

**Լ.Խ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Տ.Վ. ԱՆՏՈՆՅԱՆ, Ս.Վ. ԱՆՏՈՆՅԱՆ,
Ռ.Ա. ՀԱԿՈՐՅԱՆ, Գ.Ա. ԾԱՏՈՒՐՅԱՆ**

ԿՈՆԱՁԵՎ ՃԵՂՔՈՎ ՏՊԱՍԱԼԱՅԻՆ ԱՆՏԵՆԱՅԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ

Դիտարկված են տպասալային անտենայի երկու՝ գծային կոնաձև ճեղքով տպասալային անտենայի (LTSA) և դրա հիմքում ընկած կոնաձև ճեղքով սանրաձև տպասալային անտենայի (CLTSA) կառուցվածքները: Ներկայացված են նշված անտենաների ուղղվածության դիագրամները E և H հարթություններում բևեռային կորդինատային համակարգում: Նախագծված անտենաները աշխատում են 1...4 ԳՀց հաճախականային տիրույթում: Բերված են կոնաձև ճեղքով սանրաձև տպասալային անտենայի NI PXIe-5630 շղթաների վեկտորային անալիզատորի միջոցով չափված և FEKO ծրագրային միջավայրում մոդելավորված ըստ լարման կանգուն ալիքի գործակցի համեմատական արդյունքները:

Առանցքային բառեր. կոնաձև ճեղքով տպասալային անտենա, FEKO ծրագրային փաթեթ, ուղղվածության դիագրամ, ըստ լարման կանգուն ալիքի գործակցի, NI PXIe-5630-VNA շղթաների վեկտորային անալիզատոր:

Ներածություն: Վերջին տարիներին անտենային տեխնիկայում նախագծվում են հաճախականային լայն շերտում աշխատող տեսածրող անտենաներ: Ճառագայթի էլեկտրական կառավարմամբ գերլայնաշերտ անտենաները անհրաժեշտ են որպես տարրեր ռադիոէլեկտրոնային պաշտպանության համակարգերում, ինչպես և թռչող ապարատների ինտեգրված անտենային համակարգերի կառուցման համար:

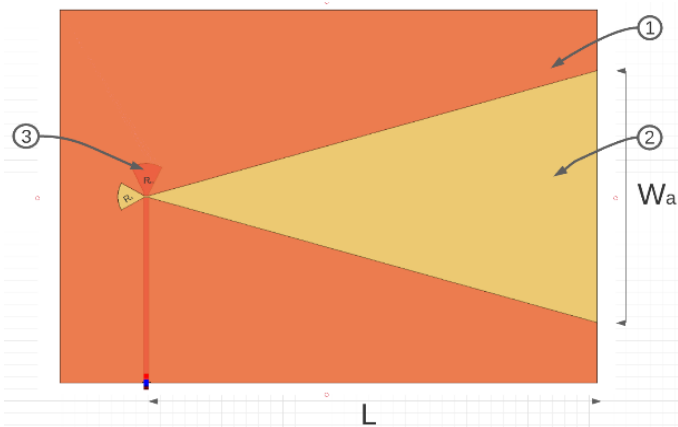
Անտենային տեխնիկայում ամենատարածված գերլայնաշերտ անտենաներից է TSA -ն (Tapered Slot Antenna-կոնաձև ճեղքով անտենա): Այս կառուցվածքով անտենաներն ունեն մի շարք առավելություններ՝ փոքր չափսեր, պատրաստման տեսանկյունից պարզ են ու էժան, ունեն գծային և շրջանային բևեռացում, հեշտ համատեղելի են և չեն պահանջում համաձայնեցնող շղթաներ, ապահովում են բարձր ուժեղացման գործակցից փոքր զանգվածի և չափսերի դեպքում, պատրաստվում են տպասալային տեխնոլոգիայի հիման վրա:

TSA անտենան բաղկացած է կոնաձև ճեղքից: Անտենայի սնուցումը կատարվում է նեղ կողային ճեղքի միջոցով: Ճառագայթմանը հակառակ ուղղությամբ կողմը կարճ միացված է քառորդ ալիքային $\frac{\lambda}{4}$ խցանով: Անտենաների բացվածքի ձևը անմիջականորեն ազդում է դրանց ուղղվածության և հաճախականային բնութագրերի վրա: Բացվածքի հիմնական ձևերն են՝ պարաբոլային, գծային, Ֆերմի, Վիվալդի, երկէքսպոնենցիալ:

TSA խմբի անտենաներից սովորաբար նախագծվում են Վիվալդի, գծային կոնաձև ճեղքով (LTSA) և ճեղքի հաստատուն լայնությամբ (CWSA) անտենաները [1]:

Աշխատանքի նպատակն ու իրականացման մեթոդները: նախագծվել են գծային կոնաձև ճեղքով տպասալային անտենա (LTSA) և դրա հիմքում ընկած կոնաձև ճեղքով սանրաձև տպասալային անտենա (CLTSA) 1...4 ԳՀց հաճախականային տիրույթում:

1. Գծային կոնաձև ճեղքով տպասալային անտենայի (LTSA) կառուցվածքը բերված է նկ.1 – ում: Անտենայի վերևի հատվածի ճեղքի լայնությունը՝ W_a , ճեղքի աղեղի շառավիղը՝ R_s և ճեղքից դեպի բացվածք երկարությունը՝ L : Բացվածքի երկարությունը հավասար է $\frac{\lambda_{max}}{2}$: Անտենան բաղկացած է մետաղական (1) և դիէլեկտրիկ (2) շերտերից: Ընտրված է FR4 մակնիշի դիէլեկտրիկը, որի դիէլեկտրիկ թափանցելիությունը՝ $\epsilon_r = 4,4$; դիէլեկտրիկ շերտի հաստությունը՝ $h = 1,6$ մմ; մետաղական հաղորդչի հաստությունը՝ 0.1 մմ; $tg\delta = 0,017$: Անտենայի չափսերն են՝ $w = 297$ մմ; $l = 210$ մմ: Սնուցումը կատարվել է կեսաալիքային միկրոշերտավոր գծի միջոցով, որի ալիքային դիմադրություն 50 Օմ է: Սնուցումը տրված է անտենայի հակառակ կողմում: Այն բաղկացած է միկրոշերտավոր գծից, որի լայնությունը՝ $2,9$ մմ է, և գիծը եզրափակող աղեղից, որի շառավիղը հավասար է $R_M = \frac{\lambda_s}{4} = 14,5$ մմ [2,3,4]: Ճեղքից դեպի անտենայի բացվածք երկարությունը գտնվում է հետևյալ տիրույթում՝ $5\lambda_s \geq L \geq 2,4\lambda_s$, այս անտենայի դեպքում այն հավասար է 257 մմ: Նկ.1-ում տպասալի վերևի հատվածում ճառագայթման մետաղական շերտն է (1), իսկ հակառակ կողմում՝ սնուցման աղբյուրը (3):



Նկ. 1. Գծային կոնաձև ճեղքով տպասալային անտենայի կառուցվածքը

Անտենայի ճեղքի երկրաչափական չափսերը որոշվում են հետևյալ բանաձևերով՝

$$W_{max} = \frac{c}{f_{min}\sqrt{\varepsilon_{էֆ}}} = 141 \text{ մմ}, \quad (1)$$

$$W_{min} = \frac{c}{f_{max}\sqrt{\varepsilon_{էֆ}}} = 35 \text{ մմ}, \quad (2)$$

որտեղ c -ն լույսի արագությունն է վակուումում; f_{max} և f_{min} -ը՝ անտենաների աշխատանքային առավելագույն և նվազագույն հաճախականությունները;

$$\varepsilon_{էֆ} = \frac{1}{(\lambda_s/\lambda_0)^2} \quad (3)$$

$$\lambda_s = \lambda_0 \sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r + 1}}, \quad (4)$$

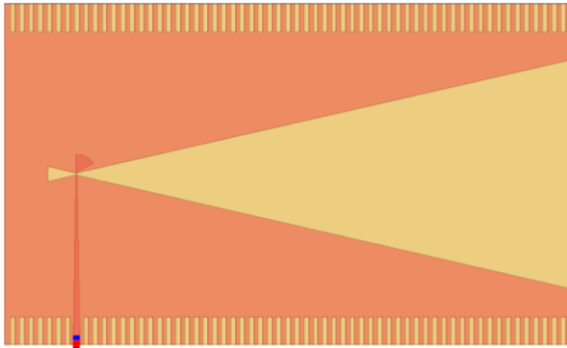
որտեղ λ_s -ը՝ ալիքի երկարությունն է ճեղքում:

Ճեղքի շառավիղը հավասար է $R_s = \frac{\lambda_s}{4} = 14.5$ մմ [5]:

Անտենան առավելագույնը ճառագայթում է իր առանցքի երկայնքով, իսկ անտենայի սնուցման կետից մինչև բացվածք երկարության մեծացումը հանգեցնում է ավելի ինտենսիվ ճառագայթման:

2. Կոնաձև ճեղքով սանրաձև տպասալային անտենայի (CLTSA) կառուցվածքը բերված է նկ. 2-ում: Ի տարբերություն գծային կոնաձև ճեղքով անտենայի՝ սովյալ դեպքում առկա են X առանցքին համաչափ Y առանցքին զուգահեռ պղնձե հաղորդչից կտրված շերտերը: Տվյալ անտենայի դեպքում FEKO ծրագրային փաթեթի միջոցով որոշվել են տպասալի ամբողջ երկարությամբ տեղադրված սանրի բաղադրիչների օպտիմալ չափսերը՝ $c_l = 0.26 \cdot \lambda_s = 15.6$ մմ երկարությունը, $c_w = 0.048 \cdot \lambda_s = 2.784$ մմ լայնությունը, ինչի արդյունքում բարելավվել է անտենայի ուժեղացման գործակիցը [6]:

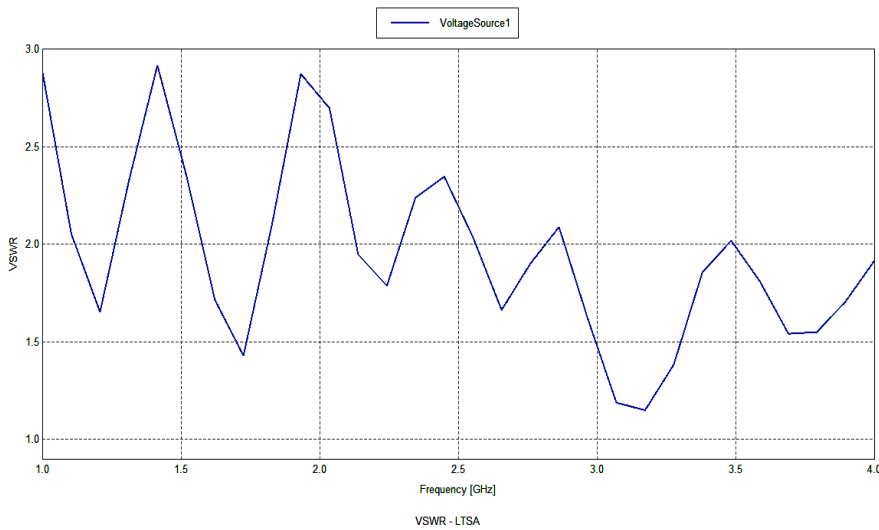
Անտենայի դիմադրության և 50 Օմ գծի միջև համաձայնեցումը իրականացվել է մեկ այլ եղանակով. փոփոխվել է սնուցման գծի կառուցվածքը: Մուտքում սնուցման գծի լայնությունը մնացել է նույնը (2.9 մմ), այնուհետև աստիճանաբար գծայնորեն փոքրանալով՝ այն ընդունել է 0.5 մմ արժեքը, ինչը հանգեցրել է ավելի լավ համաձայնեցմանը 50 Օմ սնուցման գծի հետ և կանգուն ալիքի գործակցի նվազեցմանը: Փոփոխվել է նաև սնուցման գիծը եզրափակող սեկտորի դիրքը. այն պտտվել է իր կենտրոնի շուրջ 30° -ով (նկ. 2):



Նկ. 2. Կոնաձև ճեղքով սանրաձև տպասալային անտենայի կառուցվածքը

Հետազոտման արդյունքները: Նախագծված կոնաձև ճեղքով սանրաձև տպասալային անտենայի հաշվարկների հիման վրա FEKO ծրագրային միջավայրում [7,8] կատարվել է անտենայի ուղղվածության դիագրամի, ըստ լարման կանգուն ալիքի գործակցի (ԼԿԱԳ) պարամետրերի հաշվարկ:

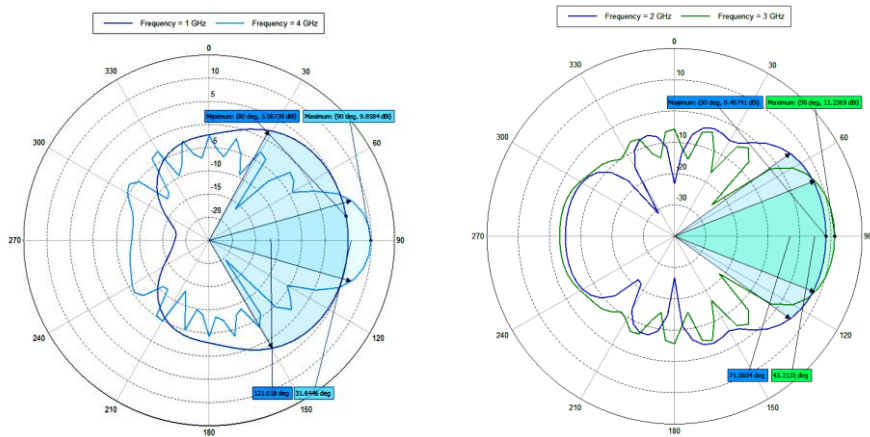
Ըստ լարման կանգուն ալիքի գործակցի (ԼԿԱԳ) հաճախականային կախվածությունը 1...4 ԳՀց հաճախականային տիրույթում բերված է նկ.3-ում: Այս անտենայի դեպքում այն ցածր է 3-ից ($ԼԿԱԳ < 3$):



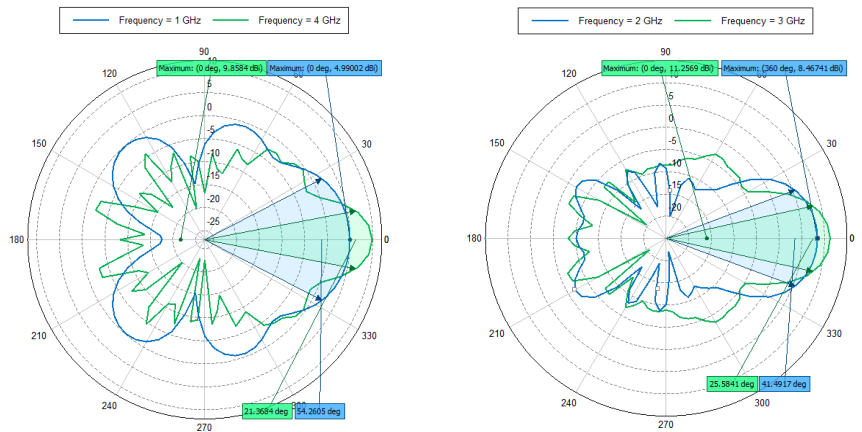
Նկ. 3. Գծային կոնաձև ճեղքով տպասալային անտենայի կանգուն ալիքի գործակցի կախվածությունը հաճախականությունից

Գծային կոնաձև ճեղքով տպասալային անտենայի ուղղվածության դիագրամի (ՈւԴ) գլխավոր թերթիկի լայնությունը ըստ կես հզորության մակարդակի

աշխատանքային տիրույթում E և H հարթություններում համապատասխանաբար կազմում է 1 ԳՀց -ի դեպքում՝ $2\theta_{0,5} = 121^\circ$, $2\varphi_{0,5} = 54.26^\circ$, 2 ԳՀց-ի դեպքում՝ $2\theta_{0,5} = 71.06^\circ$, $2\varphi_{0,5} = 41.29^\circ$, 3 ԳՀց -ի դեպքում՝ $2\theta_{0,5} = 43.2^\circ$, $2\varphi_{0,5} = 25.58^\circ$, 4ԳՀց -ի դեպքում՝ $2\theta_{0,5} = 31.64^\circ$, $2\varphi_{0,5} = 21.6^\circ$ իսկ ուժեղացման գործակիցը 5.007 դԲի, 8.46 դԲի, 11.25 դԲի, 9.86 դԲի (համեմատած շրջուղված անտենայի հետ) նույն հաճախականությունների դեպքում (նկ.4 ա,բ):



ա)

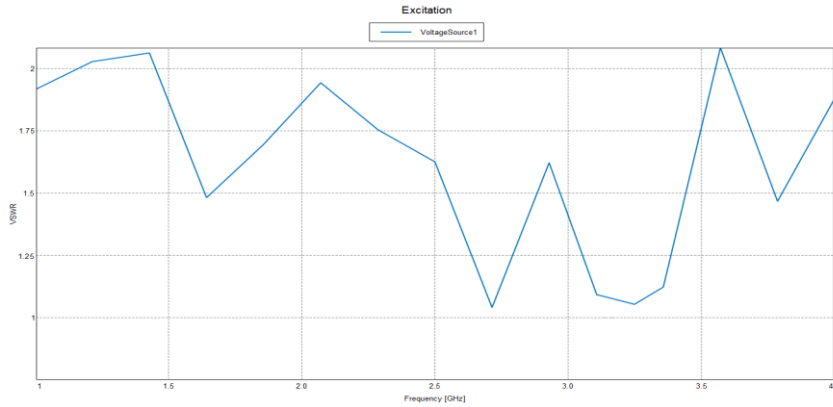


բ)

Նկ. 4. Կոնաձև ճեղքով սանրաձև անտենայի ՈՒԴ – ն E (ա) և H (բ) հարթություններում՝ բևեռային կորդինատային համակարգում

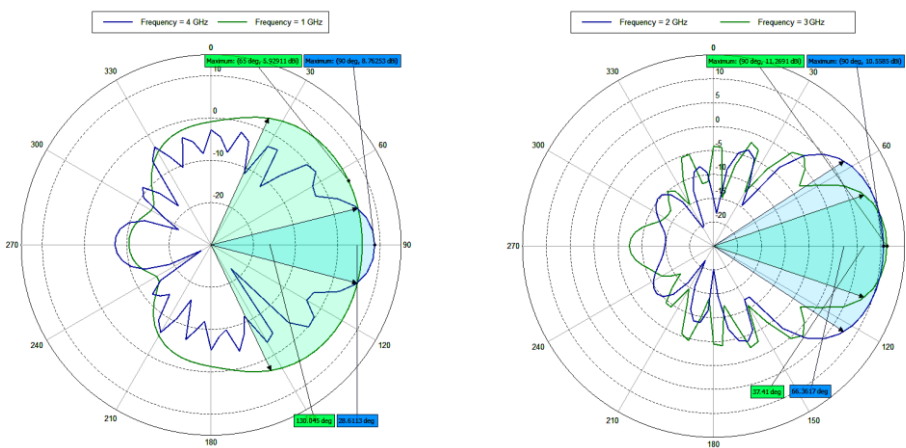
Կոնաձև ճեղքով սանրաձև անտենայի ըստ լարման կանգուն ալիքի գործակցի կախվածությունը հաճախականությունից և անտենայի ՈՒԴ-ն՝ E և H հարթություններում 1...4 ԳՀց հաճախականությունների տիրույթում բերված են նկ.5

և 6-ում: Այս անտենայի դեպքում ըստ լարման կանգուն ալիքի գործակիցը ցածր է 2.1-ից (նկ. 5):

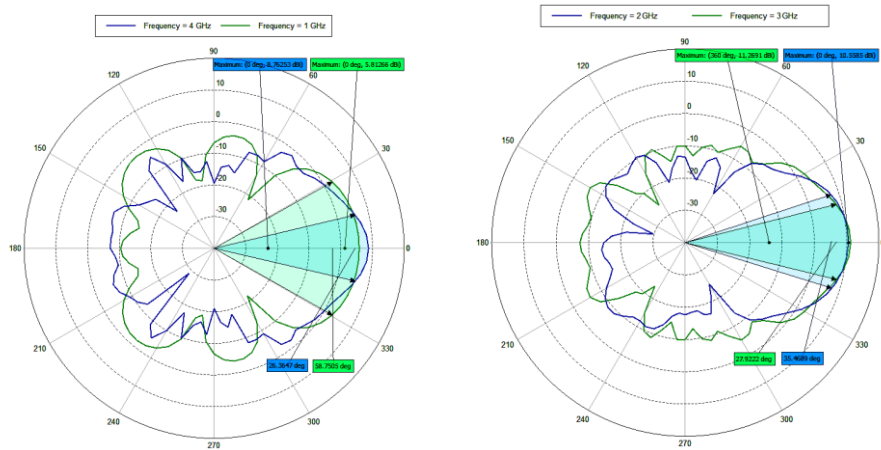


Նկ. 5. Կոնաձև ճեղքով սանրաձև տպասալային անտենայի ըստ լարման կանգուն ալիքի գործակիցի կախվածությունը հաճախականությունից

Կոնաձև ճեղքով սանրաձև տպասալային անտենայի ՈւՂ-ի գլխավոր թերթիկի լայնությունը ըստ կես հզորության մակարդակի աշխատանքային տիրույթում E և H հարթություններում համապատասխանաբար կազմում է 1 ԳՀց-ի դեպքում՝ $2\theta_{0,5} = 130.04^\circ$, $2\varphi_{0,5} = 58.75^\circ$, 2 ԳՀց-ի դեպքում՝ $2\theta_{0,5} = 66.36^\circ$, $2\varphi_{0,5} = 35.46^\circ$, 3ԳՀց -ի դեպքում՝ $2\theta_{0,5} = 37.41^\circ$, $2\varphi_{0,5} = 27.9^\circ$, 4ԳՀց -ի դեպքում՝ $2\theta_{0,5} = 28.61^\circ$, $2\varphi_{0,5} = 26.36^\circ$, իսկ ուժեղացման գործակիցը 5.92 դԲի, 11.26 դԲի, 10.55 դԲի, 8.76 դԲի (համեմատած շրջուղված անտենայի հետ) նույն հաճախականությունների դեպքում (նկ.6 ա,բ):



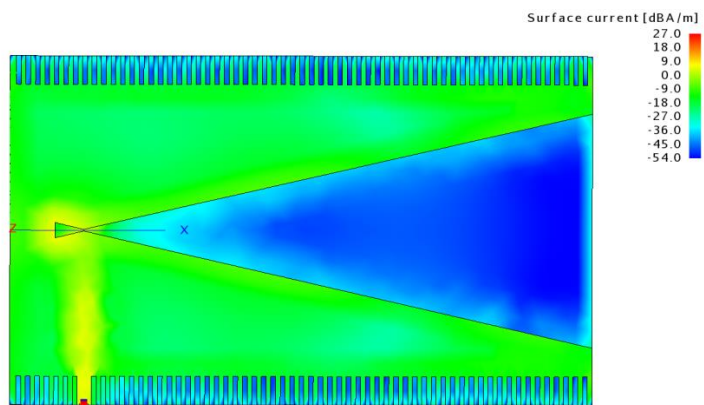
ա)



բ)

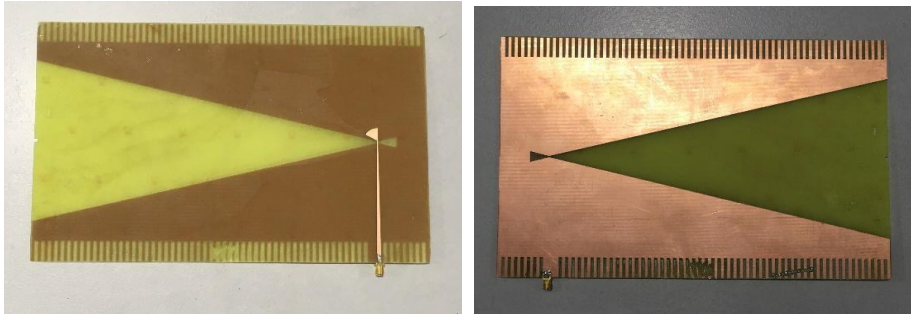
Նկ. 6. Կոնաձև ճեղքով սանրաձև անտենայի ՈՒԴ – ն E (ա) և H (բ) հարթություններում՝ բևեռային կորդինատային համակարգում

Հոսանքների բաշխվածությունը անտենայի ամբողջ մակերեսով (դԲ-ով) բերված է նկ. 7- ում:

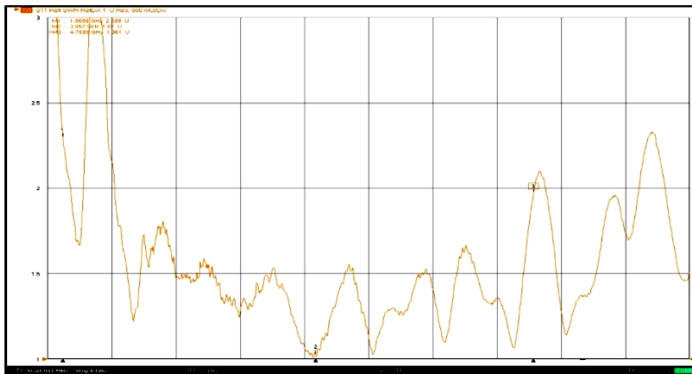


Նկ. 7. Կոնաձև ճեղքով սանրաձև անտենայի հոսանքների բաշխվածությունը ամբողջ մակերեսով (դԲ)

Հաշվարկված պարամետրերի հիման վրա պատրաստվել է իրական անտենա (նկ. 8), որը թեստավորվել է NI PXIe 5630 շղթաների վեկտորային անալիզատորով: Չափվել է պատրաստված անտենայի իրական ըստ լարման կանգուն ալիքի գործակցի (ԼԿԱԳ) պարամետրը (նկ. 9): Չափման արդյունքները ցույց են տվել, որ իրական անտենայի ԼԿԱԳ<2:



Նկ. 8. Կոնաձև ճեղքով սանրաձև պատրաստված անտենան



Նկ. 9. NI PXIe 5630 շղթաների վեկտորային անալիզատորով թեստավորված կոնաձև ճեղքով սանրաձև պատրաստված անտենայի կանգուն ալիքի գործակցի կախվածությունը հաճախականությունից

Եզրակացություն.

1. Նախագծվել են գծային կոնաձև ճեղքով տպասալային անտենա և դրա հիմքում ընկած կոնաձև ճեղքով սանրաձև տպասալային անտենա 1...4 ԳՀց հաճախականային տիրույթում:
2. 1...4 ԳՀց հաճախականային տիրույթում ուղղվածության դիագրամի գլխավոր թերթիկի լայնությունը ըստ կես հզորության մակարդակի գտնվում է $2\theta_{0,5} = 28.61^\circ \dots 130.04^\circ$ միջակայքում՝ E հարթությունում և $2\varphi_{0,5} = 26.36^\circ \dots 58.75^\circ$ ՝ H հարթությունում:
3. Ուժեղացման գործակիցը 1, 2, 3, 4ԳՀց հաճախականություններում համապատասխանաբար՝ 5.92 դԲի, 11.26 դԲի, 10.55 դԲի, 8.76 դԲի (համեմատած շրջուղղված անտենայի հետ):
4. NI PXIe5630 վեկտորային անալիզատորի միջոցով չափված իրական անտենայի և FEKO ծրագրային միջավայրում մոդելավորված ԼԿԱԳ արժեքը 1...4 ԳՀց հաճախականային տիրույթում համընկնում են:

5. Այս անտենան կարող է օգտագործվել ռադիոլուկացիոն կայաններում, որպես անտենային ցանցի տարր:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Vedvyas Jayprakash Dwivedi, Vivek Unadkat.** Design of Corrugated Linearly Tapered Slot Antenna: Theory and Applications.- 1th edition.- Lambert Academic Publication, 2012.- 105p.
2. **Pozar David M.** Microwave Engineering.- 4th edition.- John Wiley & Sons, 2011.- 756 p.
3. **Bernd Schuppert.** Microstrip / Slotline Transitions: Modeling and Experimental Investigation: IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques.- August, 1988.- Vol.36, No.8.- 11p.
4. **Tumialan Luis A.** Linear Tapered Slot Antenna.- New Jersey Institute of Technology, 1996.- 71p.
5. **Vincent Tseng and Cheng-Yuan Chang.** Linear Tapered Slot Antenna for Ultra-Wideband Radar Sensor: Design Consideration and Recommendation.- MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute), 2019, March 9.- 24p.
6. Broadband high-gain Linearly Tapered Slot Antenna with outside corrugations /**Dae-Gi Yoon, Young-Pyo Hong, Yong-Jun An, Jeon-Sang Jang, et al** // IEICE Electronics Express. -2011.-Vol.8, No.4. - P.202-208.
7. **Elsherbeni Atef Z., Payam Nayeri, Reddy C. J.** Antenna Analysis and Design Using FEKO Electromagnetic Simulation Software.- SciTech Publishing, Edison, NJ., 2014.
8. **Курушин А.А, Банков С.Е, Грибанов А.Н** Электродинамическое моделирование антенных и СВЧ структур с использованием FEKO.-М.: Солон-пресс, 2017.-412с.

**Л.Х. ХАЧАТРЯН, Т.В. АНТОНЯН, С.В. АНТОНЯН, Р.А. АКОПЯН,
Г.А. ЦАТУРЯН**

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕЧАТНОЙ АНТЕННЫ С КОНИЧЕСКОЙ ЩЕЛЬЮ

Рассмотрены две конструкции печатной антенны: линейно-коническая щелевая печатная антенна (LTSA) и созданная на ее основе гребенчатая печатная антенна с конической щелью (CLTSA). Представлены диаграммы направленности указанных антенн в полярной системе координат в плоскостях E и H . Разработанные антенны работают в рабочем диапазоне частот $1..4 ГГц$. Представлены результаты сравнения измеренных с помощью векторного анализатора цепей **NI PXIe-5630** и моделированных в среде FEKO значений зависимости коэффициента стоячей волны по напряжению от частоты гребенчатой печатной антенны с конической щелью.

Ключевые слова: печатная антенна с конической щелью, программный пакет FEKO, диаграмма направленности, коэффициент стоячей волны по напряжению, векторный анализатор цепей NI PXIe-5630.

**L.KH. KHACHATRYAN, T.V. ANTONYAN, S.V. ANTONYAN,
R.A. HAKOBYAN, G.A. TSATURYAN**

DESIGN OF LINEAR TAPERED SLOT ANTENNA

Two structures of antennas: linear tapered slot antenna (LTSA) and based on LTSA corrugated linearly tapered slot antenna (CLTSA) are presented. The patterns of the mentioned antennas in the E and H planes for the polar form are presented. The operating frequency of the designed antennas is 1...4 GHz. The frequency dependence of the voltage standing wave ratio (VSWR) on the developed corrugated linearly tapered slot antenna is measured by NI PXIe-5630 vector network analyzer. The comparison of the measured values and simulated values in FEKO environment are presented.

Keywords: tapered slot antenna, pattern, standing wave ratio, FEKO software package, NI PXIe-5630 vector network analyzer.

ՀՏԴ 621.396.218

Դ.Մ. ԱԼԵՔՍԱՆՅԱՆ, Դ.Շ. ՀՈՒՍԻԿՅԱՆ

**ԲԱԶՄԱՇԵՐՏ ՏՊԱՍԱԼԵՐԻ ՀԱՂՈՐԴԱՇԵՐՏԵՐԻ ՔԱՆԱԿԻ
ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՀԱՄԱԴՐՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՈՒՄԸ**

Մաթեմատիկական մոդելի միջոցով որոշվել են բազմաշերտ տպասալի (ԲՏ) հաղորդաշերտերի քանակը, ստանդարտ շեղումը, անբավարարության դիսկը, և ուսումնասիրվել է հաղորդաշերտերի քանակի կախվածությունը ԲՏ-ի կառուցվածքային պարամետրերից: Ուսումնասիրության արդյունքում բացահայտվել է ԲՏ-ի հաղորդաշերտերի քանակի ֆունկցիոնալ կախվածությունը կոնստրուկցիայի ինտեգրման աստիճանից, Ռենտի գործակցից, տարրերի տեղաբախշման քայլից, տարրերի ելքերի միջին քանակից, տպասալերի լցման գործակցից և հաղորդալարի լայնությունից:

Առանցքային բառեր. բազմաշերտ տպասալ, ինտեգրման աստիճան, Ռենտի ցուցիչ, լցման գործակցից:

Բազմաշերտ տպասալի նախագծումը կոնստրուկտորական նախագծման կենտրոնական հարցերից մեկն է: Հետևաբար՝ տպասալի երկրաչափական չափերի և նրա մակերեսի հիմնավորված ընտրությունը հնարավորություն է տալիս փոքրացնել տպասալերի և բլոկների կշիռը, ծավալը, և բարենպաստ պայմաններ են ստեղծվում կոնստրուկցիայի նախագծման հաջորդ փուլերի համար [1-11]:

Հարկ է նշել, որ ժամանակակից ավտոմատ նախագծման համակարգերը մշակման և նախագծման յուրաքանչյուր կարևոր փուլից առաջ անհրաժեշտաբար ունենում են նախնական գնահատման ենթափուլեր, որոնց նպատակն է նախօրոք կանխագուշակել մի քանի՝ կառուցվածքի ֆիզիկական իրագործելիու-