

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

გიორგი მუშუდიანი

ცილინდრული ფორმის ამრეკლი ზედაპირებისა და სასრულო სიგანის  
ზოლისაგან შედგენილი რეტრანსლატორების ანტენების  
ელექტროდინამიკური ანალიზი

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

სადოქტორო პროგრამა ტელეკომუნიკაცია შიფრი 0402

თბილისი

2015 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი  
ტელეკომუნიკაციის დეპარტამენტი  
ხელმძღვანელი: პროფესორი გურამ ქევანიშვილი

რეცენზენტები: პროფესორი დავით ქარქაშაძე  
პროფესორი ქეთევან კოტეტიშვილი

დაცვა შედგება 2015 წლის 01 ივლისს, 11<sup>00</sup> საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და  
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის  
სხდომაზე, კორპუსი VIII, აუდიტორია 911.  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი: პროფესორი

გ. ხელიძე

## ნაშრომის საერთო დახასიათება

### *თემის აქტუალობა.*

პასიური რეტრანსლატორები წარმოადგენენ გარკვეული ფორმის მექანიკურ კონსტრუქციებს ან კოსმოსურ ობიექტებს (თანამგზავრები, მეტეორიტები, მთვარე და ა. შ.), რომელთაც შეუძლიათ გააბნიონ ან მიმართულად აირეკლონ რადიოტალღების ენერგია და შუალედური პუნქტების სახით გამოიყენებინან რადიოკავშირის ხაზებში. პასიური რეტრანსლატორების სახით გამოიყენება ბრტყელი ამრეკლები, სარკული ანტენები, პერისკოპული ანტენები და ა. შ.

როგორც ცნობილია, რადიოსარელეო ხაზი წარმოადგენს სარეტრანსლიაციო მიმღებ-გადაცემი სადგურების ჯაჭვს, რომელიც აღჭურვილია გამამდიერებელი აპარატურითა და საანტენე-ფიდერული მოწყობილობებით. მეზობელი სარეტრანსლიაციო სადგურები ყენდება ერთმანეთისგან პირდაპირი ხედვის ზონაში. მეზობელ სადგურებს შორის მანძილი შეადგენს როგორც წესი 50-60 კმ-ს.

დიდი ყურადღება ეთმობა რადიოსარელეო ხაზების რენტაბელობის ამაღლებას და მის სრულყოფას. ამის მისაღწევ ერთ-ერთ ეფექტურ საშუალებას წარმოადგენს შუალედური სარეტრანსლიაციო სადგურების ნაწილის პასიური რეტრანსლიატორებით შეცვლა. ისინი ჩვეულებრივი რეტრანსლიატორებისგან განსხვავდებიან იმით, რომ მათში არსებობს არა რაიმე მიმღებ-გადაცემი აპარატურა, არამედ სიგნალების მიღება და გადაცემა ხორციელდება შესაბამისი წესით შესრულებული საანტენე სისტემებით.

პასიური რეტრანსლატორების შექმნის პირველ ეტაპზე მათი განხორციელება ხდებოდა ბრტყელი ამრეკლავი სარკეების სახით, რომელთა ზომები ბევრად უფრო მეტი იყო, ვიდრე ჩვეულებრივ შუალედურ რეტრანსლიატორებზე დაყენებული ანტენების ზომები. ისინი ჩვეულებრივ

გამოიყენებოდნენ მთებში გამავალ ხაზებზე. შემდგომში სხვადასხვა ქვეყნებში შემუშავებული იქნა დაბრკოლების ტიპის პასიური რეტრანსლატორები. ამ ტიპის რეტრანსლატორები ამრეკლავი სარკეებისგან განსხვავებით არ მოითხოვენ არც მუშა ზედაპირის ზუსტ შესრულებას და არც ამ ზედაპირის სივრცეში იუსტირებას, რაც საშუალებას იძლევა მინიმალური ხარჯებით აგებული იქნას ასეული კვადრატული მეტრის მქონე ეფექტური ზედაპირის რეტრანსლატორები.

ზემაღალი სიხშირის ელექტრომაგნიტური რხევების ტექნიკაში ფართოდ არის გამოყენებული ერთპერიოდიანი მესრები. მათი შემადგენელი ელემენტები შეიძლება იყოს უსასრულოდ გრძელი, ურთიერთ პარალელური და ეკვიდისტანციურად განლაგებული იდეალური გამტარებლობის ძალზე თხელი ლენტები, ან წრიული განივკვეთის უსასრულოდ გრძელი ცილინდრები, რომელთა ფიზიკური პარამეტრები  $\epsilon$ ,  $\mu$ ,  $\delta$ , შეიძლება ნებისმიერი მნიშვნელობის იყვნენ (ერთგვაროვანი, არაერთგვაროვანი, არაიზოტროპული და სხვა).

პიონერული შრომები, რომლებიც ასეთი მესრების ელექტროდინამიკური თვისებების შესწავლასთან იყო დაკავშირებული 1964-77 წლებში გამოქვეყნდა. მომდევნო წლების პუბლიკაციებში განხილულია ძალზე თხელ ან სასრული სისქის პერფორირებულ მეტალურ ზედაპირებზე ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღის გაბნევის ამოცანები. ისინი განეკუთვნებიან მათემატიკური ფიზიკის იმ ამოცანათა კლასს, რომელთა ამონახსნის მიღება ანალიზური სახით არ ხერხდება. ამიტომ მკვლევარები როგორც წესი, მიმართავენ არსებულ რიცხვით მეთოდებს, რომლებიც თანამედროვე გამოთვლითი ტექნიკის გამოყენების დიდი შესაძლებლობების საფუძველზე, ძალიან სწრაფად და ეფექტურად იძლევიან სასურველ შედეგებს.

ნაშრომში განხილულია რთული კონსტრუქციის დიპოლი, რომელიც წარმოადგენს სასრულო სიგრძის, წრიული განივკვეთის, იდეალურად გამტარი

თხელკედლიან ღრუ ცილინდრს, რომელიც შუაში გაწყვეტილია, ხოლო წყვეტის წერტილებში ჰარმონიული ე. მ. ძალაა მოდებული, რომელიც ცილინდრის ზედაპირზე აღძრავს მხოლოდ აქსიალური მნიშვნელობის დენს. ეს უკანასკნელი კი წარმოადგენს აღნიშნული ზედაპირიდან გასხივებული ელექტრომაგნიტური ტალღების წყაროს.

ამ ტალღების სტრუქტურის დადგენა გამოყენებითი ელექტროდინამიკის ერთერთი მთავარი ამოცანაა, რომლის გადაწყვეტასაც, მოყოლებული გასული საუკუნის 30 - იანი წლებიდან დღემდე, სამეცნიერო პუბლიკაციების დიდი რაოდენობა მიეძღვნა.

დიპოლის ელექტრომაგნიტური თეორიის თანამედროვე მდგომარეობის ლაკონური შეფასება, რომელიც კინგმა გააკეთა, ასე ჟღერს - „სამწუხაროდ, უმარტივესი, წვრილი დიპოლის გამოსხივების ამოცანის დასმა და მისი ამონახსნის მიღება გასაოცრად რთული აღმოჩნდა მაშინაც კი, როდესაც იგი სიცარიელეში იმყოფება“. მაგრამ ამ, სავსებით სწორი, შეფასების დასაბუთება კინგს არ მოყავს. ჩვენ შევეცადეთ დაგვესაბუთებინა კინგის ეს მოსაზრება.

### *სამუშაოს მიზანი.*

სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს ცილინდრული ფორმის ამრეკლი ზედაპირებისა და სასრულო სიგანის ზოლისაგან შედგენილი რეტრანსლიატორების ანტენების ელექტროდინამიკური ანალიზის ჩატარება. კერძოდ მეტალური ლენტის, რთული კონსტრუქციის ვიბრატორის, მეტალური ლენტისა და ცილინდრის, მეტალური ლენტისა და ორი ცილინდრის, ერთგანზომილებიანი მესრსის და ორგანზომილებიანი მესრსგან შედგენილი ანტენების გასხივების მახასიათებლების კვლევა.

### *კვლევის ობიექტი და მეთოდები.*

ჩვენს სადისერტაციო ნაშრომში კვლევის ერთ-ერთი ობიექტია საანტენო სისტემა, რომელიც შედგება მეტალური, უსასრულოდ გრძელი, იდეალურად გამტარი ან დიელექტრიკული წრიული კვეთის ცილინდრისგან. ასეთ შემთხვევაში ცილინდრი მნიშვნელოვან გავლენას მოახდენს ზოლის გამოსხივების მახასიათებელზე და დიაგრამებზე. ზოლის და ცილინდრს შორის მანძილის ცვლილება საშუალებას მოგვცემს ვმართოთ გამოსხივების დიაგრამების მთავარი ფოთოლაკის მიმართულება და სიგანე; ეს გარემოება კი შეიძლება გამოვიყენოთ სასურველი ეფექტის მიღებისათვის, რაც საშუალებას მოგვცემს ეს ახალი ელექტროდინამიკური სისტემა ავამოქმედოთ რეტრანსლიატორის როლში.

პასიური რეტრანსლიატორების ელექტროდინამიკური კვლევისა და ანალიზის მეთოდები ეყრდნობა მათემატიკური ფიზიკის (კერძოდ გამოყენებითი ელექტროდინამიკის) მეთოდებს, რომლებიც ამჟამად კარგად არის აპრობირებული კონკრეტული კერძო ამოცანების ანალიზისათვის.

ჩვენს შემთხვევაში ეს მეთოდები ადეკვატურია დასმული ამოცანების ფიზიკურ შინაარსთან მიმართებაში.

მეთოდების ჩამონათვალი ასეთია:

- 1) დუალურ ფუნქციონალურ განტოლებათა მეთოდი;
- 2) ინტეგრალურ განტოლებათა მეთოდი;
- 3) მატრიცულ (უსასრულო ალგებრულ განტოლებათა) მეთოდი.

ჩვენს კვლევებში ერთერთი (საყრდენი) ობიექტი არის სასრულო სიგანისა და უსასრულოდ გრძელი იდეალურად გამტარი თხელი მეტალური ზოლის (ლენტის) ელექტროდინამიკა, როდესაც ამ ზოლს ნორმალურად ეცემა E-პოლარიზებული ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღა.

ნაშრომში განხილულია სიმეტრიული ვიბრატორის (დიპოლური ანტენის) ელექტროდინამიკური თეორია იმ შემთხვევისათვის, როდესაც

დიპოლი წარმოადგენს ღრუ, წრიული განივკვეთის, თხელ კედლიან, იდეალურად გამტარ ცილინდრს, რომლის შუა ნაწილში მოდებულია ჰარმონიული ე. მ. ძალა.

**ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე.**

დიპოლის კორექტული ელექტროდინამიკური თეორიის ჩამოყალიბებისათვის კორექტულად იქნა ამოხსნილი ინტეგრალური განტოლება:

$$\int_{-h/2}^{h/2} I(z')G(z', z'')dz' = -[C_1 \cos(kz'') + D_1 \sin(k|z''|)]. \quad (1)$$

სადაც  $I(z')$  - არის დიპოლის აქსიალური დენის მნიშვნელობა.  $z'$  და  $z''$  - დიპოლის ზედაპირზე ნებისმიერად შერჩეული  $M'$  და  $M''$  წერტილების აქსიალური კოორდინატებია

სიმეტრიული ვიბრატორის (დიპოლური ანტენის) დიპოლზე აღძრული აქსიალური დენი განისაზღვრა ჰალენის ინტეგრალური განტოლებიდან და დააკმაყოფილა „ბასრ ნაპირებზე ნულოვან სასაზღვრო პირობები“, რაც სამეცნიერო ლიტერატურაში აქამდე არ ყოფილა გათვალისწინებული.

მიღებული იქნა ახალი რაოდენობრივი და რიცხვითი შედეგები, რაც საინტერესოა როგორც პრაქტიკული, ასევე მეთოდური თვალსაზრისითაც.

მოცემულ ნაშრომში განხილულია პასიურ დიპოლებისგან შედგენილ ერთპერიოდიანი და ორპერიოდიანი მესრები.

დადგენილ იქნა, რომ ორპერიოდიანი მესრების მიერ გაბნეულ ტალღაში, გარდა სარკული სხივისა:

$$E_{z2}^{(0)} = B_{00}e^{-ikx}, \quad (2)$$

$X > 0$  არეში კიდევ  $2M$  რაოდენობის ტყუპის ცალი არაქრობადი ჰარმონიკები ვრცელდებიან, ესენი არიან:

$$\tilde{E}_{z2}^{(\nu)} = B_{\nu 0} e^{-\nu \alpha y - i 2 \pi d_1^{-1} \sqrt{D_1^2 - \nu^2 x}}, \quad (\nu = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm M). \quad (3)$$

ჰარმონიკებს, რომლებიც  $\theta_\nu$  კუთხით ვრცელდებიან, შეიძლება I გვარის ჰარმონიკები ვუწოდოთ, ხოლო იმ ჰარმონიკებს კი რომლებიც  $\theta_{\nu\mu}$  კუთხით ვრცელდებიან - II გვარის ჰარმონიკები დავარქვათ.

დაფიქსირებულია II გვარის ჰარმონიკების გაჩენის მომენტები, რომლებზედაც არეკვის კოეფიციენტის დიაგრამების წირებს უჩნდებათ პიკები (წვეტების სახით).

### *შედეგების გამოყენების სფერო.*

პასიური რეტრანსლიატორები ხშირად გამოიყენება შემდეგი ამოცანების გადაჭრისას:

1. 80 – 200 კმ მანძილებზე რადიოსარელო კავშირების დამყარება.
2. მაღალი ანძების გამოყენების თავიდან აცილება.
3. რელიეფის დაბრკოლების შემოვლის აუცილებლობის აღმოფხვრა.
4. რადიოსარელო ხაზის დაბრკოლებებისადმი მდგრადობის გაზრდა.
5. ანტენების გაძლიერების კოეფიციენტის გასაზრდელად საანტენე დირექტორების გამოყენება.

რადიოტალღების მაღალსიხშირული რხევების (ტერაჰერცებისა და ინფრაწითელი სხივების) დიაპაზონის ათვისებისათვის საჭირო ხდება სპეციალური ხელოვნური მასალების დამზადება, რაც შეიძლება განხორციელდეს, მაგალითად, თუ ჩვეულებრივ დიელექტრიკში შევიტანთ სამგანზომილებიან პერიოდულ მესერს.

### *დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა.*

დისერტაციის მოცულობა შეადგენს 128 გვერდს. იგი შედგება სატიტულო, ხელმოწერებისა და საავტორო უფლებების გვერდებისაგან.

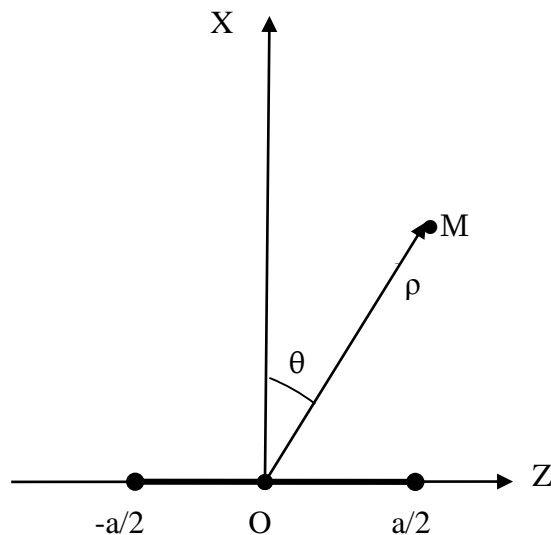


რეზიუმე შესრულებულია 7 გვერდზე ქართულ და ინგლისურ ენებზე. ძირითადი ტექსტი შედგება 8 თავისგან.

## დისერტაციის ძირითადი შედეგები თავების მიხედვით

I თავში განხილულია პასიური რეტრანსლიატორების საკითხის ისტორია. რეტრანსლიატორების ტიპები, ენერგეტიკული თანაფარდობები და მათი გამოყენება.

II თავში განხილულია პასიური რეტრანსლიატორის ანტენების ელექტროდინამიკური ანალიზი. პასიური რეტრანსლიატორის როლში აღებულია უსარულოდ გრძელი მეტალის ზოლი (ნახ. 1):



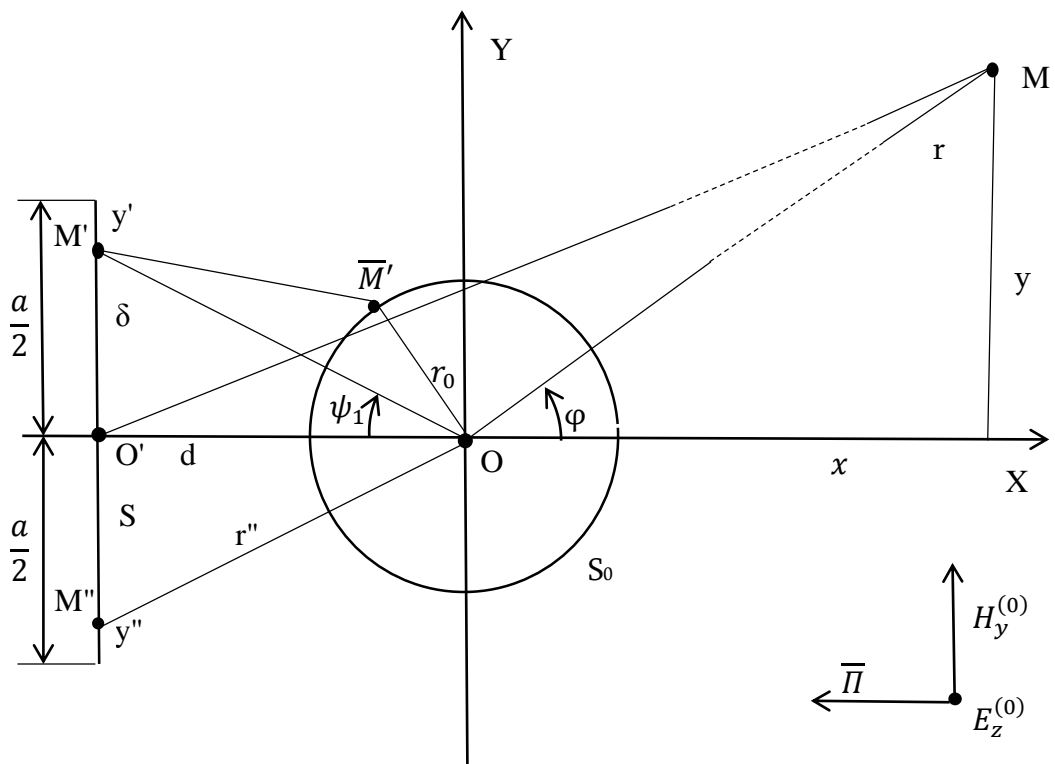
ნახ. 1. ამრეკლი ზოლის სქემა.

დაცემული ტალღის  $\vec{E}$  ელექტრული ვექტორი ზოლის პარალელურია და ერთადერთი  $E_y^{(0)}$  (გასწვრივი) მდგენელი გააჩნია. მიღებულია გამოსხივების ნორმირებული მახასიათებლის საანგარიშო ფორმულა:

$$F_{\text{ნორ}}(\alpha, \theta) = \frac{F(\alpha, \theta)}{F(\alpha, 0)} = \frac{1}{2\alpha + 1} [2\alpha \cos(\alpha \sin \theta) + J_0(\alpha \sin \theta)] \quad (4)$$

ფორმულის გამოყენებით აგებულია ზოლის გამოსხივების დიაგრამები პოლარულ კოორდინატთა სისტემაში, რომლებიც იძლევიან შორეულ ზონაში ველის განაწილების ხასიათს  $\theta$  კუთხის მიხედვით.

**III თავში** განხილულია ეკრანისგან და იდეალურად გამტარი ცილინდრისგან შემდგარ პასიურ რეტრანსლიატორზე ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღის გაბნევის ამოცანა (ნახ. 2).



ნახ.. 2. ეკრანისა და ცილინდრისგან შემდგარი რეტრანსლიატორის სქემა.

გამოყვანილია ამოცანის ინტეგრალურ განტოლებათა სისტემა.

განტოლებათა სისტემის ამოსახსნელად მიღებულია წრფივი ალგებრული განტოლებების უსასრულო სისტემა უცნობი  $A_m$  კოეფიციენტების მიმართ:

$$A_n + \sum_{m=-\infty}^{\infty} A_m \overline{K_{mn}} = b_n, \quad (n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots) \quad (5)$$

სადაც მოცემულია

$$\overline{K_{mn}} = \frac{K_{mn}}{\pi \propto Q H_n^{(2)}(kr_0)}, \quad b_n = -\frac{i^n 2 \overline{B} J_n(kr_0)}{\propto H_n^{(2)}(kr_0)} \quad (6)$$

მიღებულია მისი მიახლოებითი ამოხსნა.

$$F(\varphi) = H_0^{(2)} \left( \sqrt{\left(2\pi \frac{d}{\lambda}\right)^2 + \left(\pi \frac{a}{\lambda} \sin \varphi\right)^2} \right) \frac{\sin\left(\pi \frac{a}{\lambda} \sin \varphi\right)}{\pi \frac{a}{\lambda} \sin \varphi} \quad (7)$$

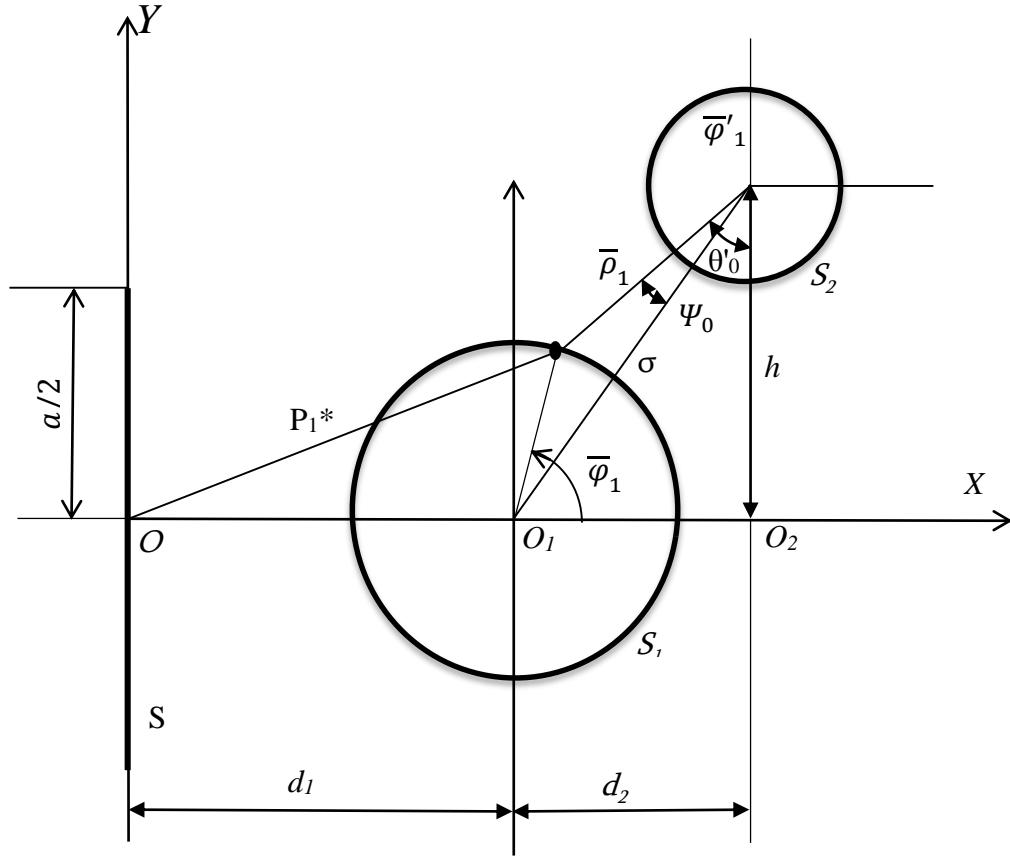
გამოთვლილია შორეულ ზონაში ველი და მისი გასხივების მახასიათებლები.

**IV თავში** ჩატარებულია მეტალური ლენტისა და ორი იდეალურად გამტარი ცილინდრისგან შედგენილი საანტენო რეტრანსლიატორის მახასიათებლის ელექტროდინამიკური თვისებების კვლევა (ნახ. 3.).

ანტენის სასაზღვრო პირობები წარმოდგენილი იქნა ცხადი (ანალიზური) სახით :

$$\boxed{B + XI_0 f(\sigma, y'') + \sum_{m=-\infty}^{\infty} i^{-m} A_m H_m^{(2)} \left( k \sqrt{d_1^2 + y''^2} \right) e^{im\theta_0(y'')} + \sum_{m=-\infty}^{\infty} i^{-m} B_m H_m^{(2)} \left( k \sqrt{d^2 + (h + y'')^2} \right) e^{im\theta_0(y'')} = 0} \quad (8)$$

$$\boxed{B e^{ikd_1 + ikr_0 \cos \varphi_1} + XI_0 F(\varphi_1) + \sum_{m=-\infty}^{\infty} A_m Z_m(kd_1, \varphi_1) + \sum_{m=-\infty}^{\infty} i^{-m} B_m \widetilde{Z}_m(k\sigma, \varphi_1) = 0, \quad (0 \leq \varphi_1 \leq 2\pi)} \quad (9)$$



ნახ. 3. ლენტისა და ორი ცილინდრისაგან შედგენილი ანტენის სქემა.

სადაც

$$Z_m(kd_1, \varphi_1) = \sum_{s=-\infty}^{\infty} J_s(kr_0) H_{m+s}^{(2)}(kd_1) e^{i(m+s)\varphi_1}, \quad (10)$$

$$\tilde{Z}_m(k\sigma, \varphi_1) = \sum_{s=-\infty}^{\infty} J_s(kr_0) H_{m+s}^{(2)}(kO_1\bar{O}) e^{i(m+s)\varphi_1}. \quad (11)$$

და

$$\begin{aligned} & B e^{ikd + ik\rho_0 \cos \varphi'_1} + X I_0 f[(d + \rho_0 \cos \varphi'_1), (h + \rho_0 \sin \varphi'_1)] + \\ & + \sum_{m=-\infty}^{\infty} A_m G_m(k\sigma, \varphi'_1) + \\ & + \sum_{m=-\infty}^{\infty} B_m H_m^{(2)}(k\rho_0) e^{im\varphi'_1} = 0, \quad (0 \leq \varphi'_1 \leq 2\pi). \end{aligned} \quad (12)$$

(8), (9) და (12) ერთობლივად ქმნიან ჩვენი ამოცანის ფუნქციონალურ განტოლებათა სისტემას, რომელიც ემსახურება ველის უცნობი კოეფიციენტების ( $I_0$ ,  $A_m$  და  $B_m$ ) განსაზღვრას. რიცხვითი შედეგების მიღების გაადვილების თვალსაზრისით ეს სისტემა დაყვანილ იქნა ადეკვატურ უსასრულო ალგებრულ განტოლებათა შეწყვილებულ სისტემაზე:

$$2\pi B e^{ikd_1} i^n J_n(kr_0) + X \bar{F}_n I_0 + 2\pi i^{-n} A_n H_n^{(2)}(kr_0) + \sum_{m=-\infty}^{\infty} B_m P_{mn} = 0, \quad (13)$$

$$2\pi i^n J_n(k\rho_0) + X \bar{\phi}_n I_0 + 2\pi i^{-n} B_n H_n^{(2)}(k\rho_0) + \sum_{m=-\infty}^{\infty} A_m \bar{Q}_{mn} = 0, \quad (14)$$

სადაც ვისარგებლეთ შემდეგი აღნიშვნებით:

$$\bar{F}_n = \int_0^{2\pi} F(\varphi_1) e^{-in\varphi_1} d\varphi_1, \quad P_{mn} = J_n(kr_0) H_{m+n}^{(2)}(k \cdot O_1 \bar{O}), \quad (15)$$

$$\bar{\phi}_n = \int_0^{2\pi} f[(d + \rho_0 \cos \varphi'_1), (h + \rho_0 \cos \varphi'_1)] e^{-in\varphi'_1} d\varphi'_1, \quad (16)$$

$$\bar{Q}_{mn} = J_n(k\rho_0) H_{m+n}^{(2)}(k O_1 \bar{O}). \quad (17)$$

ამგვარად, ზემოთ დასმული ელექტროდინამიკური ამოცანა ჩვენ დავიყვანეთ ადეკვატურ ალგებრულ განტოლებაზე, როდესაც შესაძლებელი ხდება ტრიპლეტური უსასრულო განტოლებების (8), (9) და (12) ერთობლივი ამონახსნის მიღება.

(18), (19) და (20) გამოსახულებებით მივიღეთ რეტრანსლიატორის ცალკეული ელემენტებიდან (ლენტი, I - ცილინდრი, II - ცილინდრი) ელექტრული ველის დაძაბულობის ამპლიტუდური სპექტრის მიახლოებითი მნიშვნელობები:

$$I_0 = -\frac{aB}{a_1 + \sum_{m=-\infty}^{\infty} (\xi_m K_{1m} + \eta_m K_{2m})} = \frac{aB}{a_1 + \sum_{m=-\infty}^{\infty} R_m}. \quad (18)$$

$$A_n = \xi_n - \frac{a\eta_n B}{a_1 + \sum_{m=-\infty}^{\infty} R_m}, \quad (19)$$

$$B_n = \bar{\xi}_n - \bar{\eta}_n \frac{aB}{a_1 + \sum_{m=-\infty}^{\infty} R_m}, \quad (R_m = \xi_m K_{1m} - \eta_m K_{2m}). \quad (20)$$

(21) - ფორმულის გამოყენებით, აგებული იქნა ლენტის გამოსხივების დიაგრამები  $\gamma_1$ - პარამეტრის სხვადასხვა რიცხვითი მნიშვნელობებისათვის.

$$F(\varphi, \gamma_1) = \frac{\pi}{4} J_0 \left( \frac{\gamma_1}{2} \sin \varphi \right). \quad (21)$$

დიაგრამებმა მოგვცა ნათელი წარმოდგენა ლენტის ელექტროდინამიკური თვისებების, კერძოდ სივრცეში მის მიერ გასხივებული ველის სტრუქტურის (განაწილების) შესახებ, (მისი რეტრანსლიატორული თვისების უნარის შესახებ), რაზედაც სამეცნიერო ლიტერატურაში ყურადღება პრაქტიკულად არ გამახვილებულა.

**V თავში** განხილულია სიმეტრიული ვიბრატორის (დიპოლის) მოდერნიზებული თეორია (ნახ. 4).

დიპოლის კორექტული ელექტროდინამიკური თეორიის ჩამოყალიბებისათვის პირველ რიგში, კორექტულად იქნა ამოხსნილი ინტეგრალური განტოლება:

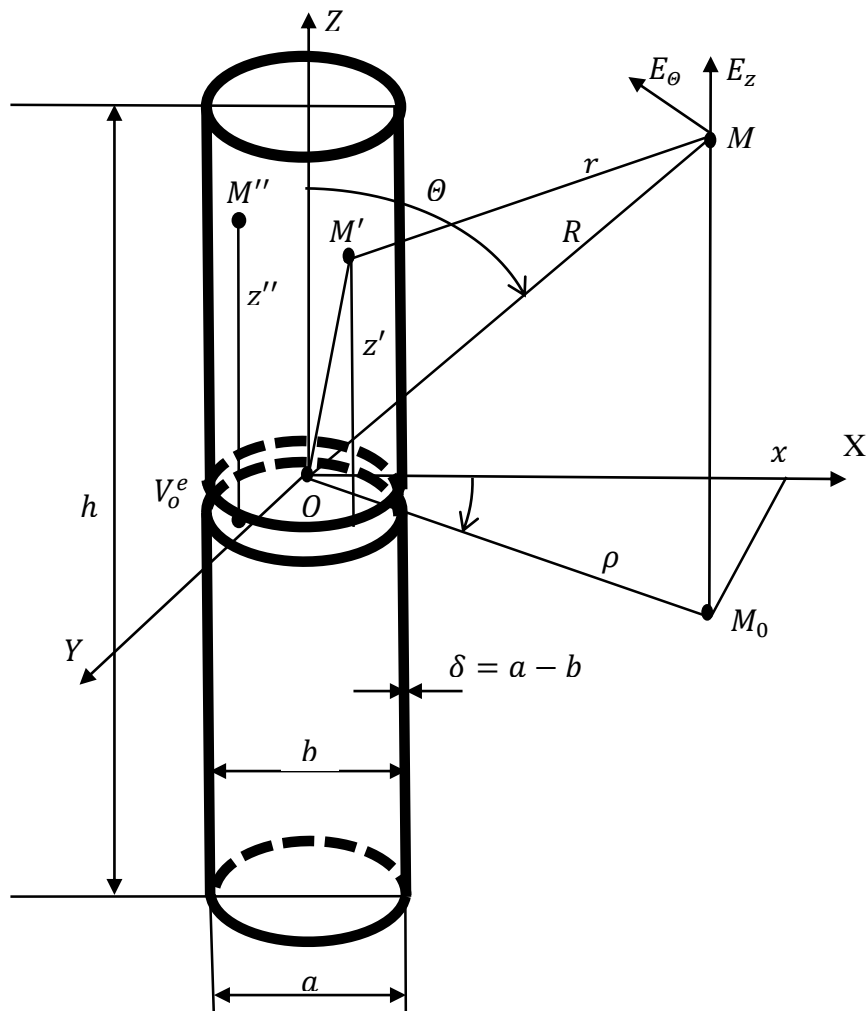
$$\int_{-h/2}^{h/2} I(z') G(z', z'') dz' = -[C_1 \cos(kz'') + D_1 \sin(k|z''|)]. \quad (22)$$

სადაც  $I(z')$  - არის დიპოლის აქსიალური დენის მნიშვნელობა,  $z'$  და  $z''$  - დიპოლის ზედაპირზე ნებისმიერად შერჩეული  $M'$  და  $M''$  წერტილების აქსიალური კოორდინატებია.

განტოლების ამონახსნი ასეთი ფორმით დავძებნეთ:

$$J(\xi) = \sum_{s=0}^{\infty} X_{2s+1}, U_{2s+1}(\xi). \quad (23)$$

ფაქტიურად ეს არის ფურიეს განზოგადოებული მწკრივი ჩებიშევის II - გვარის ორთოგონალური ფუნქციების მიხედვით. ამ მწკრივის ჩასმა (22) - ის მარცხენა მხარეში გვაძლევს ფუნქციონალურ განტოლებას:



ნახ. 4. სიმეტრიული ვიბრატორის სქემა.

$$\sum_{s=0}^{\infty} X_{2s+1}, F_{2s+1}(\eta) = -[C \cos(\beta\eta) + D \sin(\beta|\eta|)], \quad (-1 \leq \eta \leq 1), \quad (24)$$

სადაც:

$$F_{2s+1}(\eta) = \int_{-1}^1 K(\xi - \eta) U_{2s+1}(\xi) d\xi, \quad (25)$$

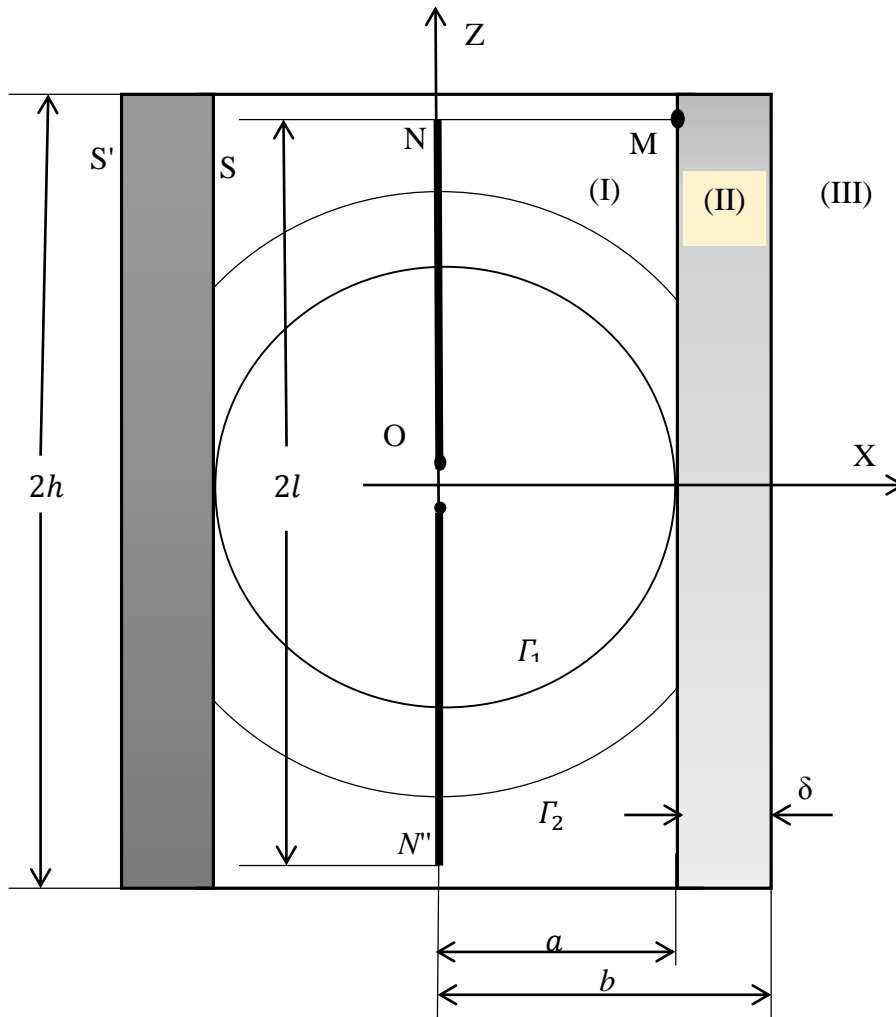
ამ გამოსახულების ჩასმით მივიღეთ ჰალენის ინტეგრალური განტოლების - (22) - ის მიახლოებით ამონახსნი ანალიზურ ფორმაში:

$$I(z') = \frac{2iD}{\pi H_0^{(2)}(ka)} \sum_{s=0}^{\infty} (a_{2s+1} + P b_{2s+1}) U_{2s+1} \left( \frac{2z'}{h} \right), \quad (26)$$

სადაც

$$P = 2 \sum_{s=0}^{\infty} (-1)^s b_{2s+1} / \left( 1 - 2 \sum_{s=0}^{\infty} (-1)^s a_{2s+1} \right). \quad (27)$$

VI თავში ჩატარებულია რთული კონსტრუქციის ცილინდრული ანტენის ელექტროდინამიკური ანალიზი (ნახ. 5.).



ნახ. 5. ვიბრატორისა და დიელექტრიკული ცილინდრისაგან შედგენილი ანტენის კვეთი.

დადგენილ იქნა ვიბრატორის არეებში ელექტრომაგნიტური ველის სტრუქტურები, რაც განხორციელდა ამ არეებისათვის მაქსველის განტოლებათა სისტემის ამონახსნების მიღებით ანალიზურ ფორმაში.



შედეგად მივიღეთ:

$$F^{(e)}(\theta) = J_0(2\pi k a_\lambda \sin \theta) \frac{\sin(Kl \cos \theta)}{Kl \cos \theta} \sin \theta, \quad k = \frac{b}{a}, \quad (28)$$

სადაც  $F^{(e)}(\theta)$  არის ანტენის გამოსხივების მახასიათებელი ექვივალენტური ელექტრული დენის მიხედვით,  $kl$  მოცემულია (29) თანაფარდობით, რომელიც ითვალისწინებს რელეის კრიტერიუმებს.

$$Kl = \frac{\pi}{4} \sqrt{1 + 16 \frac{a}{\lambda}} \quad (29)$$

(28)-ში (29) გამოსახულების ჩასმით მივიღეთ:

$$F^{(e)}(\theta) = \left| J_0(2\pi k a_\lambda \sin \theta) \frac{\sin\left(\frac{\pi}{4} \sqrt{1 + 16 a_\lambda} \cos \theta\right)}{\frac{\pi}{4} \sqrt{1 + 16 a_\lambda} \cos \theta} \sin \theta \right|. \quad (30)$$

ამ ფორმულის საშუალებით აგებულია ანტენის გამოსხივების დიაგრამები, როდესაც  $k = 1,08$ , ხოლო  $a_\lambda$  პარამეტრი იღებს სხვადასხვა რიცხვით მნიშვნელობებს. ამ დიაგრამების ანალიზიდან გამომდინარეობს მოცემული ანტენის მნიშვნელოვანი თვისებები.

**VII თავში** განხილულია ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღის გაბნევა პასიური დიპოლებისგან შედგენილ ერთპერიოდიან მესერზე (ნახ. 6).

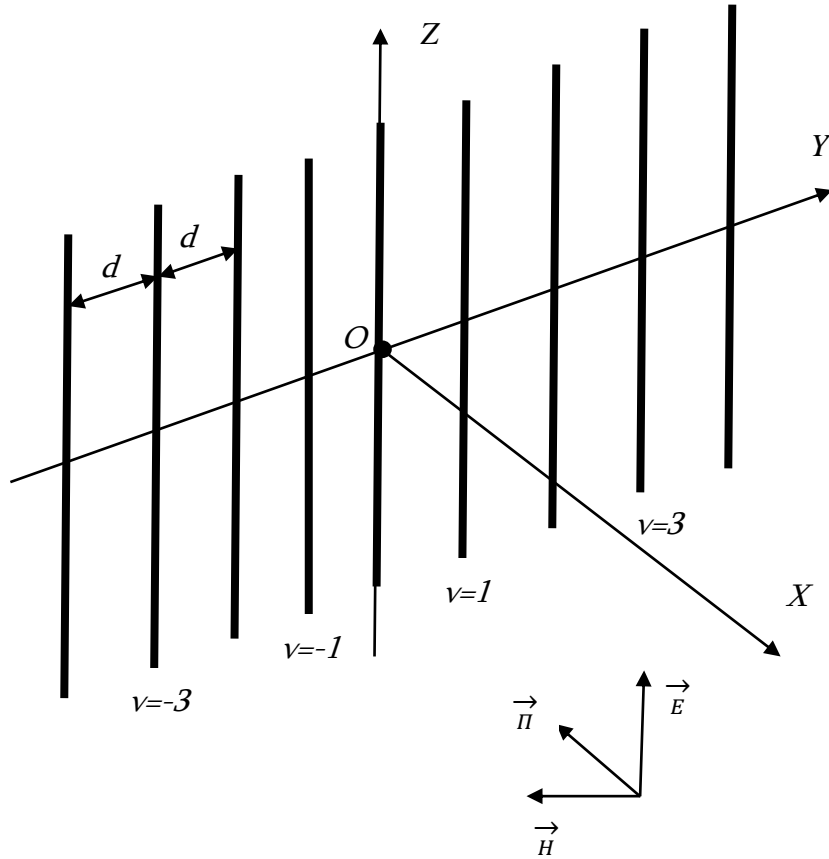
იმ შემთხვევაში, როცა  $D = \frac{d}{\lambda} < 1$ , გაბნეულ ტალღაში დომინირებს მხოლოდ ძირითადი ტალღა, დანარჩენი ჰარმონიკები არ არსებობენ. ჰერცის ფუნქციისათვის გვაქვს ასეთი გამოსახულება:

$$\Pi_z = C_0 \int_{-h/2}^{h/2} J(z') H_0^{(2)} \left[ k \sqrt{x^2 + (z - z')^2} \right] dz'. \quad (31)$$

შორეულ ზონაში ეს გამოსახულება ასე დაიყვანება:

$$\Pi_z \cong C_0 \frac{e^{-ikR}}{\sqrt{kR}} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} J(z') e^{ikz' \cos \theta} dz' =$$

$$= C_0 \frac{e^{-ikR}}{\sqrt{kR}} \sum_{s=0}^{\infty} X_{2s+1} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} e^{ikz' \cos \theta} U_{2s+1} \left( \frac{2}{h} z' \right) dz'. \quad (32)$$



ნახ. 6. ერთპერიოდიანი მესერის სქემა.

პრაქტიკულ ინტერესს წარმოადგენს რეტრანსლიატორიდან გაბნეული ველის მერიდიანული მდგენელი:

$$E_{\theta} = k^2 \Pi_z \sin \theta; \quad (34)$$

თუ ამ გამოსახულებაში (32) - ს ჩავსვამთ და გამოვითვლით იქ არსებულ ინტეგრალს, მივიღებთ

$$E_{\theta} = C_0 \frac{k^2 h e^{-ikR}}{2 \sqrt{kR}} \sum_{s=0}^{\infty} X_{2s+1} \frac{J_{2s+1}(\beta \cos \theta)}{\beta \cos \theta} \sin \theta \quad (35)$$

ეს მწკრივი ძალზე სწრაფად კრებადია და ინჟინერული ანგარიშისათვის მისი პირველი წევრით შემოვისაზღვრეთ, მაშინ (35) - ის ნაცვლად გვექნება

$$E_{\theta} = C_0 \frac{k^2 h e^{-ikR}}{4 \sqrt{kR}} F(\theta, \beta), \quad (37)$$

სადაც

$$F(\theta, \beta) = 2 \frac{J_1(\beta \cos \theta)}{\beta \cos \theta} \sin \theta, \quad (38)$$

რაც წარმოადგენს რეტრანსლიატორის გამოსხივების ნორმირებულ მახასიათებელს.

(38) ფორმულის გამოყენებით,  $\beta$  - პარამეტრის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის აგებული იქნა რეტრანსლიატორის გასხივების დიაგრამების განივი კვეთები ვერტიკალურ სიბრტყეში. დიაგრამებიდან ჩანს, რომ  $\beta$  - პარამეტრის ცვლილება მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს დიაგრამის ფორმაზე. ვიდრე პარამეტრი  $h/\lambda < 1$ , დიაგრამაში გვერდითი ფოთლოვანი არ არსებობენ; ისინი ჩნდებიან მას შემდეგ როცა  $h/\lambda$  გადააჭარბებს ერთს.

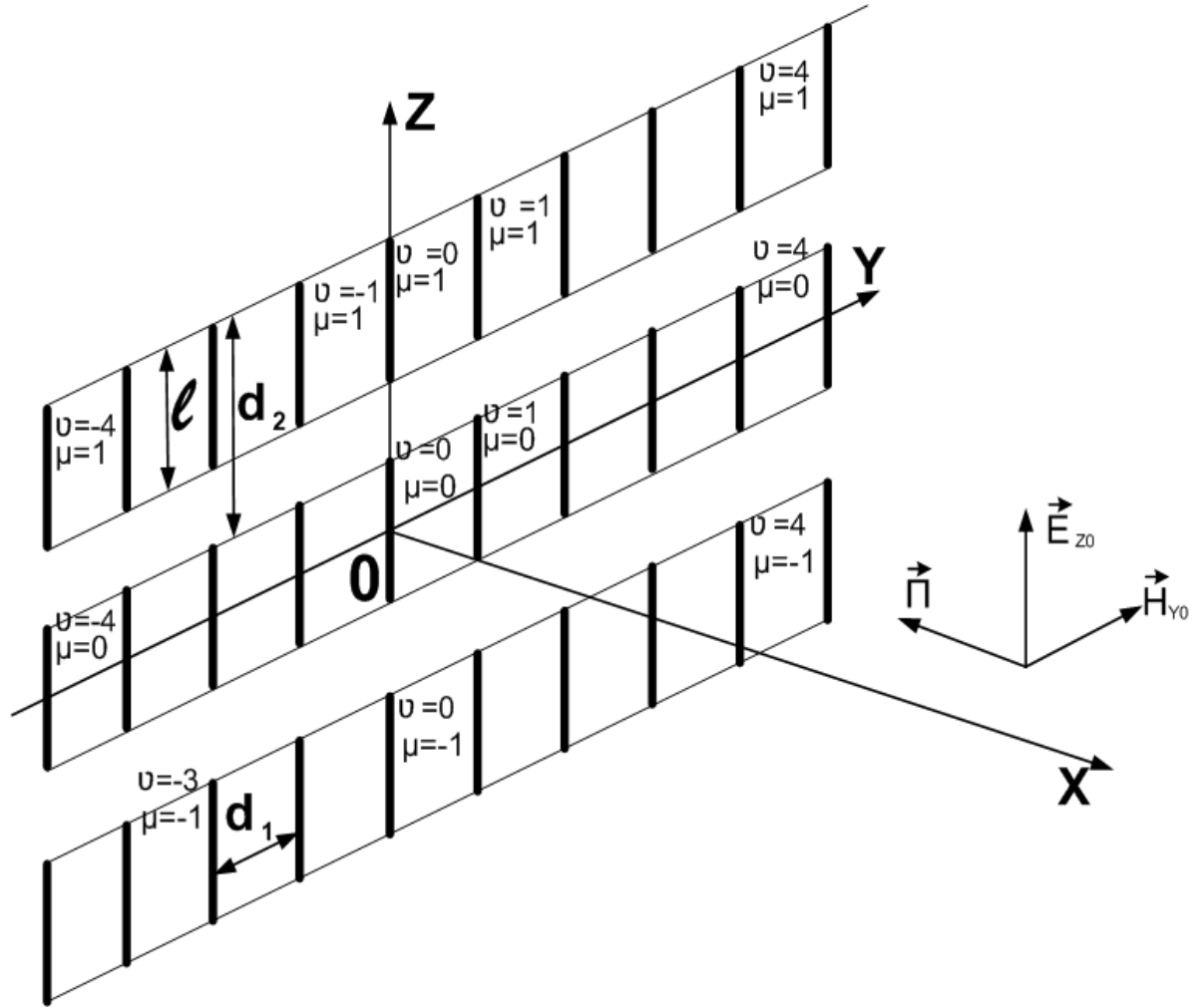
**VIII თავში** განხილულია ელექტრომაგნიტური ტალღის გაბნევა პასიური დიპოლებისაგან შედგენილ ორპერიოდიან მესერზე (ნახ. 7).

მესრიდან გაბნეული ელექტრული ველის დამაბულობის მნიშვნელობა ასეთია:

$$E_{z2} = \sum_{m,n=-\infty}^{\infty} B_{m,n} e^{i m \alpha y + i n \beta z - 2 \pi |x| d_1^{-1} \sqrt{m^2 + b^2 n^2 - D_1^2}}, \quad (40)$$

$$\left( \alpha = \frac{2\pi}{d_1}, \quad \beta = \frac{2\pi}{d_2}, \quad b = \frac{d_1}{d_2}, \quad D_1 = d_1/\lambda \right).$$

აქ  $B_{m,n}$  - კოეფიციენტები წარმოადგენენ დიფრაქციული სპექტრის ამპლიტუდებს:



ნახ. 7. ორპერიოდული მესერის სქემა.

$$B_{m,n} = \frac{l}{2} \gamma_n E_0 \frac{1 - \left(\frac{2\pi n}{kd_2}\right)^2}{\sqrt{m^2 + b^2 n^2 - D_1^2}}, \quad (41)$$

სადაც:

$$\gamma_n = \int_{-1}^1 q\left(\frac{l}{2}\xi\right) e^{i\beta n \xi l/2} d\xi, \quad (\beta = 2\pi/d_2). \quad (42)$$

მესერის ერთერთი მთავარი დიფრაქციული მახასიათებელია მისი არეკვლის კოეფიციენტის მნიშვნელობა, რომელიც ასე გამოისახება:

$$R = \frac{B_{00}}{E_0} = \frac{l}{2iD_1} \gamma_0 = -\frac{l}{iD_1 d_2 Q_0} \left[ 1 - \frac{C}{2} \left( \frac{\sin \bar{\beta}}{\bar{\beta}} - J_0(\bar{\beta}) \right) \right], \quad (43)$$

$$\bar{\beta} = \frac{kl}{2} = \frac{\pi l}{\lambda} = \pi \frac{\eta}{b} D_1, \quad \eta = \frac{d_2}{l}, \quad b = \frac{d_1}{d_2}, \quad D_1 = \frac{d_1}{\lambda}.$$

აღმოჩნდა, რომ გაბნეულ ტალღაში, გარდა სარკული სხივისა  $E_{z2}^{(0)} = B_{00}e^{-ikx}$ ,  $X > 0$  არეში კიდევ  $2M$  რაოდენობის ტყუბის ცალი არაქრობადი ჰარმონიკები ვრცელდებიან, ესენი არიან:

$$\tilde{E}_{z2}^{(\nu)} = B_{\nu 0} e^{-\nu \alpha y - i 2 \pi d_1^{-1} \sqrt{D_1^2 - \nu^2} x}, \quad (\nu = \pm 1, \pm 2, \dots \pm M). \quad (44)$$

ისინი  $X$  ღერძთან ადგენენ კუთხეებს:

$$Q_\nu = +\text{arc cos} \left( \frac{\sqrt{D_1^2 - \nu^2}}{D_1} \right), \quad Q_{-\nu} = -\text{arc cos} \left( \frac{\sqrt{D_1^2 - \nu^2}}{D_1} \right), \quad (45)$$

არაქრობადი ჰარმონიკები ჩნდებიან იმ მომენტში, როდესაც სრულდება ტოლობა  $D_1 = |\nu|$ . არაქრობადი ჰარმონიკები შეიძლება სხვა პირობებშიც გაჩნდნენ. მაგალითად, თუ  $M$  და  $N$  ისეთი ნატურალური რიცხვებია, რომ სრულდება უტოლობები:

$$\sqrt{M^2 + N^2 b^2} < D_1 < \sqrt{(M+1)^2 + (N+1)^2 b^2}, \quad (46)$$

მაშინ  $X > 0$  არეში გაჩნდებიან ტყუბი ჰარმონიკები, რომლებიც გავრცელდებიან  $X$  - ღერძის მიმართ ასეთი კუთხეებით:

$$\theta_{\nu\mu} = \pm \text{arc cos} \left( \frac{\sqrt{D_1^2 - \nu^2 - \mu^2 b^2}}{D_1} \right), \quad (47)$$

$$(\nu = 0, \pm 1, \pm 2, \dots M, \mu = 0, \pm 1, \pm 2, \dots N).$$

ჰარმონიკებს, რომლებიც  $\theta_\nu$  კუთხით ვრცელდებიან, შეიძლება I გვარის ჰარმონიკები ვუწოდოთ, ხოლო იმ ჰარმონიკებს კი რომლებიც  $\theta_{\nu\mu}$  კუთხით ვრცელდებიან II გვარის ჰარმონიკები დავარქვით.

## ზოგადი დასკვნები.

ერთპერიოდიანი მესრების შემთხვევაში, როდესაც მესრის შემადგენელი ელემენტებია უსარულოდ გრძელი ძალზე თხელი მეტალური ლენტები ან ასევე უსასრულოდ გრძელი, წრიული კვეთის იდეალურად გამტარი ცილინდრები, ანტენის სიხშირული პარამეტრის გარკვეული მნიშვნელობებისათვის იბადებიან არაქრობადი I გვარის ჰარმონიკები.

ორპერიოდიან მესრიდან არეკლილ ტალღაში შეიძლება თავი იჩინოს II გვარის ჰარმონიკებმაც.

დადგენილი იქნა სიმეტრიული ვიბრატორის, როდესაც დიპოლი წარმოადგენს ღრუ, წრიული განივკვეთის, თხელ კედლიან, იდეალურად გამტარ ცილინდრს, ზედაპირიდან გასხივებული ელექტრომაგნიტური ტალღების სტრუქტურა.

პირველად ანტენების თეორიაში, შემოთავაზებულია პასიური, იდეალურად გამტარი, თხელკედლიანი ღრუ ცილინდრული ფორმის დიპოლებისგან შედგენილი ერთპერიოდიანი უსასრულო მესერის (რეფლექტორის) მკაცრი ელექტროდინამიკური თეორია; ორიგინალური მათემატიკური აპარატის ეფექტური გამოყენების შედეგად. ანალიზური ფორმით იქნა წარმოდგენილი რეფლექტორის გამოსხივების მახასიათებელი, აგებულია შესაბამისი გამოსხივების დიაგრამები. დაგენილია, რომ მესრიდან არეკლილ ტალღაში, გარკვეულ პირობებში, შეიძლება გაჩნდნენ არაქრობადი ჰარმონიკები, ანუ იჩინოს თავი ე. წ. ვუდის ანომალიებმა. დასმული ელექტროდინამიკური ამოცანის ამოხსნის პროცესში, გარდა სასაზღვრო პირობისა, დაკმაყოფილდა პირობა ე. წ. „პირობა ბასრ ნაპირებზე“, რამაც უზრუნველყო მიღებული ამონახსნის ცალსახობა (ერთადერთობა).

დაგენილ იქნა, რომ დიპოლზე აღძრული აქსიალური დენი, უნდა განისაზღვროს ჰალენის ინტეგრალური განტოლებიდან და აკმაყოფილებდეს

„ბასრ ნაპირებზე ნულოვან სასაზღვრო პირობებსაც“, რაც სამეცნიერო ლიტერატურაში აქამდე არ ყოფილა გათვალისწინებული. მიღებულია ახალი რაოდენობრივი და რიცხვითი შედეგები, რაც საინტერესოა როგორც პრაქტიკული, ასევე მეთოდური თვალსაზრისითაც.

მოცემულ ნაშრომში მკაცრი მათემატიკური მიდგომით, ანალიზური სახით გადაწყვეტილია პასიური დიპოლებისაგან შედგენილი, ორპერიოდული უსასრულო მესერზე ბრტყელი  $E$  - პოლარიზებული ელექტრომაგნიტური ტალღის დიფრაქციის შედეგად წარმოქმნილი ელექტრომაგნიტური ველის სტრუქტურის განსაზღვრის ამოცანა.

ამონახსნის ძიების პროცესში გაკეთებულია პრაქტიკული თვალსაზრისით მისაღები დაშვებები ისე, რომ უზრუნველყოფილია ცდომილების დაბალი დონე.

დადგენილია, რომ ორპერიოდული მესერებზე ბრტყელი ტალღის გაბნევისას, დიფრაქციულ სპექტრში, I გვარის არაქრობად ჰარმონიკებთან ერთად შეიძლება გაჩნდნენ II გვარის ჰარმონიკებიც, რაც აქამდე არ ყოფილა ცნობილი სამეცნიერო ლიტერატურაში. დადგენილია აგრეთვე პირობები, როდესაც მოცემული მესერი შეიძლება გამოყენებული იქნას როგორც კარგი რეტრანსლიატორი, არა მარტო გრძელტალღოვან, არამედ მოკლეტალღოვან დიაპაზონშიც.

***მოხსენებები კონფერენციაზე:***

2014 XIX-th International Seminar/Workshop on DIRECT AND INVERSE PROBLEMS OF ELECTROMAGNETIC AND ACOUSTIC WAVE THEORY (DIPED). Tbilisi.2014:

1. Electromagnetic Analysis of a Complex Structure Cylindrical Antenna.
2. Electromagnetic Scattering of the Double-periodic Lattice, Composed of Passive Dipoles.

*გამოქვეყნებული ნაშრომები:*

1.G. Sh.Kevanishvili, V. D. Meladze, I. G. Kevanishvili, D. D. Doborjginidze, A. G. Robitashvili, G. G. Mushkudiani. Eleqtromagnetic Analysis of a Complex Structure Cylindrical Antenna. 2014 XIX-th International Seminar/Workshop on DIRECT AND INVERSE PROBLEMS OF ELECTROMAGNETIC AND ACOUSTIC WAVE THEORY (DIPED), p.59-62.

2. G. Sh. Kevanishvili, D. D. Doborjginidze, I. G. Kevanishvili, G. G. Mushkudiani, Z. Sikmashvili, I. Sikmashvili. Electromagnetic Scattering on the Duple-periodic Lattice, Composed of Passive Dipoles. XIX-th International Seminar/Workshop on DIRECT AND INVERSE PROBLEMS OF ELECTROMAGNETIC AND ACOUSTIC WAVE THEORY (DIPED), p.62-67.

3. Kevanishvili G. Sh., Kevanisvili I. G., Kekelia G. V., Robitashvili A. G., Chikhladze G. G. and Mushkudiani G. G. Calculation of the Radiation Characteristic of the Cylindrical Radome With the Dipole Inserted Into It. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი(სსს),N3,(ტ. 71), 2014, გვ.8-15.

4. ქევანიშვილი გ. შ., მელაძე ვ. დ., მუშკუდიანი გ. გ., რობიტაშვილი ა. გ. ევრანისა და იდეალურად გამტარი ცილინდრისგან შედგენილ პასიურ რეტანსლიატორზე ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღის გაბნევა. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი (სსს) N1, 2013, გვ. 77-83.



## summary

High and ultra-high frequency electromagnetic oscillations technique is widely used in one-periodic lattices. Their constituent elements can be infinitely long, mutually parallel and are ideal conductivity equidistant very thin strips, or infinitely long cylinders of circular cross-section, which can physical parameters be of any significance were the (homogeneous, heterogeneous, anisotropic and others). In recent years, it became known that mastering high-frequency radio waves, oscillations (terahertz and infrared rays) are requires development of a range of synthetic materials, which can be carried out, for example, if you normally make three-dimensional periodic lattice in the dielectric.

The work includes the research and identification of the metallic ribbon, intricate design vibrators, metallic ribbon and two cylinder, consisting of one-dimensional and two-dimensional lattice antenna radiation characteristics.

Antennas electrodynamic analysis methods are based on mathematical physics antennas (in particular applied electrodynamics) methods in particular cases, adequately the following methods are using the content of the physical tasks:

- Dual punktstionalur equations method;
- The method of integral equations;
- Matrix (infinite algebraic equations) method.

Here is a discussion about complex structure dipole which represents the finite length, circular cross-section, ideally permeable thin-walled hollow cylinder, which is broken in the middle and the break points of the harmonic E. M. Power spread out.

Symmetrical vibrators (dipole antenna) are used axial current was determined from Halland integral equations and satisfied the " on the zero boundary conditions on sharp edges ", which has not been considered in the scientific literature so far.

Electromagnetic waves structure was identified from the surface of a hollow cylinder symmetrical vibrator.

New quantitative and numerical results were obtained, wich is interesting as practical, as well as the methodological point of view.

One of the objects of the study is the antenna system, which consists of a metallic, infinitely long, perfectly conducting or dielectric circular carving cylinder. In this case the

cylinder has a significant impact on the characteristic and diagrams of radiation. Distance change between line and the cylinder allows us to manage the direction and the width of the radiation diagrams of the main leaflets; This circumstance can be used for obtaining the desired effect, which will enable us to launch this new electrodynamic system in retransmission role.

One of the objects of our research is electrostatics of finite width and infinitely long, ideally conductively thin metallic stripe, when the line is normally E- polarized plane electromagnetic wave.

The work discusses composed one or dual-periodic lattices, consisting of passive dipole.

We offers electrodynamic theory passive, perfectly permeable, thin-walled hollow cylindrical shape consisting of dipole one-periodic infinite lattice (reflector); The original mathematical apparatus was represented in analytical form characteristic of reflector radiation. It is determined that in the wave reflected from the lattice, in certain circumstances, there may be unextinguishable harmonics, or Wood's anomalies can be caused.

In this work, according to rigorous mathematical approach, determination task of electromagnetic field structure is analytically discussed – which consists of passive dipoles and is created as a result of E-polarized electromagnetic wave diffraction, flatter than dual-periodic infinite lattice.

In the process of searching solution, practical assumptions are made, so that error levels are reduced.

In case of one-periodic lattice, when the constituent elements of lattice are infinitely long thin metallic ribbons or infinitely long circular carving ideally conducting cylinders.

II type harmonics appear in the wave reflected from dual periodic lattice. There were the moments of II type harmonics creation, where lines of reflection coefficient diagrams have peaks.

Certain conditions are established, when a given lattice can be used as a good retranslator both in long wave – and short wave ranges.

These calculations can also be used for solving the following tasks:

- Establish radio-relay communication at the distance of 80 - 200 km;

- Avoid the use of high masts;
- Prevent from bypassing terrain obstacles;
- Increase jam resistance against radio-relay line;
- Use passive reflectors as antenna directors.