

## Bėgančiosios bangos elektroninių vamzdžių ir jų signalinių traktų dinaminė charakteristikų tobulinimo galimybės

S. Štaras, T. Burokas

Elektroninių sistemų katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,  
Naugarduko g. 41, LT-03227 Vilnius, Lietuva, tel. +370 37 2744755, el. p. stanislovas.staras@el.vtu.lt

### Ivadas

Oscilografinių bėgančiosios bangos elektroninių vamzdžių ir jų signalinių traktų spartą ir dėl ribotos veikimo spartos kylančius dažninius iškraipymus apibūdina dinaminės charakteristikos.

Vamzdžio dinaminės charakteristikos atspindi tiriamojo signalo vaizdo dažninius iškraipymus. Vamzdžio perdavimo funkcija išreiškiama formule  $\underline{K}(j\omega) = \underline{S}_d(j\omega)/S_0$ ; čia  $\underline{S}_d(j\omega)$  – vamzdžio dinaminis jautrumas,  $S_0$  – statinis jautrumas. Skaiciuojant statinį ir dinaminį jautrumą, vertinama bėgančiosios bangos ir elektronų sąveika kreipimo sistemoje.

Vamzdžio signalinio trakto, kurio svarbiausias elementas – bėgančiosios bangos kreipimo sistema, perdavimo funkcija apibūdina įtampos trakto apkrovoje dažninius iškraipymus, palyginti su įtampa bangos, krintančios į trakto įėjimą.

Literatūroje [1–5] gana išsamiai išnagrinėtos bėgančiosios bangos elektroninių vamzdžių dinaminės charakteristikų priklausomybės nuo slopinimo, dispersijos kreipimo sistemoje, elektronų lėkio trukmės ir kitų veiksnių. Suformuluoti reikalavimai [4, 5] kreipimo sistemų parametrų, kuriuos patenkinus galima gauti reikalaujamą vamzdžio ekvivalentinės pralaidumo juostos plotį ir pereinamosios charakteristikos kilimo trukmę.

Kita vertus, po to, kai buvo suformuluoti reikalavimai kreipimo sistemoms, žinios apie kai kurių veiksnių įtaką vamzdžių charakteristikoms pasipildė [6–8]. Todėl, ieškant vamzdžių spartos didinimo rezervų, reikalavimus kreipimo sistemoms verta kritiškai peržiūrėti.

Elektroninių vamzdžių signalinių traktų dinaminės charakteristikos skiriasi nuo vamzdžių charakteristikų. Šių charakteristikų sąryšiai išnagrinėti [9]. Nepaisant to, kreipimo sistemos dažninės charakteristikos kartais interpretuojamos kaip elektroninio vamzdžio charakteristikos [10, 11].

Šiame darbe, siekiami apibendrinti pastarųjų metų tyrimo rezultatus ir atskleisti oscilografinių bėgančiosios bangos elektroninių vamzdžių ir jų signalinių traktų spartos didinimo rezervus, apžvelgsime priežastis, dėl kurių bėgančiosios bangos elektroniniuose oscilografuose atsiranda tiriamųjų signalų iškraipymų ir prietaisų sparta būna ribota.

Ankstesniuose darbuose [4, 5], formuluojant reikalavimus kreipimo sistemoms, buvo atsižvelgta į spiralinių ir meandrinių sistemų savybes. Remiantis praktine patirtimi galima teigti, kad didesnė vamzdžių veikimo sparta pasiekama taikant spiralines sistemas. Todėl daugiausia dėmesio skirsime vamzdžių su spiralinėmis kreipimo sistemomis dinaminės charakteristikoms ir jų tobulinimo galimybėms.

### Dispersijos įtaka

Vienas iš svarbiausių veiksnių, lemiančių bėgančiosios bangos elektroninio vamzdžio praleidžiamųjų dažnių juostą, yra vėlinimo dispersija, kuri apibūdinama kreipimo sistemos vėlinimo trukmės dažnine charakteristika  $t_v(f)$ .

Kreipimo sistemos perdavimo funkcija išreiškiama formule

$$\underline{K}_{KSI}(j\omega) = e^{-j\omega t_v(f)}. \quad (1)$$

Taigi signalų formos iškraipymus lemia dažniniai faziniai iškraipymai.

Kreipimo sistemos pradžioje elektronų pluoštą veikia dar neiškraipytas (dėl dispersijos) signalas. Todėl signalų formos dažniniai faziniai iškraipymai vamzdžio ekrane yra mažesni nei kreipimo sistemoje, tačiau dėl elektromagnetinės bangos ir elektronų greičių nesuderinimo gaunami dažniniai amplitudiniai iškraipymai. Bėgančiosios bangos elektroninio vamzdžio perdavimo funkcija išreiškiama formule [1–4]

$$\underline{K}_{EV1} = \frac{\sin y}{y} e^{-jy}; \quad (2)$$

čia

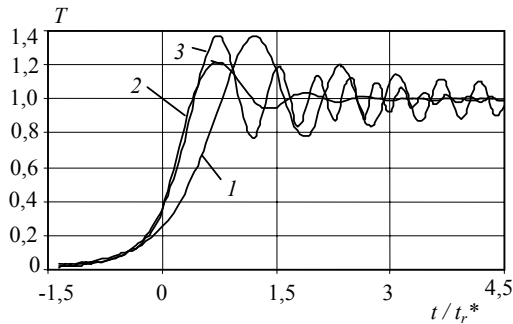
$$y = \omega(t_v - t_s) / 2, \quad (3)$$

$t_s$  – elektrono lėkio trukmė kreipimo sistemoje.

Sakykime, kad vėlinimo trukmė kreipimo sistemoje tiesiškai kinta didėjant dažniui  $f$ :

$$t_v = t_0 + S f; \quad (4)$$

čia  $t_0$  – fazės vėlinimo trukmė žemųjų dažnių srityje,  $S$  – proporcingumo koeficientas, apibūdinantis charakteristikos  $t_v(f)$  statumą.



1 pav. Signalinio trakto (1 kreivė) ir elektroninio vamzdžio (2, 3 kreivės) pereinamosios charakteristikos

Įrodyta [3, 4], kad vėlinimo trukmės pokytis vamzdžio ekvivalentinėje praleidžiamųjų dažnių juostoje turi būti ne didesnis kaip  $0,35t_r^*$ ; čia  $t_r^*$  – reikalaujama pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė ( $t_r^* \cong 0,35/\Delta F_c^*$ ; čia  $\Delta F_c^*$  – ekvivalentinės praleidžiamųjų dažnių juostos plotis).

1 paveiksle atvaizduotos kreipimo sistemos (1-oji kreivė) ir elektroninio vamzdžio (2-oji kreivė) pereinamosios charakteristikos, apskaičiuotos pagal (1) ir (2) lygtis. Skaičiuojant vamzdžio charakteristikas parinktas optimalus elektronų greitis, leidžiantis pasiekti mažiausią pereinamosios charakteristikos kilimo trukmę. 3-ioji grafiko kreivė vaizduoja vamzdžio pereinamąją charakteristiką, kuri būtų gauta, jei nebūtų dažninių amplitudinių iškraipymų.

Pagal 1 paveikslą ir kitus skaičiavimų rezultatus, kai atsižvelgiama tik į fazės vėlinimo dispersiją, elektroninio vamzdžio pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė išreiškiama formule

$$t_{rEV1} \cong 0,78\sqrt{S}. \quad (5)$$

Signaliniame trakte dažniniai faziniai iškraipymai didesni. Jo pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė apytikriai  $\sqrt{2}$  karto ilgesnė:

$$t_{rST1} \cong 1,12\sqrt{S}. \quad (6)$$

Pagal reikalavimus kreipimo sistemai [4,5] elektroninio vamzdžio praleidžiamųjų dažnių juostoje  $\Delta F_c^*$  vėlinimo dispersija turi būti ne didesnė kaip  $0,35t_r^*$ . Remiantis šia sąlyga,

$$t_r^* \cong \sqrt{S}. \quad (7)$$

Lygindami 1 paveikslo kreives ir remdamiesi (5)–(7) sąryšiais, gauname, kad elektroninio vamzdžio pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė  $t_{rEV1}$  apytikriai lygi  $0,78t_r^*$ . Signalinio trakto pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė  $t_{rKS1}$  apytikriai  $\sqrt{2}$  karto ilgesnė:  $t_{rKS1} \cong 1,12t_r^*$ .

Lygindami 2-ąją ir 3-iąją 1 paveikslo charakteristikas, matome, kad elektroninio vamzdžio dažninės amplitudės charakteristikos netolygumas beveik neturi įtakos vamzdžio pereinamosios charakteristikos kilimo trukmei, jeigu parinktas optimalus elektronų greitis. Negana to,

dažninės amplitudės charakteristikos lygio kritimas aukštųjų dažnių srityje gali net slopinti neigiamą dispersijos įtaką – kai nuslopinamos spektro aukštadažnės dedamosios, sumažėja pereinamosios charakteristikos virpesiai ir plokščiosios dalies netolygumas.

### Slopavimo įtaka

Atsižvelgiant į slopinimą, kreipimo sistemos, kaip keturpolio, perdavimo funkcija, kaip žinome, išreiškiama formule

$$K_{KS2}(j\omega) = e^{-\alpha l}; \quad (8)$$

čia  $\alpha$  – slopinimo koeficientas;  $l$  – kreipimo sistemos ilgis.

Tarę, kad slopinimo koeficientas tiesiškai priklauso nuo dažnio, galime įsitikinti, kad perdavimo funkciją (8) atitinka pereinamoji charakteristika, išreiškiama formule

$$T_{KS2}(t) = \arctg \frac{t}{\tau_s}; \quad (9)$$

čia  $\tau_s = k_\alpha l$ , kur  $k_\alpha$  – proporcingumo koeficientas, apibūdinantis slopinimo priklausomybę nuo dažnio ( $\alpha = k_\alpha \omega$ ).

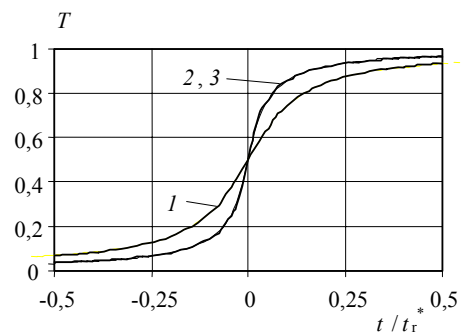
Elektroninio vamzdžio perdavimo funkcijos ir pereinamosios charakteristikos išraiškas galime rasti sprenddami diferencialinę lygtį [3, 4], aprašančią elektrono judėjimą elektriniame lauke. Kai elektrono poslinkis kreipimo sistemoje daug mažesnis nei poslinkis ekrane (kai poslinkį ekrane lemia kreipimo sistemoje įgytas elektrono skersinis greitis), perdavimo funkcija išreiškiama formule

$$K_{EV2}(j\omega) = \frac{1 - e^{-\alpha l}}{\alpha l}. \quad (10)$$

Tuomet dažnių diapazone, kuriame slopinimas mažas ( $\alpha l \ll 1$ ), perdavimo funkcijos išraišką (10) galime supaprastinti:

$$K_{EV2}(j\omega) \cong 1 - \frac{\alpha l}{2}. \quad (11)$$

2 paveikslas vaizduoja slopinimo įtaką kreipimo sistemos (1-oji kreivė) ir elektroninio vamzdžio (2-oji kreivė) pereinamosioms charakteristikoms. Skaičiuojant atsižvelgta į reikalavimus kreipimo sistemai – laikoma, kad elektroninio vamzdžio praleidžiamųjų dažnių juostoje slopinimas kreipimo sistemoje yra iki 2 dB. Tada  $\tau_s \cong 0,0367/\Delta F_c^*$ .



2 pav. Įvertinant slopinimą apskaičiuotos kreipimo sistemos ir elektroninio vamzdžio pereinamosios charakteristikos

Remiantis skaičiavimų rezultatais ir 2 paveikslu, kreipimo sistemos pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė

$$t_{rKS2} \cong 6,2 \tau_s \cong 0,23 / \Delta F_{ekv} \cong 0,65 t_r^* . \quad (12)$$

Elektroninio vamzdžio pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė

$$t_{rEV2} \cong 3,1 \tau_s \cong 0,114 / \Delta F_c^* \cong 0,32 t_r^* . \quad (13)$$

Taigi elektroninio vamzdžio pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė aptartomis sąlygomis dvigubai trumpesnė nei kreipimo sistemos pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė.

Perdavimo funkcijos išraišką (10) galima pakeisti eilute:

$$K(j\omega) = e^{-a} \frac{\text{sh } a}{a} \cong e^{-a} (1 + \frac{a^2}{6} + \dots); \text{ čia } a = \frac{a\omega}{2} . \quad (14)$$

Kai slopinimas tiesiniu dėsniu priklauso nuo dažnio, imdami du pirmuosius eilutės narius, galime gauti tokią vamzdžio pereinamosios charakteristikos išraišką:

$$T_{EV2}(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \left[ \arctg \frac{t}{\tau_\alpha} + \frac{1}{3} \frac{t/\tau_\alpha}{(1 + (t/\tau_\alpha)^2)^2} + \dots \right]; \quad (15)$$

čia  $\tau_\alpha = \tau_s / 2$ .

Pagal šią formulę apskaičiuota elektroninio vamzdžio pereinamoji charakteristika (3 kreivė) sutampa su 2 kreive. Taigi, nagrinėjant slopinimo įtaką elektroninio vamzdžio dinaminėms charakteristikoms, (15) išraišką galima taikyti kaip elektroninio vamzdžio pereinamosios charakteristikos aproksimaciją.

### Banginės varžos kitimo įtaka

Didėjant dažniui, didėja fazių skirtumas  $\theta$  tarp spiralinės ar meandrinės sistemos gretimų laidininkų. Dėl ilginės talpos kitimo kinta sistemos banginė varža. Modeliuojant vienalytę spiralinę sistemą daugialaide linija, gaunama [4, 12], kad spiralinės sistemos banginė varža tokia pat kaip daugialaidės linijos banginė varža ir išreiškiama formule

$$Z_{BS}(\theta) = 1/Y(\theta); \quad (16)$$

čia

$$Y(\theta) = Y(0) + (Y(\pi) - Y(0)) \sin^2(\theta/2); \quad (17)$$

$\theta$  – daugialaidės linijos gretimų laidininkų (gretimų spiralės vijų) įtampų ar srovių fazių skirtumas.

Nagrinėkime oscilografo signalinį traktą (3 pav., a), į kurį įjungtas elektroninis vamzdis su spiraline kreipimo sistema.

Tada elektroninio vamzdžio perdavimo funkciją galėsime rasti, nagrinėdami įtampos perdavimą į kreipimo sistemos pradžią, o signalinio trakto perdavimo funkciją – įtampos perdavimą į apkrovos varžą. Tada, remdamiesi daugkartinių atspindžių diagrama (3 pav., b), galime gauti tokias elektroninio vamzdžio ir kreipimo sistemos perdavimo funkcijų išraiškas:

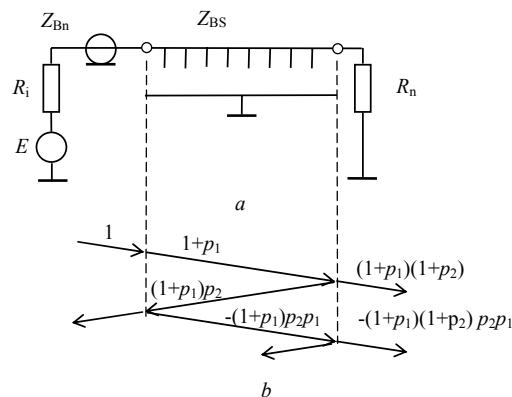
$$\underline{K}_{EV\Sigma}(j\omega) = \frac{K_{EV0}}{1 + p_1 p_2 \exp(-j\omega t_v)}, \quad (18)$$

$$\underline{K}_{KS\Sigma}(j\omega) = \frac{K_{KS0}}{1 + p_1 p_2 \exp(-j\omega t_v)}, \quad (19)$$

$$K_{EV0} = 1 + p_1, \quad (20)$$

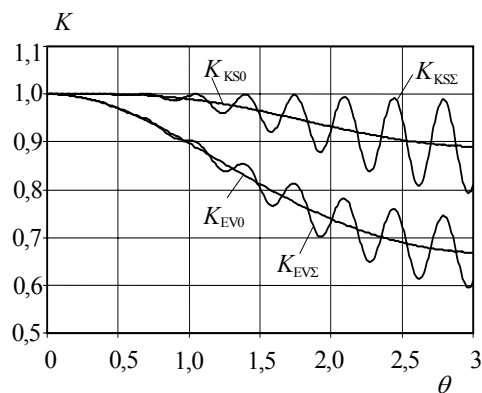
$$K_{KS0} = (1 + p_1)(1 + p_2); \quad (21)$$

čia  $p_1$  ir  $p_2$  – įtampos atspindžio koeficientai nuo sistemos įėjimo ir išėjimo;  $t_s$  – vėlinimo kreipimo sistemoje trukmė.



3 pav. Signalinis traktas (a) ir bangų daugkartinių atspindžių diagrama (b)

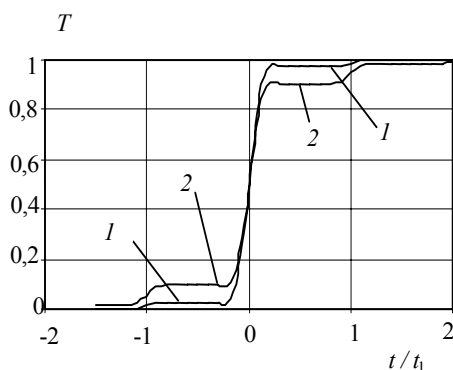
4 paveiksle atvaizduotos elektroninio vamzdžio ir kreipimo sistemos dažninės amplitudės charakteristikos, apskaičiuotos, kai nominali trakto banginė varža  $Z_n = 100 \Omega$ ,  $Z_{BS}(0) = 100 \Omega$  ir  $Z_{BS}(\pi) = 37 \Omega$  ir  $t_v/t_w = N = 10$ ; čia  $t_v$  ir  $t_w$  – vėlinimo trukmės kreipimo sistemoje ir vijoje,  $N$  – vijų skaičius. Siekiant apibendrinimo, abscisių ašyje atidėtas dydis  $\theta = \omega t_w$ . Kreivių  $K_{EV\Sigma}(\theta)$  ir  $K_{KS\Sigma}(\theta)$  virpesius lemia daugkartiniai atspindžiai nuo kreipimo sistemos išėjimo ir įėjimo.



4 pav. Signalinio trakto su kreipimo sistema ir elektroninio vamzdžio dažninės charakteristikos

Kreivės  $K_{EV0}(\theta)$  ir  $K_{KS0}(\theta)$  apibūdina krantinčiosios įtampos bangos perdavimą. Jos gautos nevertinant daugkartinių atspindžių. Charakteristikų palyginimas rodo, kad dėl spiralinės kreipimo sistemos banginės varžos mažėjimo, didėjant fazės kampui  $\theta$  ir dažniui elektroniniame vamzdyje, gaunami daug didesni dažniniai iškraipymai nei jo signaliniame trakte. Negana to, dažninius iškraipymus signaliniame trakte galima dar labiau sumažinti panaudojant kreipimo sistemos įvaduose ketvirčio bangos transformatorius [13]. Deja, tokie transformatoriai beveik nepagerina elektroninio vamzdžio dažninių charakteristikų [7].

5 paveiksle atvaizduotos perdavimo funkcijas (18)–(21) atitinkančios pereinamosios charakteristikos. Vamzdžio pereinamoji charakteristika yra laiptelių pavidalo. Laiptelio trukmė lygi vėlinimo trukmei  $t_w$  kreipimo sistemos vijoje ir laikui  $t_1$ , per kurį elektronas įveikia kreipimo sistemos periodą. Laiptelių aukščiai priklauso nuo banginių laidumų  $Y(\pi)$  ir  $Y(0)$  santykio. Šiam santykiui didėjant, laiptelių, atsirandančių prieš pereinamosios charakteristikos frontą ir už jo, aukštis didėja [4, 6, 7]. Pereinamosios charakteristikos fronto statumą riboja baigtinis viršutinis integravimas, atliekamo skaičiuojant pereinamąją charakteristiką, režis.



5 pav. Signalinio trakto (1 kreivė) ir elektroninio vamzdžio (2 kreivė) pereinamosios charakteristikos, apskaičiuotos įvertinant banginės varžos kitimą

Dėl pereinamosios charakteristikos laiptelių, veikiant kitiems veiksniams, sukeliantiems dažninius iškraipymus, sumažėja pereinamosios charakteristikos fronto pradinės ir galinės dalies statumas ir padidėja jos kilimo trukmė nuo lygio 0,1 iki 0,9. Nagrinėjamu atveju laiptelių aukštis yra apie 0,1. Todėl galime sakyti, kad dėl banginės varžos priklausomybės nuo dažnio elektroninio vamzdžio pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė būtų apytikriai lygi  $t_w = t_1$ .

Signalinio trakto pereinamosios charakteristikos laiptelių praktiškai galima nepaisyti net tada, kai  $Y(\pi)$  ir  $Y(0)$  santykis gana didelis.

Taigi banginės varžos priklausomybė nuo dažnio turi didelę įtaką elektroninio vamzdžio dinaminėms charakteristikoms. Jos įtaka signalinio trakto

charakteristikoms nedidelė ir ją dar galima sumažinti panaudojant junges, kurios veikia kaip ketvirčio bangos suderinimo transformatoriai [7, 13].

Dar pažymėtina, kad elektroninio vamzdžio suderinimo su oscilografo signaliniu traktu kokybė labai priklauso nuo kreipimo sistemos įvadų reaktyvumų. Žinant reaktyvumų priežastis, jų būtų galima išvengti. Tačiau tos priežastys dažniausiai lieka neidentifikuotos. Todėl reaktyvumų įtakos išsamiau nenagrinėsime. Tik pažymėsime, kad elektroninio vamzdžio praleidžiamųjų dažnių juostai ir pereinamosios charakteristikos kilimo trukmei turi įtakos reaktyvumai vamzdžio signalinio trakto pradžioje, o signalinio trakto charakteristikoms – reaktyvumai trakto pradžioje ir gale.

#### 4. Kreipiančiojo elektrinio lauko įtaka

Lėtinimo sistemose sklinda paviršinio pobūdžio elektromagnetinės bangos. Didėjant dažniui, elektrinio lauko stiprumas kinta ir tampa priklausomas nuo skersinės koordinatės. Dėl to atsiranda dažninių ir netiesinių tiriamųjų signalų vamzdžio ekrane iškraipymų. Be to, dėl kreipimo sistemos diskretiškumo pasireiškia lėkio efektas. Elektroną veikiančio (kreipiančiojo) elektrinio lauko stiprumą galime rasti apskaičiavę elektrinio lauko pasiskirstymą kreipimo zonoje ir suradę skersinės elektrinio lauko dedamosios nulinę erdvinę harmoniką [8]. Atlikdami orientacinius skaičiavimus, kreipiančiojo elektrinio lauko priklausomybę nuo dažnio ir skersinės koordinatės  $y$  galime aproksimuoti formule [8]

$$K_{EV45}(\omega) = K_{EV4}(\omega)K_{EV5}(\omega); \quad (22)$$

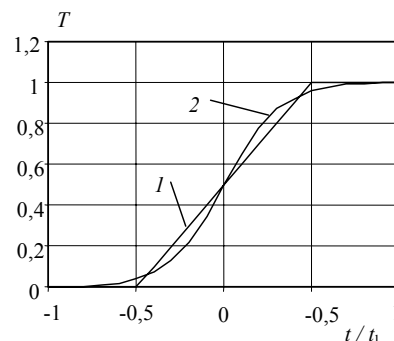
čia  $K_{EV4}(\omega)$  įvertina lėkio efektą,  $K_{EV5}(\omega)$  – paviršinių elektromagnetinio lauko pobūdį. Perdavimo funkcijos  $K_{EV4}(\omega)$  ir  $K_{EV5}(\omega)$  išreiškiamos formulėmis

$$K_{EV4}(\omega) = \frac{\sin(\omega t_1 / 2)}{\omega t_1 / 2} = \frac{\sin(\theta / 2)}{\theta / 2}, \quad (23)$$

$$K_{EV5}(\omega) = \frac{\theta w / L}{\sinh(\theta w / L)} \cosh(\theta y / L); \quad (24)$$

čia  $w$  – tarpas tarp nesimetinės kreipimo sistemos lėtinimo elektrodo ir ekrano,  $L$  – lėtinimo elektrodo žingsnis.

Tarę, kad  $w = L$  ir elektronų pluoštas į kreipimo



6 pav. Elektroninio vamzdžio pereinamosios charakteristikos, sudarytos įvertinant lėkio efektą (1 kreivė) ir paviršinių elektrinio lauko pobūdį (2 kreivė)

sistemą patenka kreipimo kanalo viduryje ( $y = w/2$ ), gautume, kad tada, kai  $\theta = \pi$ , perdavimo funkcijų  $K_{EV4}(\omega)$  ir  $K_{EV5}(\omega)$  vertės apytikriai vienodos. Kai tarpas  $w$  mažesnis, elektromagnetinio lauko paviršinio pobūdžio įtaka elektroninio vamzdžio dažninėms savybėms mažesnė nei lėkio efekto įtaka.

Perdavimo funkciją (23) atitinka pereinamoji charakteristika

$$T_{EV4}(t) = (t + t_1/2) \cdot 1(t + t_1/2) - (t - t_1/2) \cdot 1(t - t_1/2); \quad (25)$$

čia  $1(t)$  – vienetinė funkcija.

Pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė

$$t_{rEV4} = 0,8 t_1. \quad (26)$$

Kai  $y = w/2$ , (24) formule išreiškiamą perdavimo funkciją atitinka pereinamoji charakteristika

$$T_{EV5}(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \tanh \pi \frac{L}{w} \frac{t}{t_1}. \quad (27)$$

Jos kilimo trukmė

$$t_{rEV5} \cong 0,7 \frac{w t_1}{L}. \quad (28)$$

Kai  $w \leq L$ , tai  $t_{rEV5} \leq 0,7 t_1$ .

Pereinamųjų charakteristikų  $T_{EV4}(t)$  ir  $T_{EV5}(t)$  pobūdis atvaizduotas 6 paveiksle.

Remdamiesi išdėstytais samprotavimais, galime teigti, kad dėl lėkio efekto ir kreipiančiojo elektrinio lauko paviršinio pobūdžio elektroninio vamzdžio pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė esti  $(0,8...1,06) t_1$ . Pagal [3, 4] lėkio trukmė  $t_1$  turi būti ne didesnė kaip  $0,32 t_r^*$ .

Tuomet galime sakyti, kad  $t_{rEV4} \cong 0,26 t_r^*$ ,  $t_{rEV5} \leq 0,22 t_r^*$ ,

$$t_{rEV45} \cong (0,26...0,34) t_r^*.$$

Verta pridurti, kad elektrinio lauko paviršinis pobūdis mažiau pasireiškia simetrinėse kreipimo sistemose.

Signalinio trakto dinaminėms charakteristikoms lėkio reiškinys ir paviršinis elektromagnetinio lauko pobūdis neturi įtakos.

### Apibendrinimas

Įvairių veiksnių įtaką elektroninio vamzdžio ir jo signalinio trakto dinaminėms savybėms, kai tenkinami reikalavimai [3, 4], iliustruoja žinios, pateiktos lentelėje.

Visų veiksnių įtaką pereinamosios charakteristikos kilimo trukmei galime įvertinti taikydami formulę

$$t_r \cong \sqrt{\sum_i t_{ri}^2};$$

čia  $t_{ri}$  – pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė, atsižvelgiant į  $i$ -ąjį veiksnį.

Taigi elektroninio vamzdžio ir jo signalinio trakto dinaminės charakteristikos lemia skirtingi veiksniai.

Išsami analizė patvirtina, jog [3] ir [4] suformuluoti reikalavimai, kuriuos turi tenkinti bėgančiosios bangos kreipimo sistema, yra pakankami, kad būtų galima gauti reikiamą elektroninio vamzdžio pereinamosios charakteristikos kilimo trukmę  $t_r^*$ .

Veiksnys	Pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė	
	Signalinis traktas	Elektroninis vamzdis
Vėlinimo kreipimo sistemoje dispersija	$1,12 t_r^*$	$0,78 t_r^*$
Slopinimas kreipimo sistemoje	$0,65 t_r^*$	$0,32 t_r^*$
Banginės varžos priklausomybė nuo dažnio	$\sim 0$	$\leq 0,4 t_r^*$
Lėkio efektas, EM lauko paviršinis pobūdis	0	$0,34 t_r^*$
Atsižvelgiant į visus veiksnius	$\approx 1,3 t_r^*$	$\leq t_r^*$

Signalinio trakto pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė apie 1,3 karto didesnė nei elektroninio vamzdžio pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė.

Didžiausią neigiamą įtaką bėgančiosios bangos elektroninių vamzdžių ir jų signalinių traktų dinaminėms savybėms turi vėlinimo dispersija. Išvengus [3] ir [4] numatytos „leistinosios“ dispersijos, kreipimo sistemos banginės varžos priklausomybės nuo dažnio ir sumažinus kreipiančiojo elektrinio lauko stiprumo priklausomybę nuo dažnio, signalinio trakto pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė sumažėtų maždaug 2 kartus, elektroninio vamzdžio pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė – apie 2...2,4 karto. Atitinkamai padidėtų ekvivalentinių pralaidumo juostų pločiai.

*Autoriai dėkoja prof. habil. dr. J. Skudučiui ir doc. dr. V. Urbanavičiui už dėmesį darbui ir vertingas pastabas.*

### Literatūra

1. Шкунов В. А., Семеник Г. И. Широкополосные осциллографические трубки и их применение. – М.: Энергия, 1976. – 128 с.
2. Himmelbauer E. E. Design considerations for wide-band oscilloscope tube with scan magnification // Philips research reports supplements. Philips Research Laboratories. – 1969. – No. 1. – 12 p.
3. Вайнорис З., Кирвайтис Р., Штарас С. Электродинамические задерживающие и отклоняющие системы. – Вильнюс: Моклас, 1986. – 266 с.
4. Штарас С., Вайнорис З., Мартавичюс Р., Скудутис Ю., Станкунас Й. Широкополосные тракты осциллографических электронно-лучевых трубок бегущей волны. – Вильнюс: Техника, 1993. – 360 с.
5. Štaras S., Skudutis J. Travelling-wave deflecting systems // Software for Electrical Engineering Analysis and Design. – Boston, Southampton: WITPRESS, 1999. – P. 23–32.
6. Штарас С., Скудутис Ю. Входное сопротивление спиральной системы // Радиотехника и электроника. – 1997. – Т. 42, № 4. – С. 395–397.

7. **Staras S., Burokas T.** Simulation and properties of transitions to traveling-wave deflection systems // IEEE Trans. on Electron Devices. – 2004. – Vol. 51, No. 7. – P. 1049–1051.
8. **Štaras S., Burokas T.** Netiesiniai iškraipymai bėgančiosios bangos kreipimo sistemoje // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2003. – Nr. 6(48). – P. 42–47.
9. **Мартавичюс Р., Чуплинскас А., Штарас С.** Оценка времени нарастания переходной характеристики осциллографической трубки бегущей волны // Научные труды: Радиоэлектроника, – 1987. – № 23(2). – С. 62–69.
10. **Kocimsky S. M.** Analysis and design of multi-gigahertz oscilloscope deflection structures // IEEE Trans. on Electron Devices. – 1991. – Vol. 38, No. 6. – P. 1524–1533.
11. **Dunham M. E.** Modern circuit models for traveling-wave structures with nearest coupling // IEEE Trans. on Electron Devices, – 1990. – Vol. 37, No. 3. – P. 862–869.
12. **Силин Р.А., Сазонов В.П.** Замедляющие системы. – Москва: Сов. радио, 1966. – 632 с.
13. **Skudutis J., Daškevičius V.** Lėtinimo ir kreipimo sistemos įėjimo varžos tyrimas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2002. – Nr. 7(42). – P. 13–17.

Pateikta spaudai 2004 12 24

**S. Štaras, T. Burokas. Bėgančiosios bangos elektroninių vamzdžių ir jų signalinių traktų dinaminė charakteristikų tobulinimo galimybės // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2005 – Nr. 2(58). – P. 47–52.**

Oscilografinių bėgančiosios bangos elektroninių vamzdžių veikimo spartą ir dėl ribotos veikimo spartos kylančius dažninius iškraipymus apibūdina dinaminės charakteristikos. Nagrinėjama svarbiausių veiksnių (vėlinimo dispersijos, slopinimo koeficiento, banginės varžos ir kreipiančiojo elektrinio lauko kitimo), lemiančių bėgančiosios bangos elektroninio vamzdžio praleidžiamųjų dažnių juostą, įtaka dinaminėms charakteristikoms. Parodyta, kad elektroninio vamzdžio pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė dažniausiai esti mažesnė nei signalinio trakto pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė. Didžiausios neigiamos įtakos bėgančiosios bangos elektroninių vamzdžių ir jų signalinių traktų dinaminėms savybėms turi vėlinimo dispersija. Išvengus „leistinosios“ dispersijos, kreipimo sistemos banginės varžos priklausomybės nuo dažnio ir sumažinus kreipiančiojo elektrinio lauko stiprumo priklausomybę nuo dažnio, signalinio trakto pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė sumažėtų maždaug 2 kartus, elektroninio vamzdžio pereinamosios charakteristikos kilimo trukmė – apie 2...2,4 karto. Atitinkamai padidėtų ekvivalentinių pralaidumo juostų pločiai. Il. 6, bibl. 13 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

**S. Štaras, T. Burokas. Opportunities for Improvement of Dynamic Characteristics of Traveling-Wave Cathode-Ray Tubes and Their Signal Paths // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2005. – No. 2(58). – P. 47–52.**

We analyze the influence of various factors on the dynamic characteristics of oscillographic traveling-wave cathode-ray tubes and their signal paths in order to find reserves for improving the dynamic characteristics, increasing operation speed and reducing linear distortions of signal form in the traveling-wave cathode-ray tubes. Delay dispersion, attenuation, change of characteristic impedance, change of the deflecting electric field, the transit time of electrons and other factors limit the width of the pass-band and the rise time of the transient response. The rise time of the transient response of a tube usually is less than the rise time of the signal path. The delay distortion has the most negative influence on the dynamic properties of the tubes and their signal paths. Avoiding “permissible” dispersion, characteristic impedance change versus frequency and deflecting electric field change versus frequency, we can shorten the transient response rise time and increase the width of the pass-band approximately 2 times for the signal path and about 2...2.4 times for the cathode-ray traveling-wave tube. Ill. 6, bibl. 13 (in Lithuanian, summaries in Lithuanian, English, Russian).

**С. Штарас, Т. Бурокас. Возможности улучшения динамических характеристик электронно-лучевых трубок бегущей волны и их сигнальных трактов // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология, 2005. – № 2(58). – С. 47–52.**

Частотные искажения формы исследуемых сигналов в осциллографических электронно-лучевых трубках бегущей волны и их сигнальных трактах определяются динамическими характеристиками трубок и трактов. Рассматривается влияние важнейших факторов (дисперсии замедления, ослабления, изменения волнового сопротивления и изменения отклоняющего электрического поля с частотой, пролетного времени и других) на частотные и временные свойства (ширину полосы пропускания, время нарастания переходной характеристики) трубок и их сигнальных трактов. Показано, что время нарастания переходной характеристики электронно-лучевых трубок бывает короче чем время нарастания переходной характеристики сигнального тракта. Наиболее негативное влияние на динамические характеристики электронно-лучевых трубок бегущей волны и их сигнальных трактов имеет дисперсия замедления. Исключив “допустимую” дисперсию, зависимость волнового сопротивления отклоняющей системы от частоты и уменьшив зависимость напряженности отклоняющего электрического поля от частоты, можно уменьшить время нарастания переходной характеристики сигнального тракта почти в 2 раза, время нарастания переходной характеристики электронно-лучевых трубок – в 2...2,4 раза и соответственно увеличить ширину полосы пропускания. Ил. 6, библи. 13 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).