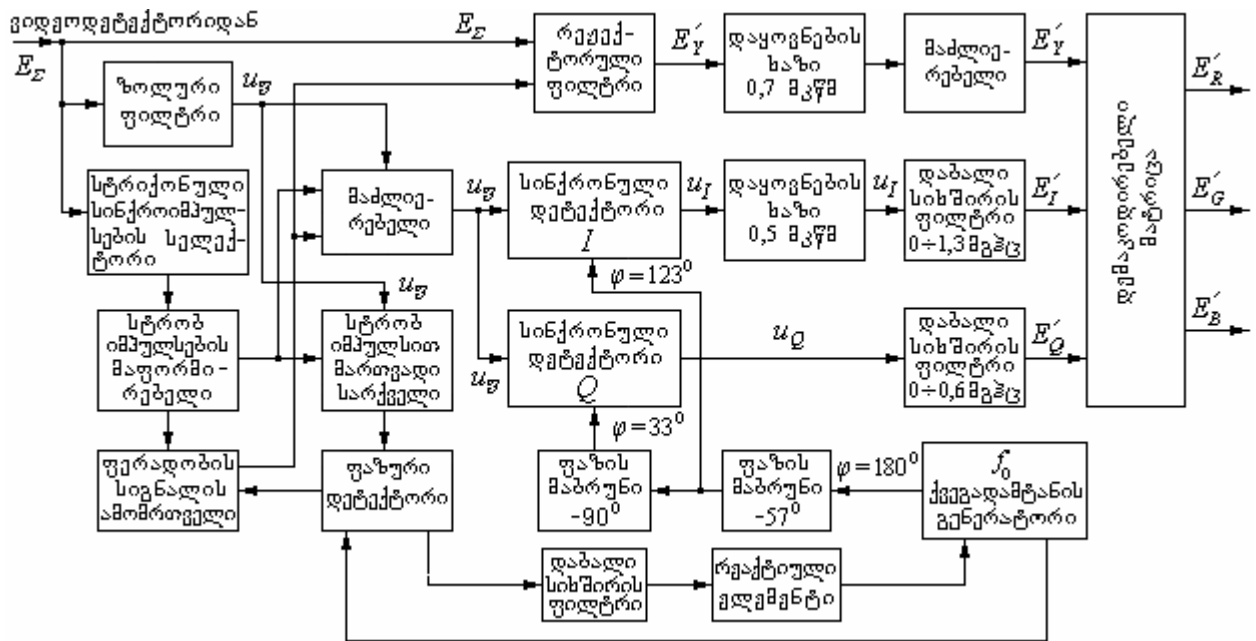
სისტემა NTSC-ის მაკოდირებელი მოწყობილობა

განვიხილოთ NTSC სისტემის მაკოდირებელი მოწყობილობის გამარტივებული ბლოკ-სქემა (ნახ.7.12).

ფართოხოლოვანი (0÷4,2)მგჰც ფერდაყოფილი გამოსახულების გამაკორექტირებული სიგნალები E'_R , E'_G და E'_B გადამცემაში კამერიდან მიეწოდება მაკოდირებელ მატრიცას. მასში ფორმირდება სიკაშკაშის სიგნალი E'_Y და ორი ფერთასხვაობითი სიგნალი E'_I და E'_Q . დაბალი სიხშირის ფილტრებში E'_I და E'_Q სიგნალების სპექტრი იზღუდება შესაბამისად 1,3 და 0,6 მეგაჰერცამდე. ცნობილია, რომ სიგნალის ელექტრულ წრედში გავლის დრო დამოკიდებულია წრედის გატარების ზოლზე. NTSC-ის სრული

სისტემა NTSC-ის დეკოდერის ბლოკ-სქემა

სისტემა NTSC-ის დეკოდერის ბლოკ-სქემა ნაჩვენებია ნახ.7.13-ზე. სრული ფერადი სატელევიზიო სიგნალი E_E , რომელიც შეიცავს სიკაშკაშის, ფერადობის, სატელევიზიო მიმღებების გაშლის გენერატორების სინქრონიზაციის და ფერის სინქრონიზაციის სიგნალებს, სატელევიზიო მიმღების ვიდეოდეტექტორიდან მიეწოდება სიკაშკაშის სიგნალის მაძლიერებელს, ფერადობის სიგნალის ზოლურ ფილტრს და სტრიქონული სინქრონიზაციის სელექტორს. E_E სიგნალის სპექტრში განლაგებული



ნახ.7.13

ფერადობის სიგნალი ამოიკვეთება რეექტორული ფილტრის მეშვეობით. მიღებული E'_Y სიკაშკაშის სიგნალი 0,7მკწმ-ით დაყოვნებისა და გაძლიერების შემდეგ მიეწოდება დემალტირებელ მატრიცას.

ზოლური ფილტრი სრული სატელევიზიო სიგნალიდან გამოყოფს ფერადობისა და ფერის სინქრონიზაციის სიგნალებს. ფერადობის სიგნალი მაძლიერებლის გავლით მიეწოდება I და Q სინქრონიზაციულ დეტექტორებს. მათ აგრეთვე მიეწოდება ქვეგადამტანის სიხშირის საყრდენი ძაბვები 90 გრადუსიანი ფაზათა ძვრით. ქვეგადამტანის სიხშირის საწყისი ფაზა შეადგენს 180° -ს. (ფაზა აითვლება B-Y დერძიდან, სადაც $\varphi=0^{\circ}$, საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგ მიმართულებით). ფაზის მბრუნვები უზრუნველყოფენ სინქრონიზაციულ დეტექტორების I და Q შესასვლელებზე ქვეგადამტანის საჭირო ფაზას: 123° -ს და 33° -ს შესაბამისად. სიხშირისა და ფაზის საჭირო სიზუსტეს უზრუნველყოფს ფაზის დეტექტორი და მის მიერ მართვადი რეაქტიული ელემენტი, რომელიც საჭირო მიმართულებით ცვლის ქვეგადამტანის ფაზასა და სიხშირეს და ინარჩუნებს მას ± 10 ჰერცის სიზუსტით.

I და Q სინქრონულ დეტექტორებში დეტექტირების შემდეგ სიგნალები გადის შესაბამის დაბალი სიხშირის ფილტრებში, რომელთა გამოსასვლელზე მიიღება E'_I და E'_Q ფერთასხვაობითი სიგნალები. ეს სიგნალები შემდეგ მიეწოდება დემაკოდირებელ მატრიცას, რომლის გამოსავალზე ქვემოთ მოყვანილი ალგებრული გამოსახულებების შესაბამისად ფორმირდება E'_R , E'_G და E'_B ფერდაყოფილი გამოსახულების სიგნალები :

$$\begin{aligned} E'_R &= 0,956 E'_I + 0,621 E'_Q + E'_Y; \\ E'_G &= - 0,272 E'_I - 0,649 E'_Q + E'_Y; \\ E'_B &= - 1,105 E'_I + 1,702 E'_Q + E'_Y . \end{aligned}$$

ფერის სინქრონიზაციის სიგნალი გამოეყოფა ფერადობის სიგნალს სტრობ იმპულსებით მართვად სარქველში, რომელიც ატარებს ფერის სინქრონიზაციის პაკეტებს (ქვეგადამტანი სიხშირის $8 \div 10$ პერიოდი) მათი მოქმედების მომენტებში. თავის მხრივ სტრობ იმპულსების მაფორმირებელი სინქრონიზირდება სტრიქონული სინქრონიზაციით, რომელიც გამოიყოფა სრული სატელევიზიო სიგნალიდან სელექტორის მიერ.

ფერის სინქრონიზაციის პაკეტები განკუთვნილია ქვეგადამტანი სიხშირის გენერატორის სინქრონიზაციისათვის, რომელიც ხორციელდება ფაზური დეტექტორის მეშვეობით. იგი ადარებს გენერატორისა და სინქრონიზაციისთვის განკუთვნილი რხევების სიხშირებსა და ფაზებს და შედეგად გამოიმუშავებს საჭირო ნიშნისა და სიდიდის ძაბვას, რომელიც დაბალი სიხშირის ფილტრის გავლით მიეწოდება რეაქტიულ ელემენტს. ეს უკანასკნელი კი უზრუნველყოფს გენერატორის მიერ გამოიმუშავებული რხევების სიხშირის ზუსტ მნიშვნელობას. გენერატორის მიერ გამოიმუშავებული რხევების ფაზა 180° -ია. I დერძზე დეტექტირებისათვის იგი ყოვნდება 57° -ით 123 გრადუსიანი ფაზის მისაღებად და შემდეგ კვლავ ყოვნდება 90° -ით რათა უზრუნველყოფილი იყოს Q დეტექტორის შესასვლელზე ქვეგადამტანის 33° -ის ტოლი ფაზა. ამ შემთხვევაში I და Q ვექტორებს შორის ფაზათა ძვრა 90 გრადუსს შეადგენს.

შაგ-თეთრი გამოსახულების გადაცემის დროს ფერთი დაბრკოლებების თავიდან ასაცილებლად აუცილებელია ფერადობის არხის გათიშვა. ეს ხორციელდება მმართველი ძაბვით, რომელსაც ფერადობის არხის გამოთიშვაში გამოიმუშავებს და ფერადობის არხის მაძლიერებელს აწოდებს მის ჩასაკეტად.

NTSC სისტემის საექსპლუატაციო დახასიათება

სისტემის ძირითადი დადებითი მხარეებია:

- კარგი თავსებადობა, რომელიც მიღწეულია ქვეგადამტანის შერჩევით და მისი ხელსაყრელი მნიშვნელობით;
- სიკაშკაშისა და ფერადობის სიგნალების ეფექტური განცალკევების შესაძლებლობა სავარცხლისებრი ფილტრების გამოყენებით;
- ფერადობის არხის მაღალი დაბრკოლებამდგრადობა რაც სინქრონული დეტექტორების გამოყენებით არის განპირობებული;

- სრული სიგნალების მიქშირების შესაძლებლობა;
- სატელევიზიო მიმღების სიმარტივე.

ამასთან სისტემას გააჩნია ნაკლოვანი მხარეებიც. მათ შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია ფერადობის სიგნალის ამპლიტუდისა და ფაზის დიფერენციალური დამახინჯება კავშირის არხში. ამ დამახინჯებებს ეწოდება დიფერენციალური ამპლიტუდა და დიფერენციალური ფაზა. ფერადობის სიგნალის ამპლიტუდის დიფერენციალური დამახინჯება მდგომარეობს ფერადობის სიგნალის ამპლიტუდის ცვლილებაში სიკაშკაშის სიგნალის დონის ცვლილებისას, ხოლო ფერადობის სიგნალის ფაზის დიფერენციალური დამახინჯება მდგომარეობს ფერადობის სიგნალის ფაზის ცვლილებაში სიკაშკაშის სიგნალის დონის ცვლილებისას.

ფერადობის სიგნალის ამპლიტუდის დიფერენციალური დამახინჯება იწვევს ფერის გაჯერების ცვლილებას გამოსახულების მუქ და ნათელ უბნებში.

ფერადობის სიგნალის დიფერენციალურ-ფაზური დამახინჯება იწვევს ფერადობის ტონის ცვლილებას სიკაშკაშის დონის მიხედვით. მაგალითად, ადამიანის სახის ფერი, რომელიც კარგად ახსოვს მაყურებელს, შეიძლება ბნელ სცენაში მოწითალო გახდეს, ნათელ სცენებში კი მომწვანო.

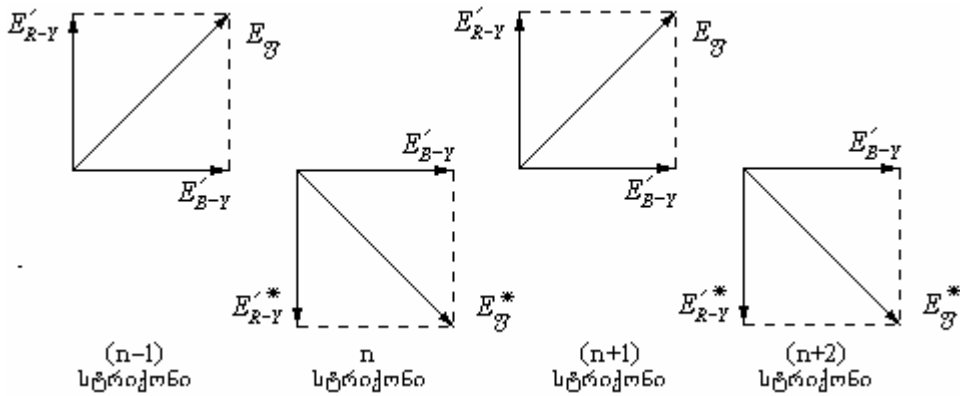
აქედან გამომდინარეობს საკმაოდ მკაცრი მოთხოვნები გადაცემის ტრაქტის მიმართ დიფერენციალური დამახინჯებების თვალსაზრისით. მაქსიმალური დასაშვები ფაზური დამახინჯება შეადგენს 5⁰-ს, ხოლო ამპლიტუდური დამახინჯება არ უნდა აღემატებოდეს 12%-ს. აღნიშნულმა მკაცრმა მოთხოვნებმა აიძულა ინჟინრები ეძიათ ალტერნატიული გზები ფერადი თავსებადი სისტემის შესაქმნელად. შედეგად შეიქმნა ფერადი თავსებადი სისტემები *PAL*-ი და *SECAM-3B*.

7.2 ფერადი ტელეხედვის სისტემა *PAL*

სისტემა *PAL*-ი შეიქმნა *NTSC*-ის მოდერნიზაციის შედეგად. მასში გამოყენებულია გადაცემის იგივე პირველადი სიგნალები – სიკაშკაშისა და ორი ფერთასხვაობითი. ფერთასხვაობითი სიგნალების გადაცემა წარმოებს სიკაშკაშის სიგნალის სპექტრის ფარგლებში ქვეგადამტანის კვადრატურული ბალანსური ამპლიტუდური მოდულაციის გამოყენებით. ძირითადი განსხვავება მდგომარეობს იმაში, რომ ერთ-ერთი კვადრატურული მდგენელის ფაზა ყოველ სტრიქონში იცვლება 180⁰-ით. შედეგად აღმოიფხვრა *NTSC*-ის ძირითადი ნაკლი – მემნობიარობა დიფერენციალურ-ფაზური დამახინჯების მიმართ.

ნახ.7.14-ზე ასახულია ფერადობის სიგნალის ფორმირების პრინციპი *PAL* სისტემაში. ისევე, როგორც *NTSC* სისტემაში, ფერადობის სიგნალი წარმოადგენს ორი კვადრატურული მდგენელის ვექტორულ ჯამს, მაგრამ ერთ-ერთი მათგანის ფაზა ყოველი სტრიქონის დასაწყისში იცვლება საწინააღმდეგოზე. შედეგად ფერადობის სიგნალის ვექტორები მეზობელ სტრიქონებში კომპლექსურად შეუღლებულები ხდებიან. სიგნალების

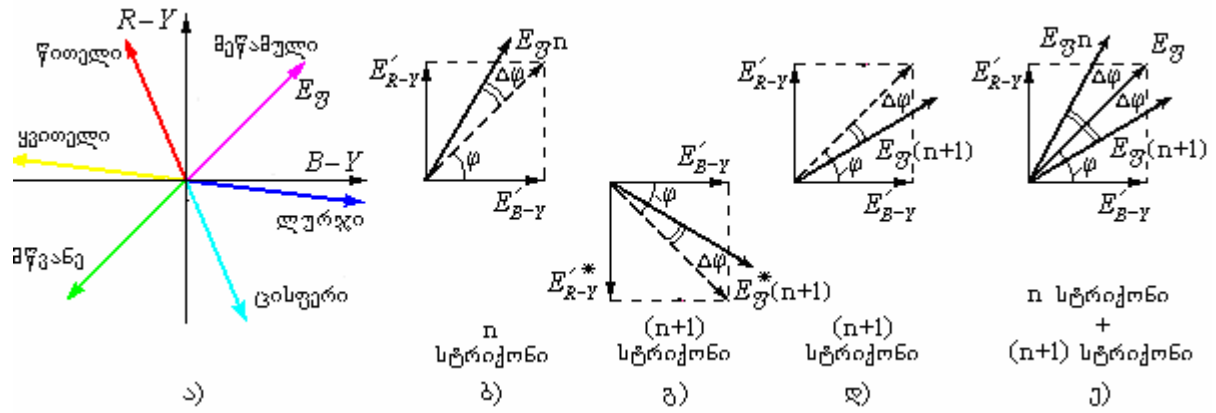
ასეთი მიმდევრობის სწორი დეკოდირებისათვის მიმდებში აუცილებელია ქვევადამტანი სიხშირის საყრდენი გენერატორის ფაზაც ყოველ სტრიქონში 180° -ით იცვლებოდეს.



ნახ.7.14

განვიხილოთ თუ როგორ კომპენსირდება გადაცემის ტრაქტში წარმოქმნილი ფერადობის სიგნალის დიფერენციალურ-ფაზური დამახინჯება E'_{R-Y} სიგნალის ფაზის აღნიშნული ცვლით.

ვთქვათ, გადაიცემა მეწამული ფერის ველის გამოსახულება (კადრის ყველა სტრიქონი მეწამული ფერისაა). ფერის დიაგრამაზე მეწამულ ფერს შეესაბამება ფერადობის ვექტორი $E_{\text{წ}}$ (ნახ.7.15 ა)). ნახ.7.15 ბ)–ზე პუნქტორით გამოსახული ფერადობის ვექტორი $E_{\text{წ}n}$ ეკუთვნის n -ურ სტრიქონს და შეესაბამება გადაცემულ ფერს, ხოლო იქვე ნახვენები მეორე ვექტორი შეესაბამება ფერადობის სიქნალის კავშირის არხში ფაზური დამახინჯების შედეგად მიღებულ ვექტორს. PAL-ში გამოყენებული პრინციპის თანახმად $(n+1)$ სტრიქონში გადაიცემა წინა სტრიქონში გადაცემული ვექტორის კომპლექსურად შეუღლებული ვექტორი $E_{\text{წ}(n+1)}^*$. თუ გადაცემის ტრაქტში ადგილი აქვს დიფერენციალურ-ფაზურ დამახინჯებას, მაშინ მიმდებში ვექტორებს $E_{\text{წ}n}$ და $E_{\text{წ}(n+1)}$ ექნებათ ერთი და იგივე კუთხით $\Delta\varphi$ -ით წანაცვლებული მდებარეობა (ნახ.7.15 ბ), გ)) საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით.

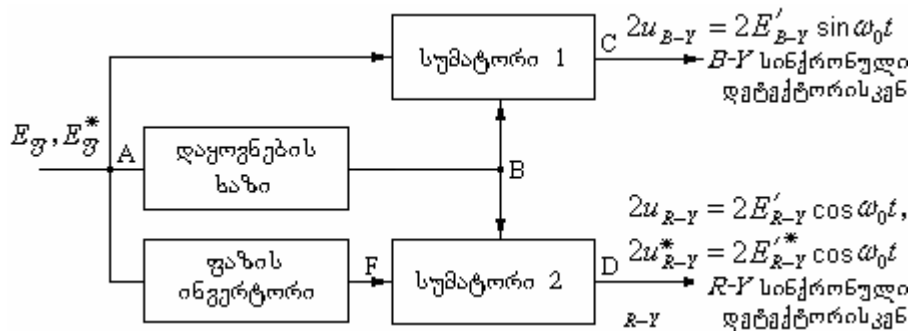


ნახ.7.15

სატელევიზიო მიმღებში საყრდენი გენერატორის ფაზის კომუტაცია 180° -ით $R-Y$ არხში გამოიწვევს $E_{\Sigma(n+1)}^*$ ვექტორის გარდაქმნას მასთან კომპლექსურად შეუღლებულ $E_{\Sigma(n+1)}$ ვექტორად (ნახ.7.15 დ)). ნახ.7.15 ბ) და დ)-ს ერთმანეთთან შეთავსების შედეგად მივიღებთ ნახ.7.15 ე)-ზე გამოსახულ სურათს. ნახატიდან ჩანს, რომ n და $(n+1)$ სტრიქონების ფერი განსხვავებულად შეიცვალა გადაცემის ტრაქტში განცდილი ფაზური დამახინჯების გამო: n -ური სტრიქონის ფერი შეიცვალა წითლისაკენ, ხოლო $(n+1)$ სტრიქონის ფერი კი ლურჯისაკენ. დაუმახინჯებელი (გადაცემული) ფერის ფერადობის ვექტორი უნდა იმყოფებოდეს ზუსტად $E_{\Sigma n}$ და $E_{\Sigma(n+1)}$ ვექტორებს შორის. ამრიგად მეზობელი სტრიქონების ფერადობის ვექტორების შეკრების შედეგად მიიღება ფერადობის ვექტორი, რომლის მიმართულება ზუსტად შეესაბამება გადაცემულ ფერს. მეზობელი სტრიქონების ფერადობის ვექტორების შეკრება ყველაზე მარტივად ადამიანის თვალში ხორციელდება: სტრიქონების ახლოს მდებარეობის გამო მოქმედებს ფერების სივრცული შერევის პრინციპი და თვალი აღიქვავს მეზობელი სტრიქონების ფერების ნარევს, რაც ფაზური დამახინჯების კომპენსაციას ნიშნავს. ასეთ ხერხს იყენებენ PAL -ის მარტივ მიმღებებში PAL_S – *Simple PAL*, რომელიც პრაქტიკულად არ განსხვავდება $NTSC$ -ის მიმღებისაგან, გარდა ჩამატებული საყრდენი ქვეგადამტანი სიხშირის ფაზის კომუტატორისა $R-Y$ სინქრონული დეტექტორის წრედში. PAL_S მიმღებებში საკვებით დამაკმაყოფილებელი გამოსახულებაა მაშინაც, როდესაც $\Delta\varphi \leq 25^{\circ}$ ($NTSC$ -ში დასაშვებია $\Delta\varphi \leq 5^{\circ}$).

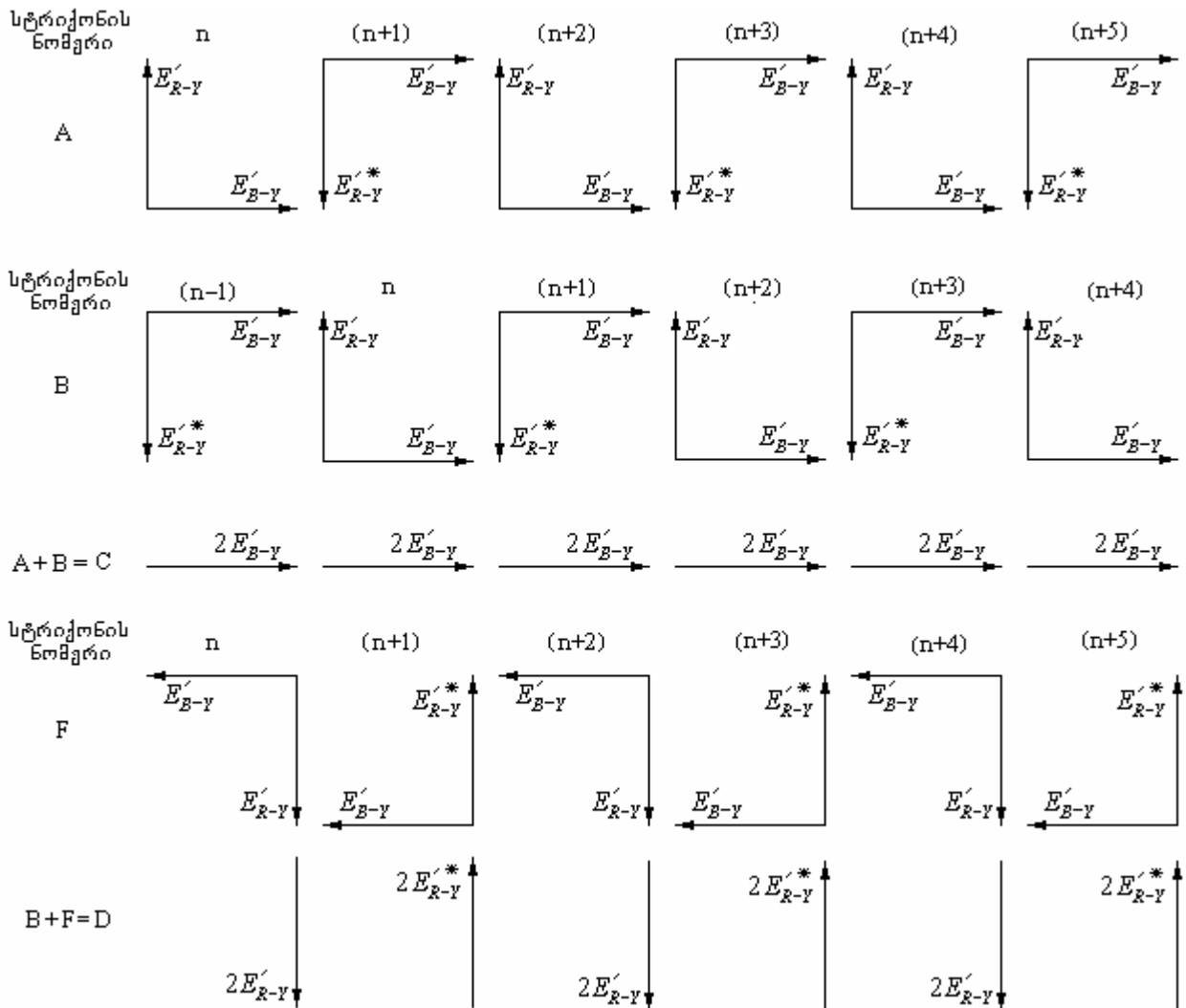
უკეთესი შედეგი მიიღება $E_{\Sigma n}$ და $E_{\Sigma(n+1)}$ მეზობელი სტრიქონების ვექტორების ელექტრული მეთოდებით შეკრებისას. მათი გეომეტრიული ჯამი დაუმახინჯებელი ფერის ფერადობის მიმართულებას შეესაბამება. რაც შეეხება ვექტორის სიგრძეს, რომელიც ფერის გაჯერების პროპორციულია, იგი ამ შემთხვევაში იცვლება მით უფრო, რაც მეტია ფერადობის სიგნალის ფაზური დამახინჯება ანუ დიფერენციალურ-ფაზური დამახინჯება მისი კომპენსაციისას ტრანსფორმირდება ფერის გაჯერების დამახინჯებაში, რაც გაცილებით ნაკლებადაა შესამჩნევი.

მეზობელი სტრიქონების ფერადობის ვექტორების შეკრებისათვის საჭიროა მათი ერთდროული არსებობა. ამიტომ PAL -ის მიმღები უნდა შეიცავდეს სიგნალის ერთი სტრიქონის ხანგრძლივობის ტოლი დროით დამყოვნებელ მოწყობილობას. PAL -ის დეკოდერში აღნიშნული მიზნისათვის იყენებენ *დაყოვნების ბლოკს* (ნახ.7.16), რომელშიაც გარდა ამისა წარმოებს ორი კვადრატურული მდგენელის ერთიმეორისაგან განცალკევება. ფერადობის სიგნალები დაყოვნების ბლოკის სხვადასხვა წერტილში ნაჩვენებია ნახ.7.17-ზე. B წერტილში ფერადობის სიგნალების მიმდევრობა დაყოვნებულია ერთი სტრიქონის ინტერვალით. პირველ სუმატორში შეჯამების შედეგად მიიღება გაორმაგებული ამპლიტუდის სიგნალი $2u_{R-Y} = 2E'_{R-Y} \sin \omega_0 t$. მეორე სუმატორში დაყოვნებულ სიგნალს აკლდება დაუყოვნებელი ფერადობის სიგნალი, რისთვისაც იგი წინასწარ ფაზის ინვერტორში გადის. შედეგად მეორე სუმატორის გამოსასვლელზე D



ნახ.7.16

წერტილში გამოიყოფა მხოლოდ u_{R-Y} და u_{B-Y}^* ერთიმეორის მონაცვლე კომპლექსურად შეუღლებული ვექტორების შესაბამისი სიგნალები გაორმაგებული ამპლიტუდით. ამრიგად დაყოვნების ბლოკის გამოსასვლელზე კვადრატურული მდგენელები უკვე განცალკევებულია.



ნახ.7.17

PAL სისტემის მაკოდირებელი მოწყობილობა

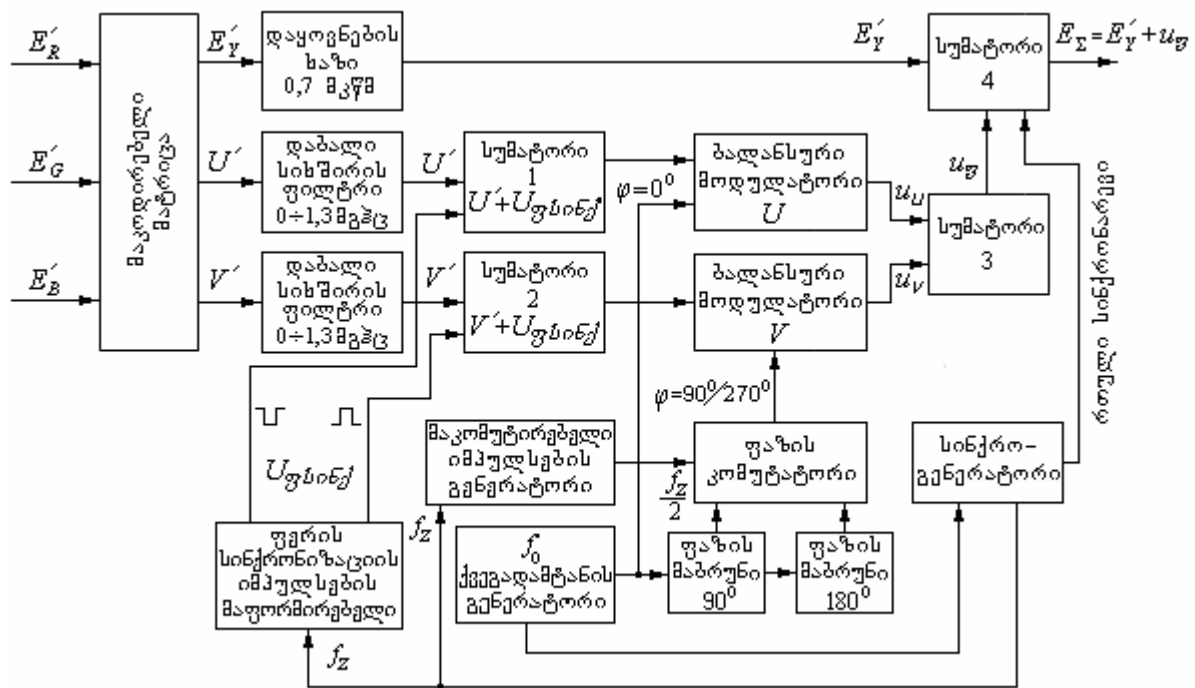
PAL სისტემის გადაცემის სიგნალებია სიკაშკაშის სიგნალი E'_Y და ორი ფერთასხვაობითი სიგნალი U და V . ეს უკანასკნელები განსხვავდება E'_{R-Y} და E'_{B-Y} სიგნალებისაგან მხოლოდ კომპრესიის კოეფიციენტებით:

$$U = 0,493E'_{R-Y};$$

$$V = 0,877E'_{B-Y}.$$

კომპრესიის კოეფიციენტების მნიშვნელობები და დანიშნულება იგივეა, რაც NTSC-ში – სრული სატელევიზიო სიგნალის ცვლილების დინამიური დიაპაზონის შეზღუდვა როგორც თეთრის, ისე შავის ღონის მხრიდან რათა გამოირიცხოს გამოსახულების სინქრონიზაციის დარღვევები სატელევიზიო მიმღებებში და სიგნალის არაწრფივი დამახინჯებები.

PAL სისტემის მაკოდირებელი მოწყობილობის სტრუქტურული სქემა ნაჩვენებია ნახ.7.18-ზე. სამი ფერდაყოფილი გამოსახულების გამაკორექტირებელი სიგნალი E'_R , E'_G და E'_B მიეწოდება მაკოდირებელ მატრიცას, რომელშიც ფორმირდება E'_Y სიკაშკაშის სიგნალი და ორი ფერთასხვაობითი სიგნალი U და V . ფერთასხვაობითი სიგნალების სპექტრი იზღუდება დაბალი სიხშირის ფილტრში 1,3 მგჰც-მდე. სუმატორებში 1 და 2 U და V სიგნალებს დროის განსაზღვრულ მომენტებში ემატება ფერის სინქრონიზაციის პაკეტის ფორმირებისათვის განკუთვნილი დადებითი და უარყოფითი იმპულსები.



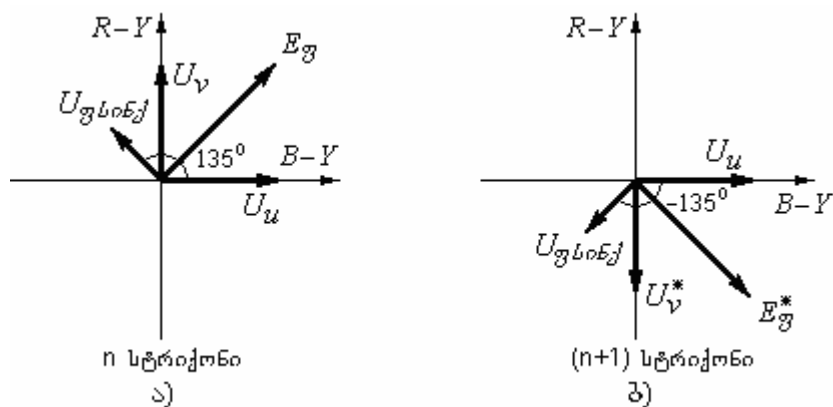
ნახ.7.18

სუმატორებიდან სიგნალები მიეწოდება ორ ბალანსურ მოდულატორს, რომელთა მეორე შესასვლელები მიერთებულია ერთი უშუალოდ, ხოლო მეორე 90 და 180 გრადუსით ფაზის

მაბრუნებისა და ქვეგადამტანის ფაზის კომუტატორის გავლით. კომუტატორი პერიოდულად, ყოველ მეორე სტრიქონში, აკომუტირებს მეორე ბალანსურ მოდულატორთან ხან 90° -ით, ხან კი დამატებით 180 გრადუსით (270° -ით) დაძრული ფაზის მქონე ქვეგადამტანს. კომუტაციის განსახორციელებლად აუცილებელ მმართველ იმპულსებს გამოიმუშავებს მაკომუტირებელი იმპულსების გენერატორი, რომელიც სტრიქონული სინქროიმპულსებით იმართება.

u_U და u_V კვადრატურული მდგენელები იკრიბება სუმატორ 3-ში. შედეგად ფორმირდება ფერადობის სიგნალი, რომელიც სინქრონიზაციის სიგნალთან ერთად სუმატორ 4-ში ემატება სიკაშკაშის სიგნალს. ამის შედეგად მიიღება სრული (კომპოზიტური) ფერადი სატელევიზიო სიგნალი, რომელიც ფორმით არ განსხვავდება NTSC-ის კომპოზიტური სიგნალისაგან (ნახ.7.9). დაყოვნების ხაზის დანიშნულება E_V' სიგნალის ტრაქტში იგივეა, რაც NTSC სისტემაში.

ფერის სინქრონიზაციის სიგნალის ფორმირების თავისებურება PAL სისტემაში განპირობებულია კოდერში გამოყენებული ბალანსური მოდულაციით, რომელიც მოითხოვს მიმღების საყრდენი გენერატორის სინქრონიზაციას ფაზის სიზუსტით. PAL სისტემაში, ისევე როგორც NTSC -ში, სტრიქონული ჩამქრობი იმპულსების უკანა ბაქანზე (ნახ.7.4) გადაიცემა ფერის სინქრონიზაციის სიგნალი. განსხვავება მათ შორის მხოლოდ რხევების ფაზაშია. PAL სისტემაში საჭიროა გადაიცეს ინფორმაცია იმის შესახებ, რომელი ფაზით (90° -ით თუ 270° -ით) გადაიცემა მიმდინარე სტრიქონში u_V მდგენელი. ეს ინფორმაცია ძვეს ფერის სინქრონიზაციის პაკეტის შიგთავსი რხევების ფაზაში. როდესაც გადაიცემა სტრიქონი, რომელშიც u_V სიგნალის ფაზა ემთხვევა R-Y დერძის დადებით მიმართულებას, ფერის სინქრონიზაციის პაკეტის შიგთავსი რხევის ფაზას უტოლებენ 135 გრადუსს (ნახ.7.19ა). მომდევნო სტრიქონში u_V სიგნალის ფაზა იცვლება 180° -ით. შესაბამისად იცვლება სინქრონიზაციის რხევების ფაზა, რომელიც -135° -ის ტოლი ხდება (ნახ.7.19 ბ).



ნახ.7.19

ფერის სინქრონიზაციის პაკეტების მისაღებად U და V სიგნალებს ემატებათ შესაბამისად უარყოფითი და დადებითი იმპულსები. ეს იმპულსები ბალანსურ მოდულატორებში დროის საჭირო მომენტებში (სტრიქონული ჩამქრობი იმპულსების უკანა ბაქანზე) ქმნიან ფერის სინქრონიზაციის რხევის ორ კვადრატურულ მდგენელს. ერთ-ერთი მათგანის ფაზა ყოველ სტრიქონში 180 გრადუსის ტოლია (ემთხვევა $B-Y$ დერძის უარყოფით მიმართულებას), ხოლო მეორე რხევის ფაზა ერთ სტრიქონში 90^0 -ის ტოლია, მომდევნოში კი 270 გრადუსს უდრის (ემთხვევა $R-Y$ დერძის ხან უარყოფით, ხან დადებით მიმართულებას). ფერის სინქრონიზაციის პაკეტის შიგთავსი რხევების შესაბამისი ვექტორის ფაზა დადებითი და უარყოფითი იმპულსების ტოლი ამპლიტუდის შემთხვევაში იქნება $\pm 135^\circ$ (ნახ.7.19).

ფერადობის სიგნალის ქვეგადამტანი სიხშირის შერჩევა

PAL სისტემაში ფერადობის სიგნალის ქვეგადამტანის f_0 -ის შერჩევას გარდა ყველა იმ მოთხოვნისა, რომელიც წაყენება მას $NTSC$ სისტემაში, გათვალისწინებული იყო შემდეგი:

- იმის გამო, რომ PAL სისტემაში u_V სიგნალის ფაზა იცვლება ყოველ სტრიქონში 180^0 -ით, ქვეგადამტანის სიხშირე არ შეიძლება იყოს ნახევარსტრიქონული სიხშირის კენტი ჯერადი ანუ ისეთივე, როგორცაა $NTSC$ -ში. ეს აიხსნება იმით, რომ ამ შემთხვევაში ქვეგადამტანის გამოსახულება შექმნიდა ვერტიკალურხაზებიან სტრუქტურას, რაც ძალზე შესამჩნევია და ამიტომ მიუღებელი;

- ქვეგადამტანი სიხშირე არ შეიძლება იყოს არც სტრიქონული სიხშირის ჯერადი, რადგან u_U მდგენელის ფაზა არ კომუტირდება ყოველ სტრიქონში და ამ შემთხვევაშიაც ქვეგადამტანის გამოსახულება შექმნიდა ვერტიკალურხაზებიან სტრუქტურას.

მიღებული იყო კომპრომისული გადაწყვეტილება – ქვეგადამტანი სიხშირე აირჩიეს სტრიქონული სიხშირის მეოთხედსტრიქონული ჰარმონიკის კენტი ჯერადისა და კადრების სიხშირის ჯამის ტოლი:

$$f_0 = (m - \frac{1}{4})f_Z + f_n,$$

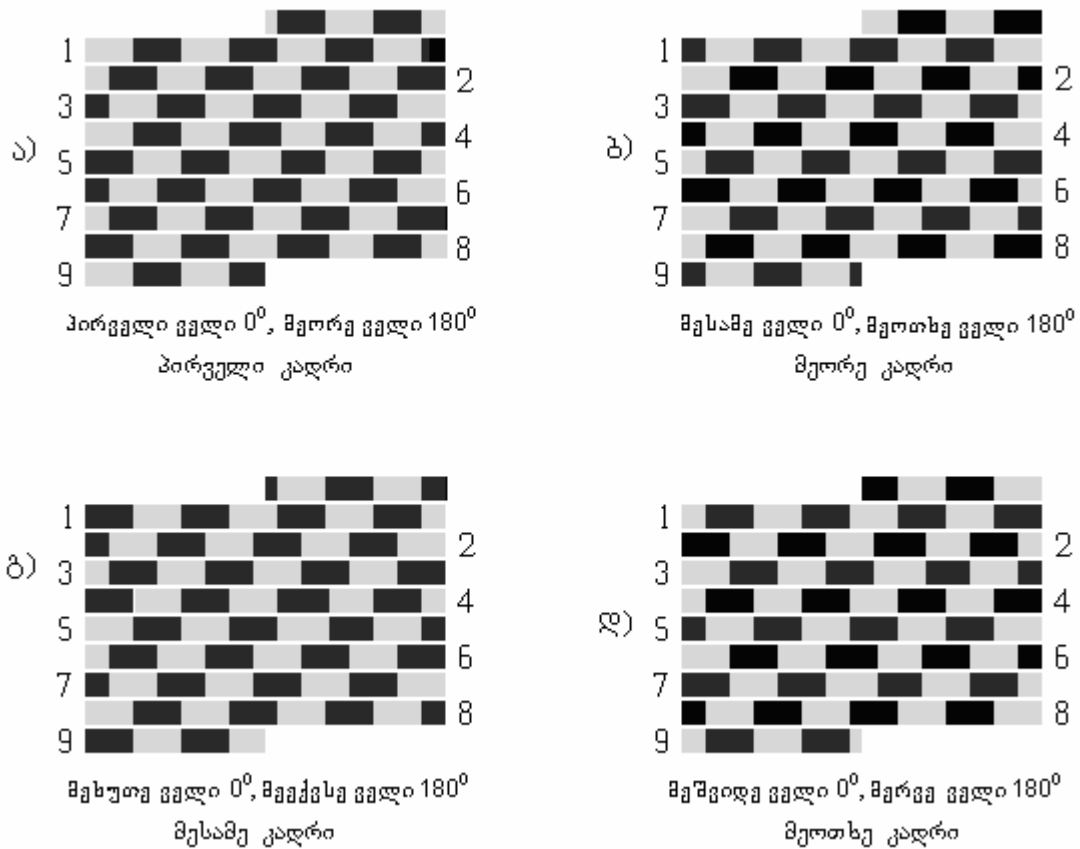
სადაც m – მთელი რიცხვია.

$$PAL \text{ სისტემაში } m = 284, \text{ ე.ი. } m - \frac{1}{4} = 283,75.$$

$$\text{ჩავსვათ } f_Z = 15625 \text{ ჰც და } f_n = 25 \text{ ჰც. მივიღებთ } f_0 = 4,43361875 \text{ მგჰც.}$$

ამ შემთხვევაში ერთი სტრიქონის პერიოდში ეტევა ქვეგადამტანის 283 პერიოდი და კიდევ პერიოდის სამი მეოთხედი. კადრული სიხშირის მიმატება იწვევს ქვეგადამტანის ფაზის დამატებით ცვლილებას 180 გრადუსით ყოველ ველში.

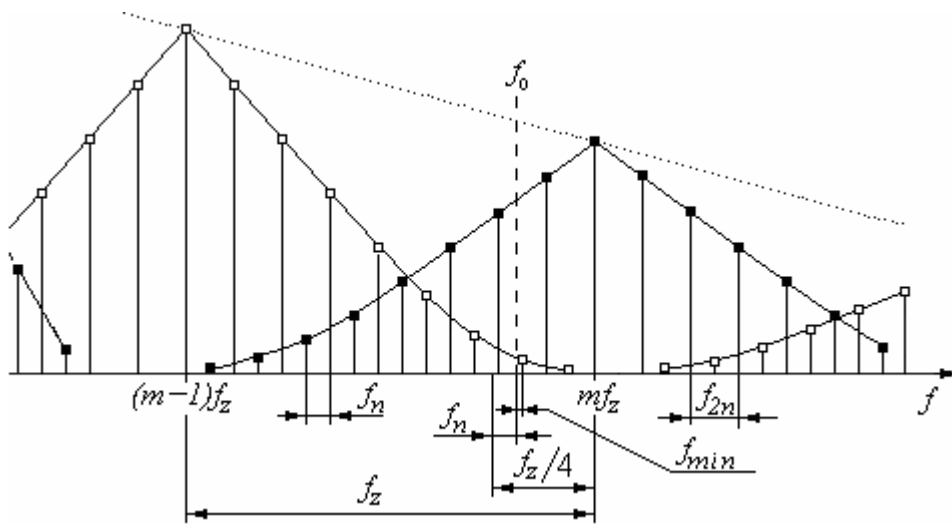
ქვეგადამტანის გამოსახულების გამოვრების პერიოდი შეადგენს ოთხ კადრს, რომელთა სახე შავ-თეთრი სატელევიზიო მიმღებების ეკრანზე წარმოდგენილია ნახ.7.20-ზე.



ნახ.7.20

თვალსაჩინოებისთვის სტრიქონგამოტოვებითი რასტრი შეიცავს ცხრა სტრიქონს, ხოლო სტრიქონში აღებულია ქვეგადამტანის სამი პერიოდი და კიდევ პერიოდის სამი მეოთხედი. წარმოდგენილი კადრების თანმიმდევრული ხილვისას მაყურებელი დაბრკოლებას ვეღარ ამჩნევს ანუ ის ავტოკომპენსირდება ადამიანის თვალის ინერციულობის (მაინტეგრირებელი მოქმედების) გამო. გარდა ამისა, აქ შეუძლებელია რასტრის „ცურვის“ შემჩნევა, როგორც ნახ.7.11-ის შემთხვევაში. ექსპერიმენტალურად დამტკიცდა, რომ ასეთნაირად შერჩეული ქვეგადამტანი უზრუნველყოფს PAL სისტემის თავსებადობის მაღალ ხარისხს.

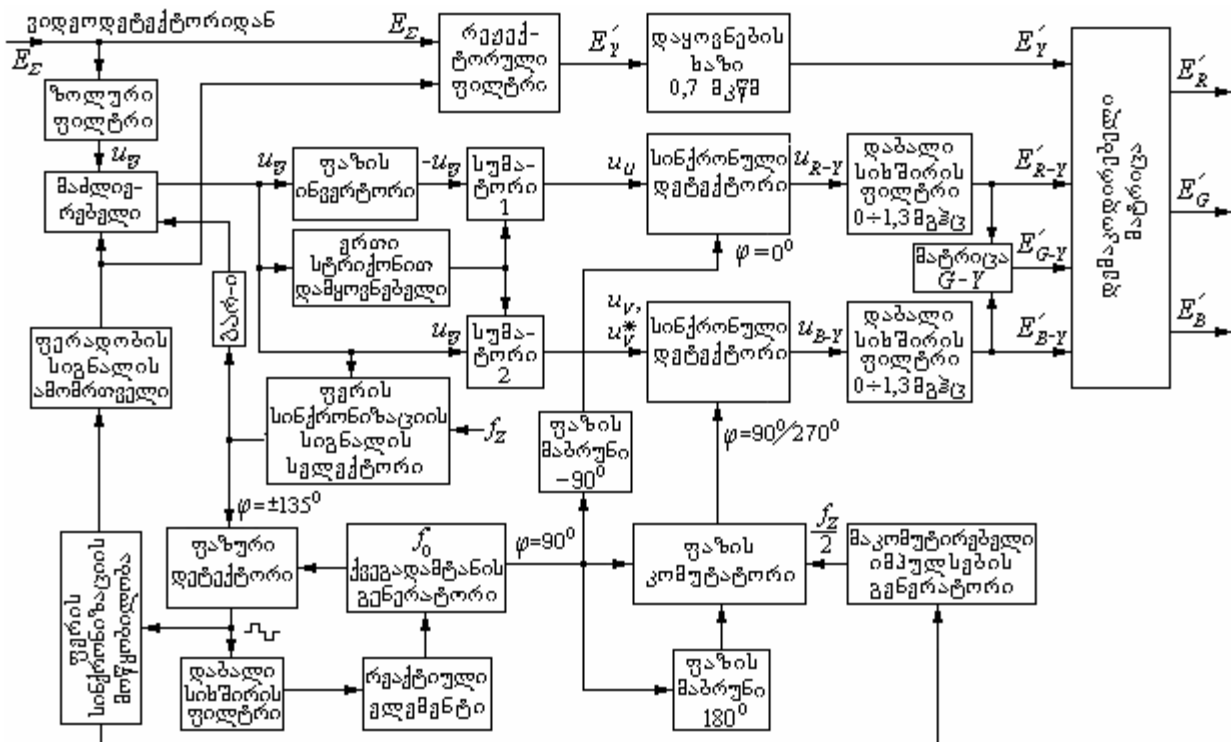
ნახ.7.21-ზე ნაჩვენებია ქვეგადამტანი სიხშირის განლაგება სიკაშკაშის სიგნალის სპექტრალურ მდგენელებს შორის. მინიმალური მანძილი სიკაშკაშის სიგნალის ჰარმონიკასა და ქვეგადამტან სიხშირეს შორის (f_{min}) შეადგენს 6,25 ჰერცს. იგივე სიხშირული ინტერვალით იქნებიან ურთიერთდაძრული სიკაშკაშის სიგნალისა და ფერადობის სიგნალის სპექტრალური მდგენელები ქვეგადამტანის მიდულაციის შემდეგ, რაც საკმარისია მათი განცალკევებისათვის საგარცხლისებრი ფილტრის გამოყენების შემთხვევაში.



ნახ.7.21

PAL სისტემის დეკოდერის ბლოკ-სქემა

არსებობს PAL სისტემის დეკოდერის მრავალი ვარიანტი. განვიხილოთ ყველაზე გავრცელებული ვერსია დაყოვნების ბლოკით (ნახ.7.22), რომელსაც ეწოდება PAL_D (delay – დაყოვნება).



ნახ.7.22

სრული ფერადი სატელევიზიო სიგნალი E_{Σ} ვიდეოდეტექტორიდან მიეწოდება სიკაშკაშისა და ფერადობის არხებს. სიკაშკაშის არხში მას სცილდება ფერადობის სიგნალი რეექტორული ფილტრის მეშვეობით, რომლის რეექციის სიხშირე ქვეგადამტანი სიხშირის $f_0 = 4,43$ მგჰც-ის ტოლია. შემდეგ სიკაშკაშის სიგნალი ყოვნდება $0,7\mu\text{s}$ -ით და მიეწოდება დემაკოდირებელ მატრიცას.

ფერადობის არხში სრული სიგნალიდან E_{Σ} ქვეგადამტან სიხშირეზე აწყობილი ზოლური ფილტრით გამოიყოფა ფერადობის სიგნალი U_{Σ} , რომელიც მაძლიერებლის გავლით მიეწოდება დაყოვნების ბლოკს და ფერის სინქრონიზაციის სიგნალის სელექტორს.

სინქრონული დეტექტირებისათვის აუცილებელი ქვეგადამტანის საყრდენი რხევები გამომუშავდება f_0 გენერატორში საწყისი ფაზით 90° , რომელიც ემთხვევა $R-Y$ დერძის დადებით მიმართულებას. ფაზურ დეტექტორში წარმოებს გენერატორის მიერ გამომუშავებული რხევების სიხშირისა და ფაზის შედარება ფერის სინქრონიზაციის სიგნალის სელექტორის მიერ გამოყოფილი პაკეტების შიგთავსი რხევების სიხშირესა და ფაზასთან. ტოლობის შემთხვევაში ფაზური დეტექტორის გამოსასვლელზე ფორმირდება მმართველი ძაბვა, რომელიც წარმოადგენს ერთნაირი ამპლიტუდის მქონე დადებითი და უარყოფითი იმპულსების მიმდევრობას და ასახავს ფერის სინქრონიზაციის ფაზის ცვლილებას $\pm 135^\circ$ -ით. ამ შემთხვევაში ძაბვა დაბალი სიხშირის ფილტრის გამოსასვლელზე ნულის ტოლია და ის არ ახდენს გავლენას რეაქტიულ ელემენტზე (მაგ., ვარიკაპის ტევალობაზე) და ე.ი. გენერატორის სიხშირესა და ფაზაზე. თუ რაიმე მიზეზის გამო გენერატორის ფაზა არ დაემთხვა $R-Y$ დერძის მიმართულებას, ფაზური დეტექტორის მიერ გამომუშავებული იმპულსების ამპლიტუდები აღარ იქნება ტოლი. განსხვავება იმპულსების ამპლიტუდებს შორის დაბალი სიხშირის ფილტრის გამოსასვლელზე გამოიწვევს პროპორციული მნიშვნელობისა და ნიშნის ძაბვას, რომელიც რეაქტიული ელემენტის მეშვეობით საჭირო მიმართულებით შეცვლის გენერატორის მიერ გამომუშავებული რხევების სიხშირესა და ფაზას.

ფაზის 90° -ით დაყოვნების შემდეგ f_0 გენერატორის მიერ გამომუშავებული რხევები $\varphi=0$ ფაზით მიეწოდება U სინქრონული დეტექტორის მეორე შესასვლელს. V სინქრონული დეტექტორის მეორე შესასვლელზე მიწოდებული f_0 რხევის ფაზა იცვლება ყოველ სტრიქონში. ის ჯერ 90° -ის ტოლია, ხოლო შემდეგ სტრიქონში უტოლდება 270° -ს და ა.შ. ფაზის კომუტაცია ხორციელდება გადამცემ მხარეს მომუშავე კომუტატორის სინქრონულად და სინფაზურად. ამისათვის მაკომუტირებელი იმპულსების გენერატორი, რომელიც მართავს კომუტატორის მუშაობას, თავის მხრივ იმართება ფერის სინქრონიზაციის მოწყობილობით. ამ მოწყობილობას მიეწოდება დადებითი და უარყოფითი იმპულსები იმისდა მიხედვით, თუ რომელი სიგნალი გადმოიცემა მიმდინარე სტრიქონში: u_U თუ u_V .

გარდა აღნიშნულისა, შავ-თეთრი პროგრამის გადაცემისას ფერის სინქრონიზაციის მოწყობილობა გამოიმუშავებს ფერადობის არხის ჩამკეტ ძაბვას,

რომელიც ფერადობის არხის ამომრთველის მეშვეობით კეტავს ფერადობის არხს და ამავდროულად თიშავს რეჟექტორულ ფილტრს.

სინქრონული დეტექტირების შედეგად მიღებული E'_{R-Y} და E'_{B-Y} ფერთასხვაობითი სიგნალები მიეწოდება დემაკოდირებელ მატრიცას და E'_{G-Y} მატრიცას. დემაკოდირებელი მატრიცის გამოსასვლელიდან E'_R , E'_G და E'_B ფერდაყოფილი გამოსახულების სიგნალები მიეწოდება ფერადი გამოსახულების აღმწარმოებელ მოწყობილობას (CRT, LCD, PDP და სხვ.).

***PAL* სისტემის საექსპლუატაციო დახასიათება**

PAL სისტემას გააჩნია იგივე ძირითადი ღირსებები, რაც *NTSC*-ს:

- კარგი თავსებადობა;
- ფერადობისა და სიკაშკაშის სიგნალების ეფექტური განცალკევების შესაძლებლობა სავარცხლისებრი ფილტრების გამოყენებით;
- მაღალი დაბრკოლებამდგრადობა ფლუქტუაციური ხმაურის მიმართ.

ამასთან ერთად სისტემას გააჩნია ძალზედ დაბალი მგძნობიარობა ფერადობის სიგნალის დიფერენციალურ-ფაზური დამახინჯების მიმართ. განხილულ დეკოდერში, მაგალითად, დასაშვებია ფაზური დამახინჯება 40° -მდე, მაშინ როდესაც *NTSC*-ში ის 5° -ს არ აღემატება.

მნიშვნელოვანია აგრეთვე ის, რომ *PAL* სისტემას ძალუძს მუშაობა ფერადობის სიგნალის კვადრატურული მდგენელების სპექტრის ზედა გვერდითი ზოლის ნაწილობრივი შეზღუდვის პირობებში. ეს მნიშვნელოვანია იმ მრავალი ქვეყნისათვის, სადაც სტანდარტით გათვალისწინებულია გამოსახულებისა და ბგერითი თანხლების გადამტან სიხშირეებს შორის 5,5 მგჰც-ის ტოლი სხვაობა, ხოლო სრული სატელევიზიო სიგნალის სპექტრის სიგანე არ აღემატება 5 მეგაჰერცს.

PAL-ის ნაკლად შეიძლება ჩაითვალოს მიმღების სირთულე *NTSC*-ის მიმღებთან შედარებით.

7.3 ფერადი ტელევიზიის სისტემა SECAM-3B

საფრანგეთისა და საბჭოთა კავშირის მიერ 1965-66 წლებში ერთობლივად დახვეწილ თავსებად ფერად სატელევიზიო სისტემას SECAM საფუძველი ჩაუყარა ფრანგმა ინჟინერმა ანრი დე ფრანსმა 1954 წელს.

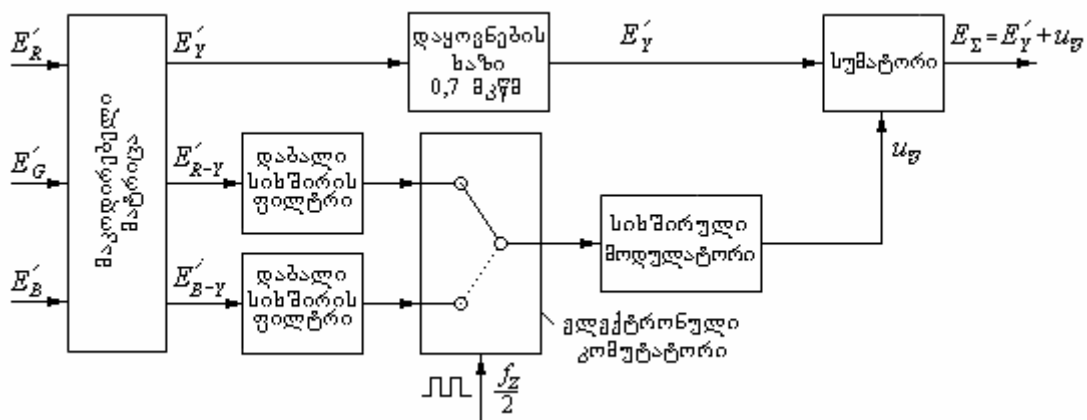
რეგულარული ფერადი სატელევიზიო მაუწყებლობა SECAM სისტემით დაიწყო 1967 წლის 1 ოქტომბრიდან საფრანგეთში, აღმოსავლეთ ევროპის ქვეყნებში და საბჭოთა კავშირში (მოსკოვსა, კიევსა და თბილისში). სისტემის ექსპლუატაციის პროცესში იგი გაუმჯობესდა და ჩამოყალიბდა საბოლოო ვარიანტის სახით როგორც SECAM-3B, რაც 1974 წელს აისახა სახელმწიფო სტანდარტში.

SECAM სისტემის აგების ძირითადი პრინციპები

SECAM-ში, ისევე როგორც NTSC და PAL სისტემებში, გადაცემის სიგნალებს წარმოადგენენ ფართოხოლოვანი სიკაშკაშის E'_Y სიგნალი და ორი ვიწროხოლოვანი E'_{R-Y} და E'_{B-Y} ფერთასხვაობითი სიგნალები.

SECAM სისტემის ძირითადი თავისებურება მდგომარეობს იმაში, რომ ყოველი სტრიქონული ინტერვალის განმავლობაში სიკაშკაშის სიგნალთან ერთად გადაიცემა მხოლოდ ერთი ფერთასხვაობითი სიგნალი, რომელსაც მომდევნო სტრიქონში მეორე ენაცვლება.

ნახ.7.23-ზე წარმოდგენილია SECAM სისტემის მაკოდირებელი მოწყობილობის გამარტივებული სტრუქტურული სქემა.



ნახ.7.23

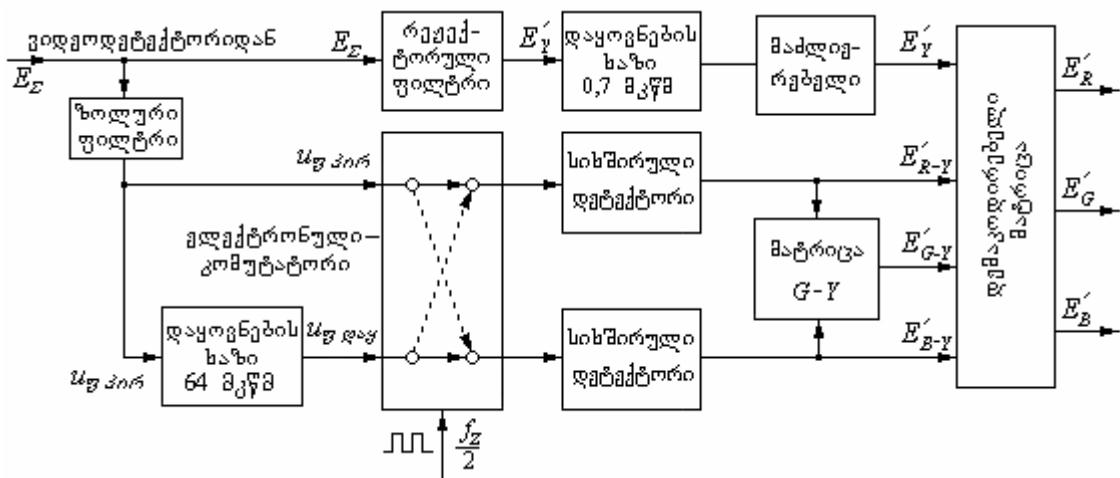
საწყის სიგნალებს წარმოადგენენ ფართოხოლოვანი გამაკორექტირებელი ფერდაყოფილი გამოსახულების სიგნალები E'_R , E'_G და E'_B , რომლებიც მაკოდირებელ მატრიცას მიეწოდება. ცნობილი დამოკიდებულებების შესაბამისად, მაკოდირებელ

მატრიცაში ფორმირდება E'_Y სიკაშკაშის და ორი E'_{R-Y} და E'_{B-Y} ფერთასხვაობითი სიგნალი. ამ უკანასკნელების სიხშირული სპექტრი იზღუდება 1,5 მკჰც-მდე დაბალი სიხშირის ფილტრებში. შემდეგ სიგნალები მიეწოდება ელექტრონულ კომუტატორს, რომელიც აკომუტირებს მათ ერთ გამოსასვლელზე ნახევარსტრიქონული სიხშირით. ამრიგად კომუტატორის გამოსასვლელზე დროის ნებისმიერ მომენტში სტრიქონის პერიოდის განმავლობაში არსებობს მხოლოდ ერთი ფერთასხვაობითი სიგნალი, რომელიც მიეწოდება ფერადობის სიგნალის მაფორმირებელს.

ფერადობის სიგნალის მისაღებად *SECAM* სისტემაში გამოიყენება ქვეგადამტანის სიხშირული მოდულაცია, რაც ამ სისტემის მნიშვნელოვან თავისებურებას წარმოადგენს. სიხშირული მოდულაციის შერჩევა განაპირობა სისტემის მდგრადობის გაზრდის მოთხოვნამ გადაცემის ტრაქტში სიგნალის ამპლიტუდურ-ფაზური დამახინჯებების მიმართ.

სიხშირულად მოდულირებული ფერადობის სიგნალისა და 0,7 მკჰმ-ით დაყოფილი სიკაშკაშის სიგნალის შეჯამების შედეგად მიიღება სრული ფერადი სატელევიზიო სიგნალი, რომელშიაც ფერადობის სიგნალის სპექტრი ისევეა განლაგებული სიკაშკაშის სიგნალის სპექტრის ფარგლებში, როგორც *NTSC* და *PAL* სისტემებში.

ნახ.7.24-ზე წარმოდგენილია *SECAM* სისტემის დემაკოდირებელი მოწყობილობის გამარტივებული სტრუქტურული სქემა.



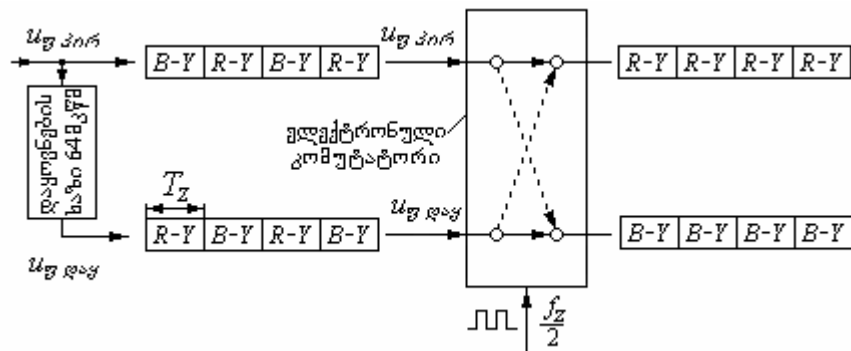
ნახ.7.24

სატელევიზიო მიმღების ვიდეოდეტექტორის გამოსასვლელიდან სრული ფერადი სატელევიზიო სიგნალი მიეწოდება სიკაშკაშისა და ფერადობის არხებს.

სიკაშკაშის არხში სატელევიზიო სიგნალის გაძლიერებასთან ერთად ხდება ფერადობის სიგნალის რევექცია (ამოკვეთა), რის შედეგადაც მიიღება სიკაშკაშის სიგნალი E'_Y . 0,7 მკჰმ-ით დაყოფნებისა და გაძლიერების შემდეგ E'_Y სიგნალი მიეწოდება დემაკოდირებელ მატრიცას.

ფერადობის არხში ქვეგადამტან სიხშირეზე აწყობილი ზოლური ფილტრი სრული სატელევიზიო სიგნალიდან გამოყოფს ფერადობის სიგნალს, რომელიც ერთდროულად

მიეწოდება ელექტრონული კომპუტატორის ერთ შესასვლელსა და დაყოვნების ხაზს. ეს სიგნალი ნახ.7.24-ზე აღნიშნულია როგორც $U_{\text{ჰირ}}$. ელექტრონული კომპუტატორის მეორე შესასვლელს მიეწოდება ერთი სტრიქონის პერიოდით (64 მკწმ) დაყოვნებული ფერადობის სიგნალი $U_{\text{ფაყ}}$. ამრიგად კომპუტატორის ორივე შესასვლელზე ერთდროულად მოქმედებენ დროში მომდევნო ორი სტრიქონის ფერადობის სიგნალები. ერთი მათგანი ყოველთვის შეიცავს ინფორმაციას E'_{R-Y} -ის, ხოლო მეორე E'_{B-Y} ფერთასხვაობითი სიგნალის შესახებ. ფერადობის სიგნალები ყოველ სტრიქონში იცვლიან ადგილს: თუ მიმდინარე სტრიქონში E'_{R-Y} სიგნალის ამსახველი ფერადობის სიგნალი იმყოფება კომპუტატორის ზედა შესასვლელზე, მომდევნო სტრიქონში ის იქნება კომპუტატორის ქვედა შესასვლელზე. კომპუტატორის დანიშნულება სწორედ იმაში მდგომარეობს, რომ მოაწესრიგოს E'_{R-Y} და E'_{B-Y} შემცველი ფერადობის სიგნალების ადგილმდებარეობა – ერთი მათგანი იყოს ყოველთვის კომპუტატორის ზედა გამოსასვლელზე, ხოლო მეორე – ქვედაზე (ნახ.7.25). E'_{R-Y} და E'_{B-Y} სიგნალები მიიღება პირდაპირი და დაყოვნებული ფერადობის სიგნალების სისშირული დეტექტირების შემდეგ. ცხადია, რომ მათი ერთდროული არსებობა აუცილებელია E'_R , E'_G და E'_B ფერდაყოფილი გამოსასვლების სიგნალების სწორი მატრიცირებისათვის დემაკოდირებელ მატრიცაში.



ნახ.7.25

როგორც აღვნიშნეთ, სისშირული დეტექტირების გამოსასვლელზე და $G-Y$ მატრიცის შესასვლელზე არსებული E'_{R-Y} და E'_{B-Y} სიგნალები არ ეკუთვნიან ერთი და იგივე სტრიქონს. ისინი წარმოადგენენ დროში მომდევნო სტრიქონების ფერთასხვაობით სიგნალებს, რაც სამჯერ ამცირებს ვერტიკალურ მკაფიოობას ფერის მიმართ. თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ ფერთასხვაობითი სიგნალების სპექტრი შეზღუდულია 1,5 მკჰც-მდე ანუ მკაფიოობა ჰორიზონტალურად ფერის მიმართ თვალის თვისებებიდან გამომდინარე მაქსიმალურთან შედარებით შემცირებულია ოთხჯერ, ფერის მიმართ ვერტიკალური მკაფიოობის ასეთი შემცირება საკლებით დასაშვებია.

აღსანიშნავია, რომ ელექტრონული კომპუტატორების გადართვა სისტემის მაკოდირებელ და დემაკოდირებელ მოწყობილობებში უნდა წარმოებდეს სინქრონულად და სინფაზურად ნახევარსტრიქონული სისშირით.

SECAM სისტემის ძირითადი პარამეტრები

SECAM სისტემაში ფერთასხვაობით სიგნალებს წარმოადგენენ სიგნალები

$$D'_R = -1,9 E'_{R-Y} \quad \text{და} \quad D'_B = 1,5 E'_{B-Y} .$$

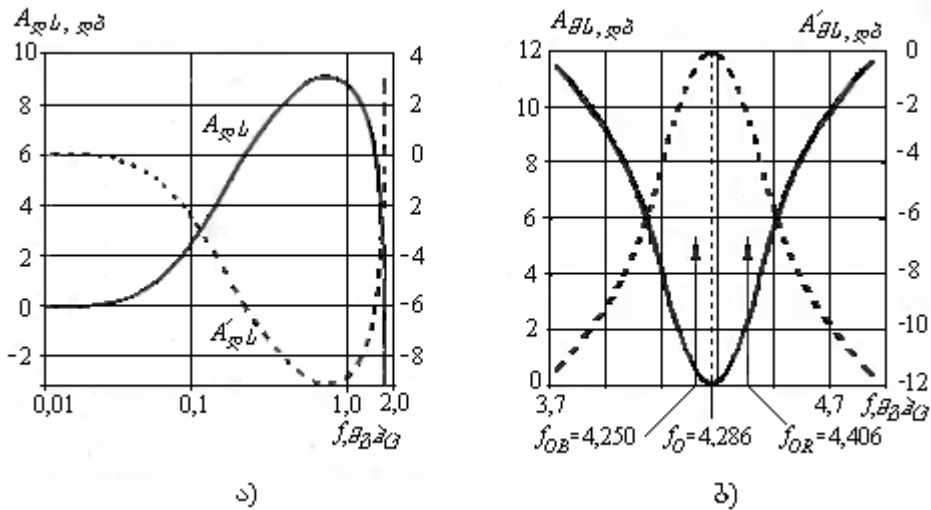
მოყვანილი გამოსახულებებიდან ცხადია, რომ ისინი განსხვავდებიან E'_{R-Y} და E'_{B-Y} სიგნალებისაგან გაქანებით და პოლარობით. $-1,9$ და $1,5$ კოეფიციენტების მნიშვნელობები გამომდინარეობს სიგნალების მაქსიმუმების გათანაბრების მოთხოვნიდან, რომლებიც E'_{R-Y} -თვის ტოლია $\pm 0,7$, ხოლო E'_{B-Y} -თვის უდრის $\pm 0,89$ -ს (ნახ.7.6). E'_{R-Y} და E'_{B-Y} სიგნალების მაქსიმალური მნიშვნელობების შესაბამის კოეფიციენტებზე გამრავლების შემდეგ ორივე მათგანის ცვლილების ფარგლები ხდება ერთმანეთის ტოლი (1,33). ეს უზრუნველყოფს ქვეგადამტანი სიხშირის ერთნაირ დევიაციას.

უარყოფითი ნიშანი $1,9$ კოეფიციენტის წინ ნიშნავს სიგნალის პოლარობის შეცვლას საწინააღმდეგოზე. ამის აუცილებლობა შემდეგით აიხსნება. მრავალი განსხვავებული სიუჟეტის შესაბამისი ფერთასხვაობითი სიგნალის სტატისტიკურმა ანალიზმა ცხადყო, რომ E'_{R-Y} სიგნალი უპირატესად დადებით მნიშვნელობებს ღებულობს, ხოლო E'_{B-Y} სიგნალი უარყოფითს. E'_{R-Y} სიგნალის პოლარობის შეცვლით ორივე D'_R და D'_B სიგნალის გადაცემისას ჭარბობს ქვეგადამტანის უარყოფითი დევიაცია. ეს კი ზრდის სისტემის მდგრადობას ფერადობის სიგნალის ზედა გვერდითი ზოლის შეზღუდვის მიმართ, რაც შეიძლება კავშირის არხში მოხდეს.

ფერადი გამოსახულების ხარისხისა და სისტემის თავსებადობის ასამაღლებლად D'_R და D'_B სიგნალებს ატარებენ დაბალსიხშირული, ხოლო ფერადობის სიგნალს – მაღალსიხშირული წინასწარი დამახინჯების წრედებში.

დაბალსიხშირული წინასწარი დამახინჯება მდგომარეობს ფერთასხვაობითი სიგნალების სპექტრის მაღალსიხშირული მდგენელების უპირატეს ამადლებაში. წრედის სიხშირული მახასიათებელი ნაჩვენებია ნახ.7.26ა)–ზე. აქვე პუნქტირით წარმოდგენილია დეკოდერში განლაგებული დაბალსიხშირული წინასწარი დამახინჯების კორექციის წრედის ამპლიტუდურ–სიხშირული მახასიათებელი. ფერთასხვაობითი სიგნალების კორექციის შედეგად სიგნალ/ხელშეშლის ფარდობა იზრდება 9 დეციბელამდე.

ფერადობის სიგნალის მაღალსიხშირული წინასწარი დამახინჯება მიმართულია სისტემის თავსებადობის ასამაღლებლად. გარდა ამისა, იგი დამატებით ზრდის სისტემის დაბრკოლებამდგრადობას ფლუქტუაციური ხმაურის მიმართ კიდევ 8 დეციბელით. ფერადობის სიგნალის მაღალსიხშირული წინასწარი დამახინჯება ხორციელდება „ანტი–კლოშ“ ფილტრში, რომლის ამპლიტუდურ–სიხშირული მახასიათებელი ნაჩვენებია ნახ.7.26ბ)–ზე. მისი მინიმუმი აწყობილია $f_0 = 4,286$ მგჰც სიხშირეზე. აქვე პუნქტირით წარმოდგენილია მაღალსიხშირული წინასწარი დამახინჯების კორექციის წრედის – „კლოშ“ (cloch(ფრ.)–ზარი) ფილტრის ამპლიტუდურ–სიხშირული მახასიათებელი.



ნახ.7.26

SECAM სისტემაში გამოყენებულია ფერადობის სიგნალის წინასწარი კორექციის კიდევ ერთი სახეობა – ფერადობის სიგნალის დამატებითი ამპლიტუდური მოდულაცია. მისი შემოღების მიზეზი შემდეგში მდგომარეობს. ფერად სატელევიზიო მიმღებში სიკაშკაშის სიგნალი ფერადობის სიგნალის მიმართ წარმოადგენს დაბრკოლებას. სიკაშკაშის სიგნალის სპექტრალური მდგენელების ენერგია სპექტრის იმ უბანში, სადაც გადაიცემა ფერადობის სიგნალი, და ე.ი. დაბრკოლების სიდიდე, დამოკიდებულია გამოსახულების შინაარსზე. ფერადობის სიგნალის კორექცია მდგომარეობს ფერადობის სიგნალის ამპლიტუდის გაძლიერებაში დროის იმ მომენტებში, როდესაც სიკაშკაშის სიგნალის მაღალსიხშირული მდგენელები აღწევენ ფერადობის სიგნალის 70%-ს. ფერადობის სიგნალის გაქანების ნომინალური მნიშვნელობა, როდესაც ის დამატებით არ ძლიერდება, შეადგენს სიკაშკაშის სიგნალის გაქანების 25%-ს.

SECAM-3B სისტემა განსხვავდება მისი ადრეული ვარიანტებისაგან ორი ქვეგადამტანი სიხშირის გამოყენებით. ქვეგადამტანი სიხშირეები შერჩეულია სტრიქონული სიხშირის ჯერადი:

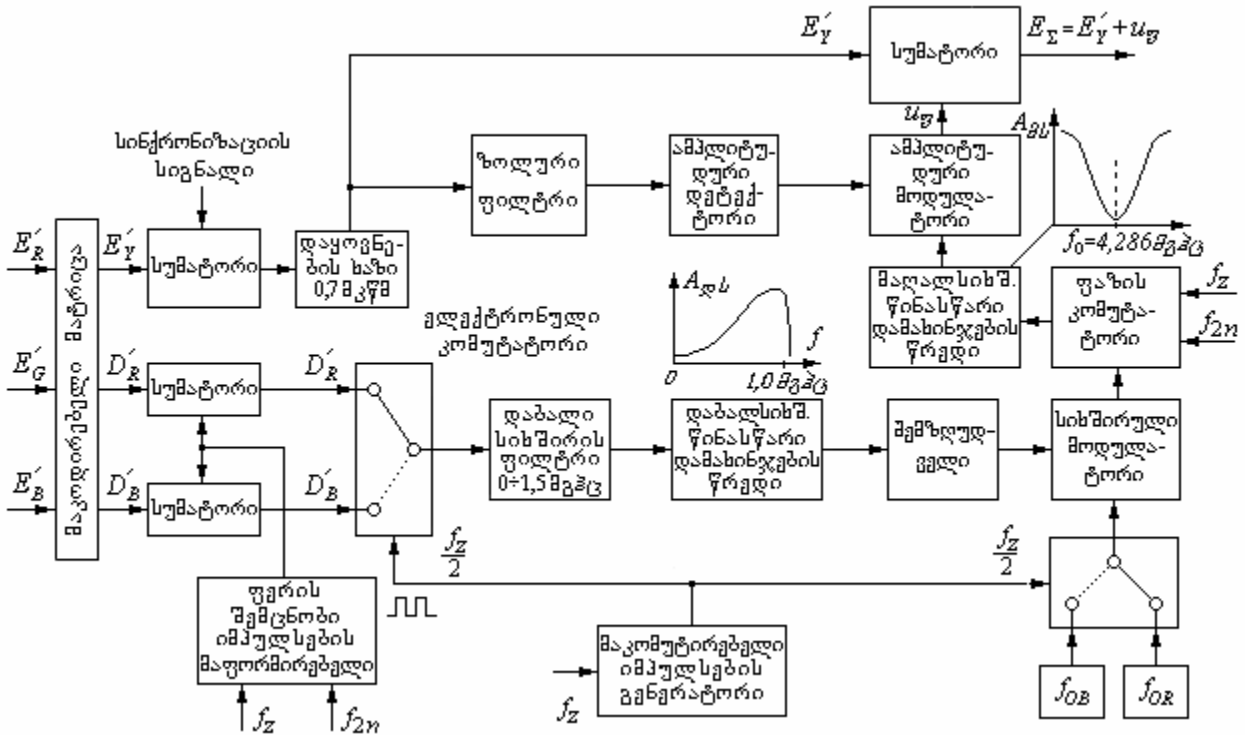
$$f_{0R} = 282f_Z = 4406,25 \text{ კჰც} \pm 2 \text{ კჰც}; \quad f_{0B} = 272f_Z = 4250,00 \text{ კჰც} \pm 2 \text{ კჰც}.$$

დევიაციის მნიშვნელობები D'_R და D'_B სიგნალების გადაცემისას განსხვავებულია და შეადგენს $\Delta f_R = 280 \pm 9 \text{ კჰც}$ (D'_R სტრიქონებში) და $\Delta f_B = 230 \pm 9 \text{ კჰც}$ (D'_B სტრიქონებში).

SECAM სისტემის მაკოდირებელი მოწყობილობა

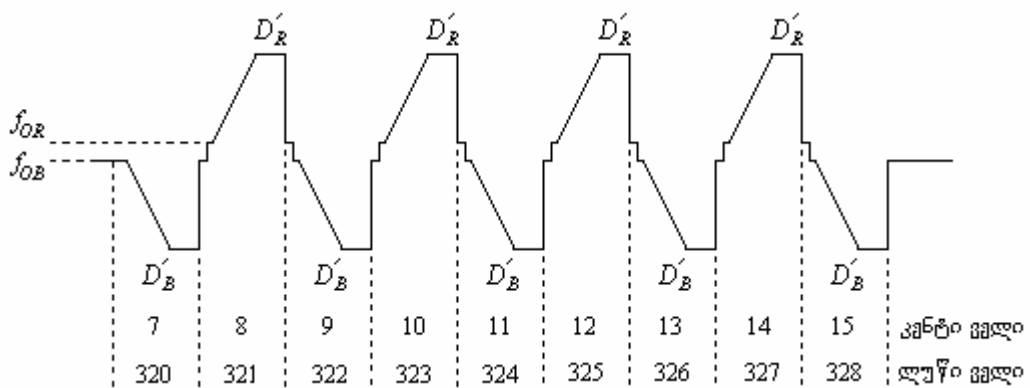
ვართოზოლოვანი გამაკორექტირებელი E'_R , E'_G და E'_B სიგნალები მიეწოდება მაკოდირებელ მატრიცას (ნახ.7.27), სადაც ფორმირდება E'_Y სიკაშკაშის და ორი D'_R და D'_B ფერთასხვაობითი სიგნალი. სუმატორებში ფერთასხვაობით სიგნალებს ემატება ფერის შემცნობი იმპულსები – ცხრა ტრაპეციადალური დადებითი და უარყოფითი იმპულსი

(ნახ.7.28), რომელებიც გადაიცემა კენტ ველში მე-7-დან მე-15-ე სტიქონამდე ჩათვლით და ღუწ ველში 320-დან 328 სტიქონამდე ჩათვლით. მათი დანიშნულებაა კოდერში და დეკოდერში მომუშავე ელექტრონული კომპუტატორების სინქრონული და სინფაზური მუშაობისა და ფერის შეცნობის უზრუნველყოფა.



ნახ.7.27

ელექტრონული კომუტატორი ნახევარსტრიქონული სიხშირით აკომუტირებს D'_R და D'_B შესასვლელ სიგნალებს ერთ გამოსასვლელზე, რომელზედაც ერთი სტრიქონის განმავლობაში გადაიცემა D'_R სიგნალი, ხოლო მომდევნო სტრიქონში კი - D'_B და ა.შ.



ნახ.7.28

ფერთასხვაობითი სიგნალები სპექტრის 1,5 მგჰც–მდე შეზღუდვის შემდეგ მიეწოდება დაბალსიხშირული წინასწარი დამახინჯების წრედს, სადაც ხდება სიგნალის მაღალი სიხშირეების უპირატესი გაძლიერება მოყვანილი სიხშირული მახასიათებლის შესაბამისად. სიგნალის გაქანების საჭირო დონემდე შეზღუდვის შემდეგ იგი მიეწოდება სიხშირულ მოდულატორს. ორი ქვეგადამტანი სიხშირის სიხშირული მოდულაციისათვის გამოიყენება სამი გენერატორი: ერთი სიხშირულად მამოდულერებელი და ორი ეტალონური, კვარცული სტაბილიზაციით. სიხშირის სტაბილიზაცია ხორციელდება სიხშირულად მოდულირებული გენერატორის ფაზის ავტომატური აწყობის შეზუსტებით საყრდენ f_{0R} და f_{0B} სიხშირეებზე მომუშავე კვარციან გენერატორებთან. აწყობის შეზუსტება ხორციელდება სტრიქონული ჩამქრობი იმპულსის განმავლობაში.

სიხშირულად მოდულირებული სიგნალი მოდულატორიდან მიეწოდება ფაზის კომუტატორს, რომელიც ცვლის ქვეგადამტანის ფაზას 180° –ით ყოველი მესამე სტრიქონის ($0^\circ, 0^\circ, 180^\circ, 0^\circ, 0^\circ, 180^\circ, \dots$) და ყოველ ველში ($0^\circ, 180^\circ, 0^\circ, 180^\circ, \dots$). ასეთნაირად კომუტირებული ქვეგადამტანის სპექტრალური მდგენელები სიკაშკაშის სიგნალის სპექტრალურ მდგენელებთან გადაიხლართება, რაც შავ–თეთრი სატელევიზიო მიმღებების ეკრანზე ქვეგადამტანების გამოსახულების მნიშვნელოვან კომპენსაციას უზრუნველყოფს.

ფაზაკომუტირებული ფერადობის სიგნალი მიეწოდება მაღალსიხშირული წინასწარი დამახინჯების წრედს, შემდეგ კი ამპლიტუდურ მოდულატორს. ამპლიტუდური მოდულატორი იმართება ამპლიტუდური დეტექტორის გამოსასვლელი სიგნალით, რომელიც წარმოადგენს ზოლური ფილტრის მიერ ($2,5 \div 6,0$) მგჰც დიაპაზონში გამოყოფილი სიკაშკაშის სიგნალის მდგენელების მომვლებს და აძლიერებს ფერადობის სიგნალს დროის იმ მომენტებში, როდესაც სიკაშკაშის სიგნალის გამოყოფილი მაღალსიხშირული მდგენელები აღწევენ ფერადობის სიგნალის 70%–ს.

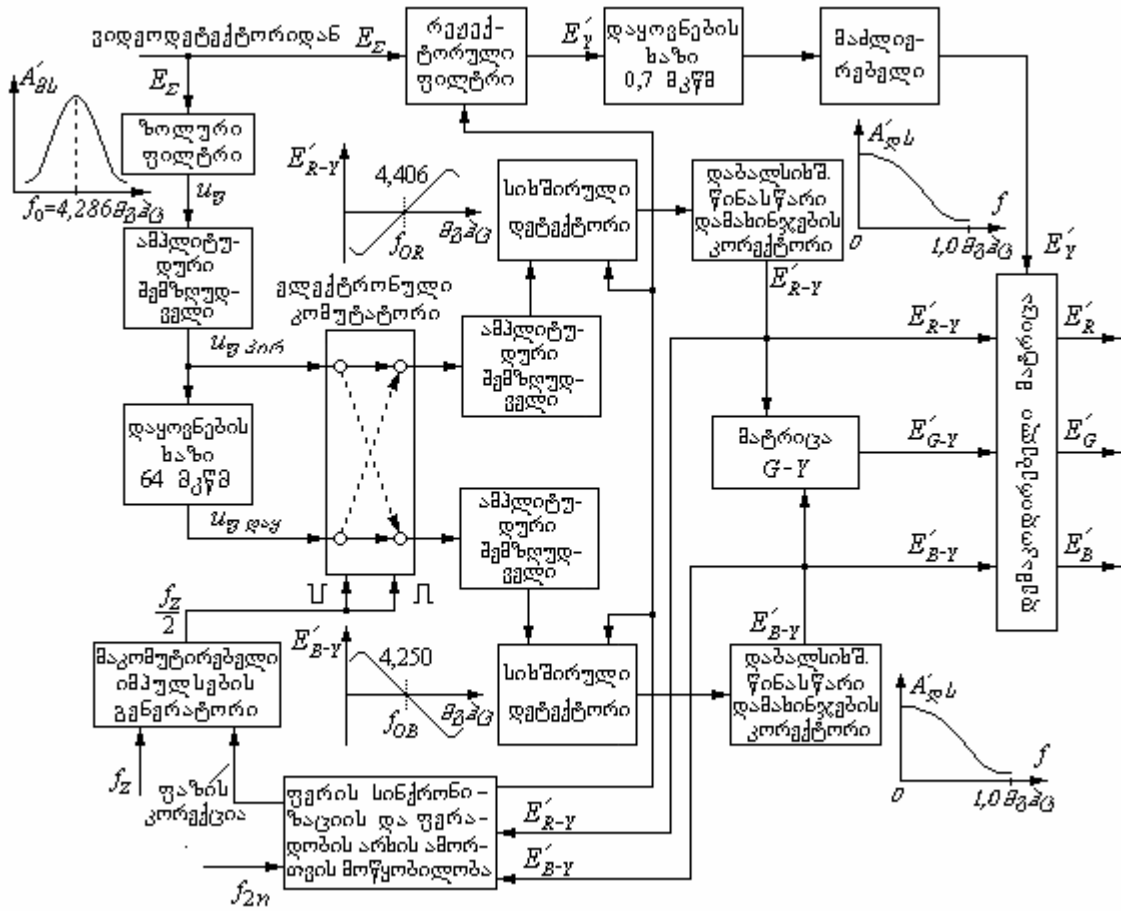
სიხშირულად მოდულირებული ფერადობის სიგნალისა და 0,7 მკწმ–ით დაყოვნებული და სინქრონიზაციის სიგნალნარევი სიკაშკაშის სიგნალის შეჯამების შედეგად მიიღება სრული ფერადი სატელევიზიო სიგნალი.

SECAM სისტემის დეკოდერის ბლოკ–სქემა

SECAM სისტემის დეკოდერის ერთ–ერთი ვარიანტის გამარტივებული ბლოკ–სქემა ნაჩვენებია ნახ.7.29–ზე. სატელევიზიო მიმღების ვიდეოდეტექტორიდან სრული ფერადი სატელევიზიო სიგნალი მიეწოდება სიკაშკაშისა და ფერადობის არხებს.

ფერადობის არხში $f_0 = 4,286$ მგჰც სიხშირეზე აწყობილი ზოლური ფილტრი („კლოშ“ ფილტრი), რომელსაც მაღალსიხშირული წინასწარდამახინჯების წრედის („ანტი–კლოშ“ ფილტრის) შებრუნებული სიხშირული მახასიათებელი აქვს, სრული სატელევიზიო სიგნალიდან გამოყოფს ფერადობის სიგნალს და ამასთან ერთად ახორციელებს მაღალსიხშირული წინასწარდამახინჯების კორექციას. ამპლიტუდის შეზღუდვის შემდეგ ფერადობის სიგნალი ერთდროულად მიეწოდება ელექტრონული კომუტატორის ერთ

შესასვლელსა და დაყოვნების ხაზს. ელექტრონული კომპუტატორი ანაწილებს პირდაპირ და დაყოვნებულ სიგნალებს ისე, რომ ზედა გამოსასვლელზე იყოს ყოველთვის D'_R -ის, ხოლო ქვედაზე D'_B -ს შემცველი ფერადობის სიგნალი.



ნახ.7.29

ამპლიტუდური შემზღვევლების შემდეგ ფერადობის სიგნალები მიეწოდება შესაბამის სისშირულ დეტექტორებს. მათ შებრუნებული ამპლიტუდურ-სისშირული მახასიათებლები აქვთ (ვინაიდან D'_R სიგნალის პოლარობა უარყოფითია, D'_B კი დადებითია), რის შედეგადაც დეტექტორების გამოსასვლელებზე დამატებითი გარდაქმნების გარეშე მიიღება E'_{R-Y} და E'_{B-Y} ფერთასხვაობითი სიგნალები. დაბალსისშირული წინასწარი დამახინჯების კორექტორებში (რომლებსაც დაბალსისშირული წინასწარი დამახინჯების წრედის შებრუნებული ამპლიტუდურ-სისშირული მახასიათებელი აქვთ) გავლის შემდეგ ფერთასხვაობითი სიგნალები მიეწოდება $G-Y$ და დემაკოდირებელ მატრიცებს, სადაც შესაბამისად ფორმირდება ჯერ E'_{G-Y} , ხოლო შემდეგ E'_R , E'_G და E'_B ფერდაყოფილი გამოსასვლელის სიგნალები.

კოდერში და დეკოდერში მომუშავე ელექტრონული კომუტატორების სინქრონულ და სინფაზურ მუშაობას უზრუნველყოფს ფერის სინქრონიზაციის მოწყობილობა. მის შესასვლელებს მიეწოდება E'_{R-Y} და E'_{B-Y} ფერთასხვაობითი სიგნალები, რომლებიც კადრული ჩამქრობი იმპულსების გადაცემის ინტერვალში შეიცავენ ფერის შემცნობ ცხრა იმპულსს (ნახ.7.28). როდესაც კომუტატორი კორექტულად მუშაობს, ფერის შემცნობი იმპულსების პოლარობა E'_{R-Y} და E'_{B-Y} სიგნალებში უარყოფითია. კომუტატორის არაკორექტული მუშაობისას მის გამოსასვლელზე D'_R და D'_B სიგნალები ადგილს შეიცვლიან და ფერის შემცნობი იმპულსების პოლარობა გახდება დადებითი. ამ შემთხვევაში ფერის სინქრონიზაციის მოწყობილობა გამოიმუშავეს მაკორექტირებელ იმპულსს, რომელიც მაკომუტირებელი იმპულსების გენერატორს გამომუშავებული იმპულსების ფაზას 180° -ით შეაცვლევინებს. გარდა ამისა, შავ-თეთრი გამოსახულების მიღების შემთხვევაში ფერის სინქრონიზაციის მოწყობილობა გამოიმუშავეს ფერადობის არხისა და რეექტორული ფილტრის ამომრთველ ძაბვას.

SECAM სისტემის საექსპლუატაციო დახასიათება

SECAM სისტემის ძირითადი ღირსებებია:

- უგრძობლობა დიფერენციალურ-ფაზური დამახინჯების მიმართ;
- დაბალი მგძნობიარობა (*NTSC* სისტემასთან შედარებით) ფერადობის სიგნალის ამპლიტუდის ცვლილების მიმართ;

ამასთან ერთად *SECAM* სისტემას გააჩნია ნაკლოვანი მხარეებიც:

- თუ სიგნალის მიღების ხელსაყრელ პირობებში *SECAM* და *NTSC* სისტემების დაბრკოლებამდგრადობა ფლუქტუაციური ხმაურის მიმართ თითქმის ერთნაირია, 18 დბ და ნაკლები სიგნალ-ხელშეშლის ფარდობის შემთხვევაში ფერადი გამოსახულების ხარისხი *SECAM* სისტემაში საგრძობლად უარესია;
- *SECAM* სისტემის თავსებადობის ხარისხი ჩამოუვარდება *NTSC* სისტემას – შავ-თეთრ სატელევიზიო მიმღებებში ფერადობის სიგნალის გამოსახულება უფრო შესამჩნევია;
- *SECAM* სისტემაში უფრო ვლინდება ჯვარედინი დამახინჯებები სიკაშკაშისა და ფერადობის არხებს შორის.

ჩამოთვლილი ნაკლოვანი მხარეების მიუხედავად, სიგნალის მიღების ხელსაყრელ პირობებში (სიგნალ-ხელშეშლის ფარდობა 18 დბ-ზე მეტი), *SECAM* სისტემა უზრუნველყოფს მაღალი ხარისხის გამოსახულებას, რომელიც არ ჩამოუვარდება *NTSC* და *PAL* სისტემებს.

საკონტროლო კითხვები

თავი I

1. განმარტეთ თანამედროვე ტელეხედვის პირველი ძირითადი პრინციპი.
2. განმარტეთ თანამედროვე ტელეხედვის მეორე ძირითადი პრინციპი.
3. რა არის გამოსახულების გაშლა?
4. რა არის გამოსახულების გაშლის წესი?
5. რა არის რასტრი?
6. დახაზეთ ხუთსტრიქონიანი სტრიქონსტრიქონობითი რასტრი.
7. დახაზეთ ხუთსტრიქონიანი სტრიქონგამოტოვებითი რასტრი.
8. რა თანმიმდევრობით ხორციელდება წრფივი სტრიქონული გაშლა?
9. დახაზეთ სატელევიზიო სისტემის ზოგადი ბლოკ-სქემა.
10. რა დანიშნულება აქვს სინქროგენერატორს და რას გამოიმუშავებს იგი?
11. ჩამოთვალეთ სატელევიზიო სისტემის ძირითადი პარამეტრები და მათი მნიშვნელობები *SDTV* და *HDTV* ევროპულ და ამერიკულ სტანდარტებში.

თავი II

1. რისი ტოლია გამოსახულების დაკვირვების ოპტიმალური მანძილი?
2. რატომ აირჩიეს სტრიქონების რაოდენობა კადრში 625-ის ტოლი?
3. რატომ არის სტრიქონების რაოდენობა კენტი?
4. რა არის ციმციმოს კრიტიკული სიხშირე?
5. რა კავშირია ციმციმის კრიტიკულ სიხშირესა და მოციმციმე სინათლის წყაროს სიკაშკაშეს შორის?
6. რა კავშირია ციმციმის კრიტიკულ სიხშირესა და მოციმციმე სინათლის წყაროს ზომას შორის?
7. რატომ აირჩიეს კადრების გამეორების სიხშირე ევროპაში 25 ჰც-ის, ხოლო ამერიკაში 30 ჰც-ის ტოლი?
8. რა უპირატესობა გააჩნია სტრიქონგამოტოვებითი გაშლის წესს პროგრესულთან შედარებით?
9. რატომ ცდილობენ თანამედროვე სატელევიზიო სისტემებში პროგრესული გაშლის გამოყენებას?
10. რატომ არის მიღებული თანამედროვე *HDTV* სისტემებში კადრის ფორმატი 16/9 ?

თავი III

1. ჩამოთვალეთ სატელევიზიო გამოსახულების ძირითადი ხარისხობრივი მაჩვენებლები.
2. განმარტეთ ტალბოტის კანონი.
3. განმარტეთ ვებერ-ფეხნერის კანონი.

4. როგორ გამოითვლება ადამიანის თვალით აღქმული სიკაშკაშის გრადაციების რაოდენობა?
5. როგორ განისაზღვრება და რაზეა დამოკიდებული გამოსახულების მკაფიოობა ჰორიზონტალურად?
6. როგორ განისაზღვრება და რაზეა დამოკიდებული გამოსახულების მკაფიოობა ვერტიკალურად?
7. როგორ განისაზღვრება გამოსახულების გეომეტრიული დამახინჯება?

თავი IV

1. როგორია სრული სატელევიზიო სიგნალის შემადგენლობა?
2. დახაზეთ სრული სატელევიზიო სიგნალის ფორმა ორი სტრიქონის პერიოდისათვის ნეგატიურ პოლარობაში.
3. დახაზეთ სრული სატელევიზიო სიგნალის ფორმა ორი ნახევარკადრის პერიოდისათვის პოზიტიურ პოლარობაში.
4. საიდან იწყება სტრიქონების ნუმერაცია?
5. რატომ არის დაძრული სტრიქონული სინქროიზმულსი ჩამქრობი იმპულსის წინა ფრონტისკენ?
6. დროის რომელი მომენტი შეესაბამება “ჭეშმარიტების მომენტს” სინქრონიზაციის პროცესში?
7. რატომ არის ჩატრილი კადრული სინქროიზმულსები?
8. რა დანიშნულება აქვთ მათანაბრებელ იმპულსებს?
9. რა ნიშნით განსხვავდებიან სტრიქონული და კადრული სინქროიზმულსები?
10. რა საშუალებებით ხდება კადრული და სტრიქონული სინქროიზმულსების სელექცია რთული სინქრონარევიდან?
11. როგორია ვიდეოსიგნალის სასაზღვრო სიხშირეები?
12. რა გადაიცემა ვიდეოსიგნალის “მუდმივი” მდგენელით?
13. განსაზღვრეთ ვიდეოსიგნალის სპექტრის ქვედა სასაზღვრო სიხშირე.
14. განსაზღვრეთ ვიდეოსიგნალის სპექტრის ზედა სასაზღვრო სიხშირე.
15. როგორია ვიდეოსიგნალის სპექტრის სტრუქტურა სტიქონსტრიქონობითი გაშლის დროს?
16. როგორია ვიდეოსიგნალის სპექტრის სტრუქტურა სტრიქონგამოტოვებითი გაშლის დროს?
17. როგორ იცვლება ვიდეოსიგნალის სპექტრის სტრუქტურა მოძრავი გამოსახულების შემხვევაში?

თავი V

1. რა ოპერაციები სრულდება ანალოგურ-ციფრული გარდაქმნისას?
2. განმარტეთ ნაიკვისტ-კოტელნიკოვის თეორემა.
3. როგორ განისაზღვრება ორობით კოდში თანრიგების რაოდენობა ანალოგურ-ციფრული გარდაქმნისას?

4. როგორ განისაზღვრება ციფრული ინფორმაციის გადაცემის სიჩქარე?
5. რისი ტოლია ციფრული ინფორმაციის გადასაცემად აუცილებელი კავშირის არხის სიშირეთა გატარების ზოლი?
6. რაში მდგომარეობს ინფორმაციის ფიზიოლოგიური, სტრუქტურული და სტატისტიკური სიჭარბე?
7. ჩამოთვალეთ კომპრესიის ამჟამად ყველაზე გავრცელებული მეთოდები.
8. აღწერეთ ციფრული სატელევიზიო სისტემის განზოგადოებული სტრუქტურული სქემა.

თავი VI

1. აღწერეთ ხილვადობის მრუდი.
2. რას გულისხმობს ფერადი მხედველობის სამკომპონენტიანი თეორია?
3. რა არის მეტამერული ფერები?
4. რით აიხსნება მეტამერული ფერების არსებობა?
5. როგორ ხორციელდება ფერების ადიტიური შერევა?
6. ჩამოთვალეთ და განმარტეთ ფერის მახასიათებლები.
7. განმარტეთ ფერთა ადიტიური შერევის კანონები.
8. რომელ ფერებს ეწოდება ძირითადი?
9. როგორ შეიძლება ფერის აღწერა მათემატიკურად?
10. რას წარმოადგენს ფერთა სივრცე?
11. როგორ მიიღება და რას წარმოადგენს ფერთა ლოკუსი?
12. რას წარმოადგენს თანაბარენერგეტიკული თეთრი ფერი?
13. რას ასახავს ფერის ვექტორის სიგრძე და მიმართულება?
14. რამდენი კოლორიმეტრიული სისტემა შეიძლება არსებობდეს?
15. აღწერეთ *RGB* კოლორიმეტრიული სისტემა.
16. რა ნაკლი და დადებითი მხარე აქვს *RGB* კოლორიმეტრიულ სისტემას?
17. აღწერეთ *XYZ* კოლორიმეტრიული სისტემა.
18. რა ნაკლი და დადებითი მხარე აქვს *XYZ* კოლორიმეტრიულ სისტემას?
19. რას წარმოადგენს ფერთა გრაფიკი?
20. რას წარმოადგენს შერევის მრუდები?
21. სად მდებარეობს ორი ფერის ნარევის ფერადობის წერტილი?
22. სად მდებარეობს სამი ფერის ნარევის ფერადობის წერტილი?
23. რა არის ფერადობის ტემპერატურა?
24. აღწერეთ ფერადი გამოსახულების ანალიზისა და სინთეზის პროცესები მიმდევრობით სატელევიზიო სისტემაში.
25. არღწერეთ ფერადი გამოსახულების ანალიზისა და სინთეზის პროცესები ერთდროულ სატელევიზიო სისტემაში.
26. რას წარმოადგენენ ფერდაყოფილი გამოსახულების სიგნალები?
27. რას გულისხმობს თავსებადობის პრინციპი?

28. რას წარმოადგენს და როგორ გამოისახება სიკაშკაშის სიგნალი?
29. რას წარმოადგენენ ფერთასხვაობითი სიგნალები?
30. რით აიხსნება სამი ფერდაყოფილი გამოსახულების სიგნალიდან სიკაშკაშისა და ორ ფერთასხვაობით სიგნალზე გადასვლის აუცილებლობა?
31. ჩამოთვალეთ ფერთასხვაობითი სიგნალების თვისებები.
32. აღწერეთ თავსებადი ფერადი სატელევიზიო სისტემის განზოგადოებული სტრუქტურული სქემა.

თავი VI

1. აღწერეთ *NTSC* სისტემაში გამოყენებული კვადრატურული ამპლიტუდური მოდულაციის მეთოდი.
2. რას წარმოადგენს ფერადობის სიგნალი *NTSC*-ში?
3. რა დანიშნულება აქვს და როგორ გადაიცემა ფერის სინქრონიზაციის სიგნალი *NTSC*-ში?
4. რითი განსხვავდება *NTSC*-ის ევროპული და ამერიკული ვარიანტები?
5. როგორ არის შერჩეული ფერადობის სიგნალის ქვეგადამტანი სიხშირე *NTSC*-ში?
6. აღწერეთ *NTSC*-ის კოდერის ბლოკ-სქემა.
7. აღწერეთ *NTSC*-ის დეკოდერის ბლოკ-სქემა.
8. მოიყვანეთ *NTSC*-ის საექსპლუატაციო დახასიათება.
9. განმარტეთ *PAL* სისტემის ძირითადი განსხვავება *NTSC* სისტემისაგან.
10. როგორ არის შერჩეული ფერადობის სიგნალის ქვეგადამტანი სიხშირე *PAL*-ში?
11. რის ხარჯზე ხდება შავ-თეთრი სატელევიზიო მიმღებების ეკრანზე ფერადობის სიგნალის გამოსახულების ავტოკომპენსაცია *NTSC* და *PAL* სისტემებში?
12. მოიყვანეთ *PAL* სისტემის საექსპლუატაციო დახასიათება.
13. აღწერეთ *SECAM* სისტემის აგების ძირითადი პრინციპები.
14. აღწერეთ *SECAM-3B* სისტემის კოდერის ბლოკ-სქემა.
15. აღწერეთ *SECAM-3B* სისტემის დეკოდერის ბლოკ-სქემა.
16. მოიყვანეთ *SECAM-3B* სისტემის საექსპლუატაციო დახასიათება.

ლიტერატურა

1. **Телевидение.** Учебник для вузов. Под редакцией В.Е. Джакония. 4 –е изд., стереотип. М., Горячая линия- Телеком. 2007. 616 стр.
2. **Домбругов Р.М.** Телевидение. Киев, Вища школа. 1988. 213 стр.
3. **დ. ბერიაშვილი, მ. ქურციკიძე.** ლაბორატორიული სამუშაოები ტელეხედვის კურსში. სპი-ს სარედაქციო-საგამომცემლო განყოფილება. თბილისი. 1984. 54 გვ.
4. **Лузин В.И. и др.** Основы телевизионной техники. Учебное пособие. М., СОЛОН-Пресс. 2003. 432 стр.
5. **გ. გაბესკირია.** ტელეხედვის საფუძვლები. დამხმარე სახელმძღვანელო. თბილისი. გამომცემლობა “ცოტნე”. 2003. 260 გვ.
6. **გ. გაბესკირია.** ტელემაუწყებლობის საფუძვლები. დამხმარე სახელმძღვანელო. თბილისი. გამომცემლობა “ზეკარი”. 2006. 350 გვ.
7. **625.** Научно – технический журнал. “Издательство 625”. 1997 – 2008 г.г. www.625-net.ru
8. www.iateacher.com/index.html