

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ, ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ  
ՍՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Սարգսյան Արմեն Նվերի

ԵՐԿՉԱՓ ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿ ՊԱՐԲԵՐԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ  
ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄԻԿՐՈԱԼԷԿՏՐՈՆԻ ՏԻՐՈՒՅԹԻ ԿԻՐԱՌՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ  
ՀԱՄԱՐ

Ա.04.03 – «Ռադիոֆիզիկա» մասնագիտությամբ  
Ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի  
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ – 2024թ.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И СПОРТА  
РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ

ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Саргсян Армен Нверович

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУМЕРНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ  
СТРУКТУР ДЛЯ МИКРОВОЛНОВЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

Диссертации на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук по специальности  
01.04.03 – «Радиофизика»

АВТОРЕФЕРАТ

ЕРЕВАН – 2024г.

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտում:

Գիտական ղեկավար՝ ֆ.մ.գ.դ., պրոֆեսոր **Ա. Ա. Հախումյան**

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ տ.գ.դ., պրոֆեսոր **Մ. Յ. Այվազյան**  
տ.գ.թ., դոցենտ **Ն. Ս. Հարոյան**

Առաջատար կազմակերպություն՝ **Հայ-Ռուսական համալսարան**

Պաշտպանությունը կայանալու է 2024 թ. դեկտեմբերի 26-ին ժամը 14:30-ին Երևանի պետական համալսարանի 049 ֆիզիկայի մասնագիտական խորհրդի նիստում:  
Հասցե՝ Ա. Մանուկյան 1, Երևան 0025:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2024 թ. նոյեմբերի 26-ին:

Մասնագիտական խորհրդի  
գիտական քարտուղար



ֆ.մ.գ.թ., դոցենտ  
**Վ. Պ. Քալանթարյան**

---

Тема диссертации утверждена в институте радиопизики и электроники НАН РА.

Научный руководитель: д.ф.м.н., профессор **А. А. Ахумян**

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор **М. Ц. Айвазян**  
к.т.н., доцент **О. С. Ароян**

Ведущая организация: **Российско-Армянский университет**

Защита диссертации состоится 26 декабря 2024 г. в 14:30, на заседании специализированного совета 049 по физике Ереванского государственного университета. Адрес: А. Манукяна 1, 0025, Ереван.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.

Автореферат разослан 26 ноября 2024 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета:



к.ф.м.н., доцент  
**В. П. Калантарян**

Աշխատանքի արդիականությունը

Ժամանակակից անտենային և ռադարային տեխնիկայում, հեռահաղորդակցության և այլ ոլորտներում անհրաժեշտ են բնեռացման էֆֆեկտիվ ղեկավարման տարրեր ԳԲՀ և ավելի բարձր հաճախային տիրույթներում: Նման խնդիրների լուծման համար իրենց արդյունավետությամբ աչքի են ընկնում արհեստական միջավայրերը՝ մետանյութերը [1], որոնք թույլ են տալիս ղեկավարել բնեռացումն ըստ դրված խնդրի պահանջների:

Այսօր հետազոտողների ուշադրության կենտրոնում են տարատեսակ մետակառուցվածքների ձևավորման խնդիրները, որոնք կարող են էֆեկտիվորեն կիրառվել էլեկտրամագնիսական ալիքների տարբեր բնութագրերի կառավարման համար: Որպես կանոն մետակառուցվածքները կամ մետանյութերը բաղկացած են դիէլեկտրիկ-մետաղ հավաքածուներով, որոնց ռեզոնանսային բնութագրերը հնարավոր է համալարել հետաքրքրող հաճախությունների տիրույթում, նյութերի էլեկտրադինամիկ հատկությունների և երկրաչափական բնութագրերի համապատասխան ընտրությամբ: Սակայն այդ մետանյութերը ունեն մի որոշակի թերություններ, դրանք չեն կարող կիրառվել աշխատանքային մեծ հզորությունների դեպքում, քանի որ մետաղական փոքրաչափ (միկրոնի չափ) ռեզոնատորների մեջ, որոնք ունեն մեծ բարորակություն, կուտակված էներգիան նույնպես կտրուկ մեծանում է և առաջանում են դաշտեր, որոնք բերում են հեղեղային երևույթների՝ ծակվում են, փչանում (դիէլեկտրիկի հատկությունների փոփոխություն մեծ դաշտերի ազդեցությամբ): Մինևույն ժամանակ այդպիսի կառուցվածքների արտաքին էլեկտրամագնիսական դաշտի հետ խիստ ռեզոնանսային փոխազդեցության արդյունքում հաճախությունների աշխատանքային տիրույթը խիստ նեղանում և սահմանափակ է դառնում: Այսինքն լայնաշերտ ու մեծ հզորությամբ սարքերի համար, որոնք հանդիպում են շատ կիրառություններում՝ արագացուցիչներում, ռադարներում և այլն, որտեղ կա մեծ հզորությամբ ճառագայթների ղեկավարման անհրաժեշտություն, նման մետակառուցվածքները կիրառելի չեն: Օպտիկական տիրույթում լայնորեն կիրառվում են անիզոտրոպ միջավայրերը, իսկ ԳԲՀ տիրույթում այդպիսի նյութեր չկան կամ շատ քիչ են և ունեն շատ մեծ դիէլեկտրիկ թափանցելիություն, որը սահմանափակում է դրանց կիրառումը, ինչպես նաև դժվարացնում է համաձայնեցման խնդիրը, օրինակ տիտանիումի երկօքսիդը (TiO<sub>2</sub>), որի դիէլեկտրիկ թափանցելիությունը հասնում է 100-ի հաճախային լայն շերտում համաձայնեցում ապահովելը դառնում է անհնարին: Վերը նշված խնդիրները կարելի է հաղթահարել կիրառելով արհեստական սիմետրիայով մետանյութեր, որոնք ամբողջությամբ

դիվելկտրիկ նյութերից են կազմված՝ սակայն տարբեր դիվելկտրիկական հատկություններով [2]:

Այդ դասին են պատկանում նաև ծակոտկեն արհեստական դիվելկտրիկները: Վերջին ժամանակներս ամբողջական դիվելկտրիկ մետանյութերը հետազոտողների մեծ ուշադրություն են գրավել, ի շնորհիվ այն առավելության որ չեն պարունակում մետաղական բաղադրիչ և գերծ են դրանցով պայմանավորված վերը նշված թերություններից, պատրաստման տեսակետից տեխնոլոգիապես առավել պարզ են, օրինակ՝ դրանք կարելի է ստանալ 3D տպիչով, ծակոտկեն կառուցվածքով և այլն: Ատենախոսությունում ուսումնասիրված է ծակոտկեն դիվելկտրիկ կառուցվածքների վարքը արտաքին էլեկտրամագնիսական դաշտի ազդեցության ներքո. ցույց է տրված դրանց միջոցով էլեկտրամագնիսական ալիքների ղեկավարման (տարածման ուղղության կառավարում, բևեռացման պտույտ, դաշտի տեղայնացում) հնարավորությունը հաճախությունների լայն տիրույթում: Կարևոր է նշել, որ հաճախությունների լայն տիրույթում արհեստական ծակոտկեն դիվելկտրիկների էֆֆեկտիվ դիվելկտրիկ թափանցելիությունը [3] ղեկավարվում է ծակոտկենի երկրաչափական տեսքի (կլոր, ուղղանկյուն, քառակուսի), սիմետրիայի, խտության միջոցով: Այդ տեսակետից շատ կարևոր է այդպիսի կառուցվածքների դիվելկտրիկ թափանցելիության թենզորի ի հայտ բերումը:

Աշխատանքում հետազոտված են այդ ծակոտկեն 2D կառուցվածքները ուղղանկյուն անցքերով, գտնված է դրա անիզոտրոպիայի օպտիմալ լուծումը:

### **Ատենախոսության նպատակը**

Հետազոտել 2D անիզոտրոպ արհեստական ամբողջովին դիվելկտրիկ ծակոտկեն միջավայրերում բևեռացման պտույտն երևույթը հաճախային լայն տիրույթում, ինչպես նաև դրա ղեկավարման պրոցեսը:

Ծակոտկենի հաշվին պատրաստել տարբեր ձևի կառուցվածքներ և նույն կառուցվածքում ունենալ տարբեր դիվելկտրիկ թափանցելիություններ, ինչը հնարավորություն է տալիս կառուցել ցանկացած լրիվ դիվելկտրիկական սարք, օրինակ, գոտիչ, ռեզոնատոր և այլն:

### **Գիտական նորույթը**

Հայտնաբերվել է, որ համեմատաբար ցածր արդյունաբար դիվելկտրիկ թափանցելիությամբ ( $\epsilon < 4$ ), ալիքի երկարության կարգի չափերով, որպես մետանյութ ծառայող 2D անիզոտրոպությամբ հարթ ծակոտկեն շերտը կարող է ծառայել որպես շրջող բևեռացմամբ ոսպնյակային անտենա: Հարթ դիվելկտրիկ ոսպնյակը կարելի է կիրառել SՀց և ինֆրակարմիր տիրույթներում ընդունիչների զգայնությունը բարձրացնելու համար: Մշակված բևեռաշրջիչները կարող են կիրառվել

հաճախությունների լայն տիրույթում, ռադարների և հզոր ճառագայթիչների բևեռացման կարգավորիչների մեջ: Եթե ծակոտկենի անցքերի չափը շատ մանր լինի ու հեռավորությունը ալիքի երկարությունից շատ փոքր լինի ու մեծ խտությամբ, ապա այն գրեթե օդ է դառնում՝  $\varepsilon=1$ , եթե ծակոտկեն չէ, ապա  $\varepsilon=\varepsilon_0$ , այդ դեպքում, երբ կոնցենտրացիան փոխում ենք, ապա էֆֆեկտիվ դիէլեկտրիկ թափանցելիությունը կարելի է դեկավարել 1-ից մինչև  $\varepsilon_0$ , այսինքն ծակոտկենների խտությամբ ու չափերով դիէլեկտրիկ թափանցելիությունը կարելի է դեկավարել լայն տիրույթում: Ծակոտկենի չափերը փոխելով կարելի է ստանալ տարբեր չափերի-հաստությունների շերտավոր միջավայր, իսկ որոշակի չափի ժամանակ ստանալ ֆոտոնիկ արգելված գոտի, այսինքն իրականացնել այնպիսի ֆիլտր, որի մի հատվածը բաց կթողնի միայն մեզ պիտանի հաճախություններ և կպտտի բևեռացումը, իսկ մյուս հատվածը կանդրադարձնի հաճախությունները, ինչպես նաև ոսպնյակ կարող է լինել, այսինքն ընդունիչում կգումարվի ինտենսիվությունը:

### **Գործնական արժեքը**

Որպես ծակոտկեն դիէլեկտրիկ մետանյութի նմուշ է օգտագործվել կորդիերիտի հիման վրա ծակոտկեն կառուցվածքը: Հայտնի է որ կորդիերիտի ջերմային ընդարձակման գործակիցը բավական փոքր է, ինչի արդյունքում տաքացման հետևանքով դեֆորմացիաների աստիճանը շատ ցածր է, ինչը կարևոր է համակարգի բնութագրերի կայունության տեսանկյունից: Քանի որ բարձր հզորությունների դեպքում, որոնք կարող են հասնել տասնյակ ԿՎտ-ի, նմուշը կարող է տաքանալ, որի արդյունքում կփոխվեն նմուշի չափերը, որն էլ կբերի ցանցի հաստատունի փոփոխմանը, կորդիերիտը զերծ է նման թերությունից և ջերմաստիճանի փոփոխմամբ կառուցվածքի չափերը մնում են անփոփոխ, հետևաբար  $\Delta n$ -ը հաստատուն է: Գտնվել են առնչություններ, որոնք թույլ են տալիս օպտիմիզացնել բևեռաշրջիչները, ինչպես նաև լուսաբանված են անիզոտրոպիայի արժեքների վարքը կախված լցման գործակցից և հիմնական նյութի դիէլեկտրիկ թափանցելիությունից: Հաճախությունների լայն տիրույթի համար՝ (22–77)ԳՀց, ստացվել են արդյունքներ, որոնք կարող են օգտագործել էֆֆեկտիվ բևեռաշրջիչներ պատրաստելու համար, հատկապես մեծ հզորությունների համար:

Արդյունքները ստացված են, երբ նմուշը գտնվել է  $n'$  բաց տարածության մեջ,  $n'$  գլանաձև ալիքատարում: Երբ նմուշը գլանաձև ալիքատարում է, այդ դեպքում բևեռացման կապազերծումը հասնում է մինչև 22dB, իսկ կորուստները չնչին են ի շնորհիվ այն բանի, որ լցման գործակիցը փոքր է և նյութը կորդիերիտից է, որն ունի շատ փոքր կորուստներ: Երբ նմուշը բաց տարածության մեջ է, որը նշանակում է, որ սահմանափակումներ չունենք, բևեռացման կապազերծումը հասնում է 32dB-ի: Այս տարբերությունը ստացվում է, քանի որ գլանաձև ալիքատարում E-ի ուժգգծերը կոր են, որոնց փոխբևեռացման կապազերծումը շատ ավելի վատ է լինում, քան ուղղանկյուն ալիքատարի մոդերի դեպքում:

## **Պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթներ**

1. Ռադարներում, արագացուցիչներում, պլազմատրոններում և այլ մեծ հզորության աղբյուրներում ձևավորված ճառագայթման կառավարման համար անհրաժեշտ կայուն և դիմացկուն բևեռացուցիչները կարելի է ստեղծել ծակոտկեն արհեստական կերամիկական կորդիերիտից, որն աչքի է ընկնում փոքր դիէլեկտրիկ կորուստներով և ջերմային ընդարձակման գործակցով:
2. Դիէլեկտրիկ բարակ միաշերտերով կարելի է կառուցել համակարգ, որի միջոցով հնարավոր է ստանալ գերուղորդվածություն:
3. Արհեստական կերամիկական կորդիերիտի հիման վրա ստեղծված ոսպնյակները հնարավորություն են տալիս համատեղել միկրոալիքի կիզակետումը բևեռացման շրջման հետ:
4. Ամբողջովին դիէլեկտրիկական մետանյութի օգնությամբ իրականացնելով երկրորդային աղբյուրների փուլահամաձայնեցված բաշխում, կարելի է ստանալ առաջնային ճառագայթման ուղղորդվածությունը և հոսքի խտությունը գերազանցող ուղղորդված ճառագայթում:

## **Աշխատանքի ներկայացումը**

Աշխատանքը ներկայացվել է

«Microwave & THz Technologies, and Wireless Communications (IRPhE 2018)» միջազգային կոնֆերանսում, 2018թ. Հայաստան (Աղվերան),

«Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW-THz)» 44-րդ միջազգային կոնֆերանսում, 2019թ. Ֆրանսիա (Փարիզ),

«Microwave & THz Technologies, Wireless Communications and OptoElectronics (IRPhE 2022)» միջազգային կոնֆերանսում, 2022թ. Հայաստան (Երևան):

## **Հրապարակումները**

Ատենախոսության թեմայով տպագրվել են 3 գիտական աշխատանքներ, որոնցից 1-ը ԵՊՀ գիտական ամսագրերում, իսկ 2-ը միջազգային գիտաժողովների ժողովածուներում, ինչպես նաև զեկուցվել են 3 միջազգային գիտաժողովներում:

## Ատենախոսության կառուցվածքը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, երեք գլուխներից, եզրակացությունից և 73 հղում պարունակող զրականության ցանկից: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը 103 էջ է և պարունակում է 46 նկար և 3 աղյուսակ:

## ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

**Ներածության** մեջ հիմնավորված է ատենախոսության արդիականությունը, հստակ ձևակերպված են աշխատանքի նպատակները, խնդիրներն ու պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները: Ինչպես նաև նշված է ստացված արդյունքների գիտական նորույթը և գործնական արժեքը:

**Գլուխ 1**-ում ներկայացված է ծակոտկեն նյութը, որի համար գտնված է էֆֆեկտիվ դիէլեկտրիկ թափանցելիության մոտարկումներ, ստացված են առնչություններ, որոնք կապում են դիէլեկտրիկ թափանցելիության թենզորը ծակոտկեն կառուցվածքի պարամետրերի հետ՝ հիմնականում լցման գործակցի հետ:

**1.1 պարագրաֆում** ներկայացված է մասերի տրոհված ենթահամակարգեր, որտեղ հարթ ալիքի [4, 5] տարածման ժամանակ E-ն՝ բևեռացումը, ուղղություններից կախված է, այսինքն էական նշանակություն ունի տվյալ համակարգի պարբերությանը զուգահեռ է տարածվում, թե ուղղահայաց:

Դիտարկվել է դեկոմպոզիցիայի մեթոդը ու օգտագործվել է էֆֆեկտիվ դիէլեկտրիկ թափանցելիությունը: Դիտարկվել է միաչափ պարբերական երկու կառուցվածքներ, որոնց դեպքում պարբերականությունները տարբեր են:

Գտնվել է դիէլեկտրիկ պատերի ուղղահայաց և զուգահեռ կոմպոնենտների  $\varepsilon_{\text{զուգ}}$  և  $\varepsilon_{\text{ուղղ}}$  դիէլեկտրիկ թափանցելիությունները, ինչի համար օգտագործվել է դեկոմպոզիցիայի մեթոդը: Առանձին-առանձին գտնվել են  $\varepsilon_{\text{զուգ}}$  և  $\varepsilon_{\text{ուղղ}}$  և կարելի է ստանալ անիզոտրոպ համակարգի դիէլեկտրիկ թափանցելիությունը: Օգտվենք հետևյալ բանաձևերից

$$\varepsilon_{\text{զուգ}} = f \cdot \varepsilon_d \cdot (2 - f) + (1 - f), \quad (1)$$

$$\varepsilon_{\text{ուղղ}} = f \cdot \varepsilon_d + \frac{(1 - f) \cdot \varepsilon_d}{f + (1 - f) \cdot \varepsilon_d}, \quad (2)$$

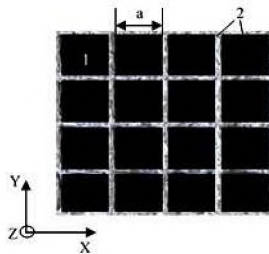
որտեղ  $f$ -ը լցման գործակիցն է, որը ցույց է տալիս թե որքան մասն է դիէլեկտրիկը և որքան՝ օդը,  $\varepsilon_d$ -ն երկչափ դիէլեկտրիկ պարբերական կառուցվածքով նմուշի դիէլեկտրիկ թափանցելիությունն է:

1.2 պարագրաֆում դիտարկվել է պարզ միաչափ անիզոտրոպ դիելեկտրիկ միջավայրը, հետագոսովել է դիելեկտրիկ բարակ շերտերի անիզոտրոպ հատկությունները, որոնք բաժանված են տարբեր դիելեկտրիկ հաստատունով բարակ շերտերով: Յույց է տրված, որ անիզոտրոպ հատկությունները առաջացել են տարածման երկու տարբեր մոդերի պատճառով:

1.3 պարագրաֆում ներկայացված է երկչափ դիելեկտրիկ շերտով միջավայրի էֆֆեկտիվ դիելեկտրիկ թափանցելիության թեստորը: Անդրադաձ է կատարվել անիզոտրոպ միջավայրերին, դիտարկվել են միառանցքանի և երկառանցքանի բյուրեղներ: Ուսումնասիրվել և մշակվել են այնպիսի սարքեր, որոնք հիմնված են անիզոտրոպ դիելեկտրիկ թափանցելիությամբ երկչափ դիելեկտրիկ պարբերական կառուցվածքների վրա: Համակարգը, որը պատրաստված է սինթետիկ կորդերիտից [6] ( $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$ ), դիելեկտրիկ թափանցելիությունը  $\epsilon_d$ -ն, հավասար է 4-ի և այն ունի ուղղահայաց և զուգահեռ պարբերականություն, այսինքն կա  $\epsilon_{qույց}$  և  $\epsilon_{ուղղ}$  դիելեկտրիկ թափանցելիություններ: Գտնվել է  $\epsilon_{qույց}$  և  $\epsilon_{ուղղ}$ , ինչպես նաև հաշվարկվել է դրանց տարբերության առավելագույն արժեքը,  $\Delta\epsilon$ -ը

$$\Delta\epsilon = \epsilon_{qույց} - \epsilon_{ուղղ} \quad (3)$$

և կառուցվել է այնպիսի համակարգ, որ ստացվել է  $\Delta\epsilon$ -ի առավելագույն արժեք, որի դեպքում համակարգի անիզոտրոպիան մեծ է, իսկ դա նշանակում է, որ միավոր երկարության վրա բևեռացման արագ պտույտ է ստացվում: Նկար 1-ում ներկայացված է երկչափ պարբերական կառուցվածով համակարգ:



**Նկար 1.** Դիելեկտրիկ երկչափ պարբերական կառուցվածով համակարգ:  
1 – նմուշի անցքեր, 2 – դիելեկտրիկ պատեր

Դիտարկված համակարգը քառակուսի է ու  $X$  և  $Y$  ուղղություններով դիելեկտրիկ պատերի միջև եղած հեռավորությունը նույն է, այսինքն պարբերությունները նույնն են: Նմուշում դիելեկտրիկ պատի հաստությունը  $t = 0,3$  մմ, իսկ դիելեկտրիկ պատերի միջև եղած հեռավորությունը  $a = 1$  մմ, իսկ լցման գործակիցը  $f$ -ը, որոշվում է այս բանանով



$$f = \frac{t}{a+t}; \quad (4)$$

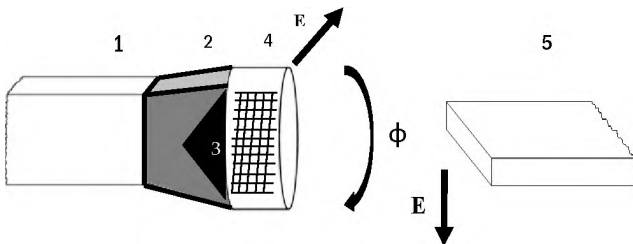
Համաձայն այս բանաձևի  $f = 0,23$  : Փորձերն արվել են (20–24)Գձց տիրույթում, քանի որ X և Y ուղղություններով պարբերությունները շատ ավելի փոքր են,  $a = 1$ մմ, քան  $\lambda$  ալիքի երկարությունը, որը հավասար է 1,5սմ-ի, ստացվում է, որ  $\lambda \gg a$ , այսինքն այստեղ աշխատում են անիզոտրոպ հասկությունները: Եվ կարելի է մտցնել էֆեկտիվ դիէլեկտրիկ թափանցելիության գաղափարը: Հարկ է նշել, եթե  $\lambda \gg a$  պայմանը չլինի, ապա այդ դեպքում առաջ են գալիս ֆոտոնիկ արգելված գոտով էֆֆեկտները:

**Գլուխ 2-**ում ներկայացված է բևեռացման հարթության պտույտը: Դիտարկվել է բևեռացման հարթության պտույտը անիզոտրոպ միջավայրում, անդրադարձ է արվել հարթ ալիքի տարածման մեթոդին:

**2.1 պարագրաֆում** ներկայացված է բևեռացման հարթության պտույտը անիզոտրոպ միջավայրում:

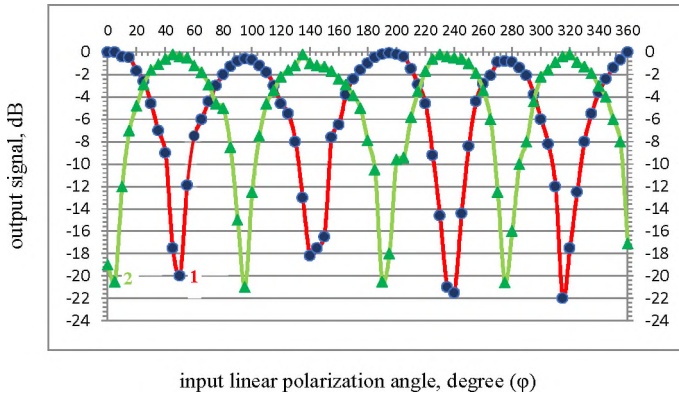
Ուսումնասիրվել է (22-24)Գձց հաճախային տիրույթը: Ստացված են անիզոտրոպ դիէլեկտրիկ թափանցելիություններ, որոնք կարելի է օգտագործել բևեռացման հարթության պտույտի համար:

**2.2 պարագրաֆում** ներկայացված է բևեռացման հարթության պտույտը կլոր ալիքատարում: Դիտարկվել է հիմնական տիպի TE<sub>11</sub> ալիքը կլոր ալիքատարում: Վերցվել է 15մմ տրամագծով կլոր ալիքատար, որը լցված է եղել երկչափ կառուցվածք ունեցող կորդիերիտից պատրաստված նմուշով: Դիտարկվել է բևեռացման հարթության պտույտը, որի համար օգտագործվող սարքերի բոլոր սխեման ներկայացված է (նկար 2)-ում:



**Նկար 2.** Փորձի սխեման: 1 – մուտքային ուղղանկյուն ալիքատար, 2 – ուղղանկյուն ալիքատարից դեպի կլոր ալիքատարի անցում, 3 – սեպաձև համաձայնեցուցիչ, 4 – կլոր ալիքատար, լցված երկչափ պարբերական կորդիերիտից դիէլեկտրիկով, 5 – վերլուծող ալիքատար:

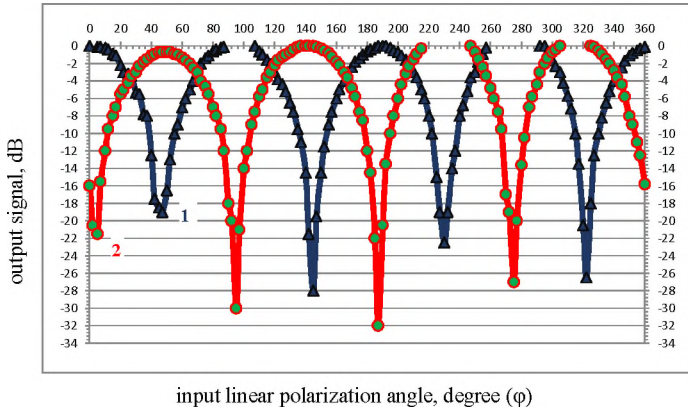
Դաշտը տրվել է մուտքային ուղղանկյուն ալիքատարով, երկչափ պարբերական կորդինեթից դիէլեկտրիկ նմուշը տեղադրված է կլոր ալիքատարում, ուղղանկյուն և կլոր ալիքատարների միջև կա համաձայնեցված անցում, ընդունիչ մասում տեղադրվել է ուղղահայաց ալիքատար, որով գրանցվել է բևեռացման պտույտը: Փորձը կատարվել է ոչ միայն նմուշը պտտելով իրար օրթոգոնալ հաղորդիչ և ընդունիչ ուղղանկյուն ալիքատարների միջև, այլև իրար զուգահեռ հաղորդիչ և ընդունիչ ուղղանկյուն ալիքատարների միջև: Երկու դեպքում էլ ստացվում է բևեռացման հարթության պտույտ, որոնց համադրված գրաֆիկը ներկայացված է (նկար 3)-ում:



**Նկար 3.** Բևեռացման հարթության պտույտը, երբ նմուշը կլոր ալիքատարում է: 1 – հաղորդիչը և ընդունիչը զուգահեռ, 2 – հաղորդիչը և ընդունիչը ուղղահայաց:

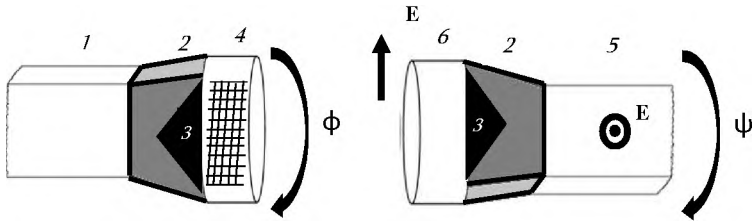
**2.3 պարագրաֆում** ներկայացված է բևեռացման հարթության պտույտն ազատ տարածությունում և շրջանաձև բևեռացումը [7]: Սկզբում դիտարկվել է բևեռացման հարթության պտույտը. ազատ տարածության մեջ տեղադրվել է կորդինեթից 2D պարբերական դիէլեկտրիկ կառուցվածքով նմուշը, որի երկարությունը 8 սմ է:

Փորձի ժամանակ, երբ հաղորդիչն ու ընդունիչը ուղղահայաց են իրար, դա նշանակում է, որ այն փակ է և ազդանշան չի անցնում, այսինքն՝ գտնվել է գրոյական դիրքում, պտտելու դեպքում, այսինքն, երբ բաց է, ստացվել է ուժեղացում, որն այս դեպքում կազմում է մոտ 32dB: Փորձը կատարվել է ոչ միայն նմուշը պտտելով ուղղահայաց հաղորդող և ընդունող ալիքատարների, այլև զուգահեռ հաղորդող և ընդունող ալիքատարների միջև: Երկու դեպքում էլ ստացվել է բևեռացման հարթության պտույտ, և համադրված գրաֆիկը ներկայացված է (նկար 4)-ում:



**Նկար 4.** Բևեռացման հարթության պտույտն ազատ տարածության մեջ:  
 1 – Մուտքային ուղղանկյուն ալիքատարը զուգահեռ է անալիզատոր-ալիքատարին,  
 2 – Մուտքային ուղղանկյուն ալիքատարը ուղղահայաց է անալիզատոր-ալիքատարին:

Շրջանաձև բևեռացման ստացումը և ուսումնասիրումն իրականացվել է երկչափ պարբերական արհեստական անիզոտրոպ դիելեկտրիկ միջավայրում [8,9], որի համար օգտագործվող սարքերի սխեմատիկ նկարագրությունը ներկայացված է (նկար 5)-ում: Փորձերն իրականացվել են (22-24)ԳՀց հաճախային տիրույթում:



**Նկար 5.** Փորձի սխեման. 1–Մուտքային ուղղանկյուն ալիքատար, 2–Ուղղանկյուն ալիքատարից դեպի կլոր ալիքատարի անցում, 3–Սեպաձև համաձայնեցուցիչ, 4–Կլոր ալիքատար, որին ամրացված է երկչափ պարբերական կորդիներիտից դիելեկտրիկը, 5–Ուղղանկյուն ալիքատար, որն ամրացված է վերլուծող ալիքատարային պտտվող համակցված (rotory joint) համակարգին, որի ծայրերում բևեռացումը տարբեր է, 6–Կլոր ալիքատար:

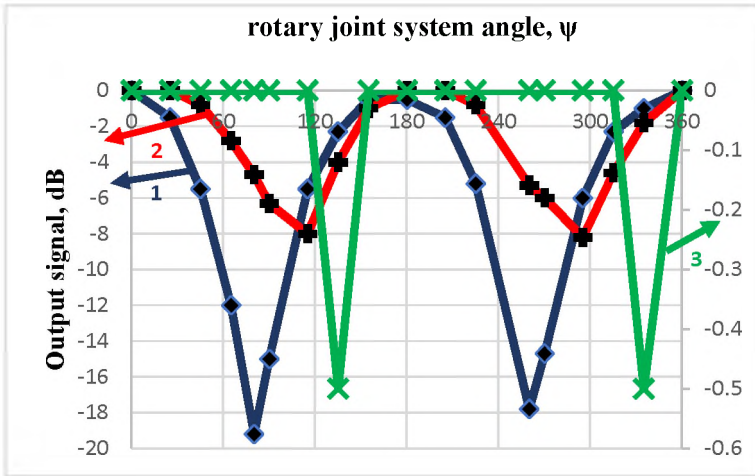
Շրջանաձև բևեռացումը և ղեկավարումը շատ կարևոր են միկրոալիքային տիրույթում, հատկապես կապի ոլորտում, ինչպես նաև արբանյակային կապի համար: Այդ կիրառությունների համար պետք են աղբյուրներ, որոնք կարող են ապահովել շրջանաձև բևեռացումը: Ուսումնասիրվել է այն դեպքը, թե ծակոտկեն միջավայրը որքանով կարող է ծառայել դրա համար: Բազմակի պտույտներից խուսափելու համար նմուշը կարճացվել է, որպեսզի ապահովի միայն  $45^\circ$ -ի պտույտ:

Ներկայացված է փորձարարական արդյունքներ, որոնք ցուցադրում են բևեռացման պտույտի հնարավորությունը ալիքի տարածման բավականաչափ փոքր հեռավորության վրա ( $\sim 3\lambda$ ):

Երբ նմուշի պտտման անկյունը 0 է, այսինքն  $\phi=0$ , այդ դեպքում պտտելով պտտող համակցված (ՊՀ) համակարգը երկու կետերում  $\psi=90^\circ$  և  $\psi=270^\circ$ , ստացվել է մինիմումներ, այսինքն գծային բևեռացում է ստացվել (նկար 6-1):

Նորից պտտելով համակարգը, երբ նմուշի պտտման անկյունը  $25^\circ$  է,  $\phi=25^\circ$ , այդ դեպքում  $\psi=90^\circ$  և  $\psi=270^\circ$  կետերում ստացվել է հզորության փոփոխություն՝ վեց անգամ, և ստացվել է էլիպտիկ բևեռացում (նկար 6-2):

$\phi=45^\circ$  դեպքում շրջանաձև բևեռացում է ստացվել (նկար 6-3): Քանի որ անկախ ՊՀ համակարգի պտույտի դիրքից ազդանշանի կեսն ընդունելու է և անփոփոխ հաղորդելու է, ապա համակարգի պտույտն արդեն էական չէ, որն էլ բերում է շրջանաձև բևեռացման: Երկու կետում  $-0,5\text{dB}$  փոփոխություն կա, որը պայմանավորված է նրանով, որ 2D կառուցվածքում անիզոտրոպ դիէլեկտրիկ թափանցելիությունը x և y ուղղությամբ տարբեր է և  $\epsilon_{xx} \neq \epsilon_{yy}$ :



Նկար 6. 1–գծային բևեռացում, 2–էլիպտիկ բևեռացում, 3–շրջանաձև բևեռացում:

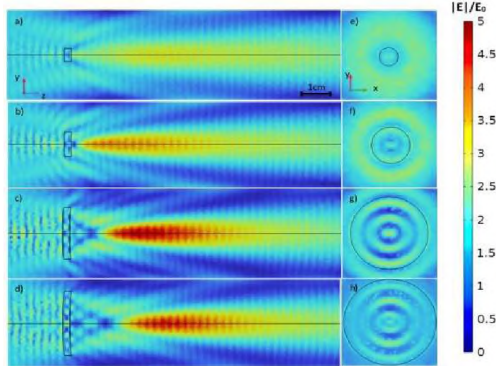
**Գլուխ 3-**ում դիտարկվել է մեկ գոտով ֆրենեյան ոսպնյակը, անդրադարձ է արվել փոխկապակցված ոսպնյակների մատրիցաների: Գտնվել է այն օպտիմալ հեռավորությունը, որի դեպքում ստացվել է 11-11.5dB ուժեղացում, 4մմ աշխատանքային ալիքի երկարության համար: Դիտարկվել են նաև տեֆլոնային տակդիրով ոսպնյակներ, որի դեպքում տարբեր հաստությամբ տակդիրներով փորձեր է կատարվել, ընտրվել է 7.5մմ և 9մմ հաստությամբ տակդիրներ, որոնք զգալի փոփոխություններ են բերում ուժեղացման բաշխման վրա: Այս դիֆրակցիոն էլեմենտները կարող են բարելավել կապված տվիչով անտենայի աշխատանքները օպտիկայից մինչև միլիմետրային տիրույթ: Այս դեպքում փորձերն իրականացվել են 55-77GHz տիրույթում:

**3.1 պարագրաֆում** անդրադարձ է արվել մեկ գոտով Ֆրենեյան ոսպնյակին, Ֆրենեյի գոտով հարթ ոսպնյակներով մոտեցումը հանդիսանում է անտենայի էֆֆեկտիվ մակերեսի մեծացման միջոցներից մեկը: Այս ոսպնյակների հիմնական թերությունը մեծ չափերն են ու պատրաստման բարդությունը: Այդ խնդիրները լուծելու համար օգտագործվել են այլընտրանքային ոսպնյակներ, որոնք ունեն չափազանց փոքր չափեր, հեշտ են պատրաստվում և հեշտ են ինտեգրվում կապված տվիչով անտենայի հետ, և ուղղորդվածությունը բարելավվում է: Առավելագույն ուժեղացում է ստացվել, երբ դիէլեկտրիկ սկավառակի տրամագիծը հավասար է Ֆրենեյի առաջին գոտու շառավիղին, և տեղակայված է կապված տվիչով անտենայից որոշակի հեռավորության վրա:

Երբ հարթ ալիքն ընկնում է ոսպնյակի վրա, ապա մի մասը բեկվում է և անցնում ոսպնյակի միջով, իսկ մի մասն էլ եզրերից դիֆրակցվում և վերջում գումարվում անցած ալիքին, իհարկե մի մասն էլ անդրադառնում է, դրա համար այնպիսի նմուշ է վերցվել, որի դիէլեկտրիկ թափանցելիությունը՝  $\epsilon$  -ը, փոքր է անդրադարձումները փոքրացնելու նպատակով:

Վերը նշված ենթադրությունները հաստատելու համար կատարվել են նախ թվային հաշվարկներ, այնուհետ փորձարարական հետազոտություններ:

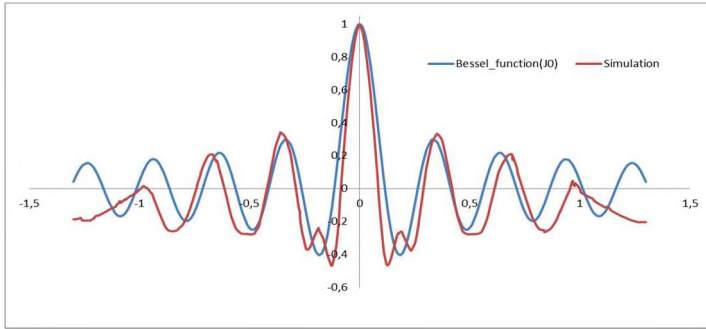
Թվային հաշվարկները իրականացվել են վերջավոր տարրերի մեթոդով: Կառուցվել է համապատասխան մոդել, որում տարածվող հարթ ալիքի ճանապարհին տարածման վեկտորին ուղղահայաց տեղադրվել է վերջավոր չափերի դիէլեկտրիկ միջավայր, որոշակի դիէլեկտրիկ թափանցելիությամբ, որը համապատասխանում է փորձարարական նմուշի էֆեկտիվ դիէլեկտրիկ թափանցելիությանը, տարբեր երկարաչափական (զլանաձև-տափողակային տեսքի, զուգահեռանիստի տեսքի) և էլեկտրադինամիկ հատկություններով, նկար 7:



**Նկար 7.** Էլեկտրական դաշտի լարվածության մոդուլի բաշխումը a)-d) yz և e)-f) xy հարթություններում, գլանային դիֆրակտրիկ տափողակի վրա հարթ ալիքի անկման դեպքում (ալիքը տարածվում է z ուղղությամբ) տարբեր տրամագծերի պարագայում: a,e) դիֆրակտրիկ տափողակի D տրամագիծը հավասար է 4մմ, b,f) D= 8 մմ, c,g) D= 16 մմ, d,h) D= 20 մմ: Ընկնող հարթ ալիքի երկարությունն է 4 մմ, տափողակի դիֆրակտրիկ թափանցելիությունը՝ 2.2 (տեֆլոն), տափողակի հաստությունը՝ 2 մմ:

Հարկ է նշել, որ նկարում բերված yz հատույթը անցնում է գլանային տափողակի կենտրոնով, իսկ xy հարթությունը վերցված է անմիջապես տափողակի եզրում, որտեղից ալիքը դուրս է գալիս:

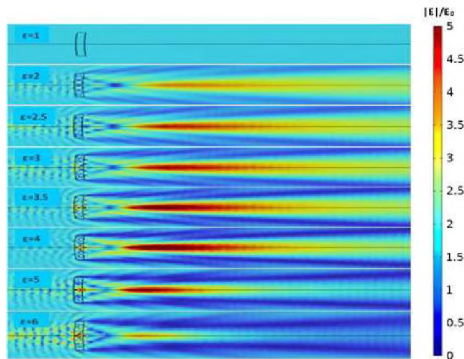
Գոյություն ունի որոշակի տիրույթ, որտեղ ընկնող դաշտը կուտակվում-ֆոկուսանում է: Ընդ որում այդ տիրույթում դաշտի լարվածության արժեքը կախված է դիֆրակտրիկ տափողակի տրամագծի և ընկնող ալիքի երկարության փոխհարաբերակցությունից և առկա է այդ հարաբերակցության օպտիմալ տիրույթ, օրինակ նկարում պատկերված c) դեպքին համապատասխան: Պետք է նշել, որ ֆոկուսացման տիրույթի դիրքը նույնպես կախված է տրամագծից, և որքան մեծ է տրամագիծը այնքան ավելի հեռու է այդ դիրքը: Նկար 7-ում պատկերված xy հարթությունում դաշտի բաշխման ֆունկցիոնալ տեսքի պարզաբանման համար պատկերվել է թվային հաշվարկներով ստացված ռադիալ կախվածության վարքը և համեմատվել ապրոքսիմացված Բեսսելյան ֆունկցիայի հետ: Բեսսելյան ֆունկցիան ընտվել է հաշվի առնելով համակարգի գլանային սիմետրիան: Ստացված համեմատությունը ներկայացված է նկար 8-ում:



**Նկար 8.** Թվային հաշվարկներից ստացված էլեկտրական դաշտի լարվածության ուղիղ բաշխվածության տեսքը և դրա համեմատությունը Բեսսելի գրոյական ֆունկցիայի հետ, անմիջապես դիէլեկտրիկ տափոդակի մակերևույթին:

Ինչպես և սպասվում էր, բաշխման ֆունկցիան բավականին լավ ապրոքսիմացվում է Բեսսելի գրոյական կարգի ֆունկցիայով, հաշվի առնելով գլանային սիմետրիայի առկայությունը: Հետաքրքրական է նաև ուսումնասիրել տափոդակի ֆոկուսացման հատկությունների կախվածությունը դրա դիէլեկտրիկական թափանցելությունից, նկար 9:

Գոյություն ունի դիէլեկտրիկ թափանցելության արժեքների որոշակի աշխատանքային տիրույթ, որում դիտվում է ֆոկուսացման երևույթը: Այս հանգամանքը բացատրվում է նրանով, որ փոքր դիէլեկտրիկ թափանցելությամբ միջավայրով անցնելիս (բեկվելիս և ցրվելիս եզրերից) նախ ընկնող հարթ ալիքը ունենում է փոքր անդրադարձումներ և երկրորդ՝ էապես չի փոփոխվում իր վարքը անցման ռեժիմում: Դիէլեկտրիկ թափանցելության մեծացումը բերում է նրան, որ ավելի հստակ են ձևավորում Ֆրենելի գոտիները դիէլեկտրիկ միջավայրում:



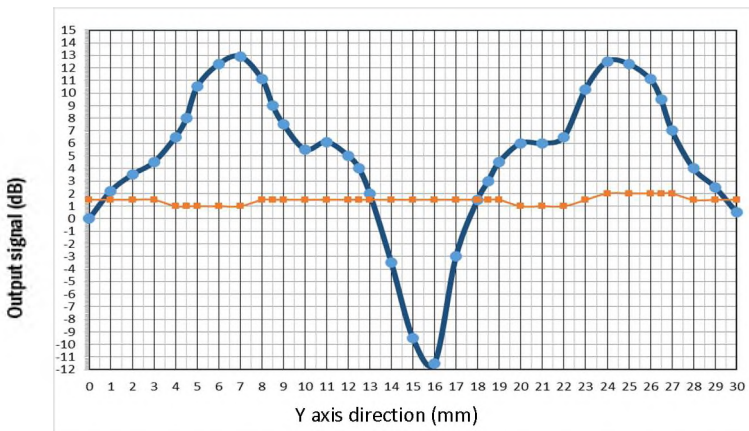
**Նկար 9.** Էլեկտրական դաշտի լարվածության մոդուլի բաշխումը yz հարթությունում գլանային դիէլեկտրիկի տարբեր դիէլեկտրիկ թափանցելությունների դեպքում:

Կախված նրա երկրաչափական կառուցվածքից (գլանային, խորանարդաձև) և չափերից (տրամագիծ, կողմի չափ, հաստություն) ձևավորվում են դաշտի փնջվածքներ. տեղի է ունենում դաշտի էներգիայի վերաբաշխում, ինչի արդյունքում անցած դաշտը այլևս հարթ ճակատ չունի և որոշակի հեռավորության վրա ինտերֆերենցիոն պատկերը առաջացնում է ֆոկուսացման էֆեկտ: Հարկ է նշել, որ որքան մեծ է դիէլեկտրիկ թափանցելիությունը, այնքան մեծ են անդրադարձումները դիէլեկտրիկ-օդ սահմանից, ինչը բերում է նրան, որ դիէլեկտրիկ միջավայրով անցնում է դաշտի էներգիայի ավելի փոքր մասը, և ֆոկուսացման տիրություն դաշտի մեծությունը թուլանում է:

**3.2 պարագրաֆում** ներկայացվում է մեկ գոտով ֆրենելյան ոսպնյակների փոխկապակցությունը: Կատարվել են փորձեր, որի ժամանակ ընդունիչ համակարգն իրենից ներկայացնում է մոտավորապես  $60^\circ$  բացվածքով անտենա:

Այս դեպքում նույնպես ընկնող հարթ ալիքը դեկավարվում է բևեռացնող ատենյուատորի միջոցով: Մեկ ոսպնյակի փոխարեն վերցվել է երկու նույնատիպ ոսպնյակներ՝ իրարից որոշակի հեռավորության վրա: Պետք է գտնել երկու ոսպնյակների միջև եղած այն էֆֆեկտիվ հեռավորությունը, որի դեպքում կստացվի առանձին-առանձին էֆֆեկտիվ ուժեղացում:

Սկզբում ոսպնյակները տեղադրվել են իրարից 4մմ, այսինքն 1 $\lambda$ , հեռավորության վրա: Փորձի միջոցով ստացվել է 13dB ուժեղացում (նկար 10): Նկարից երևում է նաև ոսպնյակների միջև եղած հեռավորության արդյունքում ստացված -12dB մակարդակը, այսինքն ինչպես են իրար վրա ազդում:



**Նկար 10.** Ոսպնյակների միջև հեռավորությունը 4մմ:

Նույն փորձը կատարվել է նմուշներն իրարից 3մմ, 2մմ և 1մմ հեռավորության վրա տեղադրելով: 3մմ դեպքում ուժեղացումը ստացվել է 13dB, իսկ ոսպնյակների

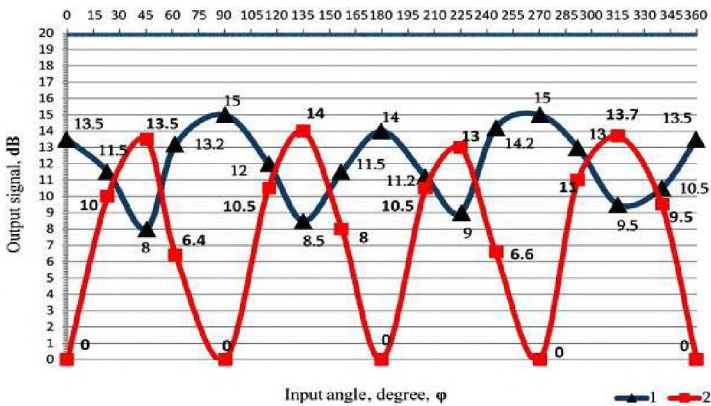


իրար վրա ազդելու մակարդակը  $-7,5\text{dB}$ : 2մմ դեպքում ուժեղացումը ստացվել է  $13\text{dB}$ , իսկ ոսպնյակների իրար վրա ազդելու մակարդակը  $-4\text{dB}$ : 1մմ դեպքում ուժեղացումը ստացվել է  $12,5\text{dB}$ , իսկ ոսպնյակների իրար վրա ազդելու մակարդակը  $4\text{dB}$ , այսինքն ոսպնյակները լրիվ իրար վրա ազդել են:

Այսինքն ոսպնյակների միջև էֆֆեկտիվ հեռավորությունը, որտեղ ոսպնյակները իրար վրա չեն ազդում  $4\text{մմ}$ -ն է, այսինքն  $1\lambda$ :

**3.3 պարագրաֆում** ներկայացված է բևեռացման հարթության պտտումը մեկ գոտով ֆրենեյլյան ոսպնյակներում: Ոսպնյակը գլանաձև տեսք ունի, որի երկարությունը  $16\text{մմ}$  է, իսկ հիմքի տրամագիծը՝  $14\text{մմ}$ : Պտտելով ոսպնյակը նկատվել է, որ բոլոր  $\varphi = 45^\circ$  դեպքում ազդանշանը նվազում է, իսկ  $\varphi = 90^\circ$  դեպքում՝ աճում, որի ուժեղացման գործակիցը՝  $6-7\text{dB}$  է (նկար 11-1):

Դիտարկվել է նաև այն դեպքը, երբ ընդունիչ անտենան հաղորդիչ անտենայի նկատմամբ  $\varphi = 90^\circ$ -ով պտտված է, այսինքն շրջված ալիքատար է տեղադրված: Այս դեպքում ոսպնյակը պտտելով նկատվել է, որ բոլոր  $\varphi = 90^\circ$  աստիճանների դեպքում ազդանշան չի անցնում այսինքն լրիվ փակում է, իսկ  $\varphi = 45^\circ$  աստիճանների դեպքում հասնում է առավելագույնի (նկար 11-2):



**Նկար 11.** Բևեռացման հարթության պտույտը  $77\text{GHz}$ -ի վրա:  
 1– Ուղիղ ալիքատարի դեպքում, 2–Շրջված ալիքատարի դեպքում:

## ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

Ատենախոսության շրջանակներում կատարված հետազոտությունները ցույց են տվել, որ ծակոտկեն դիէլեկտրիկ կառուցվածքների հիման վրա կարելի է պատրաստել էֆֆեկտիվ բեռաշրջիչ, միևնույն ժամանակ ցույց է տրված, որ նույն կառուցվածքների միջոցով կարելի է կառուցել հարթ ոսպնյակներ և իրականացնել ինտեգրման գործընթաց, այսպիսով մի կառուցվածքում համատեղել էլեկտրամագնիսական ալիքների ղեկավարման տարբեր գործառույթներ բնորոշ ոսպնյակներին, բևեռաշրջիչներին և, զտիչներին: Ցույց է տրվել, որ հետազոտվող ծակոտկեն կառուցվածքն ապահովում է բևեռացման պտույտի ավելի մեծ անկյուն տվյալ միջավայրով ալիքի ավելի փոքր ճանապարհ անցնելու պարագայում ի համեմատ ավանդական բևեռաշրջիչների ի հաշիվ դիէլեկտրիկ թափանցելիության թենզորի ցանկալի ասիմետրիկ կոնֆիգուրացիաների ապահովման շնորհիվ: Ստացվել է նաև շրջանաձև բևեռացում, որը շատ կարևոր է միկրոալիքային տիրույթում, հատկապես կապի ոլորտում, ինչպես նաև արբանյակային կապի համար: Հայտնաբերվել է, որ համեմատաբար ցածր արդյունարար դիէլեկտրիկ թափանցելիությամբ ( $\epsilon < 4$ ), ալիքի երկարության կարգի չափերով, որպես մետանյութ ծառայող 2D անիզոտրոպությամբ հարթ ծակոտկեն շերտը կարող է ծառայել որպես շրջող բևեռացմամբ ոսպնյակային անտենա: Հարթ դիէլեկտրիկ ոսպնյակը կարելի է կիրառել SՀց և ինֆրակարմիր տիրույթներում ընդունիչների զգայնությունը բարձրացնելու համար:

Ծակոտկեն դիէլեկտրիկների ծակոտկենների խտության փոփոխության միջոցով կարելի է ղեկավարել համակարգը, ընդհանուր էֆֆեկտիվ դիէլեկտրիկ թափանցելիության թենզորը, հաճախությունների լայն տիրույթում: Ծակոտկենի չափերը փոխելով կարելի է ստանալ տարբեր չափերի-հաստությունների շերտավոր միջավայրեր, իսկ որոշակի չափի ժամանակ ստանալ ֆոտոնիկ արգելված գոտի, այսինքն իրականացնել այնպիսի ֆիլտր, որի մի հատվածը բաց կթողնի միայն մեզ պիտանի հաճախություններ և կպտտի բևեռացումը, իսկ մյուս հատվածը կանդրադարձնի հաճախությունները, ինչպես նաև ոսպնյակ կարող է լինել, այսինքն ընդունիչում կգումարվի ինտենսիվությունը:

Ամբողջովին դիէլեկտրիկական մետանյութի օգնությամբ իրականացնելով երկրորդային աղբյուրների փուլափամաձայնեցված բաշխում, կարելի է ստանալ առաջնային ճառագայթման ուղղորդվածությունը և հոսքի խտությունը գերազանցող ուղղորդված ճառագայթում:

Ռադարներում, արագացուցիչներում, պլազմատրոններում և այլ մեծ հզորության աղբյուրներում ձևավորված ճառագայթման կառավարման համար անհրաժեշտ կայուն և դիմացկուն բևեռացուցիչները կարելի է ստեղծել ծակոտկեն արհեստական կերամիկական կորդիերիտից, որն աչքի է ընկնում փոքր դիէլեկտրիկ կորուստներով և ջերմային ընդարձակման գործակցով:

## Հղված գրականություն

- [1] **M. Berg, T. Tuovinen, and E. Salonen**, “Artificial Anisotropic Dielectric Material for Antenna Polarization Rotation”, In Electromagnetics Research Symposium — Spring (PIERS), St Petersburg, Russia, 22–25 May 2017.
- [2] **Jahani S., Jacob Z.** All-dielectric metamaterials. *Nature Nanotechnology*. 2016;11(1): 23–26. DOI: 10.1038/nnano.2015.304
- [3] **N. P. Zhuck, K. Seckemann, and S. N. Shulga**, “Effective permittivity of a statistically inhomogeneous medium with strong permittivity fluctuations,” *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 44, pp. 169-195, 2004.
- [4] **S. S. Xiao, L. F. Shen, and S. L. He**, “A plane-wave expansion method based on the effective medium theory for calculating the band structure of a two-dimensional photonic crystal,” *Phys. Lett. A* 313, pp.132-138, 2003.
- [5] **Bardi, I., Remski, R., Perry, D., and Gendes, Z.**, “Plane wave scattering from frequency selective surfaces by the finite-element method”, *IEEE Trans. Magn.*, 2002, 38, (2), pp. 641-644.
- [6] **Hitoshi Ohsato, Jeong-Seog Kim, A-Young Kim, Chae-II Cheon, and Ki-Woong Chae**, “Millimeter-Wave Dielectric Properties of Cordierite/Indialite Glass Ceramics,” *Japanese Journal of Applied Physics* 50, pp 09NF01-1-09NF01-5, 2011.
- [7] **Chen Ding and Kwai-Man Luk**, “A Wideband High-Gain Circularly-Polarized Antenna Using Artificial Anisotropic Polarizer”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2019.
- [8] **M. Berg, T. Tuovinen, and E. Salonen**, “Artificial Anisotropic Dielectric Material for Antenna Polarization Rotation”, In Electromagnetics Research Symposium — Spring (PIERS), St Petersburg, Russia, 22–25 May 2017.
- [9] **T. Tuovinen, E. T. Salonen, and Markus Berg**, “An Artificially Anisotropic Antenna Substrate for the Generation of Circular Polarization”, *IEEE Transactions on antennas and propagation*, Vol. 64, no. 11, November 2016, pp. 4937-4942.

## Հրատարակված աշխատանքների ցուցակ

1. **A. Hakhoumian, A. Sargsyan**, “Single zone Fresnel dielectric plate antenna”, 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz) (2019).
2. **A. N. Sargsyan**, “2D Artificial dielectric periodic structure optimization for polarization rotator”, International Conference on Microwave & THz Technologies, Wireless Communications and OptoElectronics, IEEE Xplore, (2022).
3. **A. N. Sargsyan**, “The circular polarization in a 2D periodic artificial anisotropic dielectric medium”, *Proc. YSU A Phys. Math. Sci.* **57**(2), p. 62–68 (2023).

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУМЕРНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ  
СТРУКТУР ДЛЯ МИКРОВОЛНОВЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

АННОТАЦИЯ

Исследования, проведенные в рамках диссертации, показали, что на основе пористых диэлектрических структур можно создать эффективный поляризатор, в то же время показано, что с использованием тех же структур можно построить плоские линзы и осуществить процесс интеграции, объединив таким образом в одной структуре различные функции контроля электромагнитных волн, характерные для линз, поляризаторов и фильтров.

Показано, что исследованная пористая структура обеспечивает больший угол поворота поляризации при более коротком пути волны через данную среду по сравнению с традиционными поляризаторами за счет обеспечения желаемых асимметричных конфигураций тензора диэлектрической проницаемости.

Также получена круговая поляризация, что очень важно в СВЧ-диапазоне, для спутниковой связи, а также в антеннах связи.

Обнаружено, что двумерный анизотропный плоский пористый слой с относительно низкой эффективной диэлектрической проницаемостью ( $\epsilon < 4$ ), размерами порядка длины волны, служащий метаматериалом, может служить линзой антенной обратной поляризации.

Плоская диэлектрическая линза может быть использована для повышения чувствительности приёмников в ТГц и инфракрасном диапазонах.

За счет изменения плотности пористых диэлектриков система может управлять тензором полной эффективной диэлектрической проницаемости в широком диапазоне частот.

Изменяя размер пориста, можно получить слоистые среды разных размеров и толщин, а при определенном размере получить фотонную запрещенную зону, то есть реализовать такой фильтр, одна часть которого будет выделять только подходящие нам частоты и будет вращать поляризацию, а другая часть будет отражать частоты, в тоже время может служить как линза, то есть интенсивность на приемнике будет суммироваться.

Реализовав синхронное распределение вторичных источников с помощью полностью диэлектрического метаматериала, можно получить направленное излучение, превышающее направленность и плотность потока первичного излучения.

Стабильные и долговечные поляризаторы, необходимые для управление излучения в радарах, ускорителях, плазмотронах и других источниках большой мощности, могут быть изготовлены из пористого искусственного керамического кордиерита с низкими диэлектрическими потерями и коэффициентом теплового расширения.

INVESTIGATION OF 2D DIELECTRIC PERIODIC STRUCTURE FOR MICROWAVE APPLICATIONS

ANNOTATION

The research conducted within the framework of the dissertation showed that an effective polarizer can be created based on porous dielectric structures, at the same time it was shown that using the same structures it is possible to construct flat lenses and implement the integration process, thus combining in one structure various functions of the controlling of electromagnetic waves, characteristic of lenses, polarizers and filters.

It was shown that the studied porous structure provides a larger angle of polarization rotation with a shorter wave path through a given medium compared to traditional polarizers due to the desired asymmetric configurations of the dielectric permittivity tensor.

Circular polarization was also obtained, which is very important in the microwave range, for satellite communications, and in communication antennas.

It was found that a two-dimensional anisotropic flat porous layer with a relatively low effective permittivity ( $\epsilon < 4$ ), with dimensions on the order of a wavelength, serving as a metamaterial, can serve as a reverse polarization lens antenna.

A flat dielectric lens can be used to increase the sensitivity of receivers in the THz and infrared ranges.

By changing the density of porous dielectrics, the system can control the tensor of the total effective permittivity in a wide frequency range.

By changing the size of the porous, it is possible to obtain layered media of different sizes and thicknesses, and at a certain size to obtain a photonic band gap, that is, to implement such a filter, one part of which will select only the frequencies suitable for us and will rotate the polarization, and the other part will reflect the frequencies, at the same time it can serve as a lens, that is, the intensity at the receiver will be summed up.

By implementing a synchronous distribution of secondary sources using a fully dielectric metamaterial, it is possible to obtain directed radiation that exceeds the directivity and flux density of the primary radiation.

Stable and durable polarizers required for radiation control in radars, accelerators, plasma torches and other high-power sources can be made from porous artificial ceramic cordierite with low dielectric losses and thermal expansion coefficient.