

**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]:

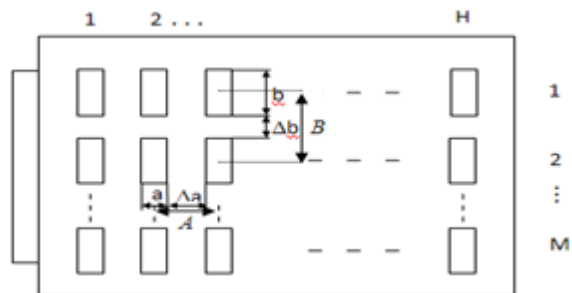
Հարկ է նշել, որ ժամանակակից ավտոմատ նախագծման համակարգերը մշակման և նախագծման յուրաքանչյուր կարևոր փուլից առաջ անհրաժեշտաբար ունենում են նախնական գնահատման ենթափուլեր, որոնց նպատակն է նախօրոք կանխագուշակել մի քանի՝ կառուցվածքի ֆիզիկական իրագործելիու-

թյան տեսանկյունից կարևոր կառուցվածքային պարամետրերը և բնութագրերը [4-11]: Օրինակ, բազմաշերտ տպասալի (ԲՏ) տարրերի քանակի աճը հանգեցնում է մոնտաժային դաշտի հաղորդաշերտերի քանակի ավելացման, սակայն դա սահմանափակում է, քանի որ դրանց մեծ քանակի դեպքում ԲՏ-երից ոչ բոլորը կարող են արտադրել: Ենթադրվում է, որ նախագծողը սխեմատեխնիկից ստանում է նախագծվող տպասալի էլեկտրական սխեման, իսկ կոնստրուկտորը, ելնելով այդ տեղեկությունից, կարողանում է գնահատել ԲՏ-ի հաղորդաշերտի քանակը տարրերի տեղադրման և ծրագծման աշխատանքներից առաջ, և ոչ թե նշված աշխատանքների ավարտից հետո է պարզվում, որ ԲՏ-ի հաղորդաշերտերի քանակն ավելի մեծ է տեխնոլոգիական թույլատրելի սահմանափակումից: Աշխատանքում փորձ է արվել հավանականային մոդելի միջոցով որոշակի կանոններով և հաջորդականությամբ (ալգորիթմով) որոշել ԲՏ-ի հաղորդաշերտերի քանակը:

Այսպես, ենթադրենք ԲՏ-ն մի հարթակ է, որի վրա մատրիցաձև տեղադրված են  $N$  քանակությամբ տարրեր: Տարրերի շարքերի քանակը հորիզոնական ուղղությամբ նշանակենք  $H$ , ուղղաձիգ ուղղությամբ՝  $M$ , տարրերի կենտրոնների միջև եղած հեռավորությունները հորիզոնական և ուղղաձիգ ուղղություններով՝ համապատասխանաբար  $A = (a + \Delta a)$  և  $B = (b + \Delta b)$ :

Հաղորդալարերով պատված ԲՏ-ի մոնտաժային դաշտի հարթակի մետաղաձածկ  $S_{մետ.}$  մակերեսի և հարթակի ամբողջ  $S$  մակերեսի հարաբերությունն անվանենք հաղորդաշերտերի հաղորդալարերի լցման գործակից (հաշվի չի առնվում հարթակի տեխնոլոգիական եզրաշերտը) [1, 2]:

$$K = S_{մետ.} / S : \tag{1}$$



Նկ. Տպասալում տեղաբախշված ինտեգրալ սխեմաների ընդհանուր տեսքը

Եթե հնարավոր է ստեղծել ամենափոքր  $d_{min}$  լայնությամբ հաղորդալարեր, ապա հաղորդալարերի մետաղաձածկ  $S_{մետ.}$  մակերեսը կլինի՝

$$S_{\text{մետ}} = d_{\text{min}} L,$$

որտեղ  $L$ -ը կոնստրուկցիայի հարթակի մոնտաժային դաշտի լարերի երկարությունների գումարն է:

ԲՏ-ի կոնստրուկցիայի հարթակի մոնտաժային դաշտի հաղորդաշերտերի քանակ ասելով կհասկանանք հետևյալ հարաբերությունը.

$$\gamma = \sum S_{\text{մետ}} / KS, \quad (2)$$

որտեղ  $\sum S_{\text{մետ}}$ -ը էլեկտրական միացումների լարային երկարությունների ընդհանուր մակերեսն է,  $S$ -ը՝ ԲՏ-ի հարթակի մոնտաժային դաշտի ամբողջ մակերեսը: Եթե  $H \times M = N$ , ապա՝

$$S = AHBM = ABN : \quad (3)$$

Պարզության համար միջտարրային կապերի լարային միացումների ընդհանուր գումարային երկարությունը կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով՝

$$L = \bar{\ell} \bar{n},$$

որտեղ  $\bar{\ell}$ -ը լարային միացումների գումարի միջին երկարությունն է,  $\bar{n}$ -ը՝ միջտարրային էլեկտրական կապերի միջին քանակը: Լարերի միջին երկարությունը գնահատելու համար օգտվենք հետևյալ բանաձևից [3].

$$\bar{\ell} = A \frac{(1-p)}{(1+p)} \frac{N^{\frac{P+1}{2}}}{(N^{0.5} - N^{0.5P})}, \quad (4)$$

որտեղ  $(A = B)$ -ն տարրերի տեղաբաշխման քայլն է,  $P$ -ն՝ Ռենտի գործակիցը ( $0.2 \leq P \leq 0.8$ ),  $N$ -ը՝ տարրերի քանակը ԲՏ-ի հարթակում:

Կամայական էլեկտրական սխեմայում միջտարրային էլեկտրական կապերի քանակը որոշվում է [2].

$$\bar{n} = tm_0(N + N^P), \quad (5)$$

որտեղ  $t$ -շղթաների ճյուղավորման գործակիցն է ( $0.5 \leq t \leq 1$ ): Այն ցույց է տալիս, թե մեկ շղթան միջին հաշվով քանի տարր է միացնում, իսկ  $m_0$ -ն տարրերի ելքերի միջին քանակն է: Էլեկտրական կապերի ստանդարտ շեղումը կլինի [3,12].

$$\sigma_n = tm_0(N^2 + N^{2p})^{0.5} : \quad (6)$$

Օգտվելով ( $L$ ), (4) և (5) արտահայտություններից՝ որոշենք լարերի գումարային միջին երկարությունը տպասալի կոնստրուկցիայում, երբ  $A = B$  :

$$L = \bar{\ell}\bar{n} = \frac{(1-p)m_0}{(1+p)} \frac{t(N + N^p)N^{\frac{p+1}{2}}}{(N^{0.5} - N^{0.5p})} A : \quad (7)$$

Քանի որ լարերի միջին  $\bar{\ell}$  երկարությունը և միջտարրային կապերի  $\bar{n}$  թիվը դետերմինացված մեծություններ են, ապա լարերի միջին երկարությունը և կապերի միջին քանակների ընդունած արժեքները ենթարկվում են նորմալ բաշխմանը, որոնց միջին արժեքները կլինեն [2,12].

$$L = \bar{n}\bar{\ell} = tm_0(N + N^p)\bar{\ell} : \quad (8)$$

Քանի որ  $\bar{n}$  և  $\bar{\ell}$  պատահական մեծություններն ունեն նորմալ բաշխում, ապա հաղորդաշերտերի քանակը նույնպես պատահական մեծություն է, ունի նորմալ բաշխում [12, էջ 209-210]:

Ստանդարտ շեղումը կլինի.

$$\sigma_L = \sigma_n\bar{\ell} = t\sigma_0(N^2 + N^{2p})^{0.5}\bar{\ell}, \quad (9)$$

որտեղ  $\sigma_0 = (m_0 - 2)/3$ -ն տարրերի էլքերի միջին քանակի ստանդարտ շեղումն է, որը որոշվում է երեք սիգմայի կանոնով, եթե չկան այլ տվյալներ [12, էջ 122], ( $m_0 \geq 3$ ):

Լարերի գումարային երկարությունների ընդունած արժեքների հավանականությունների նորմալ բաշխումը կլինի [12].

$$f(L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_L} \exp\left[-\frac{(L - \bar{\ell})}{2\sigma_L^2}\right] : \quad (10)$$

Լարերի միջին քառակուսային շեղումը՝

$$\sigma_L = \frac{(1-P)}{(1+P)} \frac{t\sigma_0(N^2 + N^{2p})^{0.5} N^{\frac{p+1}{2}}}{(N^{0.5} - N^{0.5p})} A, \quad (11)$$

ԲՏ-ի մոնտաժային դաշտի հաղորդաշերտերի քանակը՝

$$\bar{\gamma} = \frac{\sum S_{\text{մեռ.}}}{KS} = \frac{d_{\min} L}{KNAB} = \frac{(1-p)d_{\min} t m_0 (N + N^p) N^{0.5(p-1)}}{KB(1+P)(N^{0.5} - N^{0.5p})} : \quad (12)$$

Ստանդարտ շեղումը՝

$$\sigma_{\gamma} = \frac{\sigma_L}{KABN} = \frac{d_{\min} t \sigma_0 (1-p)(N^2 + N^{2p})^{0.5} N^{0.5(p-1)}}{KB(1+p)(N^{0.5} - N^{0.5p})} : \quad (13)$$

Ակնհակտ է, որ էլեկտրական միացումների լարային հաղորդալարերի մակերեսների գումարը երբեք չի գերազանցում տպասալի հարթակի մոնտաժային դաշտի մակերեսը, որի հետևանքով հաղորդալարերի լցման գործակիցը միշտ փոքր կլինի մեկից: Համաձայն [12]-ի՝ նորմալ բաշխման պատահական մեծությունը՝ կլինի.

$$\begin{cases} F(\bar{\gamma} + \sigma_{\gamma}) = 0.84 & \left\{ \begin{aligned} \gamma(P_{\gamma} = 0.997) &= \bar{\gamma} + 3\sigma_{\gamma} \\ \gamma(P_{\gamma} = 0.98) &= \bar{\gamma} + 2\sigma_{\gamma} \\ \gamma(P_{\gamma} = 0.84) &= \bar{\gamma} + \sigma_{\gamma}, \end{aligned} \right. \end{cases} \quad (14)$$

որտեղ  $F$ -ը մոնտաժային դաշտի հաղորդաշերտերի բաշխման ֆունկցիան է,

$\sigma_{\gamma}$ -ն՝ ստանդարտ շեղումը:

Օգտվելով (14) համակարգից՝ կարելի է գտնել հաղորդաշերտերի քանակի այն արժեքները, որոնք համապատասխանում են  $P_{\gamma}$  հավանականությունների որոշակի հաստատագրված արժեքներին [13]:

Այսպիսով, նախագծվող բազային կոնստրուկցիայի հաղորդաշերտերի քանակի որոշումը կատարվում է հետևյալ կերպ. ընտրվում է հաղորդաշերտի քանակի հավանականության անհրաժեշտ արժեքը՝ 0,5, 0,75, 0,84, 0,91, 0,98 կամ 0,997: Հարկ է հաշվի առնել՝ որքան մեծ վերցնենք  $p_{\gamma}$ -ի արժեքը, այնքան ճշգրիտ կգնահատվի շերտերի քանակը: Այնուհետև ընտրվում է հաղորդալարերի լցման  $K$  գործակիցը:

Մասնավորապես, ( $0.35 \leq K \leq 0.7$ ) արժեքները համարվում են նորմալ, եթե էլեկտրական սխեման ունի միջին բարդություն, իսկ ավելի բարդ սխեմայի դեպքում ցանկալի է ընտրել  $K \leq 0.5$ , ապա (14) հավասարումների համակարգից առանձնացնելով ընտրված  $P_{\gamma}$ -ին համապատասխան բամաձևը,

$K, m_0, p, t, d_{\min}, A = B$ , և  $N_1$ -ի արժեքները տեղադրելով (12) բանաձևի մեջ՝ ստացվում է հաղորդաչերտերի որոնելի քանակը: Ելնելով նշված տվյալներից հաշվվում են հաղորդաչերտերի քանակի միջին հավանականությունը կամ անբավարարության ռիսկը [12]

$$P_\gamma = P[\gamma(N_1) \leq \gamma_1] = P_\gamma = \int_0^{\gamma_1} f(\gamma, N_1) d\gamma = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_0^{\gamma_1} e^{-(\gamma-\bar{\gamma})^2/2\sigma} d\gamma :$$

Այսպիսով, ստացված հավասարումները հնարավորություն են ընձեռում նախագծման վաղ փուլում ավտոմատ կերպով որոշել ԲՏ-ի կոնստրուկցիայի հարթակի հաղորդաչերտերի քանակը, ստանդարտ շեղումը, անբավարարության ռիսկը և ուսումնասիրել հաղորդաչերտերի քանակի կախումը ԲՏ-ի կառուցվածքային պարամետրերից:

#### ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Ալեքսանյան Դ.Մ., Բարսեղյան Ա.Բ., Հուսիկյան Դ.Հ.** Տպասալի մակերեսի գնահատանքը // ՀՊՃՀ ԼՐԱԲԵՐ. Գիտական հոդվածների ժողովածու. - Երևան, 2008.- Հատոր 5, № 3.- էջ 439-442:
2. **Aleksanyan D.M., Husikyan D.H.** The Estimation of the Surface of a Printed Board // Proceedings of the conference “Computer Science and Information Technologies (CSIT-2017)”. - Yerevan, 2017. - P.141-143.
3. **Барсегян П.Л.** Разработка математических моделей, методов и алгоритмов синтеза и оптимизации базовых конструкций высокопроизводительных ЭВМ: Автореферат дис.... д.т.н. - 0.5.13.12.- Ереван, 1990.-31с.
4. **Кофанов Ю.Н.** Автоматизация проектирования РЭС. Топологическое проектирование печатных плат.- Красноярск: ИПК СФУ, 2008.
5. **Акулин А.А.** Многослойные печатные платы высокой сложности. Проблемы и решения // Электроника. -2007.-N1.-С.98-100.
6. **Тарахов А.** Система проектирования печатных плат // Электроника. - 2005. -N 2.-С.70-75.
7. **Комков А., Хренов Г.** Кристалл–корпус-печатная плата - проектирование соединений// Электроника. - 2005.-N7.-С.84-86.
8. **Чириков Е.** Обзор новых возможностей // Электроника. -2017.-N 1.-С.168-175.
9. **Сергеев А.** Оптимальное соотношение возможностей и цены. Системы проектирования // Электроника -2017.-N3.-С.82-87.
10. **Фень М.А.** Интерактивные инструменты-помощники в реализации инженерной мысли // Электроника. -2017.-N 8.-С.116-120.
11. **Филипов Б.** Настройка системы электрических ограничений при проектировании печатных плат в САПР PADS от Mentor Graphics: восемь простых шагов // Электроника. -2018.-N5. -С.98-100.

12. **Вентцель Е.С.** Теория вероятностей. – М.: Наука, 1962. -574с.
13. **Ալեքսանյան Դ.Մ., Հուսիկյան Դ.Հ.** Ինտեգրալ սխեմայի հարթակի մոնտաժային դաշտի հաղորդաչերտերի քանակի սինթեզի մեթոդի մշակումը //Հայաստանի ԳԱԱ և ՀԱՊՀ տեղեկագիր. Տեխնիկական գիտությունների սերիա. - Երևան, 2016. - Հատոր LXIX, N3. - էջ 290-295:

**Д.М. АЛЕКСАНИЯН, Д.О. УСИКЯН**

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АНАЛИЗА И СИНТЕЗА КОЛИЧЕСТВА ПРОВОДЯЩИХ СЛОЕВ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛАТ**

С помощью математической модели определены количество проводящих слоев многослойной платы (МП), стандартное отклонение и риск недостаточности и изучена зависимость количества проводящих слоев от структурных параметров МП. Получена функциональная зависимость количества проводящих слоев МП от степени интеграции конструкции, коэффициента Рента, шага распределения элементов, среднего количества выходов элементов, коэффициента заполнения печатных связей и ширины каналов.

**Ключевые слова:** многослойная плата, степень интеграции, показатель Рента, коэффициент заполнения.

**D.M. ALEKSANYAN, D.H. HUSIKYAN**

### **AUTOMATING THE PROCESS OF ANALYSIS AND SYNTHESIS OF THE NUMBER OF TRANSMITTING LAYERS OF MULTILAYER BOARDS**

The number of channels of a multilayer board (MB), the standard deviation and the inadequacy risk are defined by a mathematical model, and the dependence of the channel number on the structural parameters of the MB is investigated. A functional dependence of the channel number of the MB on the integration degree of the construction, the rent index, the element distribution pitch, the mean number of outputs, the printed circuit track fill factor and the channel width is obtained.

**Keywords:** multilayer board, integration degree, rent index, fill factor.