

ნუგზარ ლომიძე

უკაბელო კავშირის სისტემები და
მისი ორგანიზაციის პრინციპები
(ლექციათა კურსი)

2010

შინაარსი

შესავალი -----	4
თავი I. უკაბელო კავშირის სისტემები -----	7
§1.1 შესავალი რადიოტალღების თეორიაში -----	7
§1.2 უკაბელო კავშირის სახეები და ორგანიზაციის პრინციპები -----	15
§1.3 უკაბელო კავშირის სისტემები MMDS -----	27
§1.4 უკაბელო კავშირის სისტემები LMDS -----	28
§1.5 უკაბელო კავშირის ოპტიკური არხები FSO -----	33
§1.6 თანამგზავრული კავშირი -----	38
თავი II. ანტენური სისტემები -----	45
§2.1 შესავალი ანტენების თეორიაში -----	45
§2.2 ანტენური მახასიათებლები -----	51
§2.3 მრავალელემენტური ანტენები უკაბელო კავშირის სისტემაში -----	55

შესავალი

რადიოლოკაციური სადგურების შესაძლებლობების გაფართოება ისე რომ შემცირდეს რადიოლოკაციური შემჩნევითობა და მიღებული სიგნალის ხმაურის ფონი წარმოადგენს ყველაზე რთულ ამოცანას თანამედროვე რადიოლოკაციაში. დღეს-დღეობით ციფრული რადიოლოკატორების შექმნამ და ფართო სისშირულ ზოლიანი ზონდირებადი სიგნალის დანერგვამ მნიშვნელოვნად გაზარდა ინტერესი ამ პრობლემის მიმართ [1]. რადიოლოკაციური სისტემები სიზუსტისა და გაზომვების შესაძლებლობების გაზრდა პირდაპირ დაკავშირებულია ზონდირებული სიგნალის სტრუქტურის სირთულესა და სისშირული ზოლის გაფართოებასთან. ლექციათა კურსი ეძღვნება თანამედროვე უკაბელო კავშირის სისტემებს, მისი ორგანიზაციის პრინციპებს, სახეებს, ფორმებს.

პირველ თავში განხილულია უკაბელო კავშირის სისტემების სახეები, ფორმები გაკეთებულია მათი შედარებითი ანალიზი და პერსპექტივები. §1.1-ში წარმოდგენილია რადიოტალღების სისშირული დაყოფის სქემა, ნაჩვენებია თითოეული სისშირული დიაპაზონის პრაქტიკაში გამოყენების არეალი, დანიშნულება და გაანალიზებულია გრძელი, მოკლე და ულტრა მოკლე ტალღების გავრცელების მექანიზმი, როგორც დედამიწის ზედაპირის გასწვრივ ასევე იონოსფეროს გავლით, შესწავლილია რადიოტალღების გავრცელებაზე ბუნებრივი ფაქტორების: მზის გამოსხივების, დედამიწის დღე-ღამური ბრუნვის, ატმოსფერული და კლიმატური პირობების გავლენა [11,13]. §1.2-ში განხილულია უკაბელო კავშირის სახეები, განხილულია რეპიტერების, კონტროლიორების და ხმაურმშობი ფილტრების დანიშნულება, ფუნქცია [2,8,9,15]. §1.3-ში, §1.4-ში, §1.5-ში შესწავლილია უკაბელო კავშირის მრავალარხიანი, ლოკალური და ოპტიკური სისტემები, დეტალურად განხილულია სისტემების დადებითი და უარყოფითი მხარეები. შესწავლილია უკაბელო კავშირის სისტემების

არქიტექტურა, დროში მდგრადობა და შედარებულია ამ სისტემების უწყვეტი მოქმედების დრო. უკაბელო კავშირის სისტემების სხვადასხვა სახეობა სხვადასხვა სიხშირის რადიოტალღებზე ფუნქციონირებს, ამიტომ ბუნებრივია მნიშვნელოვანია ისეთი პროტოკოლური სტანდარტის უზრუნველყოფა, რომელიც სხვადასხვა სახის უკაბელო კავშირის სისტემების ერთმანეთთან დაკავშირების საშუალებას მოგვცემს [3-6]. §1.6-ში განხილულია თანამედროვე თანამგზავრული სისტემები, გეოსტაციონალური და მოძრავი თანამგზავრების მთელი სისტემა დედამიწას ყველაზე მძლავრ რადიოვარსკვლავად აქცევს. თანამგზავრული სისტემების დიფერენციაციის გზით ნაჩვენებია, რომ კავშირის მდგრადობა დამოკიდებულია მთელ რიგ პარამეტრებზე, მათ შორის კი ერთ-ერთ მათგანს წარმოადგენს კარგად და სწორად შერჩეული ანტენა ან ანტენური სისტემა [3-4].

სამაგისტრო შრომის მეორე თავში შესწავლილია ანტენური სისტემები, რომლებიც შესაძლებელია გამოყენებული იქნას უკაბელო კავშირის ორგანიზაციისას. დახასიათებულია გძელი, მოკლე და ულტრამოლე ტალღოვანი ანტენები, მათი მიმართული ქმედების დიაგრამები, გაძლიერებისა და მიმართული ქმედების კოეფიციენტები და სხვა (§2.1) [12]. §2.2-ში განხილულია ანტენური მახასიათებლები, რომლებიც მეცნიერთა ინტენსიური დაკვირვებისა და შესწავლის ქვეშ მოექცა, როგორცაა: ანტენური სისტემის გაბნევის ეფექტური განიკვეთის შემცირება, ანტენურ სისტემებზე სხვა გარეშე ელექტრონული მოწყობილობების უარყოფითი გავლენის შემცირება და სხვა. გამოთვლილია ნებისმიერი მოცულობისა და ფორმის n ელემენტებიანი ანტენის ველი დაკვირვების წერტილში, რომელიც ფრაუნ-ჰოფერის ზონაში იმყოფება [7-10]. §2.3-ში შესწავლილია გარეშე დაბრკოლებების (ხმაურის) გავლენა სასრულებლო სიგნალზე. ხმაურს წარმოქმნის დაბრკოლებები, კერძოდ რადიოელექტრონული მოწყობილობები და სხვა გამომხივებელი წყაროები. განხილულია ე.წ.

“ინტელექტუალური” ანტენის მოდელი, რომელიც ფუნქციონირებს სამაგისტრო შრომაში დამუშავებული ალგორითმის შესაბამისად [13-15]. ნაჩვენებია, რომ როგორც ალგორითმი ასევე ამ ალგორითმის შესაბამისად მოქმედი ანტენა მდგრადია გარეშე დაბრკოლებებისადმი, მათ შორის მოძრაობისადმი. ჩატარებულია რიცხვითი ექსპერიმენტი 10 ელემენტისანი მოდიფიცირებული ანტენის მაგალითზე და ფორმირებულია მიმართულების დიაგრამა სიგნალის მიღების რეჟიმში დაბრკოლებათა სხვადასხვა რიცხვისათვის [16].

თავი I

უკაბელო კავშირის სისტემები

§1.1. შესავალი რადიოტალღების თეორიაში

რადიოტალღები – ელექტრომაგნიტური რხევებია, რომლებიც ვრცელდებიან სივრცეში სინათლის სიჩქარით, თავის მხრივ სინათლეს ელექტრომაგნიტური ტალღაა. რადიოტალღებს სივრცეში გადააქვს ენერგია, რომელსაც ასხივებს ელექტრომაგნიტური რხევების გენერატორი. რადიოტალღები წარმოიქმნება ელექტრული ველის ცვლილების შედეგად, მაგალითად: როცა გამტარში გადის ცვლადი ელექტრული დენი ან როცა სივრცეში გაიელვებს ნაპერწკალი, ე.ი. დენის თანმიმდევრული იმპულსები. ელექტრომაგნიტური გამოსხივება ხასიათდება სიხშირით, ტალღის სიგრძით და გადატანილი ენერგიის სიმძლავრით. ელექტრომაგნიტური ტალღის სიხშირე გვიჩვენებს თუ რამდენჯერ იცვლება ელექტრული დენის მიმართულება წამში, შესაბამისად, რამდენჯერ იცვლება სივრცის ყოველ წერტილში ელექტრული და მაგნიტური ველის სიდიდე. სიხშირე იზომება ჰერცებში (ჰც), რომელიც გერმანელი მეცნიერის ჰენრიხ რუდოლფ ჰერცის საპატივცემულოდ დაერქვა. 1 ჰც – არის ერთი რხევა წამში, 1მეგაჰერცი (მგჰც) მილიონი რხევა წამში. ვიცით რა, რომ ელექტრომაგნიტური ტალღების სიჩქარე სინათლის სიჩქარის ტოლია შეიძლება ვიპოვოთ სივრცის იმ მეზობელ წერტილებს შორის მანძილი, რომლებშიდაც ელექტრული (მაგნიტური) ველი იმყოფება ერთსა და იმავე ფაზაში. ამ წერტილებს შორის მანძილს ტალღის სიგრძე ეწოდება. ტალღის სიგრძე განისაზღვრება ტალღის გავრცელების სიჩქარის ფარდობით ტალღის

სიხშირესთან. ტალღის სიგრძის განმარტებიდან გამომდინარე 1 მეჰც სიხშირის ელექტრომაგნიტური ტალღის სიგრძე 300 მეტრია. სიხშირის გაზრდით ტალღის სიგრძე მცირდება და პირიქით სიხშირის შემცირებით ტალღის სიგრძე იზრდება. ტალღის სიგრძის სიდიდეს ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს რადიოსისტემის ანტენის შერჩევისას, რადგანაც სწორედ ტალღის სიგრძეზე არის დამოკიდებული ანტენის სიგრძე. ელექტრომაგნიტური ტალღები თავისუფლად ვრცელდება ჰაერში ან კოსმოსურ სივრცეში (ვაკუუმში, პლაზმაში), მაგრამ თუ მათ გავრცელების გზაზე შეხვდებით ლითონის მავთული, ანტენა ან ნებისმიერი სხვა გამტარი ნივთიერება, მაშინ ელექტრომაგნიტური ტალღა გადასცემს დაბრკოლებით მის ენერგიას, რის შედეგადაც ამ გამტარ ნივთიერებაში წარმოიქმნება ცვლადი ელექტრული დენი. ცხადია გამტარი ნივთიერების მიერ არ შთაინთქმება ტალღის მთელი ენერგია, ტალღის ენერგიის ნაწილი აირეკლება გამტარი ნივთიერების ზედაპირიდან. აი სწორედ ასეთ პრინციპს ეფუძნება ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოყენება რადიოლოკაციისას. ელექტრომაგნიტური ტალღების კიდევ ერთი სასარგებლო თვისება არის დაბრკოლებების გარშემოვლა, მაგრამ ეს შესაძლებელია მხოლოდ მაშინ, როცა დაბრკოლებების (გამტარი ნივთიერების) ზომები მცირეა ვიდრე ტალღის სიგრძე ან მისი რიგისაა. მაგალითად: იმისათვის, რომ აღმოვაჩინოთ თვითმფრინავი ლოკატორის რადიოტალღების სიგრძე უნდა იყოს თვით ლოკატორის გეომეტრიულ ზომებთან შედარებით მცირე (10 მეტრზე მცირე). თუ სხეულის ზომები დიდია ვიდრე ტალღის სიგრძე, მაშინ მას შეუძლია აირეკლოს ტალღა, თუმცა არა ყოველთვის მაგალითად, ამერიკული თვითმფრინავის «Stealth» შემთხვევაში ელექტრომაგნიტური ტალღები არ აირეკლებოდა, რისთვისაც ამ თვითმფრინავს უჩინარი თვითმფრინავი შეარქვეს.

ენერგია, რომელიც გადააქვს ელექტრომაგნიტურ ტალღას დამოკიდებულია გენერატორის (გამომსხივებლის) სიმძლავრეზე და მისგან დაშორებაზე. მეცნიერულად ეს ასე შეიძლება ჩამოვყალიბოთ: ენერგიის ნაკადი გამავალი ერთეულოვანი ფართობის გავლით პირდაპირპროპორციულია გამოსხივების სიმძლავრისა და უკუპროპორციულია გამომსხივებლამდე მანძილის კვადრატისა. ეს კი ნიშავს, რომ კავშირის სიშორე დამოკიდებულია გადამცემის სიმძლავრეზე. ამავე დროს იგი კიდევ უფრო ძლიერად არის დამოკიდებული წყარომდე მანძილზე. მაგალითად მზის ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ენერგიის ნაკადი დედამიწის ზედაპირზე შეადგენს 1 კილოვატს კვადრატულ მეტრზე, ხოლო საშუალო ტალღოვანი რადიოსამაუწყებლო სადგურის სიმძლავრე კვადრატულ მეტრზე შეადგენს რამოდენიმე ათასს და შესაძლოა რამოდენიმე მილიონ ვატს.

რადიოტალღებს (რადიოსიხშირეებს), რომლების გამოიყენება რადიოტექნიკაში 10 000 მ (30 კჰც) დან – 0,1მ (3000 გჰც) – მდე დიაპაზონი უკავიათ. ეს არის ელექტრომაგნიტური ტალღების ფართო სპექტრის ნაწილი. რადიოტალღების შემდეგ (ტალღის სიგრძის შემცირების ან სიხშირის გაზრდის შედეგად) მიიღება სითბური ან ინფრაწითელი სხივები, შემდეგ მოდის ხილული სინათლის ვიწრო დიაპაზონი, შემდეგ ულტრაიისფერი, რენტგენის და გამა სხივები. ყველაფერი ეს ელექტრომაგნიტური ტალღებია, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან მხოლოდ ტალღის სიგრძით და შესაბამისად სიხშირით. თუმცა მთელი ამ სპექტრის წარმოდგენა ისე თითქოს მათ შორის რაიმე მკვეთრი საზღვარია შეუძლებელია, ეს დაყოფა პირობითია. ისინი ერთმანეთში გადადის უწყვეტად ერთიდან მეორეში, ხოლო ზოგიერთ

შემთხვევაში კი ერთმანეთს ფარავენ. რადიოტალღების მთელი სპექტრი საერთაშორისო შეთანხმების შესაბამისად დაყოფილია შემდეგ დიაპაზონებად:

სიხშირული დიაპაზონი	დიაპაზონის დასახელება	დიაპაზონში ტალღის დასახელება	ტალღის სიგრძე
3–30 კჰც	ძალიან დაბალი სიხშირეები	მირიამეტრული	100–10 კმ
30–300 კჰც	დაბალი სიხშირეები	კილომეტრული	10–1 კმ
300–3000 კჰც	საშუალო სიხშირეები	ჰექტომეტრული	1–0.1 კმ
3–30 მგც	მაღალი სიხშირეები	დეკამეტრული	100–10 მ
30–300 მგც	ძალიან მაღალი სიხშირეები	მეტრული	10–1 მ
300–3000 მგც	ულტრა მაღალი სიხშირეები	დეციმეტრული	1–0.1 მ
3–30 გჰც	ზემაღალი სიხშირეები	სანტიმეტრული	10–1 სმ
30–300 გჰც	ზღვრულად მარალი სიხშირეები	მილიმეტრული	10–1 მმ
300–3000 გჰც	ჰიპერმარალი სიხშირეები	დეციმილიმეტრული	1–0.1 მმ

მაგრამ ეს დიაპაზონები ზალიან ზოგადია და თავის მხრივ დაყოფილია უბნებად, რომლებშიდაც შედის ე.წ. რადიოსმაუწყებლო და სატელევიზიო დიაპაზონები, დედამიწის ზედაპირული და ავიაციური, კოსმოსური და საზღვაო დიაპაზონები, დიაპაზონი მონაცემთა გადაცემისათვის და სამედიცინო დიაპაზონი, რადიოლოგაციისა და რადიონავიგაციის დიაპაზონი და ა.შ. ყოველ რადიოსამსახურს გამოყოფილი აქვს თავისი კუთვნილი სიხშირული დიაპაზონი ან ფიქსირებული სიხშირეები.

ეს დაყოფა ძალიან დახლართულია, ამიტომ ძალიან ბევრი სამსახური იყენებს საკუთარ „შიდა“ ტერმინოლოგიას. ჩვეულებრივ დიაპაზონთა აღსანიშნავად მოძრავ დედამიწისეული კავშირისას სარგებლობენ შემდეგი დასახელებებით:

ტერმინი	სიხშირული დიაპაზონი	განმარტება
მოკლექტალოვანი დიაპაზონი	2–30 მგჰც	გავრცელების თავისებურებების გამო ძირითადად გამოიყენება შორეული კავშირებისას.
«Citizen – Band»	25.6–30.1 მგჰც	სამოქალაქო დიაპაზონი, რომელითაც შეიძლება სარგებლობდნენ კერძო პირები. სხვადასხვა ქვეყანაში ამ დიაპაზონში გამოყოფილია 40–დან 80–მდე ფიქსირებული სიხშირე (არხი).
«Low Band»	33–50 მგჰც	მოძრავ ობიექტებთან კავშირი დედამიწაზე.

უმდ	136–174 მგჰც	შედარებით გავრცელებული დიაპაზონი მოძრავ ობიექტებთან დასაკავშირებლად.
დდ	400–512 მგჰც	დეციმეტრული ტალღები, ხშირად მას უმდ დიაპაზონში აერთიანებენ და გულისხმობენ, რომ უმდ დიაპაზონი მოქცეულია 136–დან 512–მდე.
«800 მგჰც» >	806–825 და 851–870 მგჰც	მობილური კავშირები.

რადიოტალღები გამოსხივდება ანტენის გავლით და ვრცელდება სივრცეში ელექტრომაგნიტური ველის ენერჯის სახით. მიუხედავად იმისა, რომ სხვადასხვა რადიოტალღების ბუნება ერთნაირია, მათ გავრცელებაზე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ის თუ როგორია ტალღის სიგრძე.

დედამიწა რადიოტალღებისათვის წარმოადგენს ელექტროობის გამტარს (თუმცა არც თუ კარგ გამტარს). დედამიწის ზედაპირის მახლობლად გავრცელებისას რადიოტალღები თანდათანობით სუსტდება. ეს განპირობებულია იმით, რომ ელექტრომაგნიტური ტალღა დედამიწის ზედაპირზე აღძრავს ელექტროდენებს, რაზედაც იხარჯება ენერჯის ნაწილი. ე.ი. ენერჯია შთაინთქმება დედამიწის მიერ, ამასთან მით უფრო ძლიერად რაც უფრო ნაკლებია ტალღის სიგრძე (დიდია სიხშირე). გარდა ამისა ტალღის ენერჯია სუსტდება კიდევ იმის გამოც, რომ გამოსხივება ვრცელდება სივრცის ყველა მიმართულებით. რაც უფრო შორს იმყოფება მიმღები წყაროსაგან მით უფრო მცირე ენერჯია გადაეცემა მიმღებ ანტენას.

გრძელტალღოვანი სამაუწყებლო სადგურების მიერ გადაცემული სიგნალის მიღება შეიძლება რამოდენიმე ათეული ათასი კილომეტრის მანძილზე. საშუალოტალღოვანი სადგურები გამოიყენება ათასამდე კილომეტრის ფარგლებში, რაც შეეხება მოკლე ტალღებს – მათი ენერჯია მკვეთრად კლებულობს წყაროდან მოშორებისას.

100 მეტრზე ნაკლები ტალღის სიგრძის ტალღები საერთოდ არ გამოიყენება შორეული კავშირების დასამყარებლად. მაგრამ მოკლე და ულტრამოკლე ტალღების შემდგომმა გამოკვლევებმა აჩვენეს, რომ ისინი

სწრაფად მიიღევა, როცა ვრცელდებიან დედამიწის ზედაპირის გასწვრივ გამოსხივების ვერტიკალურად ზემოთ მიმართვის შემთხვევაში, მოკლე ტალღები აირეკლება და ბრუნდება უკან. ჯერ კიდევ 1902 წელს ინგლისელმა მათემატიკოსმა ოლივერ ჰევისაიდმა (Oliver Heaviside) და ამერიკელმა ინჟინერ-ელექტრიკოსმა არტურ ედვინ კენელიმ (Artur Edwin Kennelli), პრაქტიკულად ერთდროულად იწინასწარმეტყველეს, რომ დედამიწის ზედაპირს გარს აკრავს ჰაერის იონიზირებული ფენა - ბუნებრივი სარკე, რომელიც ირეკლავს ელექტრომაგნიტურ ტალღას. დედამიწის იონოსფეროს უნდა გამოეწვია რადიოტალღების გავრცელების სიშორის ზრდა პირდაპირი ხედვის მანძილთან შედარებითაც კი. ექსპერიმენტალურად ეს წინასწარმეტყველება დადასტურდა 1923 წელს. რადიოსიხშირული იმპულსები გადაეცემოდა ვერტიკალურად ზევით არეკვლის შედეგად მიიღებოდა უკან დაბრუნებული სიგნალები. გადაცემული იმპულსების მიღების დროის შუალედის გაზომვის გზით შესაძლებელი გახდა გაეზომათ სიმაღლე და ამრეკლავი ფენების რაოდენობა.

იონოსფეროდან არეკვლილი მოკლე ტალღები ბრუნდებოდა უკან დედამიწაზე ისე, რომ ჩრდილში ექცეოდა ე.წ. “მკვდარი ზონა” - რამოდენიმე ასეული კილომეტრი, ტალღა აირეკლებოდა დედამიწის ზედაპირიდან და კვლავ მიემართებოდა იონოსფეროსაკენ, საიდანაც ხელმეორედ ირეკლებოდა და ა.შ. ასე მრავალჯერადი არეკვლის გზით რადიოტალღას შეუძლია რამოდენიმეჯერ გარს შემოუაროს დედამიწის სფეროს.

დადასტურებულია, რომ არეკვლის სიმაღლე პირველ რიგში დამოკიდებულია ტალღის სიგრძეზე. რაც უფრო მოკლეა ტალღა მით უფრო დიდ სიმაღლეზე ხდება მისი არეკვლა და შესაბამისად დიდია

“მკედარი ზონა”. ეს დამოკიდებულება სამართლიანია მხოლოდ სპექტრის მოკლეტალღოვანი დიაპაზონისათვის (დაახლოებით 25-30 მგჰც). კიდევ უფრო მოკლე ტალღებისათვის იონოსფერო გამჭვირვალე ხდება და მაშასადამე არეკვლას ადგილი არ აქვს.

არეკვლა დამოკიდებულია არა მხოლოდ სიხშირეზე, არამედ დღე-ღამურ პერიოდზეც, რადგანაც იონოსფერო იონიზირდება მზის ენერჯის ხარჯზე. ცხადია ღამის დადგომასთან ერთად ის თანდათანობით კარგავს ამრეკლ ბუნებას. იონიზაციის ხარისხიც ასევე დამოკიდებულია მზის აქტიურობაზე, რომელიც იცვლება წელიწადის სხვადასხვა პერიოდის მიხედვით, ასევე წლიდან წლამდე 7 წლიანი ციკლის მიხედვით.

ულტრა მოკლე დიაპაზონის რადიოტალღები მნიშვნელოვან წილად ჰგავს სინათლის სხივს. ისინი პრაქტიკულად არ აირეკლება იონოსფეროდან, ძალიან უმნიშვნელოდ ფარავენ დედამიწის ზედაპირს და ვრცელდება პრაქტიკულად პირდაპირი ხედვის მიმართულებით. ამიტომ ულტრამოკლე ტალღების გავრცელების სიშორე არ არის დიდი. თუმცა მათ გააჩნიათ გარკვეული უპირატესობა რადიოკავშირისას. რადგანაც უმდ ტალღები ვრცელდება პირდაპირი ხედვის მიმართულებით, ამიტომ შეიძლება რაიოსადგურების განთავსება 150-200 კმ მანძილზე ერთმანეთისაგან. მაშასადამე შესაძლებელია რამოდენიმე ასეთი სადგურის მიერ ერთი რომელიმე კონკრეტული სიხშირის მრავალჯერადი გამოყენება მოხდეს. დეციმეტრული და 800 მგჰც სიხშირისა და მეტი დიაპაზონის ტალღების თვისებები კიდევ უფრო ახლოსაა სინათლის სხივის თვისებებთან. თუ გავიხსენებთ როგორ არის მოწყობილი ფანარი, შეიძლება კარგი ანალოგიის მოყვანა. სინათლე ფანარის ცენტრში განთავსებული ნათურიდან რომ წარმოიქმნება აირეკლება რეფლექტორიდან და იკრიბება ვიწრო კონის სახით, რომელიც შეიძლება

მიმართოთ ნებისმიერი მიმართულებით. დაახლოებით ასეთი რამ შეიძლება გავაკეთოთ მაღალსიხშირული ელექტრომაგნიტური ტალღების შემთხვევაშიდაც. შეიძლება ისინი შევკერიბოთ სარკეებით - ანტენებით და გავაგზავნოთ ვიწრო კონის სახით. ცხადია დაბალსიხშირული ტალღებისათვის ასეთი ანტენის შექმნა შეუძლებელია, რადგანაც ძალიან დიდი იქნებოდა ასეთი ანტენის ზომები (დიდია ტალღის სიგრძე, ხოლო ანტენის დიამეტრი რამდენჯერმე დიდი უნდა იყოს ტალღის სიგრძეზე). მიმართული გამოსხივების რეალიზებამ კიდევ უფრო ეფექტური გახადა რადიოკავშირის განხორციელება. მიმართული გამოსხივება სხვა გადამცემ-მიმღებ სისტემებს ნაკლებ დაბრკოლებებს უქმნის, გარდა ამისა მოცემული სიშორის კავშირის განხორციელება შესაძლებელია მცირე სიმძლავრის გადამცემი სადგურებით.

მაღალსიხშირული რადიოტალღების ფოკუსირების შესაძლებლობამ მათი გამოყენების არიალიც გაზარდა და დღეს ამ დიაპაზონის ტალღები ფართოდ გამოიყენება რადიოლოკაციისას, რადიოსარელევო კავშირისას, თანამგზავრული მაუწყებლობისას, მონაცემთა უკაბელო გადაცემისას და ა.შ.

აღსანიშნავია, რომ ტალღის სიგრძის კიდევ უფრო შემცირებით იზრდება ტალღის ატმოსფეროში მიღევის პროცესი. კერძოდ 1 სმ-ზე ნაკლები სიგრძის ტალღის გავრცელებაზე გავლენას ახდენს ისეთი მოვლენები, როგორცაა: ნისლი; წვიმა; ღრუბელი, რომლებიც შეიძლება იქცეს სერიოზულ დაბრკოლებად და ძლიერ შეზღუდონ კავშირის სიშორე.

§12. უკაბელო კავშირის სახეები, ორგანიზაციის პრინციპები (ტერმინები)

განასხვავებენ კავშირის **სიმპლექსური** და **დუპლექსური** სახეებს. **სიმპლექსური რადიოკავშირისას** - გამოიყენება ერთი სიხშირე სიგნალის როგორც გადაცემის, ასევე მიღების დროს. იგი არის ეკონომიური, მარტივი და გასაგები. **დუპლექსური კავშირისას** - რადიოკავშირი ხორციელდება ერთდროულად ორ სიხშირეზე. ერთ სიხშირეზე ხორციელდება მიღება, მეორეზე კი გადაცემა. ამ პრინციპზე მუშაობენ სატელეფონო სისტემები. ეს კავშირი არ გამოირჩევა ეკონომიურობით, ატარებს რთულ ხასიათს. შეიძლება შეგვხვდეს **ნახევრადდუპლექსური რადიოკავშირი (ორსიხშირიანი სიმპლექსი)** - ასეთი რადიოკავშირი ხორციელდება ორი სიხშირის გამოყენებით. სიგნალი მიიღება ერთ სიხშირეზე, ხოლო გადაცემა ხორციელდება მეორე სიხშირეზე. აბონენტი დროის ერთ მომენტში შეიძლება იმყოფებოდეს ან მიღების რეჟიმში, ან გადაცემის რეჟიმში. მსგავსი კავშირი არ არის ეკონომიური, თუმცა უმრავლეს შემთხვევაში აუცილებელია.

ჩვეულებრივ კავშირის უზრუნველყოფისას მნიშვნელოვანია შორეული ობიექტების ურთიერთდაკავშირება, მაგრამ კავშირის სიშორე სამწუხაროდ შეზღუდულია ფიზიკის კანონებით. როგორც ცნობილია, ჩვენი პლანეტა წარმოადგენს სფეროს, რომლის სიმრუდის რადიუსი არ იძლევა საშუალებას განვახორციელოთ კავშირი ჰორიზონტს მიღმა. ცნობილია, რომ ჩვეულებრივ პირობებში პორტატიულ რადიოსადგურებს შორის კავშირი ხორციელდება 5 კმ მანძილზე. ამ მანძილის გაზრდის მიზნით იყენებენ რეტრანსლიატორებს. **რეტრანსლიატორი** არის მოწყობილობა, რომელიც მიიღებს რადიოსიგნალს და გადასცემს მას. კავშირის სიშორის გასაზრდელად მიზანშეწონილია გადალახული იქნას

დედამიწის სფერული ფორმით გამოწვეული დაბრკოლებები, რომელიც შეიძლება განხორციელდეს რამოდენიმე გზით, კერძოდ - მიმღები ანტენის სიმაღლეზე ატანის შედეგად. რეტრანსლიატორს შედარებით დიდი დაფარვის ზონა გააჩნია, როცა იგი დაყენებულია დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრზე, მაგრამ რადგან დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრზე რეტრანსლიატორის დამონტაჟება, როგორც წესი დიდ ხარჯებთან არის დაკავშირებული, ამიტომ დედამიწის ზედაპირის მახლობლად რეტრანსლიატორებს ამონტაჟებენ ხელოვნური ან ბუნებრივი სიმაღლის ობიექტებზე (შენობებზე, მთებზე, ანძებზე).

პრაქტიკულად არც ერთი თანამედროვე კავშირის სისტემა არ ხორციელდება რეტრანსლიატორის გარეშე. განვიხილოთ კავშირის განხორციელების პრინციპი რეტრანსლიატორის გავლით.

რეტრანსლიატორი უწყვეტად გადასცემს მიღებულ სიგნალებს (საქმე გვაქვს დუბლექსურ კავშირთან), ამიტომ ის მუშაობს სხვადასხვა სიხშირეებზე, შესაბამისად აბონენტების რადიო სადგურებშიც უნდა იქნას გამოყენებული იგივე სიხშირეები. რადგან ყველა აბონენტის რადიოსადგურს ფიქსირებული გადამცემი და მიმღები სიხშირე გააჩნიათ, ამიტომ მათ შორის პირდაპირი კავშირი შეუძლებელია.

რეტრანსლიატორი უწყვეტად ასხივებს მიღებულ სიგნალს, ხოლო აბონენტის რადიოსადგურში მიღება/გადაცემის რეჟიმები ერთმანეთს ენაცვლება. დროის ერთ მომენტში ან ვსაუბრობთ, ან ვუსმენთ. რაც უფრო დიდია რეტრანსლიატორის მგრძნობიარობა, სიმძლავრე და მაღლა არის დამონტაჟებული ანტენა, მით უფრო დიდია დაფარვის ზონა, ხოლო კავშირი კი მდგრადია.

მაგრამ დავუშვათ, არ გვაქვს საკმარისი რაოდენობის თავისუფალი სიხშირული დიაპაზონი (ეს პრაქტიკაში ხშირი შემთხვევაა), მაშინ შეიძლება შემოვიფარგლოთ სიმპლექს მეთოდით. ასეთ შემთხვევაში

აბონემენტების მიმღებ/გადამცემ მოწყობილობებში ადგილი აქვს მიღებისა და გადაცემის სიხშირეების დაპროგრამებას, ხოლო რეტრანსლიატორის როლში შეიძლება გამოყენებული იქნას ჩვეულებრივი სააბონენტო რადიოსადგური. აღსანიშნავია, რომ ამ რადიოსადგურს ერთდროულად არ შეუძლია მიიღოს და გადასცეს სიგნალი. ეს მას არც მოეთხოვება, თუმცა რომც მოეთხოვებოდეს პრაქტიკულად შეუძლებელია. ასეთ რეტრანსლიატორს – სიმპლექსურს უწოდებენ და მისი მუშაობისათვის საჭიროა სპეციალური მოწყობილობა – სიმპლექსური რეტრანსლიატორის კონტროლიორი. კონტროლიორი წარმოადგენს ე.წ. ციფრულ მაგნიტოფონს, რომელიც ჩაიწერს მიღებულ შეტყობინებას მანამ სანამ ეს შეტყობინება იარსებებს ეთერში (ან სანამ არ დამრთავრდება ლენტი). სიგნალის დაკარგვის შემდეგ კონტროლიორი გადართავს რადიოსადგურს გადაცემის რეჟიმში და ჩაწერილი შეტყობინება გადაიცემა ეთერში. ასე, რომ საკმარისია ერთი სიხშირე და შესაბამისად ერთი არადუპლექსური რადიოსადგური.

ამ მეთოდს სიმარტივისა და სიიაფის მიუხედავად გააჩნია სერიოზული უარყოფითი მხარეც. აბონენტი ხარჯავს დროს, შეტყობინების ფორმირებისათვის, ხოლო შემდეგ ელოდება მის ეთერში გადაცემას. ამიტომ იმ რადიოსადგურებში, რომლებშიდაც გამოყენებულია სიმპლექს მეთოდი დაიხარჯება ორჯერ მეტი დრო, ვიდრე დაიხარჯებოდა დუპლექსურ მეთოდზე მომუშავე რადიოსადგურებში .

სრული დუპლექსისას გამოიყენება ორი სიხშირე. აბონემენტების რადიოსადგურები დროის ერთსა და იმავე მომენტში იმყოფებიან მიღებისა და გადაცემის რეჟიმში, ტელეფონების ანალოგიურად. ვინაიდან სრული დუპლექსი ადამიანისათვის ხელსაყრელ მანერაში ხორციელდება, ამიტომ იგი გამოყენების თვალსაზრისით გაცილებით მოსახერხებელია,

მაგრამ დუპლექსის გამოყენებას მნიშვნელოვნად ართულებს და აძვირებს შესაბამისი დანადგარის შექმნა.

თანამედროვე ბაზარზე ძნელად თუ მოიძებნება სერიოზული მწარმოებლების მიერ დამზადებული სადგურები, რომლებიც მუშაობენ დიაპაზონთაშორის დუპლექსზე. მას ჩვეულებრივ „კროს-დიაპაზონიან“ დუპლექს უწოდებენ. თუმცა რიგ შემთხვევაში გვხვდება რიგი ცნობილი ფირმები, რომლებიც „კროს-დიაპაზონიან“ დუპლექსზე მომუშავე რადიოსადგურებს უშვებენ, ასეთია მაგალითად კარგად ცნობილი იაპონური კომპანია „Alinco“.

თანამედროვე ბაზარზე უამრავი მწარმოებელი კორპორაცია და ფირმა აწარმოებს რადიომაკავშირებელ სისტემებს, მაგრამ მათ შორის ერთეულები თუ მოიძებნება, რომლებიც დუპლექს რეჟიმზე მუშაობდნენ. პრაქტიკულად ყველა დუპლექს სადგური განკუთვნილია 800 მგჰც დიაპაზონისათვის. ეს იმით აიხსნება, რომ დაბალ სიხშირეებზე შეუძლებელია ისეთი ზომის დუპლექსური ფილტრის შექმნა, რომ ის მოთავსდეს რადიოსადგურის პორტატულ კორპუსში. **დუპლექსური ფილტრი** – წარმოადგენს მოწყობილობას, რომელიც მიმღებსა და გადამცემს საშუალებას აძლევს ერთდროულად გამოიყენონ ერთი ანტენა.

მოძრავ ობიექტებს შორის კავშირის დასამყარებლად დუპლექსურმა რადიოკავშირმა ვერ ჰპოვა გავრცელება, რადგან მოძრავ ობიექტებს შორის მოუხერხებელია ხანრძლივი, სატელეფონო საუბრის მსგავსი, კავშირის დამყარება. ეს ძირითადად სამსახურეობრივი კავშირია, რომლის დანიშნულებაცაა წარმოების, უსაფრთხოების ან მართვის სხვადასხვა ორგანოების წინაშე არსებული ამოცანების გადაწყვეტა.

ვთქვათ შევძელით სასურველი დაფარვის ზონის ათვისება და ახლა საჭიროა გადავიდეთ სერვისული ფუნქციების რეალიზაციაში.

ჩვეულებრივ სერვისული ფუნქციების ქვეშ იგულისხმება: აბონემენტებს შორის კავშირის განხორციელების შესაძლო ვარიანტები, ჯგუფური კავშირი, კავშირი სატელეფონო ქსელით, ციფრული მონაცემების გადაცემა და ა.შ.

დაფარვის ზონის ათვისების შემდეგ მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს გამოძახების ადრესაცია (გადამისამართება) კონკრეტულ აბონემენტზე ისე, რომ სხვა აბონემენტებისათვის ეს შეტყობინება იყოს დაფარული. თუ არ მივიღებთ რაიმე განსაკუთრებულ ზომებს, მაშინ რომელიმე რადიოსადგურის მუშაობისას, ყველა სხვა რადიოსადგური, რომლებიც ამავე სიხშირეზე იქნება დაყენებული მიიღებს შეტყობინებას. ზოგიერთ შემთხვევაში შეიძლება ამ მოვლენასთან შეგუება (მაგალითად: მცირე ობიექტის დაცვა; სამშენებლო ნაგებობა; სტადიონი და სხვა), რიგ შემთხვევებში ეს აუცილებელიცაა (ტაქსის სამსახური, საპატრული პოლიცია, თხევადი გაზის სამსახური და ა.შ.). მაგრამ ყველა სხვა შემთხვევაში შეტყობინება უნდა იქნას მიმართული კონკრეტული აბონემენტიკენ (ჯგუფისაკენ).

კონკრეტულ აბონემენტისაკენ (ჯგუფისაკენ) გამოძახების მიმართვას ჩვეულებრივ **იდენტიფიკაცია ეწოდება**. არსებობს იდენტიფიკაციის რამოდენიმე ძირითადი საშუალება, რომლებსაც ახლა განვიხილავთ. აბონემენტთა იდენტიფიკაციისათვის ყველაზე ხშირად იყენებენ კოდირების/დეკოდირების სპეციალურ მოწყობილობებს, რომლებსაც **ხმაურმხშობები ეწოდება**. შედარებით ფართო გამოყენება ჰპოვეს ტონალურმა (CTCSS), ციფრულმა (DCS) და კოდურმა (DTMF) ხმაურმხშობებმა. განვიხილოთ ისინი ცალ-ცალკე.

მოწყობილობა – ტონალური ხმაურმხშობი (CTCSS). CTCSS მოწყობილობის მიერ იდენტიფიკაციის პრინციპი იმაში მდგომარეობს, რომ

საჭირო სიგნალს „მიებმება“ გარკვეული ბგერითი სიხშირის ტონი, რომელსაც სუბტონი ეწოდება. რადიოსადგურის მიმღები აქტიურდება მხოლოდ მაშინ, როცა მიღებულ სიგნალს თან ახლავს სუბტონი. ასეთი სისტემები საჭიროებს რადიოსადგურებში დამატებითი მოწყობილობის არსებობას, რომლებიც CTCSS –ის ტონების ფორმირებას და გაანალიზირებას ახდენენ. ეს მოწყობილობა შეიძლება იყოს რადიოსადგურში ჩადგმული (ჩამონტაჟებული) მოდული ან სქემის ნაწილი. ჩვეულებრივ CTCSS–ის მოდული 38-50 ტონის ფორმირებას ახდენს თითოეულ სიხშირულ არხზე. ამდენად CTCSS–ის გამოყენება საშუალებას გვაძლევს განვახორციელოთ საკმარისად გამართული რადიოკავშირი ჯგუფებს შორის (იშვიათად ინდივიდუალურ აბონემენტებს შორის). რიგ შემთხვევებში, განსაკუთრებით რთულ ელექტრომაგნიტურ პირობებში ურიგო არ იქნება CTCSS ხმაურმხშობის გამოყენება მარტივ სიმპლექსურ მეთოდებშიც. ეს საშუალებას იძლევა ერთის მხრივ ნაწილობრივ დაცული იქნას სისტემა გარეშე არაღებულური აბონემენტებისაგან. მაგალითად, რადიოსადგურის რეტრანსლიატორი არ გააქტიურდება იმ სიგნალების მიღებისას, რომლებიც არ შეიცავს CTCSS ხმაურმხშობის საჭირო ტონს.

სუბტონების სიხშირეები 300 მგჰც სიხშირეზე ნაკლებია (67-250 მგჰც) და მიღებისას არ ისმინება რადიოსადგურის ხმამაღლამოლაპარაკეში, რადგანაც იფილტრება სპეციალური ფილტრებით. აღსანიშნავია, რომ სუბტონების გამოყენება არ იძლევა საშუალებას გავზარდოთ სისტემის ტევადობა (აბონემენტთა რიცხვი). დროის ერთ მომენტში ერთ სიხშირულ არხზე შეიძლება მხოლოდ ერთი კავშირის სენსის განხორციელება (აბონემენტი–აბონემენტი, აბონემენტი–ჯგუფი, ჯგუფი–ჯგუფი). ეს დაკავშირებულია იმაზე, რომ რადიოსადგურს არ შეუძლია ერთდროულად მიიღოს ერთი და იგივე სიხშირის 2 სიგნალი მაშინაც კი, როცა ამ

სიგნალებს განსხვავებული ტონები გააჩნიათ. ამიტომ სისტემის ტევადობა არ არის დამოკიდებული კავშირის მეთოდზე და იდენტიფიკაციის სირთულეზე, ის დამოკიდებულია სისტემის გამტარუნარიანობაზე.

მოწყობილობა – ციფრული ხმაურმხშობი (DCS). აბონემენტთა (აბონემენტთა ჯგუფის) იდენტიფიკაციისათვის გამოიყენება სპეციალური ციფრული გზავნილი შეტყობინების დაწყებამდე. გადაცემისას (გადაცემა ხორციელდება PTT დილაკის გააქტიურებით) რადიოსადგური ავტომატურად ახდენს ციფრული გზავნილის ფორმირებას მუშა სიხშირეზე, რომელიც შეესაბამება აბონენტს (აბონენტთა ჯგუფს), რომლისთვისაც არის მიმართული შეტყობინება. მიმღები აქტივიზირდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ის დაპროგრამებულია მოცემული კოდის მიღებაზე, ხოლო ყველა სხვა რადიოსადგური, რომლებიც იმავე სიხშირეზე მუშაობენ, იქნებიან პასიურ მდგომარეობაში. იდენტიფიკაციის ორგანიზაცია პრაქტიკულად CTCSS მოწყობილობის ანალოგიურია. ციფრული კომბინაციის შესაძლო რაოდენობა თეორიულად უსასრულოა, თუმცა სტანდარტულად მათი რიცხვი 104–ს შეადგენს.

აბონენტის ან აბონენტთა ჯგუფის იდენტიფიკაციისათვის გამოიყენება **მოწყობილობა – კოდური ხმაურმხშობი (DTMF).** რადიოსადგურის კლავიატურის ყოველ სიმბოლოს შეესაბამება გარკვეული სიხშირის ბგერითი ტონი (თანამედროვე სატელეფონო ტონალური რეჟიმის პრინციპის შესაბამისად). როცა ვაწვევით კლავიშს რადიოსადგურის კლავიატურაზე ფორმირდება ბგერითი ტონი, რომელიც შემდეგ გადაიცემა ეთერში გადაცემის სიხშირეზე. გადამცემი აქტიურდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა ის დაყენებულია მოცემული კოდის მიღებისას მის ჩართვაზე. ყველა სხვა მიმღები, რომლებიც მუშაობენ იმავე სიხშირეზე იქნებიან არაქტიურ მდგომარეობაში. DTMF კავშირის

განხორციელებისათვის რადისადგურს უნდა გააჩნდეს კლავიატურა და DTMF მოდული. აღნიშნული მოწყობილობები (მოდულები) აბონენტთა იდენტიფიკაციის გარდა გამოიყენება აგრეთვე გარეშე მოწყობილობებთან კავშირისათვისაც. მაგალითად: სატელეფონო ინტერფეისები; დისტანციური მართვის პულტები; კონტროლიორები და ა.შ.

	პირდაპირი კავშირი	არაპირდაპირი კავშირი
სიშორის გაზრდა	დისპეტჩერული რადიოსადგური (სიმპლექსი ან ნახევრად დუპლექსი)	რეტრანსლიატორი (სიმპლექსი ან ნახევრად დუპლექსი)
იდენტიფიკაცია¹		
სისტემის შიგნით ჯგუფებად დაყოფა	CTCSS ან/და DCS	
ინდივიდუალური გამოძახება	DTMF (+ CTCSS ან/და DCS)	
ჯგუფური გამოძახება	DTMF (+ CTCSS ან/და DCS)	
სატელეფონო გამოძახება	DTMF (+ CTCSS ან/და DCS)	
მართვისპულტებით სარგებლობა ²	DTMF (+ CTCSS ან/და DCS)	

პირდაპირი კავშირი – წარმოადგენს კავშირის ყველაზე მარტივ შემთხვევას. მისთვის დამახასიათებელია მოქმედების შემოსაზღვრული რადიუსი, კავშირის ორგანიზაციის სიმარტივე, მინიმალური დანახარჯები. ასეთ რადიოკავშირებს შედარებით ხშირად იყენებენ მშენებლები, ლოკალური ობიექტების დაცვის სამსახურები, ტელეოპერატორთა ჯგუფები, მასიური ღონისძიებების ორგანიზატორები და ა.შ. ასეთ რადიოკავშირებში არ გამოიყენება რეტრანსლიატორი, ამიტომ მათ გააჩნიათ მომედების მცირე ზონა. სისტემის მუშაობისათვის საკმარისია ერთი სიხშირე. მიმღების სადგურების ტიპების მიხედვით შესაძლებელია კავშირის ორი ნაირსახეობის არსებობა: რადიოსაკავშირი ინდივიდუალური გამოძახების გარეშე, პრინციპი „ერთი საუბრობს – ყველას ესმის“ და

¹ იდენტიფიკაციის მეთოდები შეიძლება გამოყენებული იქნას ერთი მეორის თანმიმდევრობით. მაგალითად: ტელეფონით კავშირი ხორციელდება DTMF თანმიმდევრობით, მაგრამ დამატებითი დაცვის მიზნით შეიძლება გამოყენებული იქნას CTCSS ან/და DCS ტონური მოდულები.

² მართვის მოწყობილობებს განეკუთვნება: რეტრანსლიატორები, კონტროლიორები, ხელსაწყოები და მექანიზმები, რომლებიც მართავენ რადიოსარს (ტელემეტრია).

რადიოკავშირები ინდივიდუალური და ჯგუფური გამოძახებებით, რომლებშიდაც შესაძლებელია რამოდენიმე ჯგუფის ერთ სიხშირეზე მუშაობა CTCSS, DCS ან DTMF მეთოდების გამოყენებით.

განვიხილოთ **დისპეტჩერული კავშირები**. სიტვა დისპეტჩერი გულისხმობს ადამიანის არსებობას კავშირის ორგანიზაციისას. აბონენტი მობილური ტელეფონით, გადასატანი ან სტაციონარი რადიოსადგურიდან ახორციელებს დისპეტჩერული პუნქტის გამოძახებას განსაზღვრულ სიხშირეზე, შემდეგ დისპეტჩერი გადასცემს შეტყობინებას სხვა აბონენტს იმავე ან სხვა სიხშირეზე. დისპეტჩერის ამოცანა იმაში მდგომარეობს, რომ გააკეთოს სიგნალის რეტრანსლირება ან გადაანაწილოს გამოძახებები სიხშირული არხების მიხედვით. მაგალითად: აბონენტთა ერთი ჯგუფი მუშაობს 1 სიხშირეზე (პირველი არხი), ხოლო სხვა ჯგუფი მუშაობს 2 სიხშირეზე (მეორე არხი). საჭიროება მოითხოვს კავშირი დამყარდეს ამ ჯგუფებს შორის, მაგრამ კავშირი შეუძლებელია. დისპეტჩერული (მრავალარხიანი) რადიოსადგურის გამოყენებისას ინფორმაციის მიღება ხორციელდება 1 ჯგუფიდან, ვთქვათ პირველ არხზე, შემდეგ დისპეტჩერი გადართავს სადგურს მეორე არხზე და გადასცემს ინფორმაციას ეთერში 2-ე ჯგუფს. თუ დისპეტჩერი საჭიროა მხოლოდ კავშირის სიშორის გასაზრდელად, მაშინ ლოგიკური იქნება რეტრანსლიატორის გამოყენება. დისპეტჩერული პუნქტის სისტემები შედარებით ხშირად გამოიყენება პოლიციის, სახანძრო და სასწრაფო დახმარების სამსახურებში, სადაც დისპეტჩერს მართვის ფუნქციებიც ევალება.

რეტრანსლიატორი გარდა მისი ძირითადი ფუნქციისა (კავშირის სიშორის ზრდა) გამოიყენება კავშირის რთულ სისტემებში. მართალია თავისთავად რეტრანსლიატორი მხოლოდ მიიღებს და გადასცემს სიგნალს, მაგრამ სწორედ ეს იძლევა უამრავი დამატებითი ფუნქციის განხორციელების შესაძლებლობას. გამოდის, რომ რეტრანსლიატორის საშუალებით სიგნალები სხვადასხვა აბონენტებიდან თავს იყრის ერთ

ადგილას, მაშასადამე შესაძლებელი ხდება მათი გაანალიზება და შეცვლა გადაცემამდე. ეს პროცესი შეიძლება განხორციელდეს სპეციალური კონტროლიორების საშუალებით, რომლებიც უნდა მიუერთდეს რეტრანსლიატორებს. კონტროლიორები – საკმარისად რთული ელექტრონული მოწყობილობებია, რომლებიც ასრულებენ ბევრ ფუნქციებს, კერძოდ: აბონენტთა იდენტიფიკაციას, სისტემის მართვის შეზღუდვას, ერთის ქსელის ირგვლივ რამოდენიმე სისტემის გაერთიანებას, კავშირს სატელეფონო ქსელთან და ა.შ. ჩვეულებრივ, კონკრეტული რადიოკავშირის ქსელი აგება მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული საჭირო კონტროლიორის შერჩევაზე. დღეისათვის გვხვდება კონტროლიორები, რომლებიც თითქმის ყველა სახის ამოცანის გადაწყვეტის შესაძლებლობას იძლევა. მათ შორის შეიძლება დავასახელოთ რადიოკავშირის ქსელის ორგანიზაცია თავისუფალი არხის ავტომატური შერჩევის პრინციპით (გავრცელებული სიტყვა ტრანკი) ასევე დადის რეტრანსლიატორზე სპეციალური ტრანკული კონტროლიორების მიერთებაზე.

ხშირად (თუ ყოველთვის არა) კავშირის სისტემის აგებისას საჭიროა განხორციელდეს ჩართვა საქალაქო სატელეფონო ქსელში. ამ ამოცანის გადაწყვეტის ერთ-ერთი მეთოდი შეიძლება იყოს სატელეფონო ინტერფეისის გამოყენება. სატელეფონო ინტერფეისის მუშაობის პრინციპი იმაში მდგომარეობს, რომ სატელეფონო ხაზსა და რადიოსადგურს შორის უერთდება მოწყობილობა, რომელიც გარდაქმნის სიგნალებს სატელეფონო ხაზიდან რადიოსადგურისათვის გასაგებ ფორმაში. ხოლო რადიოსადგურის სიგნალებს კი ანიჭებს ფორმას და სახეს, რომელიც საჭიროა სატელეფონო ქსელის აბონენტთა გამოსაძახებლად. ასე რომ სააბონენტო რადიოსადგურის მფლობელმა საკმარისია აკრიფოს

ინტერფეისში სამუშაო ადმინისტრატორული კოდი (DTMF აკრეფით), ხოლო შემდეგ საჭირო ტელეფონის ნომერი, რომ იგი შეძლებს ნებისმიერ აბონომენტთან დაკავშირებას. იმისათვის, რომ გამოვიძახოთ რადიოაბონომენტი სატელეფონო აპარატით, საჭიროა აკრიფოთ ტელეფონის ნომერი, რომელზედაც მიერთებულია ინტერფეისი, ხოლო შემდეგ აკრიფოთ საჭირო რადიოსადგურის ნომერი. ამ მეთოდის დადებითი მხარე არის მისი სიიაფე, შეერთების სიმარტივე, შესაძლებლობა გამოყენებული იქნას პრაქტიკულად ნებისმიერი სახის რადიოკავშირებისას, ნებისმიერი რადიოაპარატურით. უარყოფითი მხარე კი – მარტივი შეღწევადობაა სისტემაში. ნებისმიერი რადიოსადგური, რომელიც DTMF კლავიატურით არის აღჭურვილი შეიძლება გავიდეს სატელეფონო ინტერფეისზე. მოსმენილი ან გაშიფრული იქნას ინტერფეითან შეღწევის პაროლი.

ერთ ადგილზე დამონტაჟებული რეტრანსლიატორის გამოყენება ყოველთვის არ იძლევა საშუალებას უზრუნველყოფილი იქნას დაფარვის ფართო ზონა. სწორედ ასეთ შემთხვევებში იქმნება ე.წ. მრავალზონიანი სისტემები. მრავალზონიანი სისტემა წარმოადგენს ერთზონიანი სისტემების ერთობლიობას, რომლებიც გაერთიანებულნი არიან ერთ საერთო ქსელში და სპეციალური კონტროლიორების საშუალებით ხორციელდება აბონენტთა შორის კავშირი, თუმცა დასაშვებია ადგილი ჰქონდეს **სისშირულ კონფლიქტებს** (სისშირულ კონფლიქტებს ადგილი ექნება მაშინ, როცა აბონენტი იმყოფება ორი ან რამოდენიმე რეტრანსლიატორის მოქმედების ზონაში). შედარებით გავრცელებულია ტრანკული მრავალზონიანი სისტემები, რომლებიც მუშაობენ MPT 1327 და TETRA პროტოკოლებზე. ეს სისტემები აბონომენტებს სერვისის მაღალ ხარისხს სთავაზობს (ინდივიდუალური გამოძახება, დინამიკური ჯგუფები,

ტელეფონია, მონაცემთა გადაცემა რადიოარხებზე), მაგრამ ეს სისტემები აგებულების მიხედვით რთულია, ძვირია და რენტაბელურია მხოლოდ აბონემენტთა დიდი რაოდენობის შემთხვევაში (რამოდენიმე ასეულიდან რამოდენიმე ათასამდე). იმ შემთხვევაში, როცა აბონენტთა რიცხვი არ არის დიდი და ისინი ტერიტორიულად გადანაწილებულნი არიან სხვადასხვა მხარეს, მაშინ არ არის აუცილებლობა მაღალი ხარისხის კავშირის უზრუნველყოფა და შეიძლება გამოყენებული იქნას კავშირის „ჩვეულებრივი“ მრავალზონიანი სისტემები. მრავალზონიანი სისტემების უპირატესობა არის ის, რომ იგი გამოიყენება პრაქტიკულად ნებისმიერი რადიოსადგურისათვის. ეს სისტემები აღჭურვილია CTCSS ან DCS მეთოდებით. მრავალზონიან სისტემებში აბონემენტის ზონებს შორის გადაადგილების პრობლემა გადაწყვეტილია ე.წ. *როუმინგის* მეშვეობით. როუმინგი ითვალისწინებს სხვადასხვა ზონაში განთავსებული რადიოსადგურების გამოძახებას, აბონენტთა დაყოფას ჯგუფებად, შეერთებას კავშირის სხვა ქსელებთან, მათ შორის სატელეფონო ქსელთან. მაგალითად, ამერიკული ფირმის Zetron-ის კონტროლიორები M47MR კავშირის მრავალმომხმარებლიანი სისტემების შექმნის საშუალებას იძლევა, რომელიც ითვალისწინებს შეერთებას სატელეფონო ქსელთან. კონტროლიორი უერთდება რეტრანსლიატორს და მართავს მის მუშაობას. ყველა კონტროლიორი უერთდება რეტრანსლიატორს მიმდევრობით 4 გამტარი გამოყოფილი ხაზის საშუალებით, ან კავშირის სხვა ანალოგური არხის საშუალებით (ეს შეიძლება იყოს: რადიოსიხშირული, გამტარული, რადიორელეური). ყოველ ზონაში რეტრანსლიატორის საშუალებით შეიძლება მუშაობდეს მომხმარებელთა რამოდენიმე ჯგუფი. ყოველი ჯგუფის რადიოსადგური პროგრამირდება CTCSS-ის საკუთარი ტონით. შესაძლებელია სხვა ზონის რადიოსადგურთან შეერთება, რისთვისაც

რადიოსადგურის DTMF კლავიატურაზე იკრიფება გამოსაძახებელი ზონის ნომერი. DTMF-ის საშუალებით შესაძლებელია აგრეთვე კონკრეტული რადიოსადგურის აბონენტთან ინდივიდუალი გამოძახების განხორციელება.

ამრიგად, დამოუკიდებელი აბონენტთა ჯგუფის ჩართვა საერთო ქსელში, კონკრეტული აბონენტის ან აბონენტთა ჯგუფის გამოძახება (იდენტიფიკაცია), გარეშე მომხმარებლებისაგან დაცვა, აბონენტების მართვა ცენტრალური სადისპეტჩერო სადგურიდან, რეტრანსლიაცია და დაფარვის ზონის გაფართოება, მონაცემთა ციფრული ქსელის ფარგლებში გადაცემა – ყველაფერი ეს არის არასრული ჩამონათვალი, რომელთანაც შეიძლება გვექონდეს ადგილი კავშირის სისტემების ურთიერთდაკავშირებისას. ამ ჩამონათვალს თუ დავუმატებთ რადიოსიხშირების დეფიციტის საკითხს, ელექტრომაგნიტურ მდგომარებას გარემომცველ სივრცეში და ფინანსური საშუალებების შემოსაზღვრულობას – გასაგები ხდება თუ რამდენად რთულია რეალობაში ხარისხიანი და საიმედო კავშირის ქსელის რეალიზება.

§1.3. უკაბელო კავშირის სისტემები MMDS*

უკაბელო კავშირის სისტემები MMDS საშუალებას იძლევა უზრუნველყოფილი იქნას ფართოზოლიანი რადიოარხის გამოყენება MMDS-ის ტექნოლოგიით. კავშირის კვანძს წარმოადგენს აბონომენტი – „კლიენტი“. რადიოკავშირის მაკავშირებლის როლში გამოიყენება ე.წ. საკაბელო მოდემი სრული კომპლექტით, რომელიც შეიცავს ანტენურ-ფიდერულ გადამცემ მოწყობილობებს. უკაბელო კავშირის სისტემის MMDS –ის დადებითი მხარე არის ის, რომ არსებობს გადაცემის მაღალი

* Multichannel Multipoint Distribution Service – მრავალარხიანი უკაბელო სამომხმარებლო ქსელი.

სიჩქარე; გადასაცემი მონაცემები კონფიდენციალურია და ასევე უმნიშვნელოა ექსპლუატაციური დანახარჯები; კლიენტის განლაგების ადგილის შეცვლა შესაძლებელია მისთვის დამატებითი აპარატურის შექმნის გარეშე; ასევე შესაძლებელია მრავალარხიანი სატელევიზიო ეთერის მიღების შესაძლებლობა. MMDS სისტემები პირველ რიგში ორიენტირებულია ტელემაუწყებლობის საჭიროებიდან გამომდინარე, რომლებშიც არ მოითხოვებოდა ორმხრივ მიმართული გადაცემების გარხორციელება. ამ სისტემების გამოყენებით Internet-ის მომსახურების შეთავაზება მომხმარებლებისათვის ოპერატორების მხრიდან მოითხოვს მრავალი პრობლემის გადალახვას, რომელიც ადრე არ შეგვხვედრია. ეს არის ქსელი შემდეგი ტოპოლოგიით „წერტილი – ბევრი წერტილი“ და წარმოადგენს იდეალურ საშუალებას დიდი, მასიური საოფისე ცენტრებისა და სასტუმროების მომსახურების თვალსაზრისით. MMDS სისტემა ერთადერთ ყველაზე მიმართულ ანტენურ სისტემისაგან შესდგება, რომელსაც შეუძლია მომსახურების განხორციელება 10 მილი (16 კმ) რადიუსის ფარგლებში ორი არხის გავლით. სიგნალის გავრცელების სიჩქარე 30 მგბიტი/წმ-შია თითოეულ არხზე. მაგრამ პროვაიდერებს, რომლებიც Internet-თან უკაბელო კავშირის განხორციელებას ახდენენ სჭირდებოდათ საიმედო და ეკონომიურად ეფექტური ინტერაქტიული (ე.ი. უკუარხის მქონე) სისტემები. მათ უნდა შეერჩიათ მრავალმისამართიანი ქსელის ოპტიმალური პროტოკოლი, რომელიც შექმნიდა მაღალეფექტურ, მასიურ გარემოს. შედეგად MMDS-ის ფართოზოლიანი ქსელის ფარგლებში აბონემენტებს შეეძლებოდათ ელექტრონული ფოსტითა და Internet – პროგრამებით სარგებლობა. უკუარხი ფორმირდება ქსელის საკაბელო სისტემის საშუალებით.

§1.4. უკაბელო კავშირის სისტემები LMDS*

განვიხილოთ უკაბელო კავშირის სისტემა – LMDS. ეს სერვისი შეიქმნა საკაბელო ინფრასტრუქტურის შეცვლის მიზნით უკაბელო კავშირით, იმავდროულად მას უნდა გაეზარდა ინფორმაციის განვლადობის უნარი. მთლიანობაში LMDS სისტემის დანახარჯები საკაბელო სისტემის დანახარჯებთან შედარებით ნაკლებია, ხოლო გადაცემის სიჩქარე ლიცენზირებულ სიხშირეებზე, კერძოდ: 10, 26, 28, 38 მგჰც-ზე აღწევს – 45 მგბიტ/წმ-ში. მაღალი სიხშირეების გამოყენება ზღუდავს კავშირის სიშორეს, შესაბამისად LMDS-ის მოქმედების ტიპური რადიუსი 3-8 კმ-ია. ამავე დროს ყოველ ზემოთმოყვანილ დიაპაზონში დასაშვები სიხშირული ზოლის დიაპაზონი არის შედარებით ფართო ვიდრე 2,4 ან 5 გჰც სიხშირეებზე. გადაცემის სიჩქარის ზრდას განაპირობებს ის გარემოებაც, რომ კავშირი მყარდება უძრავ ობიექტებს შორის.

LMDS სისტემებში გამოიყენება დაბალი სიმძლავრის მიმღები და გადამცემი მოწყობილობები. 2000 წელს შესაბამისი ტექნოლოგიების ბაზარზე გამოჩნდა LMDS სერვისის მოდიფიცირებული ვარიანტი, რომელიც სიგნალის ორმხრივიმართულ გადაცემას ითვალისწინებდა, რამაც გზა გაუხსნა ასეთ სისტემებს ინტერაქტიულ რადიოკავშირებში გამოყენების თვალსაზრისით. შეიძლება ვიფიქროთ, რომ სწორედ ეს ტექნოლოგია მისცემს საშუალებას მილიონობით მომხმარებელს მთელს მსოფლიოში გამოიყენონ კავშირისას მულტიმედია მონაცემები, რადგან LMDS-ი თავსებადია ხმოვანი შეერთებისადმი, Internet-ში მუშაობისადმი, ვიდეო კონფერენც-კავშირებისადმი და სხვა ტიპის მაღალსიჩქარიანი ნაკადისადმი. ამ სისტემების გავრცელების შემაფერხებელი ერთ-ერთი

* Local Multipoint Distribution Service – ლოკალური უკაბელო სამომხმარებლო ქსელი.

პრობლემა – საერთო სტანდარტის არ არსებობაა, რომელიც მის კონკურენტებს, საკაბელო ტელევიზიას და DSL-ტექნოლოგიის მწარმოებლებს მოგვარებული აქვს. ფართოზოლიანი, ფიქსირებული უკაბელო მომსახურების პროვაიდერებმა ჯერ-ჯერობით ვერ შეიმუშავეს ერთიანი სტანდარტი. ერთნი ეყრდნობიან კომბინირებულ მიდგომას, რომელიც ეფუძნება ვექტორულ ორთოგონალურ სიხშირულ მულტიპლექსირებასა და ქსელებში მონაცემთა გადაცემის ტექნოლოგიას (VOFDM/DOCSIS), მეორენი – ეყრდნობიან მოდულაციის სქემებს, მაგალითად კვადრატურული ამპლიტუდის სქემას (QAM), ხოლო რიგი პროვაიდერებისა ამჯობინებენ დაპატენტებულ ტექნოლოგიებს. ასეთი სხვადასხვაობა ჯერ-ჯერობით ხელს უშლის LMDS-მოწყობილობების ფართო დანერგვას. საბედნიეროდ სტანდარტიზაციის პრობლემა მოგვარებას ექვემდებარება. 1999 წელს IEEE – ფარგლებში გამოჩნდა მუშა ჯგუფი 802.16, რომელმაც მიზნად დაისახეს სტანდარტიზაციის ამ სფეროში დაამყარონ წესრიგი. მათი ამოცანაა თავი მოუყარონ სატელეკომუნიკაციო ბაზარზე არსებული LMDS-ტექნოლოგიებს და შეიმუშაონ ერთიანი სტანდარტი. IEEE-ს დანაყოფმა ჯგუფმა 802.16 ყურადღება გაამახვილეს სიხშირულ დიაპაზონებზე 28 და 30 გჰც, თუმცა მოგვიანებით შეიმუშავეს ახალი მიდგომა, რომლითაც განისაზღვრა მუშა სიხშირული დიაპაზონი 2,5 გჰც. სპექტრის ეს „დაბალსიხშირული“ ნაწილი დაეთმო საკაბელო ვიდეოს მომსახურებას, რომელიც საბოლოოდ ძლიერ დაინაგრა თანამგზავრული ტელევიზიის მხრიდან. ჯგუფი 802.16 კიდევ ერთ მიმართულებას ამუშავეს ინტენსიურად, რომელიც შეეხება სპექტრის არალიცენზირებული სიხშირული დიაპაზონის გამოყენებას. არალიცენზირებული სიხშირეების გამოყენების აქტუალობა განპირობებულია იმით, რომ ლიცენზირებული სიხშირეების

დიაპაზონში LMDS და MMDS სისტემების მფლობელების რიცხვი საკმარისად მცირეა. მოცემულ შემთხვევაში საუბარი შეეხება 5 და 6 გჰც სიხშირებს. აქ 802.16 ჯგუფი აქტიურად თანამშრომლობს IEEE-ს მეორე ჯგუფთან 802.11. მუშა ჯგუფის 802.16 ამოცანაა რადიონტერფეისების სტანდარტიზაცია და დამატებითი ფუნქციების შემუშავება. IEEE-ტექნოლოგიის ფარგლებში 802.16 ჯგუფში 3 ქვეჯგუფი მუშაობს, რომლებიც ამუშავებენ შემდეგ სტანდარტებს:

- IEEE 802.16.1 – შეიმუშავებს რადიონტერფეისის სიხშირეთა დიაპაზონში 10 - 66 გჰც;
- IEEE 802.16.2 – ახდენენ სხვადასხვა ფართოზოლიანი უკაბელო სისტემების თავსებადობის საკითხების დამუშავებას;
- IEEE 802.16.3 – შეიმუშავებს რადიონტერფეისის ლიცენზირებულ სიხშირეთა დიაპაზონში 2 - 11 ГГц.

დღეისათვის შედარებით პროგრესი შეიმჩნევა პირველი ჯგუფის საქმიანობაში, რადგან მათი შედეგები ეხება თავისუფალ (ჯერ კიდევ დაუკავებელ) სიხშირულ დიაპაზონს. ეტალონურ მოდელში გამოიყენება სამი რადიონტერფეისი. პირველი განსაზღვრავს კავშირს აბონენტის მიმღებ/გადამცემსა და ბაზურ სადგურს შორის, ამავე დროს კავშირი მათ შორის სრულად ეფუძვნება 802.16 სტანდარტს. მეორე – განსაზღვრავს კავშირს აბონემენტის მიმღებ/გადამცემსა და ქსელის სადენებთან, რომლითაც ისინი ჩართული არიან ქსელში. ეს არის ქსელის აბონენტის ინტერფეისი (Subscriber Network Interface, SNI) და ბაზური სადგურის ინტერფეისი (Base Station Network Interface, BNI). ამ ინტერფეისების თავისებურებები არ წარმოადგენს 802.16 სტანდარტის განხილვის საგანს, თუმცა ისინი ჩართულნი არიან ეტალონურ მოდელში იმის გამო, რომ აბონემენტისა და ბაზური ქსელების (იგივე რაც ATM) ინტერფეისები

გავლენას ახდენენ რადიოინტერფერენციის ტექნოლოგიის შერჩევაზე და ბოლოს მესამე ინტერფერენციის – ეხება რეპიტერების ფაკულტატიურ სარგებლობას. რადიოინტერფერენციის სპეციფიკაცია ითვალისწინებს რეპიტერების ან დაბრკოლებების გარშემოვლისათვის საჭირო ამრეკლი საშუალებების მონტაჟს. რადიოსიგნალს გავრცელების გზაზე შეიძლება შეხვდეს დაბრკოლება, ამიტომ ამრეკლი საშუალება და რეპიტერი გარკვეულწილად უზრუნველყოფენ სიგნალის მიერ ამ დაბრკოლების გარსშემოვლას.

უკაბელო კავშირის ზემოთ აღწერილ სისტემების არქიტექტურა განისაზღვრება 4 დონის პროტოკოლებით. 2 დაბალი დონის პროტოკოლი შეესაბამება ეტალონური მოდელის (OSI) ფიზიკურ დონეს (PHY). სწორედ ამ დონეზე სრულდება ისეთი ოპერაციები, როგორცაა სიგნალების კოდირება და დეკოდირება, გენერაცია და პაკეტების სათაურების წაშლა (სინქრონიზაციის მიზნით), ცალკეული ბიტების გადაცემა და მიღება. ფიზიკური დონის ზემოთ განლაგებულია პროტოკოლები, რომლებიც აკონტროლებენ აბონომენტებთან, ან იგივე ხელმომწერებთან მომსახურების საკითხებს. MAC-პროტოკოლის დონის ზემოთ განლაგებულია ე.წ. კონვერგენციის დონე, რომლის ფუნქციებიც დამოკიდებულია შემოთავაზებული სერვისის ხასიათზე. კერძოდ, მასზე შეიძლება მინიჭებული იქნას კადრების ან მონაცემთა ბლოკების (PDU) ინკაპსულაცია. ცალკეულ შემთხვევებში, მაგალითად ციფრულ, აუდიო და ვიდეო-ტრაფიკთან მუშაობისას შეიძლება კონვერგენციის დონის გამოტოვება და შესაბამისი ნაკადი გადაცემული იქნას უშუალოდ სატრანსპორტო დონეზე. თუმცა ზედა დონეების მომსახურებები, რომლებიც PDU სტრუქტურას სარგებლობენ, საჭიროებენ კონვერგენციის დონის პროტოკოლის არსებობას.

§1.5. უკაბელო კავშირის ოპტიკური არხები - FSO *

თავდაპირველი FSO - მოწყობილობები უზრუნველყოფდნენ კავშირის სიჩქარეს წამში რამოდენიმე ათეული მეგაბაიტის ოდენობით, ხოლო თანამედროვე პირობებში უმრავლესი კომერციული პროდუქტი საშუალებას იძლევა მონაცემთა ტრანსლირება მოხდეს 45 მგბ/წმ –დან – 2,5 გბ/წმ-დე. აღსანიშნავია, რომ ლაბორატორიულ პირობებში ზოგიერთ მწარმოებელმა (მაგალითად: TeraBeam და Lucent Technologies) უკვე შეძლო მიეღწია სიჩქარის ფანტასტიკურ ნიშნულამდე 160 გბ/წმ.

ასეთი შთამბეჭდავი შედეგის მიუხედავად FSO-სისტემების კომერციული პროდუქტი მხოლოდ გასული საუკუნის 90-იან წლებში გამოჩნდა. მაგალითად: მხოლოდ გერმანიაში 1996 წელს ამ სისტემებზე მოთხოვნა 16-ჯერ გაიზარდა წინა წლებთან შედარებით. FSO-ტექნოლოგიის ჩრდილიდან გამოსვლა განპირობებულია შემდეგი მიზეზებით. პირველ რიგში შეიქმნა აუცილებლობა რეალური მაღალეფექტური ლოკალური და გლობალური ქსელების შექმნისა, მეორეც, ლაზერული ტექნოლოგია გახდა საიმედო და გამოირჩეოდა მაღალი საექსპლუატაციო პერიოდით, დაახლოებით 5 და მეტი წელი. სწორედ ამიტომ FSO სისტემები გახდა რენტაბელური და კომერციული თვალსაზრისით გამოყენებადი თანამედროვე საკომუნიკაციო ბაზარზე.

შეიძლება ითქვას, კავშირგაბმულობის სისტემაში ოპტიკურ სისტემებს გააჩნია უპირატესობა. მკვრივი გარემოს არ არსებობამ FSO-სისტემები, გამოყენების თვალსაზრისით, მნიშვნელოვნად გააიაფა. მაგალითად, აშშ-სა და დასავლეთ ევროპაში ქალაქში 2 კილომეტრიანი და 155 მგბაიტი/წმ-ში სიჩქარის FSO-შეერთების ორგანიზირება შეადგენს

* Free Space Optics - ოპტიკა თავისუფალ სივრცეში.

18000 \$-ს, მაშინ როდესაც, ანალოგიური ოპტიკურბოჭკოვანი არხის აგება 150000-200000\$ -ს შეადგენს.

FSO-ტექნოლოგიის მეორე პლიუსი არის ის, რომ მსოფლიოს ბევრ ქვეყანაში რაიმე შეზღუდვა ან ლიცენზირებული პირობები ლაზერების ატმოსფეროში მუშაობის თვალსაზრისით ჯერ-ჯერობით არ არესებობს. ს კი იმით არის განპირობებული, რომ ბევრი ლაზერული მოწყობილობის მუშაობის სიხშირული დიაპაზონი რადიოდიაპაზონის მახლობლადაა 400-600 გჰც (რადიოდიაპაზონის საზღვრები რეგულირებას ექვემდებარება). ამასთან სინათლის მკვეთრი მიმართულების გამო თითქმის მთლიანად გამორიცხულია რაიმე დამატებითი შემაფერხებელი ფაქტორები, რომლებიც შეიძლება გამოწვეული იყოს სხვა უკაბელო ლაზერული სისტემების არსებობითა და მუშაობით. შედარებისათვის საკმარისია გავიხსენოთ, თუ რამდენად აქტუალურია დღეისათვის ურთიერთშემაფერხებელი ფაქტორები და დიაპაზონთა გადატვირთვა, მაგალითად 2,4 გჰც დიაპაზონში მომუშავე რადიოსისტემებისათვის. ეს დიაპაზონი ფართოდ გამოიყენება IEEE 802.11 ტექნოლოგიის მქონე რადიომოწყობილობების მიერ. თითქმის ყველა უკაბელო სისტემა საშუალებას იძლევა ძლიან მცირე დროში დამყარდეს კავშირი და უკუკავშირი. FSO-სისტემები მთლიანად გამორიცხავენ საკაბელო ინფრასტრუქტურისათვის დამახასიათებელ დამატებით შრომას. ერთადერთი რაც საჭიროა – უნდა განთავსდეს ელექტრონული მიმღებ-გადამცემი მყარ და მდგრად ადგილას (შენობის სახურავი, სპეციალური ანძა) და განხორციელდეს მისი შეერთება მულტიპლექსორთან/გარდამქმნელთან (ჩვეულებრივ ის შენობაში იმყოფება), აგრეთვე საჭიროა მიმღებ/გადამცემ მოწყობილობასთან მიყვანილი იქნას სადენები კვების

წყაროდან. ასეთი ტიპის ქსელის გამართვა შესაძლებელია მოკლე დროში (სულ რაღაც 1-2 დღეში).

FSO-ტექნოლოგიის კიდევ ერთი დადებითი ატრიბუტი არის მაღალი დაცვა სხვადასხვა გარეშე ჩართვებისადმი. ეს განპირობებულია პირველ რიგში იმით, რომ მონაცემთა გადაცემა ხორციელდება ძალიან ვიწრო სხივით, რაც განაპირობებს გამოსვივების არ არსებობას სხვა მიმართულებით, რომლებიც სინათლის ნაკადის მიმართულების დიაგრამაში არ აისახება. მეორეც, ლაზერული სხივი აბსოლუტურად უხილავია, ამიტომ მისი აღმოჩენა საკმარისად რთული საქმეა. მაშინაც კი თუ ვინმე აღმოაჩენს სხივის მიმართულებას და შეეცდება ინფორმაციის მოხსნას სპეციალური ხელსაწყოების საშუალებით, მგრძობიარე მიმღები აუცილებლად დააფიქსირებს ენერგეტიკული სიმძლავრის დაცემას, რასაც აუცილებლად მოჰყვება კავშირის გაწყვეტა, ხოლო დაცვის სისტემის არსებობის შემთხვევაში ჩაერთვება განგაშის სიგნალი.

უკაბელო ლაზერულ-ოპტიკურ სისტემებს გააჩნიათ უარყოფითი მხარე. სპეციალისტები გამოყოფდნენ ორ ძირითად პრობლემას – მონაცემთა დამუშავების მცირე დროს, გამომსხივებელი ელემენტის (ლაზერის, „სვეტოდოდის“) მოქმედების შეწყვეტას და სიგნალის გადაცემის სიშორის ძლიერ დამოკიდებულებას ამინდზე. ამ პრობლემებისადმი FSO-სისტემები მდგრადია 99,7%-ით, რომელიც ზოგიერთი სამომხმარებლო სისტემებისათვის მიუღებელი აღმოჩნდა, მაგალითად პროვაიდერული ქსელებისათვის, რადგან მსგავსი პროცენტული მაჩვენებელი მიუთითებდა ქსელის არამუშა მდგომარეობაში ყოფნას წელიწადში 27 საათის განმავლობაში.

დღეისათვის პირველი პრობლემა თითქმის გადაწყვეტილია – მრავალი ლაზერული დიოდები 100 მგტ სიმძლავრემდე უზრუნველყოფენ მონაცემთა

დამუშავების მცირე დროს და გამოსხივების უწყვეტობას დაახლოებით 150 ათასი საათის განმავლობაში (უწყვეტი 15 წელი). FSO-სისტემებში გამოყენება ჰპოვეს აგრეთვე APC (Adaptive Power Control) სქემებმა, რომლებიც მართავენ გამოსხივების სიმძლავრეს ატმოსფერული პირობების შესაბამისად (მაგალითად: კარგ ამინდში გამოსხივების სიმძლავრე მინიმალურია). ასეთი სქემები საშუალებას იძლევიან გახანგრძლივდეს ლაზერული მოწყობილობების სიცოცხლის ხანგრძლიობა და გაიზარდოს მისი საიმედოობა.

რაც შეეხებას გადაცემის სიშორის ზრდის გავლენას ამინდის პირობებზე ჯერ-ჯერობით რჩება აქტუალური. სინათლის ლაზერული სიგნალის მიღების ხელის შემწყობია სველი თოვლი, წვიმა, ნისლი და ქარი. ამასთან ნისლი (განსაკუთრებით დაბურული) ჩამოთვლილთაგან ყველაზე ძლიერად ახდენს გავლენას FSO-სისტემების სიშორეზე, რადგანაც ატმოსფეროში დაკიდებული წყლის მოლეკულები ძლიერ აფერხებენ ფოტონების მოძრაობას. სინათლის გავრცელებას შეიძლება ხელი შეუშალოს ჩიტებმაც, რომლებიც გზას გადაუღობავენ მას. თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ წვიმიან ამინდში FSO-სისტემები შედარებით უკეთ მუშაობენ, ვიდრე კავშირის რადიოსარელევო ხაზები. ეს უკანასკნელნი გამოიყენებენ 18-64 გჰც დიაპაზონს. მაგალითად, ძლიერი წვიმა (როცა წვიმის დონე 75 მმ/წმ-ში) ლაზერულ სისტემას საშუალებას აძლევს გადასცეს ინფორმაცია 2 კმ მანძილზე, მაშინ როდესაც რადიო სარელევო ხაზებით ასეთი მანძილის დაფარვა ამავე პირობებში შეუძლებელია.

დღეისათვის FSO-სისტემების საიმედოობის გაზრდის მიზნით იყენებენ სხვადასხვა მეთოდებს, როგორცაა სიგნალის სიმძლავრის გაზრდა, სარეზერვო რადიოარხების გამოყენება, მრავალსივიანი სისტემების გამოყენება და ა.შ. ასე მაგალითად მრავალსივიანი სისტემები

საშუალებას იძლევიან რამდენჯერმე გაიზარდოს კავშირის საიმედოობა, თუნდაც იმიტომ, რომ უმრავლეს შემთხვევაში დაბრკოლებას (ჩიტს, ან მტვერის ნაწილაკს) არ შეუძლია ერთდროულად გადაუკეტოს გზა ერთდროულად ყველა სხივს.

საინტერესო შემთხვევას წარმოადგენს, როცა ინტეგრირებულია უკაბელო ოპტიკა FSO-სისტემა და რადიო სარელევო ხაზი. რადიოსისტემები მუშაობენ მნიშვნელოვნად დიდ ტალღის სიგრძეზე, ვიდრე FSO-სისტემები, ამიტომ მათი კომბინირება უკეთ გადალახავს დაბურული ნისლის მქონე გარემოს. ასეთი კომბინაციით შექმნილი მოწყობილობის მდგრადობა საშუალოდ 1 კმ მანძილზე – 99,999%-ს შეადგენს (ე.ი. წელიწადში სისტემა არამუშა მდგომარეობაში იქნება მხოლოდ 5 წუთი). პრაქტიკამ აჩვენა, რომ იმ რეგიონებში, სადაც წლის განმავლობაში დიდი რაოდენობის ნალექი მოდის (მაგალითად ლონდონი, ბათუმი) FSO-სისტემების მრავალი ნაირსახეობა უზრუნველყოფს სტაბილურ კავშირს 2 კმ მაძილაძედ.

უკაბელო ოპტიკური კავშირის არხის ასაგებად საჭიროა მოშორებული ოფისების შენობებში განთავსდეს ლაზერული მიმღებ/გადამცემი მოწყობილობები პირდაპირი ხედვის არეში. ამასთან გარე აპარატურა აუცილებელია საფუძვლიანად დამაგრებული იყოს, რათა ვიბრაციებმა (მაგალითად, გამვლელმა ტრანსპორტმა ან ძლიერმა ქარმა) არ დაარღვიოს სხივის ფოკუსირება. ოპტიკური მიმღებ/გადამცემი ყველაზე ხშირად უერთდება შიდა ბლოკს ოპტიკური კაბელის საშუალებით (უკიდურეს შემთხვევაში, შესაძლებელია სპილენძის მავთულითაც შეერთების განხორციელება). შიდა ბლოკი გამტარ სადენებს უერთდება სხვადასხვა ინტერფეისით - 10/100/1000 Ethernet, V.35, E1/E3, G.703/G.704, OC-12/OC-48 და სხვა. შემდეგ საქმე დადის

ხელსაწყოების შექმნამდე. სატელეკომუნიკაციო ბაზარზე სხვადასხვა მახასიათებლების მქონე FSO-სისტემები არსებობს. მაგალითად, მოშორებულ ფილიალებს შორის ქსელის გაერთიანება და მაღალსიხქარიანი კავშირის რეალიზაციის შესაძლებლობას იძლევა ხელსაწყო LaserBit, რომელსაც აწარმოებს ფირმა LaserBit Communications. მოდელი LB-5000 საშუალებას იძლევა განვახორციელოთ მაღალსიხქარიანი კავშირი (100 ან 150 მბაიტი/წმ) 5 კმ მანძილზე. ეს მოდელი შეიცავს და გამოიყენებს 4 ლაზერულ დიოდს. ლაზერული მოწყობილობის სიმძლავრე რეგულირებადია 50–დან 150 ვტ-მდე. ამ მოწყობილობების კორპუსი და დეტალები დამზადებულია სპეციალური ალუმინის შენადნობისაგან, რომელიც მოწყობილობას უნარჩუნებს ხანგრძლივი ექსპლუატაციის ვადას.

შეიარაღებასა და თავდაცვის სფეროში ოპტიკური ტექნოლოგიების მწარმოებელი ორგანიზაციებიდან შეიძლება ავღნიშნოთ: Vodafone, Sprint, Verizon და სხვა. ცნობილია, რომ პირველად მსოფლიოში გიგაბაიტური ოპტიკური უკაბელო ქსელი გაშვებული იქნა ლონდონში 1999 წელს, სადაც გამოყენებული იქნა CableFree აპარატურა.

საქართველოში FSO-სისტემები ახლა ინერგება. ვიმედოვნებთ, რომ მათი მასიური დანერგვა უხალოესი მომავლში განხორციელდება.

§1.6. თანამგზავრული კავშირი

პირველი ტელეფონები Inmarsat იყო მძიმე და დიდი ზომის. მათი საშუალებით მობილური კავშირის დამყარებას სჭირდებოდა დაახლოებით 5 წუთი. დღეს ყველაფერი გამარტივდა და როგორც Iridium, ასევე Inmarsat-mini-M სისტემები თავისუფლად თავსდება ჯიბეში, მათი საშუალებით კავშირი მყარდება სულ რამოდენიმე წამში, ხოლო მობილური

ტელეფონები Globalstar იწონიან 300-400 გრამს და ძალიან წააგავს ტრადიციულ ფიჭურ ტელეფონებს. თანამგზავრული ტელეფონები, რომლებიც მობილურ ტელეფონებს წააგავს შეიძლება გამოყენებული იქნას ხმელეთზე მოგზაურობისას, ხოლო შედარებით დიდი ზომის თანამგზავრული აპარატები Inmarsat (იგი შეიცავს ანტენურ კომპლექსს და მისი წონა დაახლოებით 3 კგ-ია) შეიძლება გამოყენებული იქნას საკუთარი იახტით ან სხვა სატრანსპორტო საშუალებით მოგზაურობისას.

Inmarsat სისტემებში გამოიყენება 4 მაღალორბიტალური (სიმაღლე 35 875 კმ დედამიწის ზედაპირიდან) ეკვატორული თანამგზავრი, რომლებიც მბრუნავი დედამიწის თავზეა განლაგებული. ამ თანამგზავრებს გეოსტაციონარული ეწოდებათ, იმის გამო რომ მათი მდგომარეობა ცის თავზე არ იცვლება. ერთ-ერთი ასეთი თანამგზავრისაკენ კავშირისას აუცილებლად უნდა იქნას მიმართული ტელეფონის ანტენა. კოსმოსში რადიოკავშირს შეფერხებას არაავინ არ უქმნის, ამიტომ თანამგზავრები მაღალ ორბიტებზეც კი თავისუფლად დებულობენ სატელეფონო სიგნალებს 1 ვატი გამომავალი სიმძლავრით.

Iridium სისტემებში გამოიყენება 66 დაბალორბიტალური თანამგზავრი (სიმაღლე 780 კმ დედამიწის ზედაპირიდან), რომლებიც გარს შემოუვლიან ჩვენს პლანეტას სარტყელიდან სარტყელამდე სულ რაღაც 100 წთ-ში. Iridium-ის თანამგზავრები 40-ჯერ ახლოსაა აბონომენტთან, ვიდრე Inmarsat-ის თანამგზავრები. თითქოს და გამომავალი სიმძლავრეც ასეთ ტელეფონებს უნდა ჰქონდეს მცირე, მაგრამ ამ თანამგზავრების სწრაფი გადაადგილების გამო საჭირო ხდება არამიმართული ანტენების გამოყენება. შესაბამისად Iridium ტელეფონების საშუალო გამომავალი სიმძლავრე 0,5-2 ვტ-ია.

Globalstar და ICO სისტემებში გამოიყენება თანამგზავრები, რომლებიც ეკვატორისადმი 52 და 45 გრადუსებით ბრუნავენ. Globalstar სისტემაში

გაერთიანებულია 48 თანამგზავრი. ისინი დედამიწას წრეს არტყამენ 114 წუთში (სიმაღლე 1414 კმ დედამიწის ზედაპირიდან). მეორე ICO სისტემაში გაერთიანებულია 10 თანამგზავრი, დედამიწას წრეს არტყამენ 12 სთ–ში (სიმაღლე 10 355 კმ დედამიწის ზედაპირიდან). ამ სისტემებზე მომუშავე მობილური ტელეფონების გამომავალი სიმძლავრე არ აღემატება ფიჭური მობილური ტელეფონების სიმძლავრეს (0,5 ვტ).

თითქოს და ამ თანამგზავრებმა უნდა მოიცვას მთელი დედამიწა, მაგრამ თეთრი ლაქა მაინც არსებობს, სადაც თანამგზავრული სიგნალი არ ვრცელდება. მაგალითად, Inmarsat სისტემა პრინციპულად ვერ მუშაობს დედამიწის ჩრდილოეთ და სამხრეთ პოლუსებზე, აგრეთვე პოლარულ წრეზე (რადგანაც გეოსტაციონარული თანამგზავრები ამ წერტილებიდან არ ჩანს). ასევე შეიძლება ითქვას Globalstar სისტემის შესახებაც, რომლებიც ჯერ–ჯერობით ასევე ვერ გვთავაზობს კავშირს ჩრდილოეთ და სამხეთ პოლუსების მახლობლად. გამოდის, რომ მხოლოდ Iridium–სისტემა გვთავაზობს რეალურად გლობალურ სისტემას, რომელიც უზრუნველყოფს პენტაგონის არმიის გლობალურ მობილურობასაც. თანამგზავრული სისტემების გავლით აბონომენტთა დაკავშირებას უზრუნველყოფს სპეციალური სადგურები დედამიწაზე, რომლებიც ყველა კონტიგენტზე არის გაშლილი. მათ ფუნქციებში შედის აბონომენტის კონტროლი, სალაპარაკო დროის გათვალისწინება და განსაზღვრა კავშირზე გასული აბონომენტის კრედიტის მოქმედუნარიანობისა. მანამ სანამ ეს სამსახურები არკვევენ აბონენტის კრედიტთან და სალაპარაკო დროსთან დაკავშირებულ საკითხებს, აბონომენტს მოუწევს ლოდინი დაახლოებით რამოდენიმე ათეული წამის ოდენობით.

Iridium–სისტემებში კავშირი მობილურიდან მობილურისაკენ ხორციელდება მხოლოდ თანამგზავრის გავლით. მაგრამ ასეთი სუფთა

ზარის განხორციელებას შეიძლება უზრუნველყოფდეს 4 სადგურის ერთობლიობა. Inmarsat სისტემებში ზარი თანამგზავრული ტელეფონებიდან ანალოგიურ ტელეფონზე ხორციელდება სიგნალის ორმაგი სვლის ხარჯზე, როცა სიგნალი ჯერ მიდის კოსმოსში, იქედან ბრუნდება უკან დედამიწაზე, მუშავდება და მიემგზავრება კვლავ კოსმოსისაკენ, ხოლო შემდეგ გადაეცემა ადრესატის ტელეფონს. სწორედ ამიტომ, თანამგზავრულიდან, თანამგზავრულ ტელეფონზე კავშირისათვის Inmarsat სისტემებში 2 ჯერ მეტია გადასახდელი. ის ფაქტი, რომ Inmarsat სისტემით სარგებლობისას საჭიროა წარმოდგენა ვიქონით თუ რა არის განედი და გრძედი, ვიცოდეთ კომპასით სარგებლობა, არ უნდა ართულებდეს ამ სისტემით სარგებლობას თუნდაც არასრული განათლების მქონე ადამიანებისათვის. არსებობს ფერადი რუკები აზიმუტისა და მომსახურე თანამგზავრის დახრის კუთხის განსაზღვრის მიზნით. ან კიდევ შეიძლება უბრალოდ დავატრიალოთ აპარატი ან გავაქანოთ ანტენა, დავიჭიროთ უკეთესი სიგნალი და განვახორციელოთ კავშირი, მაგრამ თუ ადამიანი მოგზაურობს ავტომანქანით ან სხვა სატრანსპორტო საშუალებით, მაშინ სატრანსპორტო საშუალებაზე შეიძლება დაყენებული იქნას ამინდის მიმართ მდგრადი უნივერსალური ანტენური კომპლექსი, რომელიც თვითონ იპოვნის შესაფერის თანამგზავრს და უზრუნველყოფს კავშირს. arsebiTad unda ganvasxvavoT telefoni e.i. aparati, romliTac vsaubrobT an gadavcemT cifrul informacias, satelefono arxisagan. swored amitom Iridium–ი, ისევე როგორც ყველა სუფთა თანამგზავრული სატელეფონო სისტემები არც კი მოიაზრება Inmarsat– მონაცემთა გადაცემის სისტემების კონკურენტებად. დღეისათვის Inmarsat-M4 და Inmarsat-B სისტემები უზრუნველყოფენ კავშირის სიჩქარეს 64 კბიტი/წმ და რამოდენიმეჯერ აღემატება Iridium–ის (4,8 მგბიტი/წმ) და Globalstar–ის (9,6

მგბიტი/წმ) სიჩქარეს. რამდენადაც იაფი არ უნდა იყოს დაბალორბიტალური სისტემაში კავშირი მაღალორბიტალურ სისტემაში კავშირთან შედარებით, სულ ერთია უმჯობესია Inmarsat სისტემით სარგებლობა, რადგან მონაცემთა გადაცემისათვის დახარჯული დროც ცხადია ასევე თანხასთან არის დაკავშირებული. ვთქვათ მოცემული სამაგისტრო შრომის ელექტრონული ვერსიის ზომა Microsoft Word-ის ფორმატში შეადგენს 150 კბაიტს. ეს ინფორმაცია თანამგზავრული კავშირისას 4,8 კბიტი/წმ სიჩქარით გადაიცემა სულ 4 წთ-ში, ხოლო ერთი ციფრული ფოტოსურათის გადაცემას (300 კბაიტი- 1,5 მგბაიტი) შეიძლება დასჭირდეს 1 სთ-მე დრო.

Inmarsat სისტემებში მონაცემების სახით შეიძლება გადაცემული იქნას არამხოლოდ ტელექსები და ფაქსები, არამედ ტელეგრამები საჭირო საფოსტო მისამართისათვის, სურვილისამებრ შეიძლება ვისარგებლოთ მაღალსიჩქარიანი ISDN- ტელეფონებით, რომლებიც გამოიყენება არა მხოლოდ სიტყვების გადასაცემად, არამედ გამოსახულების გადასაცემადაც.

ფიჭური სისტემები GSM და CDMA, თანამგზავრული სისტემები Globalstar, Iridium, Inmarsat, აგრეთვე რადიოტელეფონები DECT დეკლარირებენ სრულ კონფიდენციალობას და ეთერის გარეშე პირთა მხრიდან მოსმენის შეუძლებლობას. Iridium სისტემებში გათვალისწინებულია დამრეკავის ადგილმდებარეობის განმსასაზღვრავი სისტემა. მაგალითად, თუკი თანმიმდევრული ზარების რიგი ხორციელდება ერთმანეთისაგან საკმაოდ მოშორებული წერტილებიდან, მიუხედავად იმისა იმყოფებიან თუ არა ისინი სტრატეგიული ადგილის მახლობლად, სისტემა რთავს განგაშს და იწყება პოტენდციური ორეულის მოძებნა. Inmarsat-სისტემის ბაზურ ვარიანტში გამოიყენება

კრიპტოკოდირება, ამავე დროს თუ მომხმარებელს აქვს საიდუმლო ინფორმაცია მან შეიძლება შეიძინოს სერიული კრიპტობლოკი, თუმცა ასეთივე კრიპტოაპარატურა უნდა ჰქონდეს ინფორმაციის მიმღებ ადრესატსაც, წინააღმდეგ შემთხვევაში ის ვერ შეძლებს დაშიფრული ინფორმაციის დეკოდირებას. მოცემულ შემთხვევაში Inmarsat სისტემა ქმნის ე.წ. „გამჭვირვალე არხს“, რომელსაც აღარ შიფრავს და არ ახდენს კოდირებას, რადგან უკვე კოდირებულია. თუ მომხმარებელს არ სურს გამოიყენოს სტანდარტული კრიპტოაპარატურა და ალგორითმები, მაშინ ნებისმიერი სატელეფონო ქსელიდან შეუძლია გადავიდეს მონაცემთა გადაცემის რეჟიმში და მოვხდინოს ინფორმაციის კოდირება დამოუკიდებლად ცნობილი კრიპტოალგორითმების გამოყენებით.

თანამგზავრული ზარის ღირებულება დამოკიდებულია აბონომენტის ადგილმდებარეობაზე. თანამგზავრულიდან თანამგზავრულ ტელეფონზე დარეკვისას თანხას იხდის როგორც დამრეკავი ასევე ადრესატი, თუმცა მაგალითად საქართველოდან Inmarsat ან Iridium სატელეფონო აპარატზე დარეკვისას თანხას იხდის მხოლოდ დამრეკავი აბონომენტი. ძალიან ბევრ ქვეყანაში ზარისათვის თანხას იხდის მხოლოდ დამრეკავი და იმის და მიხედვით თუ სად რეკავს 1 წთ სალაპარაკო დროის ღირებულება სხვადასხვაა. თანამგზავრული ტელეფონიდან დარეკვისას Inmarsat აპარატზე თანხა არ არის დამოკიდებული ადრესატის ადგილმდებარეობაზე და ჯდება 3\$, ხოლო Iridium და Globalstar აპარატებზე დარეკვისას მერყეობს 1\$-დან – 3\$-მდე (დამოკიდებულია იმაზე თუ რა გზით ვრცელდება სიგნალი ადრესატამდე).

ახალი თანამგზავრული სისტემების მწარმოებლები აქცენტს აკეთებენ მათი სისტემების მასიურობაზე და ფიჭური სატელეფონო სისტემებისადმი თავსებადობაზე. გამოდის დუალური აპარატები, შემუშავებულია როუმინგის სპეციალური ტარიფები, შემოღებულია ზარების

დიფერენცირებული გადასახადი, გამოიყენება საერთო SIM-ბარათები და ა.შ. მთელს მსოფლიოში ბაზური GSM და CDMA სადგურების გამართვა რატქმაუნდა რთულია, თუმცა შეიძლება ღია კოსმოსში გასვლა ამ სადგურებიდანაც თუ მოხდება მათი ჩანაცვლება მარალტექნოლოგიური სატელეკომუნიკაციო აპარატურებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ კავშირს ყოველთვის და ყველგან.

კაცობრიობა პოპოვის პირველი რადიოდან საკმაოდ შორს წავიდა და გადააქცია ჩვენი მზე ერთ დიდ რადიოვარსკვლავად, ათვისა თითქმის ყველა სახის რადიოტალღა და მჭიდროდ მიუახლოვდა ტელეფონების სრული პერსონიფიკაციის საკითხს. დღეისათვის ტექნიკურად შესაძლებელია მივიღოთ არა მხოლოდ პირადი (სიცოცხლის ბოლომდე) საიდენტიფიკაციო ნომერი, არამედ სატელეფონო და რადიოაპარატურების საიდენტიფიკაციო ნომრებიც.

შორს არ არის დრო როცა ნებისმიერი მომხმარებელი არა მხოლოდ სულ რაღაც წამებში მიიღებს თავის ასეულ მეგაბაიტ ინფორმაციას, არამედ გადასცემს და მიიღებს მაღალხარისხიან სატელეფონო და სატელევიზიო კავშირს სამყაროს ნებისმიერი წერტილიდან.

თავი II

ანტენური სისტემები

§2.1. შესავალი ანტენების თეორიაში

ანტენა წარმოადგენს მოწყობილობას, რომელიც განკუთვნილია რადიოტალღების მიღებისა და გამოსხივებისათვის. გადამცემა ანტენა მაღალი სიხშირის ელექტრომაგნიტურ რხევებს გარდაქმნის გამოსხივებული რადიოტალღების ენერგიაში. როგორც ცნობილია ცვლადი ელექტრული დენი წარმოადგენს ელექტრომაგნიტური ტალღების წყაროს. ცვლადი ელექტრული დენის ეს თვისება პირველად მაქსველის შრომების საფუძველზე, დაადგინა ჰერცმა მე-19 საუკუნის 80-იან წლებში. მიმდები ანტენა კი ასრულებს შებრუნებულ ფუნქციას – ის რადიოტალღების ენერგიას გარდაქმნის ენერგიად, რომელიც წარმოიქმნება მიმდები ანტენის რხევით კონტურში. ანტენის ფორმა, ზომები და კონსტრუქცია დამოკიდებულია გამოსხივებული ან მიღებული ტალღის სიგრძეზე.

ბევრი გადამცემა ანტენისათვის გამოსხივების ინტენსიობა დამოკიდებულია გამოსხივების მიმართულებაზე. ანტენების ეს თვისება გრაფიკულად გამოისახება მიმართულების დიაგრამით, რომელიც გვიჩვენებს გამოსხივებული ტალღის ელექტრული ველის დაძაბულობის დამოკიდებულებას მიმართულების მახვენებელ კუთხეზე. ანტენების ერთ-ერთი ძირითადი მახასიათებელი პარამეტრი არის მიმართული ქმედების კოეფიციენტი, რომელიც გვიჩვენებს თუ რამდენჯერ უნდა გვზარდოთ გამოსხივების სიმძლავრე, რომ მოცემული რეალური (მიმართული) ანტენა შევცვალოთ არამიმართული (იზოტროპული) ანტენით, რომ ელექტრული ველის დაძაბულობა უცვლელი დარჩეს. ცხადია რეალურად, მიღებული

ტალღის ენერჯის ნაწილი იკარგება ანტენის გამტარებზე და იზოლატორებზე, ხოლო ნაწილი კი შთაინთქმება და გაიბნევა გარემომცველ სივრცეში. ამიტომ ანტენური სისტემების მეორე ძირითად მახასიათებელ პარამეტრს წარმოადგენს გამოსხივებული ტალღის სიმძლავრის ფარდობა გამტარუნარიანობასთან და მას **ანტენის მარგი ქმედების კოეფიციენტს უწოდებენ** (მქკ). ანტენის მქკ-ს ნამრავლი მიმართული ქმედების კოეფიციენტთან იწოდება **ანტენის გაძლიერების კოეფიციენტად** (გკ). მიმღები ანტენა გარდა იმისა, რომ ხასიათდება მიმართული ქმედების კოეფიციენტით, მქკ-თი და გაძლიერების კოეფიციენტით, ხასიათდება აგრეთვე მიმართულების დიაგრამის ფორმითაც. **მიმართულების დიაგრამა** გამოსახავს ანტენის მიერ მიმღები მოწყობილობის შესასვლელში წარმოქმნილი ემპ-ის დამოკიდებულებას ტალღის მოსვლის კუთხეზე. ითვლება, რომ მიღების წერტილში ველის დაძაბულობა არ არის დამოკიდებული ტალღის მოსვლის კუთხეზე.

ანტენების აგების თეორია და მეთოდები ეყრდნობა ელემენტალური ვიბრატორის გამოსხივების თეორიას. ელემენტალური ვიბრატორის ქვეშ ვგულისხმობთ გამტარს, რომლის სიგრძეც ბევრად მცირეა გამოსხივებული ტალღის λ სიგრძესთან შედარებით ასეთი ვიბრატორის მიმართულების დიაგრამას ვიბრატორის ღერძზე გამავალ სიბრტეში გააჩნია რვიანის ფორმა (ნახ.2ა), ხოლო პერპენდიკულარულ სიბრტეში წრის ფორმა (ნახ.2ბ). ელემენტალური ვიბრატორისათვის მიმართული ქმედების კოეფიციენტი 1,5 -ია ტოლია (საუბარია ჰერცის ვიბრატორზე). ამრიგად, ნებისმიერი ანტენა შეიძლება განხილული იქნას, როგორც ჰერცის ვიბრატორტა ერთობლიობა.

პირველი პრაქტიკული, არასიმეტრიული რადიო ანტენა შემოთავაზებული იყო პოპოვის მიერ 1895 წელს. არასიმეტრიული

ვიბრატორი წარმოადგენს გრძელ ვერტიკალურ მავთულს, რომლის ქვედა მხარე დამიწებასთან ერთად მიერთებული იყო მიმღებ მოწყობილობასთან (ნახ.3). ასეთი ვიბრატორის მიმართულების დიაგრამას ვერტიკალურ სიბრტყეში გააჩნია ნახევრად რვიანის ფორმა, ხოლო ჰორიზონტალურ სიბრტყეში წრის ფორმა. როგორც ცნობილია, ვერტიკალური არასიმეტრიული ვიბრატორი უზრუნველყოფს დედამიწის ზედაპირის გასწვრივ უწყვეტ გამოსხივებას, ამიტომაც მას რადიოკავშირებისას დღესაც ფართოდ იყენებენ გრელი და საშუალო ტალღების შემთხვევაში.

ანტენების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მახასიათებელი პარამეტრია, აგრეთვე, გამოსხივების წინააღმდეგობა R_{sc} . როცა ვიბრატორის სიგრძე $L = \lambda/4$, მაშინ გამოსხივების წინააღმდეგობის ქვეშ გულისხმობენ გამოსხივებული სიმძლავრის ფარდობას ვიბრატორის ქვედა ბოლოზე გაზომილი დენის ძალის კვადრატთან. რაც უფრო დიდია R_{sc} , მით უფრო დიდია გამოსხივებული სიმძლავრე (ვიბრატორის მოცემული წერტილისათვის), მაღალია მქკ, ფართოა სიხშირეთა ზოლი და მცირეა ელექტრული ველის დაძაბულობის ამპლიტუდური მნიშვნელობა, რომელიც წარმოიქმნება მავთულის – ვიბრატორის ზედაპირზე. რადგან ველის მაქსიმალური დაძაბულობა არ შეიძლება აღემატებოდეს გარკვეულ მნიშვნელობას, რომ არ მოხდეს გარემომცველი ჰაერის იონიზაცია ან იზოლატორების რღვევა, ამიტომ რაც უფრო დიდია R_{sc} წინააღმდეგობა, მით უფრო დიდი სიმძლავრე უნდა „მივიტანოთ“ ანტენამდე. R_{sc} წინააღმდეგობა იზრდება L/λ ფარდობის ზრდასთან ერთად. თუ გავზრდით ვიბრატორის დიამეტრს ვნახავთ, რომ გაიზრდება სიხშირული ზოლი და შემცირდება ველის მაქსიმალური დაძაბულობა. გარდა ამისა შესაძლებელია რომ გამოვიყენოთ რამოდენიმე პარალელურად შეერთებული ასეთი ვიბრატორების სისტემა. ამ გზით გამტარების

პარალელური შეერთების საერთო წინაღობის მსგავსად მცირდება ტალღური წინაღობა.

გრძელი ტალღების დიაპაზონში ანტენათა სრულყოფა მათი გეომეტრიული სიმაღლის ზრდის პროპორციულად ხორციელდებოდა. ყველაზე მაღალი ასეტი ანტენა 300 მეტრსაც კი შეადგენდა. ფორმათა შერჩევის გზით მიღებული იქნა T-მაგვარი, Γ-მაგვარი და ქოლგისებური ანტენები (ნახ.4). მიმართული ქმედების კოეფიციენტი ასეთი ანტენებისათვის ≈ 3 -ის ტოლი გახდა. მოგვიანებით λ -ტალღის სიგრძის შემცირების გზით გამარტივდა ანტენების მშენებლობა. 30-იან წლებში გრძელი ტალღების დიაპაზონში (200 მ - 2000 მ) დაიწყო ვერტიკალური, დედამიწისაგან იზოლირებული, მაღალ ანძაზე დამონტაჟებული, არასიმეტრიული ვიბრატორის გამოყენება. მათ მოგვიანებით ანტენა-ანძის სახელწოდება შემორჩათ. ანტენა-ანძის მიმართული ქმედების კოეფიციენტი იცვლება მისი სიმაღლის λ -ტალღის სიგრძესთან ფარდობის მიხედვით. როცა ეს ფარდობა 0,63-ის ტოლი გარდა აღმოჩნდა, რომ მიმართული ქმედების კოეფიციენტი მაქსიმალური ანუ 6-ის ტოლი იყო. თუკი სამუშაოს მიხედვით ამ დიაპაზონში საჭირო ხდება მიმართული გამოსხივების მიღება ან გადაცემა, მაშინ იყენებენ შედარებით რთული ფორმის ანტენებს (ნახ.5), რომლებიც ჩვეულებრივ შესდგება 2 ვერტიკალური არასიმეტრიული ვიბრატორისაგან, რომელთაგან ერთი მათგანი უშუალოდ იკვებება გადამცემიდან და წარმოადგენს აქტიურ ვიბრატორს, ხოლო მეორე მასთან სივრცით ელექტრომაგნიტური კავშირის გზით აღიგზნება (პასიური რეფლექტორი). აქტიური ვიბრატორიდან გამოსხივებული ტალღა ინტერფერანციაში შედის პასიური რეფლექტორებიდან გამოსხივებულ ტალღებთან და შესაბამისად მიმართულების დიაგრამა იცვლის ფორმას, ხოლო მიმართული ქმედების

კოეფიციენტი თითქმის 2-ჯერ იზრდება ერთვიბრატორიანი ანტენის მიმართული ქმედების კოეფიციენტთან შედარებით.

200-550 მ რადიო სამაუწყებლო დიაპაზონში ფართოდ გამოიყენება ე.წ. ანტიფედინგური ანტენა, რომელიც უზრუნველყოფს ელექტრომაგნიტური ველის მიღების შესუსტებას, რომელიც განპირობებულია ანტენიდან მცირე მანძილზე (40-60 კმ) სადამოთი და ღამით. მიღების ეფექტი განპირობებულია იონოსფეროდან არეკვლილი ტალღისა და დედამიწის ზედაპირის გასწვრივ გავრცელებული ტალღათა ინტერფერენციით. საშუალო ტალღურ დიაპაზონში სარგებლობენ ჩარჩოს ფორმის მქონე ანტენებით და ე.წ. მაგნიტური ანტენებით. თუმცა შესაძლებელია ჩარჩოს ფორმის მქონე ანტენისა და ვერტიკალური სიმეტრიული ვიბრატორის სხვადასხვა კომბინაციით მიღებული იქნას ასევე კარგი შედეგი.

მოკლეტალღურ დიაპაზონში ანტენის აგება დამოკიდებულია კავშირის სიშორეზე. მცირე მანძილზე (რამოდენიმე ათეული კმ) კავშირი ხორციელდება უშუალოდ დედამიწის ზედაპირის მახლობლად გავრცელებული ტალღებით. ამ მანძილებზე ხშირად იყენებენ ვერტიკალურ არასიმეტრიულ ვიბრატორს, რომელიც ანალოგიურია საშუალო და გრძელი ტალღების ვიბრატორისა. შეიძლება გამოიყენებული იქნას აგრეთვე ვერტიკალური სიმეტრიული ვიბრატორი, ხოლო დიდ მანძილებზე (50-100 კმ) კავშირი ხორციელდება იონოსფეროდან ერთჯერადად ან მრავალჯერადად არეკვლის გზით. ამ მანძილებზე ხშირად სარგებლობენ ჰორიზონტალური, სიმეტრიული ვიბრატორით დედამიწის და წლიური უწყვეტი კავშირი მოკლე ტალღებზე საჭიროებს ტალღის სიგრძის ხშირ ცვლილებას. დღისით, ზაფხულში და მაღალი მზის აქტივობის პერიოდში კავშირისათვის საჭიროა შედარებით მოკლე ტალღის სიგრძის ტალღები, ვიდრე ღამით, ზამთარში და დაბალი მზის

აქტიობის პერიოდში. ამიტომ მოკლე ტალღურ დიაპაზონში უწყვეტი წლიური კავშირის შემთხვევაში სარგებლობენ დიაპაზონური ანტენებით, რომლებიც განკუთვნილია ფართო სიხშირული დიაპაზონისათვის და არ საჭიროებს რაიმე გადაწყობას. ერთ-ერთი ასეთი ანტენაა სიმეტრიული ჰორიზონტალური ვიბრატორი, რომელიც ცნობილია დიპოლის სახელწოდებით. ამ ანტენას გააჩნია მცირე ტალღური წინააღმდეგობა, რის შედეგადაც მისი შემავალი წინააღმდეგობა მცირედ არის დამოკიდებული ტალღის სიგრძეზე. ასეთი ანტენის მიმართული ქმედების კოეფიციენტი 6-12 ფარგლებშია. გარდა ამისა გამოიყენებენ აგრეთვე სინფაზურ ანტენებსაც (ნახ.6), რომელიც წარმოადგენს სიმეტრიული ვიბრატორებისაგან შემდგარ ბრტყელ ბადეს. სინფაზური ანტენებისათვის მიმართული ქმედების კოეფიციენტი რამოდენიმე ასეულს და შეიძლება 1000-აც კი აღწევდეს, ხოლო მქკ დაახლოებით 1-ს უახლოვდება. სინფაზური ანტენის გარდა გამოვიყოფთ აგრეთვე რომბისებურ ანტენებს, რომელთა მიმართული ქმედების კოეფიციენტი 20-200-ია, ხოლო მქკ - 0,5-08.

მეტრულ და დეციმეტრულ დიაპაზონში გამოიყენება მრავალსართულიანი, პანელური, ხვრელური და სხვა ტიპის ანტენები მოქმედების ზონია გაზრდილი მიზნით ამ დიაპაზონში მომუშავე ანტენები მონტაჟდება 100-300 მ და უფრო მარალ სიმაღლეებზე. მიმართული ქმედების კოეფიციენტი დაახლოებით 6-დან რამოდენიმე ათეულამდე მერყეობს. მსოფლიოში ყველაზე უფრო მაღალი სატელევიზიო ანძის სიმაღლე 533 მ-ია და იგი მოსკოვში მდებარეობს.

ზემაღალი სიხშირის ანტენები მოიცავს დეციმეტრულ, სანტიმეტრულ და მილიმეტრულ დიაპაზონებს. გამოიყენება რადიოსარელევო კავშირისათვის, რადიოლოკაციაში, კოსმოსური

კავშირებისას, რადიოასტრონომიაში და ა.შ. ამ დიაპაზონებში ფართოდ გამოიყენება სინფაზური ანტენები, რუპორული ანტენები, ლინზური ანტენები, პარაბოლური ანტენები, რუპორულ-პარაბოლური ანტენები, ორსარკიანი ანტენები, სპირალური ანტენები (ნახ.7-8) და სხვა.

§2.2. ანტენური მახასიათებლები

ბოლო პერიოდში ანტენების მახასიათებლების გაუმჯობესების მიზნით ადგილი აქვს ინტენსიურ კვლევებს. სამეცნიერო შრომები ამ მიმართულებით ეძღვნება სხვადასხვა დანიშნულებისა და ტიპის ანტენების გამბნევი თვისებების ოპტიმიზაციას, კერძოდ კი გაბნევის ეფექტური ფართობის შემცირებას. ამ საკითხებისადმი დიდი ყურადღება უპირველეს ყოვლისა განპირობებულია ანტენების გაბნევის მახასიათებელი პარამეტრების გავლენით თანამედროვე შეიარაღებისა და სამხედრო ტექნიკის რადიოლოკაციური ობიექტების „შემჩნევითობაზე“, რომლებიც თავის მხრივ აღჭურვილია რადიოელექტრონული მოწყობილობების ფართო სპექტრით. მეორე მნიშვნელოვანი ფაქტორი, რომელიც ადასტურებს ელექტრომაგნიტური ტალღების ანტენური სისტემების მიერ გაბნევის შესწავლის აქტუალობას, არის ანტენური სისტემების გაბნევის ეფექტური განიკვეთის გავლენა რადიოელექტრონული მოწყობილობების ფუნქციონირების ხარისხზე [11].

ანტენური სისტემების გაბნევის ეფექტური განიკვეთის შესწავლა, მნიშვნელოვანია თანამედროვე შეიარაღებისა და სამხედრო ტექნიკის უკეთ გამართვის თვალსაზრისით. თეორიული და ექსპერიმენტალური გამოკვლევები ანტენების მიერ ელექტრომაგნიტური ტალღების გაბნევის საკითხში გვიჩვენებს, რომ შედარებით დიდი გაბნევის ეფექტური განიკვეთით გამოირჩევა ე.წ. მკვეთრად მიმართული აპერტურული

ანტენები (ლინზური, სარკისებული, რუპორული და სხვა), შესაბამისად დიდი გაბნევის ეფექტური განიკვეთის გამო მკვეთრად მიმართული ანტენებისათვის დამახასიათებელია დიდი ენერგეტიკული დანაკარგები სიგნალის მიღებისას, რადგანაც დაცემული ტალღის მნიშვნელოვანი ნაწილი აირეკლება და გაიბნევა სივრცეში. პრაქტიკა აჩვენებს, რომ მრავალფუნქციონირებადი კომპაქტურად განლაგებული რადიოელექტრონული სისტემები ურთიერთ ზეგავლენას ახდენენ ერთმანეთზე, რაც განპირობებულია სიგნალის არეკვლით მეზობელი ანტენებიდან, ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში ადგილი აქვს გაუთვალისწინებელ რადიოდაბრკოლებებს, რაც განაპირობებს სწორედ ანტენური სისტემის გაბნევის ეფექტური განიკვეთის მნიშვნელოვან სიდიდეს. ამ თვალსაზრისით აქტუალური არის აგრეთვე ანტენის გაბნევის მახასიათებლების გავლენის შესწავლა მახლობლად განლაგებულ ანტენებთან ელექტრომაგნიტურ თავსებადობაზე [14].

ანტენურ საინჟინრო პრაქტიკაში ანტენის გაბნევის ეფექტური განიკვეთის გამოსათვლელად მიღებულია ფორმულა [12].

$$\sigma_s = 4\pi \frac{S_{eff}^2}{\lambda^2} = S_{eff} G_A = G_A^2 \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (2.1)$$

სადაც S_{eff} - ანტენის ეფექტური ფართობია; λ - ტალღის სიგრძეა; G_A^2 - ანტენის მიმართულების კოეფიციენტი.

არსებული თითქმის ყველა პრაქტიკული კვლევები მიდის შედეგზე, რომ ანტენაზე ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღის დაცემისას გაბნეულ ენერგიას გააჩნია ორი მდგენელი $E = E_A + E_s$, რომლებსაც შეაქვთ მნიშვნელოვანი წვლილი ანტენის გაბნევის ეფექტური განიკვეთის სიდიდეზე. პირველი კომპონენტი – ანტენური კომპონენტი და შესაბამისი გაბნევის ეფექტური განიკვეთის მდგენელი განპირობებულია ანტენურ-ფიდეურულ ტრაქტზე არსებული არაერთგვაროვნებებზე ტალღის

არეკვლით, ხოლო მეორე კომპონენტი – სტრუქტურული კომპონენტი, განსხვავებით ანტენური კომპონენტისა განპირობებულია ანტენის ძირითად ელემენტებზე წარმოქმნილი დენებით. (2.1)–ლი განტოლება არ წარმოადგენს ზუსტ განტოლებას გაბნევის ეფექტური განიკვეთისათვის, რადგან ის არ ითვალისწინებს ბევრ ეფექტებს, მათ შორის გაბნევის ანტენურ და სტრუქტურულ მდგენელებს შორის კავშირს, თუმცა ის შეიძლება გამოყენებული იქნას აპერტურული ანტენების გაბნევის ეფექტური განიკვეთის სტრუქტურული მდგენელისათვის.

ამოცანა დადის ანტენური სისტემის მიერ შორეულ ზონაში გამოსხივებული ველის პოვნაზე. მაქსველის განტოლებების საშუალებით გრინის ფუნქციის მეთოდით მივიღეთ ველის კომპონენტები გამომსხივებელი V მოცულობის მიერ სივრცის ნებისმიერ $r(x, y, z)$ წერტილში:

$$E_x = \frac{\sqrt{\mu/\varepsilon}}{4\pi ik} \iiint \{ F_1(r)J_x + (x-x')[F_2(r)(x-x')J_x + (y-y')J_y + (z-z')J_z] \} dV'$$

$$E_y = \frac{\sqrt{\mu/\varepsilon}}{4\pi ik} \iiint \{ F_1(r)J_y + (y-y')[F_2(r)(x-x')J_x + (y-y')J_y + (z-z')J_z] \} dV'$$

$$E_z = \frac{\sqrt{\mu/\varepsilon}}{4\pi ik} \iiint \{ F_1(r)J_z + (z-z')[F_2(r)(x-x')J_x + (y-y')J_y + (z-z')J_z] \} dV'$$

სადაც:

$$F_1(r) = \frac{-1 - ikr + k^2 r^2}{r^3} \exp(-ikr)$$

$$F_2(r) = \frac{3 + 3ikr + k^2 r^2}{r^5} \exp(-ikr)$$

რაც უნდა რთული ფორმის ანტენა გვქონდეს, ის შეიძლება წარმოვადგინოთ ელემენტალურ ვიბრატორთა ერთობლიობის სახით. თუკი გამოვთლით ერთი რომელიმე L სიგრძის ვიბრატორის მიერ გამოსხივებული ველის კომპონენტს სივრცის რომელიმე წერტილში და

ჩავთვლით, რომ ეს ვიბრატორები ავსებენ სივრცეს გარკვეული გეომეტრიული ფიგურით, მაშინ ინტეგრირება ამ სივრცით გვაძლევს რეზულტირებულ შედეგს, რომელიც გვექნებოდა n რაოდენობის ვიბრატორის ერთობლივი მოქმედების შედეგად.

გამოვთვალოთ ერთი კონკრეტული ვიბრატორის მიერ გამოსხივებული ველის გამოსახულება:

$$E(r, \theta, \varphi) = -i\omega\varphi \frac{e^{-ikr_0}}{4\pi r_0} \int I(\xi) F(\theta, \varphi) d\xi, \quad (2.2)$$

სადაც: $F(\theta, \varphi) = \exp(ik[x' \sin \theta \cos \varphi + y' \sin \theta \sin \varphi + z' \cos \theta])$. გამოთვლები გვიჩვენებს, რომ n -რაოდენობის ანტენის L სიგრძის ვიბრატორთა კომპლექსის მიერ გამოსხივებული ველის მნიშვნელობა შორეულ ზონაში გამოისახება ფორმულით:

$$E(r, \theta, \varphi) = -\frac{iL\sqrt{\mu/\varepsilon}}{\pi r_0} e^{-ikr_0} \sin \theta \sum_{n=1}^N (-1)^n \frac{(2n-1)I_n \cos\left(\pi \frac{L}{\lambda} \cos \theta\right)}{(2n-1)^2 - \left(2 \frac{L}{\lambda} \cos \theta\right)^2}, \quad (2.3)$$

მიღებულია აგრეთვე გაბნევის ეფექტური განიკვეთის გამოსახულება გაბნეული ველის ანტენური მდგენელისათვის. გაბნეული ველის კომპონენტების გამოსახულებების მიღებისას გამოყენებულია გრინის მეთოდი, რომელიც არსებული ანალიტიკური მოდელებისაგან განსხვავებით საშუალებას გვაძლევს გამოთვლები ვაწარმოოთ არა მხოლოდ მარტივი გეომეტრიული ფიგურის მქონე ანტენებისათვის.

შედარებით მარტივი და იაფია მკვეთრად გამოხატული აპერტურული ანტენების აგება. მიმართული ქმედების კოეფიციენტი იზრდება ელემენტთა რაოდენობის ზრდასთან ერთად.

§2.3 მრავალელემენტური ანტენები უკაბელო კავშირის სისტემაში

ეფექტურად შერჩეული ანტენური სისტემის გამოყენება ერთ-ერთი საშუალებაა ნაწილობრივ მაინც გაუმჯობესდეს კავშირის ხარისხი და სიშორე. მრავალ არხიანი უკაბელო კავშირის სისტემებით (Wireless Personal Area Networks - WPAN) სარგებლობისას, მნიშვნელოვანია, თუ რამდენად ფართოდ და ყოვლის მომცველად ფარავს ანტენის მიერ გამოსხივებული ელექტრომაგნიტური ტალღები სივრცეს. საჭიროა გათვალისწინებული იქნას გადამცემი არხების (“სხივების”) ერთმანეთზე უარყოფითი გავლენა და გაიზარდოს გამტარუნარიანობა. გარდა ამისა, უზრუნველყოფილი იქნას გადამცემი ანტენების მდგრადობა გარეშე მოძრავი და უძრავი დაბრკოლებებისადმი (“ხმაურისადმი”), რომელსაც ქმნის სხვადასხვა სიხშირული დიაპაზონისა და სიმძლავრისა მოძრავი (უძრავი) ელექტრომაგნიტური ველის წყაროები [7-9].

გარეშე დაბრკოლებების გავლენის შესწავლა სასარგებლო სიგნალზე წარმოადგენს ერთ-ერთ სერიოზულ პრობლემას თანამედროვე უკაბელო კავშირის სისტემებში. მოცემულ სამაგისტრო შრომაში წარმოდგენილია ე.წ. “ინტელექტუალური ანტენის” მოდიფიკაცია, რომლითაც ის მდგრადი ხდება მოძრავი დაბრკოლებებისადმი. ძირითადი იდეა იმაში მდგომარეობს, რომ ანტენის მიერ მიღებულ სიგნალზე ედება დამატებითი შეზღუდვები, რომლებიც სასარგებლო სიგნალის მიღების არის გაფართოებას იწვევს და ზღუდავს ხმაურმსგავსი სიგნალის მიღების არეს. შემოთავაზებული ალგორითმი ეყრდნობა სასარგებლო და ხმაურმსგავსი სიგნალების მოსვლის კუთხეების შეფასების მეთოდს [10].

არსებობს ბევრი ალგორითმი, რომლითაც შესაძლებელია მივიღოთ “სიგნალისა” და “ხმაურის” კარგი თანაფარდობა [9-11].

სტატიაში წარმოდგელი ალგორითმი კარგად თანხვედენაშია ნებისმიერ სხვა ალგორითმთან. შევნიშნოთ, რომ “ინტელექტუალური ანტენები”, რომელებიც ადაპტირდებიან სიგნალების მოსვლის კუთხეების შეფასების საფუძველზე გამოიყენება ერიქსონისა და სამსუნგის ფირმის მობილურ ტელეფონებში. “ინტელექტუალური ანტენის” მოქმედების პრინციპი შეიძლება ასე წარმოვადგინოთ: სიგნალისა და ხმაურის მოსვლის კუთხეების შეფასება; მომხმარებელთა იდენტიფიკაცია და მიმართულების დიაგრამის ფორმირება მიღებისა და გადაცემის რეჟიმში.

სასარგებლო სიგნალისა და ხმაურის მოსვლის კუთხეების შეფასება და იდენტიფიკაცია შესაძლებელია განხორციელდეს კარგად ცნობილი კეიპონის მეთოდით, ან კიდევ პროექციული მეთოდებით ESPRIT, Unitary ESPRIT [7-11]. ჩვენი ამოცანაა სიგნალების მოსვლის კუთხეებზე დაყრდნობით მოვახდინოთ მიმართულების დიაგრამის ფორმირება.

ვთქვათ მოცემული გვაქვს M -ელემენტისაა წრფივი ექვივალენტური ანტენა. ანტენის მიერ გამოსხივებული სიგნალი, დროის ნებისმიერ t -მომენტში, ავლნიშნოთ \vec{s} - ვექტორით. საჭიროა შესრულდეს პირობა $\vec{s}_{\text{სიგნალი}} / \vec{s}_{\text{ხმაური}} \gg 1$. მოვახდინოთ ანტენის მიერ მიღებული სიგნალის სივრცით-კოვარიაციული მატრიცის შეფასება $\hat{W} = \vec{s}\vec{s}^*$, სადაც \vec{s}^* - წარმოადგენს \vec{s} -ის ერმიტურად შეუღლებულს. ეს უკანასკნელი შეიძლება ასეც წარმოვადგინოთ:

$$\hat{W} = \hat{A}\hat{A}^* + \sigma^2\hat{I}, \quad (3.1)$$

სადაც:

$$\hat{A} = [\vec{a}(\theta_{b\alpha 1}), \vec{a}(\theta_{b\alpha 1}), \vec{a}(\theta_{b\alpha 2}), \dots, \vec{a}(\theta_{b\alpha n})],$$

$$\vec{a}(\theta) = \left[1, \exp\left\{-i\frac{2\pi d}{\lambda}\right\} \sin \theta, \dots, \exp\left\{-i(M-1)\frac{2\pi d}{\lambda}\right\} \sin \theta \right],$$

$\theta_{\text{ს}}, \theta_{\text{მ}}$ - წარმოადგენს “სიგნალისა” და “ხმაურის” მოსვლის კუთხეებს. σ^2 – ”ხმაურის” ინტენსივობაა, \hat{I} - ერთეულოვანი მატრიცაა, λ ტალღის სიგრძეა, n - გარეშე დაბრკოლებათა რიცხვია, d - ანტენის ელემენტებს შორის მანძილია. (1) ფორმულაში “ხმაურით” განპირობებული დამატებითი წევრის $\sigma^2 \hat{I}$ შემოღებული იქნა \hat{W} სივრცე-კოვარიაციული მატრიცის სინგულარობის აღმოფხვრის მიზნით.

სიგნალი, რომელიც მიიღება ანტენის გამოსავალზე – სასარგებლო სიგნალია. იგი შეიძლება წარმოვადგინოთ ასე:

$$S = \hat{W}^* (\bar{a}(\theta \bar{s})),$$

შესაბამისად მიღების რეჟიმში მიმართულების დიაგრამა შეიძლება განვსაზღვროთ გამოსახულებით:

$$G(\theta) = |\hat{W}^* \bar{a}(\theta \bar{a}(\theta))|^2. \tag{3.2}$$

ვთქვათ ანტენა უწყვეტად ავსებს რაიმე V მოცულობას. მაშინ ანტენის მიერ გამოსხივებული ელექტრომაგნიტური ველი სივრცის ნებისმიერ $A \notin V$ წერტილში, შეიძლება წარმოვადგინოთ როგორც V მოცულობაში უწყვეტად განაწილებული ელექტრული \vec{J}_e და მაგნიტური \vec{J}_m დენების მიერ შექმნილი ბტყელი ელექტრომაგნიტური ველების სუპერპოზიცია [13]:

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \int_V \vec{M}_{e,m}(\vec{R}) \frac{\exp(-ik|\vec{R}-\vec{r}|)}{4\pi|\vec{R}-\vec{r}|} \exp(i\omega t) d\omega d^3\vec{R} \tag{3.3}$$

$$\vec{H}(\vec{r}, t) = \int_V \vec{M}_{e,m}(\vec{R}) \frac{\exp(-ik|\vec{R}-\vec{r}|)}{4\pi|\vec{R}-\vec{r}|} \exp(i\omega t) d\omega d^3\vec{R}$$

$$\vec{M}_e = -i\omega\mu_0\vec{J}_e + \frac{1}{i\omega\epsilon_0} \text{graddiv}\vec{J}_e - \text{rot}\vec{J}_m \tag{3.4}$$

$$\vec{M}_m = -i\omega\mu_0\vec{J}_m + \frac{1}{i\omega\epsilon_0} \text{graddiv}\vec{J}_m - \text{rot}\vec{J}_e$$

სადაც $\vec{R} \in V$; $d^3\vec{R} = dV$ - მოცულობის ელემენტი, $k = \omega/c$ - ტალღური რიცხვია, c - სინათლის სიჩქარე ვაკუუმში.

(3.3) და (3.4) ფორმულების საფუძველზე შეიძლება თეორიულად შევაფასოთ V მოცულობაში უწყვეტად განაწილებული ანტენური სისტემის მიმართული ქმედების კოეფიციენტი სიგნალის მიღების რეჟიმში [13]:

$$G(\theta = 0) = \frac{1}{\pi c^2} S_{ef} \frac{\int_0^{\tau} \left(\frac{\partial E(t)}{\partial t} \right)^2 dt}{\int_0^{\tau} E^2(t) dt} = \frac{1}{\pi c^2} S_{ef} \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} \omega^2 |\mathfrak{Z}(\omega)|^2 d\omega}{\int_{-\infty}^{+\infty} |\mathfrak{Z}(\omega)|^2 d\omega} \quad (3.5)$$

სადაც $\mathfrak{Z}(\omega)$ - სიგნალის სპექტრია.

პირდაპირი და უკუმიმართულებით სიგნალის გავრცელებისას (მიღება-გადაცემის რეჟიმი) ადგილი აქვს “სხივის” წანაცვლებას $\Delta\theta$ - კუთხით, რომელიც განპირობებულია გარემოს სისშირული დისპერსიით. იგი შეიძლება გამოვსახოთ ფორმულით:

$$\Delta\theta = \arcsin \left\{ \frac{f_{ბაღ}}{f_{მიღ}} \sin \theta \right\}, \quad (3.6)$$

სადაც $f_{ბაღ}$ და $f_{მიღ}$ - შესაბამისად მზიდი სიგნალის სისშირეა გადაცემისა და მიღების რეჟიმში.

პრაქტიკა აჩვენებს, რომ მრავალფუნქციონირებადი კომპაქტურად განლაგებული რადიოელექტრონული სისტემები ურთიერთგავლენას ახდენენ ერთმანეთზე, რაც განპირობებულია სიგნალის არეკვლით მეზობელი ანტენებიდან, ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში ადგილი აქვს გაუთვალისწინებელ რადიო დაბრკოლებებს [14,15]. ეს დაბრკოლებები განაპირობებს სწორედ ანტენური სისტემის გაბნევის ეფექტური განიკვეთის ზრდას. ანტენურ საინჟინრო პრაქტიკაში ანტენის გაბნევის ეფექტური განიკვეთის გამოსათვლელად მიღებულია ფორმულა [15]:

$$\sigma_s = 4\pi \frac{S_{eff}^2}{\lambda^2} = S_{eff}^2 G(\theta) = G^2(\theta) \frac{\lambda^2}{4\pi}, \quad (3.7)$$

სადაც S_{eff} - ანტენის ეფექტური ფართობია; λ - ტალღის სიგრძეა. (3.2)-ე ფორმულის გათვალისწინება (3.7)-ში საშუალებას გვაძლევს შევაფასოთ ნებისმიერი გეომეტრიული ფორმის ანტენის გაბნევის ეფექტური განიკვეთი.

რიცხვითი ექსპერიმენტი და მოდელირება

ჩატარებული იქნა რიცხვითი ექსპერიმენტი წრფივი, 10 ელემენტის ანტენის მიმართულების დიაგრამის ფორმირების მიზნით. ჩავთვალოთ, რომ მზიდი სიგნალის სიხშირე 500 მგჰც-ია, ხოლო ანტენის ელემენტებს შორის მანძილი ტალღის სიგრძის ნახევრის ტოლია. სასარგებლო სიგნალის მიმართულებად არჩეული იქნა ანტენის აპერტურისადმი გავლებული ნორმალი. ხმაურმსგავსი დაბრკოლებები კი ამ ნორმალისადმი -40° და 60° გრადუსიან კუთხეს ადგენდნენ. (3.1) და (3.2) მეორე ფორმულების საფუძველზე ფორმირებული იქნა მიმართულების დიაგრამა დაბრკოლებათა სხვადასხვა რიცხვისათვის. ნაჩვენები იქნა, რომ ანტენა შედარებით ეფექტურია გარეშე დაბრკოლებების არ არსებობისას ($n=0$), ხოლო დაბრკოლებების რიცხვის ზრდა $n=1, 2$ იწვევს ეფექტურობის შემცირებას (იხ. ნახ.9). კლასიკურ ალგორითმებთან შედარებით ანალიზიდან ვადგენთ, რომ წარმოდგენილი ალგორითმი შედარებით მდგრადია მოძრავი (უძრავი) დაბრკოლებებისადმი.

დასკვნა

ამრიგად, უკაბელო კავშირის სისტემების MMDS, LMDS და FSO შედარებითი ანალიზი ცხადყოფს, რომ არსებობს რიგი ფაქტორები, რომელთაც საჭიროა ყურადღება მიექცეს კონკრეტული სიხშირული დიაპაზონის სიგნალის გადაცემისას, კერძოდ: დამოუკიდებელი აბონენტთა ჯგუფის ჩართვა საერთო ქსელში, კონკრეტული აბონენტის

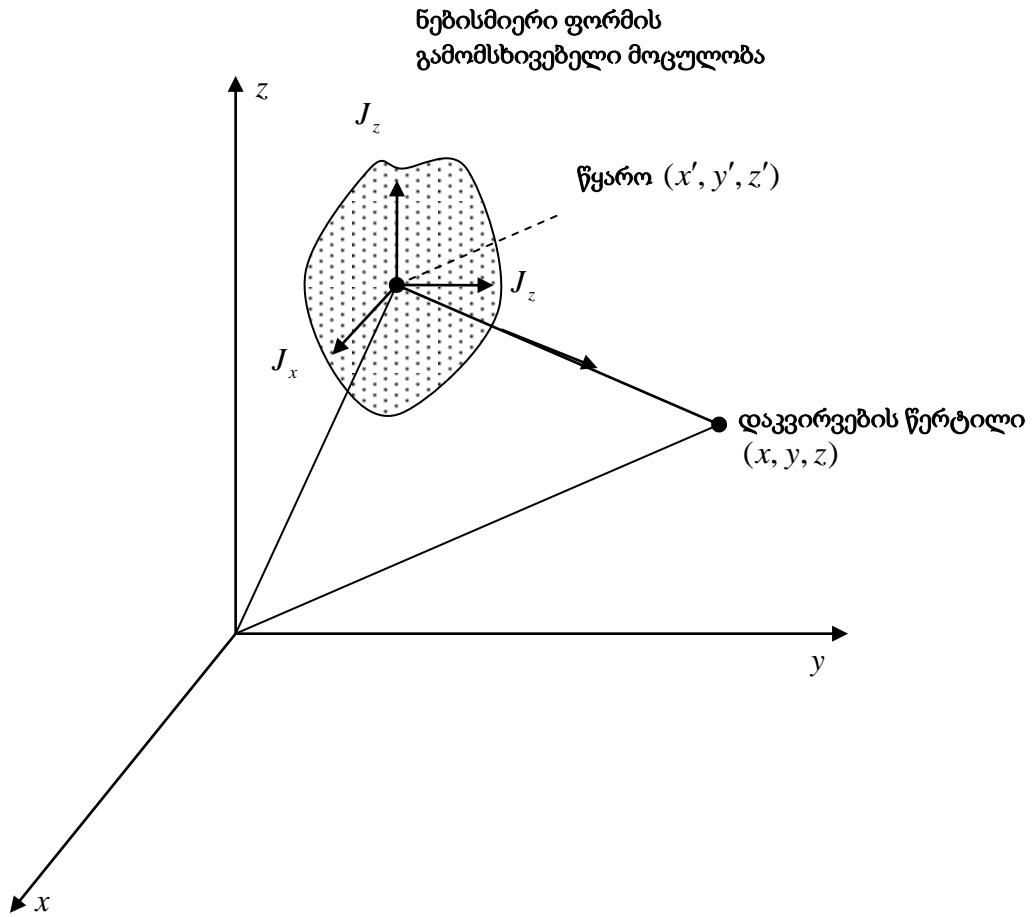
ან აბონენტთა ჯგუფის გამოძახება (იდენტიფიკაცია), გარეშე მომხმარებლებისაგან დაცვა, აბონენტების მართვა ცენტრალური სადისპეტჩერო სადგურიდან, რეტრანსლიაცია და დაფარვის ზონის გაფართოება, მონაცემთა ციფრული ქსელის ფარგლებში გადაცემა – ყველაფერი ეს არის არასრული ჩამონათვალი, რომელთანაც შეიძლება გვეკონდეს ადგილი კავშირის სისტემების ურთიერთდაკავშირებისას. ამ ჩამონათვალს თუ დავუმატებთ რადიოსიხშირების დეფიციტის საკითხს, ელექტრომაგნიტურ მდგომარებას გარემომცველ სივრცეში და ფინანსური საშუალებების შემოსაზღვრულობას – გასაგები ხდება თუ რამდენად რთულია რეალობაში ხარისხიანი და საიმედო კავშირის ქსელის რეალიზება.

თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევები გვიჩვენებს, რომ შედარებით დიდი გაბნევის ეფექტური განიკვეთით გამოირჩევა ე.წ. მკვეთრად მიმართული აპერტურული ანტენები (ლინზური, სარკისებული, რუპორული და სხვა). დიდი გაბნევის ეფექტური განიკვეთის გამო მკვეთრად მიმართული ანტენებისათვის დამახასიათებელია დიდი ენერგეტიკული დანაკარგები, რადგან ტალღის მნიშვნელოვანი ნაწილი აირეკლება და გაიბნევა სივრცეში.

სამაგისტრო შრომაში შემუშავებულია ალგორითმი, რომელიც გარეშე მისაღებ სიგნალს რამდენადმე მდგრადს ხდის გარეშე დაბრკოლებისადმი – “ხმაურისადმი”. ეს კი წარმოადგენს ერთ-ერთ სერიოზულ პრობლემას თანამედროვე უკაბელო კავშირის სისტემებში. განხილული ალგორითმი მორგებულია მრავალელებმენტიანი აპერტურული ანტენის მოდელს. შედეგად მიღებულია ე.წ. “ინტელექტუალური ანტენის” მოდიფიკაცია, რომელიც მდგრადია მოძრავი დაბრკოლებებისადმი. ძირითადი იდეა იმაში მდგომარეობს, რომ ანტენის მიერ მიღებულ სიგნალზე ედება დამატებითი შეზღუდვები, რომლებიც სასარგებლო სიგნალის მიღების არის

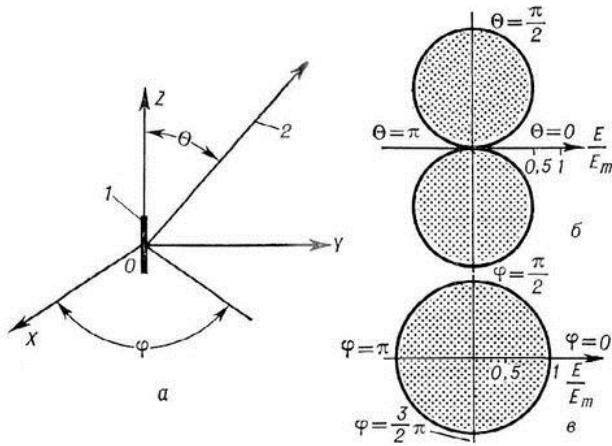
გაფართოებას იწვევს და ზღუდავს ხმაურმსგავსი სიგნალის მიღების არეს. მიღებულია “სიგნალისა” და “ხმაურის” კარგი თანაფარდობა. წარმოდგელი ალგორითმი კარგ თანხვედენაშია ნებისმიერ სხვა ალგორითმთან. სიგნალის მიღების რეჟიმში ფორმირებულია 10 აღმემნტიანი ანტენის მიმართულების დიაგრამა დაბრკოლებათა სხვადასხვა რიცხვისათვის.

მსგავსი მოდიფიკაციის ანტენები მინიატურული ზომით თავისუფლად შეიძლება გამოყენებული იქნას ფიჭურ კავშირგაბმულობაში.

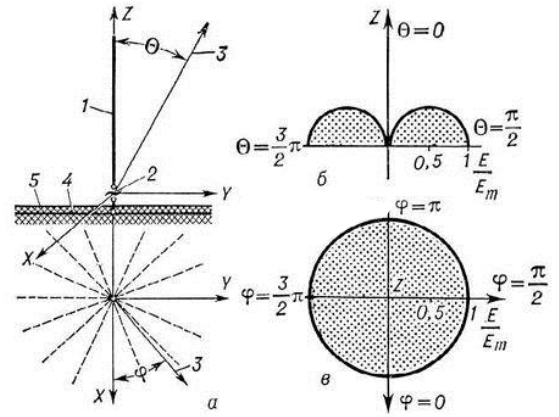


ნახ.1 ნებისმიერი ფორმისა და მოცულობის გამომსხივებელი სისტემის (ანტენური სისტემის) ველი დაკვირვების (x, y, z) წერტილში.

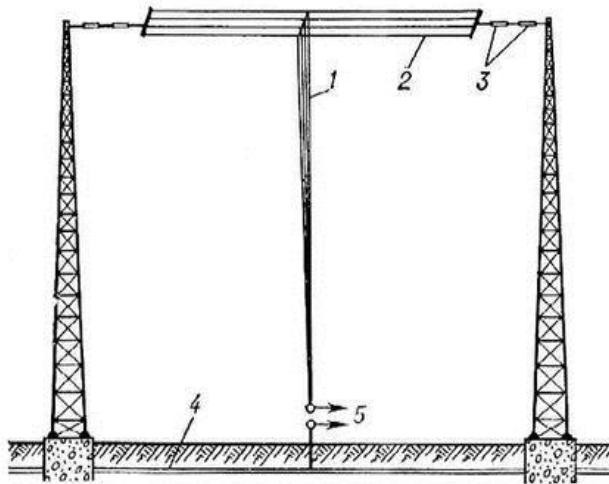
გრძელ ტალღოვანი ანტენები



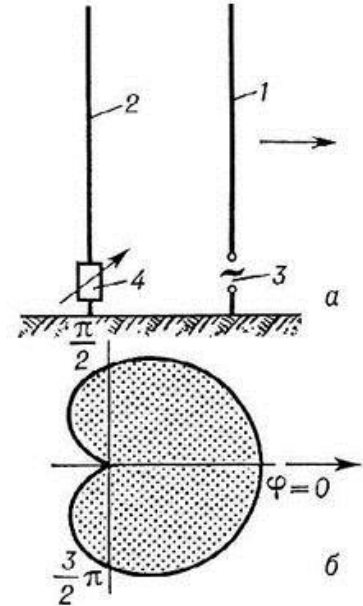
ნახ.2 ა) ჰერცის ვიბრატორი. ბ) მიმართულების დიაგრამა ჰორიზონტალურ სიბრტყეში გ) მიმართულების დიაგრამა ვერტიკალურ სიბრტყეში.



ნახ.3. გ) ვერტიკალური არასიმეტრიული ვიბრატორი. ბ) მიმართულების დიაგრამა ჰორიზონტალურ სიბრტყეში გ) მიმართულების დიაგრამა ვერტიკალურ სიბრტყეში.

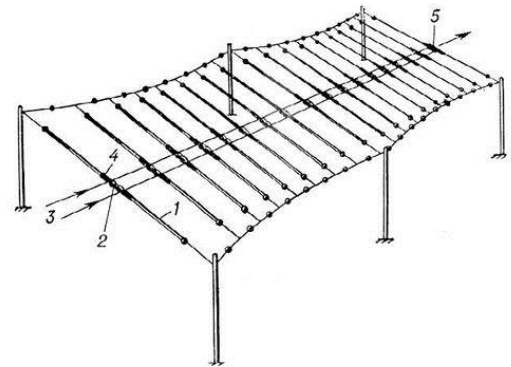
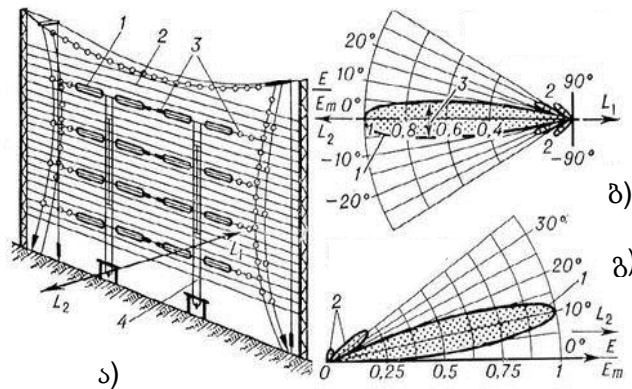


ნახ.4. T-ს ფორმის მქონე ანტენა. 1-გამომსხვივებელი; 2-ჰორიზონტალური ნაწილი; 3-იზოლატორები; 4-დამიწების სისტემა; 5-მიმღებთან შესაერთებელი სამაგრები.



ნახ.5. ა) გრძელი და საშუალო ტალღების ანტენა. 1-აქტიური ვიბრატორი; 2-პასიური რეფლექტორი; 3-შემაერთებელი სამაგრები; ბ) მიმართულების დიაგრამა ჰორიზონტალურ სიბრტყეში.

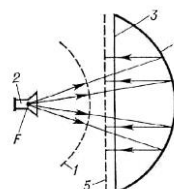
მოკლე ტალღოვანი ანტენები



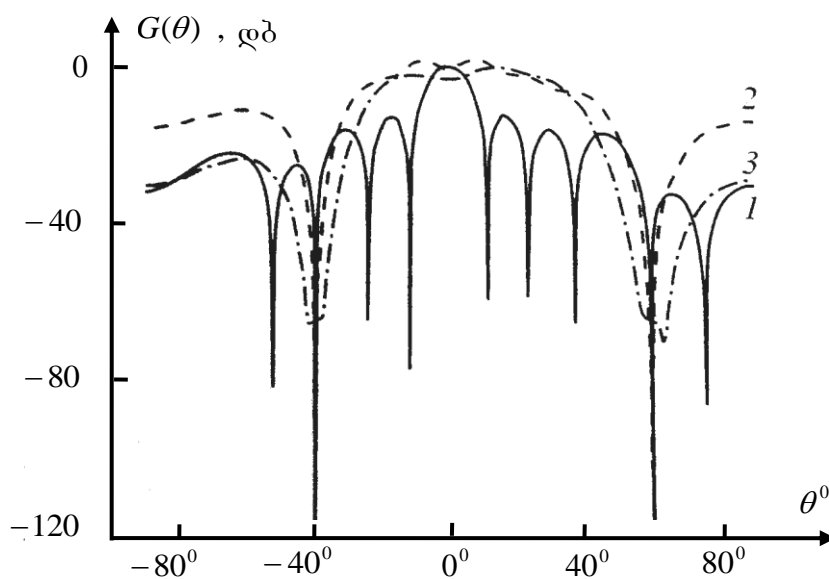
ნახ.6. ა) მოკლე ტალღების სინფაზური ანტენა. 1-გამომსხივებელი დიპოლური ელემენტი; 2-აპერიოდული რეფლექტორი; 3-იზოლატორი ბ) მიმართულების დიაგრამა ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ სიბრტყეში

ნახ.7. მსრბოლი ტალღის ანტენა. 1-ვიბრატორი; 2-იზოლატორი; 3-კვების სადენები; 4,5-რეზისტორები.

ულტრამოკლე ტალღოვანი ანტენები



ნახ.8. ა) რუპორული ანტენა; ბ) ლინზური ანტენა; გ) პარაბოლური ანტენა; დ) პარაბოლური ანტენა;
ე) რუპორულ-პარაბოლური ანტენა; ვ) ორსარკიანი ანტენა; ზ) ხვრელური ანტენა; თ) სპირალური
ანტენა; ი) ლოგოპერიოდული ანტენა.



ნახ.9. 10 ელემენტური ანტენის მიმართულების დიაგრამა სიგნალის მიღების რეჟიმში $n = 0, 1, 2$ შემთხვევებისას.

ლიტერატურა

1. Опаленов Ю.В., Потапов А.А. Радиотехника и Электроника. 2000. т.45, №12, с.1447.
2. Беляев Ю.В., Кислов В.Я., Кислов В.В. Радиотехника и Электроника. 2000. т.45, №8, с.954.
3. Войчинский А.М. MMDS фирмы VIEWSONICS. "Теле-Спутник", №12, 1997 г., с.66-67.
4. Козлов С.И. Требования к оборудованию для создания кабельных сетей (на основе опыта фирмы "Вьюсоникс-Р"). "Теле-Спутник", №8, 1998 г., с.62-64.
5. T. Hatfield, S. Berkoff, F. Baylin. The MMDS (Wireless Cable). Installation Manual. Boulder, Colorado: Baylin. Gale Productions, 1996.
6. The Wireless Primer. E. Bostick, G. Bostick. The Electric Press, New York, 1995.
7. Liberti J.C., Rappaport T.S. Smart Antennas for Wireless Communication IS-95 and Third Generation CDMA Applications. Upper Saddle River. N.J: prentice Hall PTR, 1999.
8. Winters J.:// IEEE Personal Communication Magazine. 1998. #2. p.23.
9. Foschini G.J., Gans M.J.:// Wireless Personal Communication. 1998. v.6, #4, p. 311.
10. Монзинго Р.А; Миллер Т,У. Адаптивные Антенные решетки. М.: Радио и связь. 1986.
11. Serebryakov G.U. Modern Problems of Statistical Physics. 2002. V.I.P. 95.
12. Айзенберг Г.З. Антенны ультракоротких волн, М.: «Наука», 1957.
13. Никольский В.В., Никольская Т.Н. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: «Наука», 1989.
14. Lambert K.M., Rudduck R.C., Lee T.H.: // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. vol. 38, pp.896–903, 1990.

-
15. Mitra R. Computer Technologies for Electrodynamics. New York-Oxford-Toronto, 1977.
 16. დომიძე ნ.ხ, სურმანიძე ი., მახარაძე კ.ა., აბულაძე ნ.ნ, ქავთარაძე ლ.ო. მრავალელემენტური ანტენები უკაბელო კავშირის სისტემაში. რსუ შრომები, 2008 (იბეჭდება).