

## Elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“ vienpolio vainikinio išlydžio elektrinis laukas

S. Žebrauskas

Teorinės elektrotechnikos katedra, Kauno technologijos universitetas,  
Studentų g. 48, LT-51367 Kaunas, Lietuva, tel.+370 37 351440

P. Marčiulionis

Agroenergetikos katedra, Lietuvos žemės ūkio universitetas,  
Akademija LT-53361 Kauno raj., Lietuva, tel.+370 7 397529

### Įvadas

Šiuolaikiniuose elektromagnetinių laukų technologiniuose procesuose vieni iš labiausiai paplitusių yra vainikinio išlydžio elektriniai laukai. Jie plačiai taikomi kopijavimo ir spausdinimo technikoje, lengvosios pramonės technologijose, atskiriant ir sumaišant skirtingų medžiagų daleles, valant priemaišas iš dujų ir skysčių, dažymo ir skysčių purškimo technologijose, formuojant įvairias dangas, biotechnologijose, šilumos ir masės mainų procesuose. Naudojant šiuose ir dar neišvardytuose technologiniuose procesuose vainikinio išlydžio elektrinius laukus, dažnai aptinkamos elektrodų sistemos „laidas šalia plokštumos“ ir „laidas šalia cilindro“. Vainikinio išlydžio lauko įrenginių projektavimo metu elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“ laukas kai kada pakeičiamas sistemos „laidas šalia plokštumos“ lauku, darant prielaidą, kad šie laukai nedaug skiriasi [1]. Atlikus šių elektrodų sistemų praktikoje dažnai naudojamų konstrukcijų elektrostatinio lauko analizę [2], nustatyta, kad lauko simetrijos ašyje šių laukų potencialai skiriasi iki 15 %, lauko stipriai – iki 17 %. Šių elektrodų sistemų vainikinio išlydžio elektrodo paviršiuje didžiausias lauko stiprio verčių skirtumas yra 3,7 %. Kiekvienos iš šių elektrodų sistemų elektrostatinio lauko stipris, apeinant laidą jo paviršiumi, kinta nedaug – iki 1,2 %. Dėl to nedaug turėtų kisti ir srovės tankis laido paviršiuje. Išlydžio srovės atžvilgiu elektrodų sistemą „laidas šalia cilindro“ inžineriniams skaičiavimams priimtiniu tikslumu galima pakeisti sistema „laidas šalia plokštumos“. To negalima pasakyti apie išlydžio įtampą. Kadangi įtampa tarp elektrodų išlydžio metu priklauso nuo lauko stiprio pasiskirstymo lauko simetrijos ašyje, kaip, beje, ir bet kurioje lauko linijoje, ir kadangi, kaip jau buvo nurodyta, šių elektrodų sistemų simetrijos ašies elektrostatinio lauko stipriai skiriasi iki 17 %, straipsnyje [2] prieita prie išvados, kad elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“ elektrostatinį lauką pakeičiant sistemos „laidas šalia

plokštumos“ lauku atsiranda gana didelės skaičiavimo paklaidos.

Šiame straipsnyje bandoma palyginti elektrodų sistemų „laidas šalia cilindro“ ir „laidas šalia plokštumos“ vainikinio išlydžio elektrinius laukus.

### Vienpolio vainikinio išlydžio elektrinio lauko analizė

Kaip buvo parodyta ankstesniame straipsnyje [2], šių elektrodų sistemų vienpolio vainikinio išlydžio elektriniams laukui analizuoti galima taikyti Deutscho ir Popkovo metodą [3]:

$$E_2 = \mathcal{G}E_1 = E_1 \sqrt{\left[ \frac{J_{0m}}{\varepsilon_0 E_{1r}} \cdot \int_0^l \frac{dl}{kE_1} + \left( \frac{E_0}{E_{1r}} \right)^2 \right]}; \quad (1)$$

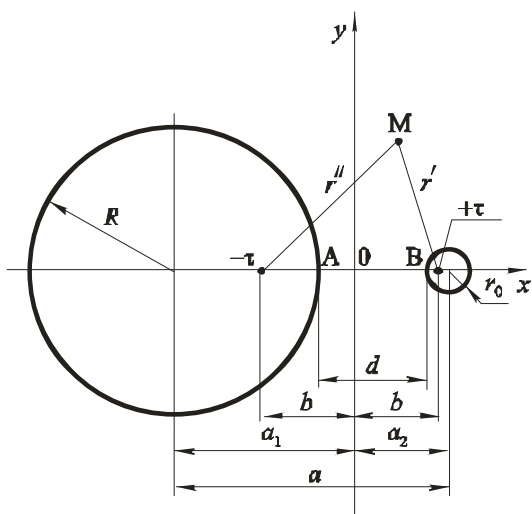
čia  $\mathcal{G}$  – skaliarinis daugiklis, kuriuo vainikinio išlydžio elektrinio lauko stiprio vektorius  $E_2$  skiriasi nuo tos pačios elektrodų sistemos elektrostatinio lauko stiprio vektoriaus  $E_1$ ;  $E_0$  – išlydžio pradinis lauko stipris, nuo kurio priklauso išlydžio pradinė įtampa;  $E_{1r}$  – elektrostatinio lauko stipris laido paviršiuje;  $J_{0m}$  – didžiausias srovės tankis laido paviršiuje;  $k$  – jonų judris;  $\varepsilon_0$  – elektrinė konstanta. Norint apskaičiuoti skaliarinį daugiklį  $\mathcal{G}$ , (1) formulės pošaknio pirmojo dėmens funkciją reikia integruoti išilgai lauko simetrijos ašies nuo laido paviršiaus iki pasirinkto tos ašies taško, kurio atstumas nuo laido paviršiaus yra  $l$ . Laikydami, kad jonų judris  $k$  integravimo kelyje nekinta [5], jį iškeliamo prieš integralą, kurį pažymime  $A_1(r)$ :

$$A_1(r) = \int_{r_0}^l \frac{dr}{E_1}. \quad (2)$$

Tarkim, kad simetrijos ašis sutampa su dekartinės koordinatinių sistemų  $x$  ašimi. Tada

$$A_1(r) = A_1(x) = \int_{r_0}^x \frac{dx}{E_{1(y=0)}}. \quad (3)$$

Simetrijos ašies taškų elektrostatinio lauko stipris abiem elektrodų sistemoms išreiškiamas vienodai [2]:



1 pav. Elektrodų sistema „laidas šalia cilindro“

$$E_{1(y=0)} = k_{\tau} \cdot \frac{2b}{b^2 - x^2}. \quad (4)$$

Šioje formulėje  $k_{\tau}$  – koeficientas, proporcingas įtampai tarp elektrodų [2]. Kiekvienos iš šių elektrodų sistemų jo vertės yra skirtingos, kai įtampa tarp elektrodų ta pati. Kopijavimo aparatuose naudojamos elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“ (1 pav.), kurios  $R = 20,0$  mm,  $r_0 = 0,05$  mm, atstumas tarp laido ir cilindro centrų  $a = 30,0$  mm, mažiausias atstumas tarp elektrodų  $d = a - R - r_0 = 9,95$  mm, įtampa  $U = 10,0$  kV, šios formulės koeficientų vertės yra tokios:  $b = 8,333225$  mm,  $k_{\tau} = 1609,114$  V. Elektrodų sistemos „laidas šalia plokštumos“ (2 pav.), kurios  $r_0 = 0,05$  mm,  $a = 10,0$  mm,  $d = a - r_0 = 9,95$  mm,  $U = 10,0$  kV, šių koeficientų vertės šiek tiek skiriasi:  $b = 9,999875$  mm,  $k_{\tau} = 1669,043$  V. Kadangi straipsnio tikslas yra palyginti šių elektrodų sistemų vainikinio išlydžio elektrinių laukų dydžius, parametrų  $b$  ir  $k_{\tau}$  vertės pateikiame didesniu negu įprasta tikslumu, kaip ir straipsnyje [2].

(4) formulę įrašę į (3) ir suintegruvę, gausime:

$$A_1(x) = \frac{x - r_0}{2bk_{\tau}} \cdot \left[ b^2 - \frac{1}{3}(x^2 + r_0x + r_0^2) \right]. \quad (5)$$

Elektrodų sistemų su vainikinio išlydžio vainikiniais pradiniu išlydžio lauko stipris  $E_0$  dažniausiai apskaičiuojamas pagal empirinę Peeko formulę [4]:

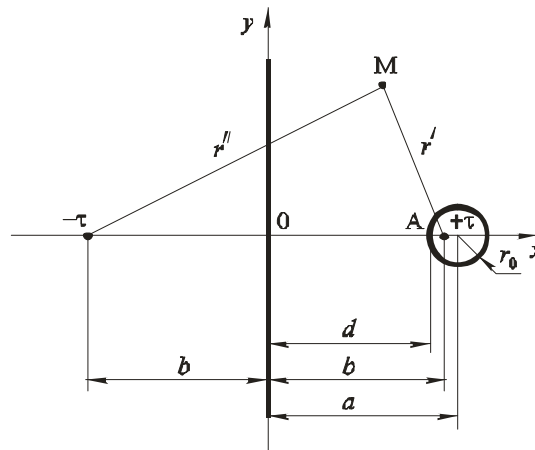
$$E_0 = 30300\delta \left( 1 + \frac{0,298}{\sqrt{r_0\delta}} \right); \quad (6)$$

čia  $r_0$  – laido spindulys, cm;  $E_0$  – lauko stipris, kV/cm;  $\delta$  – santykinis oro tankis, nustatomas iš formulės

$$\delta = \frac{pT_0}{p_0T}. \quad (7)$$

Šioje formulėje pažymėta:  $p$  – atmosferos oro slėgis;  $p_0$  – oro slėgis normaliomis sąlygomis;  $p_0 = 101,3$  kPa;  $T$  – oro temperatūra;  $T_0$  – oro temperatūra normaliomis sąlygomis;  $T_0 = 293$  K.

Kai laido spindulys  $r_0 = 0,05$  mm, normaliomis klimato sąlygomis ( $\delta = 1$ ) pradinio lauko stiprio skaitinė vertė yra tokia:  $E_0 = 157,995$  kV/cm. (1) formulės dešiniojos pusės ant



2 pav. Elektrodų sistema „laidas šalia plokštumos“

$$\mathcal{G}_0 = \frac{E_0}{E_{1r}}, \quad (8)$$

apibūdina išlydžio pradines sąlygas laido paviršiuje. Pagal (4) formulę apskaičiuojame laido paviršiaus taško, mažiausiai nutolusio nuo cilindro paviršiaus arba nuo plokštumos elektrostatinio lauko stiprio vertę  $E_{1r}$ . Nurodytoms geometrinių parametrų ir įtampos vertėms elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“ didžiausia skaitinė šio lauko stiprio vertė yra  $E_{1rc} = 323,760$  kV/cm, sistemos „laidas šalia plokštumos“ –  $E_{1rp} = 335,482$  kV/cm. Kaip jau buvo minėta, nuo mažiausių lauko stiprio verčių laido paviršiuje šios vertės skiriasi ne daugiau kaip 1,2 %. Tada koeficiento  $\mathcal{G}_0$  skaitinės vertės bus tokios:  $\mathcal{G}_{0c} = 0,488$ ,  $\mathcal{G}_{0p} = 0,471$ .

(1) formulės jonų judris  $k$  priklauso nuo jų gyvavimo trukmės. Bendroju atveju, jonams judant nuo vainikinio išlydžio elektrodo išilgai lauko linijų, jų judris šiek tiek kinta [5], tačiau šiuose lyginamuosiuose skaičiavimuose jį galima laikyti pastovų ir iškelti prieš integralą. Didžiausias srovės tankis laido paviršiuje lygus ilginio srovės tankio, arba srovės, tenkančios laido ilgio vienetui, santykiui su laido perimetru:

$$J_{0m} = 2J_0 = \frac{2I}{2\pi r_0}. \quad (9)$$

Įrašius (9) ir (5) išraiškas į (1) formulę, skaliarinio daugiklio  $\mathcal{G}$  pavidalas pasidarys toks:

$$\mathcal{G} = \sqrt{\frac{I}{kk_{\tau}\epsilon_0\pi_0 b E_{1r}} \cdot \left[ b^2(x - r_0) - \frac{1}{3}(x^3 - r_0^3) \right] + \mathcal{G}_0^2}. \quad (10)$$

Pažymime

$$k_1 = kk_{\tau}\epsilon_0\pi_0 b E_{1r}. \quad (11)$$

Laiko simetrijos ašies taškų vainikinio išlydžio elektrinio lauko stipris

$$E_{2(y=0)} = gE_{1(y=0)} = g \cdot \frac{2bk_{\tau}}{b^2 - x^2}, \quad (12)$$

arba

$$E_{2(y=0)} = \frac{2bk_{\tau}}{b^2 - x^2} \sqrt{\frac{I}{k_1} \left[ b^2(x - r_0) - \frac{1}{3}(x^3 - r_0^3) \right] + g_0^2}. \quad (13)$$

Elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“ simetrijos ašies taškų neigiamą vienpolio vainikinio išlydžio, kurio jonų judris  $k = 2,24 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  – [5], elektrinio lauko stiprio vertės  $E_2$ , apskaičiuotos pagal (13) formulę, surašytos į 1 lentelę. Palyginimui į šią lentelę surašytos taip pat šios elektrodų sistemos simetrijos ašies taškų elektrostatinio lauko stiprio  $E_1$  vertės, paimtos iš [2]. Iš lentelės duomenų matyti, kad išlydžio išorinės zonos erdvinis krūvis lauko stiprį laido paviršiuje padidina (padidėjimas sudaro 15,7 %), o prie elektrodo su dideliu kreivumo spinduliu paviršiaus (1 mm atstumu nuo jo) – sumažina (69,3 % sumažėjimas).

Analogiški elektrodų sistemos „laidas šalia plokštumos“ duomenys surašyti į 2 lentelę. Dėl erdvinio krūvio lauko stipris laido paviršiuje padidėja 7,8 %, prie plokščiojo elektrodo paviršiaus lauko stipris sumažėja 53,7 %.

**1 lentelė.** Elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“ simetrijos ašies lauko stipriai

| A – x, mm | x, mm     | $E_1(x)$ , kV/cm | $E_2(x)$ , kV/cm |
|-----------|-----------|------------------|------------------|
| 0         | -1,666625 | 4,023            | 0,963            |
| 1         | -0,666625 | 3,887            | 1,196            |
| 2         | 0,333375  | 3,868            | 2,096            |
| 3         | 1,333375  | 3,963            | 2,779            |
| 4         | 2,333375  | 4,190            | 3,462            |
| 5         | 3,333375  | 4,597            | 4,255            |
| 6         | 4,333375  | 5,293            | 5,335            |
| 7         | 5,333375  | 6,541            | 7,012            |
| 8         | 6,333375  | 9,143            | 10,224           |
| 9         | 7,333375  | 17,120           | 19,644           |
| 9,95      | 8,283375  | 323,760          | 374,725          |

Išlydžio voltamperinei charakteristikai sudaryti reikia apskaičiuoti integralą

$$U = \int_{r_0}^d E_{2(y=0)} dx, \quad (14)$$

arba

$$U = 2bk_{\tau} \int_{r_0}^d \sqrt{\frac{I_0}{k_1} \left[ b^2(x - r_0) - \frac{1}{3}(x^3 - r_0^3) \right] + g_0^2} \frac{dx}{b^2 - x^2}. \quad (15)$$

Kadangi šios funkcijos integralą analitiškai rasti gana sunku, tai teko panaudoti skaitinį Simpsono metodą [6]. Paanalizavus (15) formulę, matyti, kad išlydžio voltamperinė charakteristika nėra išreikštinio pavidalo, dėl to šiai charakteristikai sudaryti imamos ilginio srovės tankio  $I_0$  vertės ir, apskaičiavus integralą, randamos jas atitinkančios įtampos tarp elektrodų vertės, sprendžiant (15) lygtį  $U$  atžvilgiu. Šios lygties parametrai  $g_0$  ir  $k_1$  taip pat yra įtampos  $U$  funkcijos:  $g_0$  apskaičiuojamas iš (8)

lygties,  $k_1$  – iš (11), šiose lygtyse įrašytos  $E_{1r}$  ir  $k_{\tau}$  išraiškos pateiktos straipsnyje [2]. Kad skaičiavimo procesas paspartėtų, lygties

$$U - 2bk_{\tau} \int_{r_0}^d \sqrt{\frac{I_0}{k_1} \left[ b^2(x - r_0) - \frac{1}{3}(x^3 - r_0^3) \right] + g_0^2} \frac{dx}{b^2 - x^2} = 0 \quad (16)$$

pradines ilginio srovės tankio  $I_0$  ir jas atitinkančios įtampos vertes galima imti iš eksperimentinės voltamperinės charakteristikos. Apskaičiuotų įtampos verčių diapazonas  $U_0 \leq U \leq 2U_0$ . Didesnių kaip  $2U_0$  įtampos verčių neimame todėl, kad, kai įtampa tarp elektrodų viršija dvigubą pradinę įtampą  $U_0$ , padidėja vainikinio išlydžio perėjimo į kibirkštinį tikimybė. Išlydžio pradinę įtampą  $U_0$  apskaičiuojama iš (16), kai  $I_0 = 0$ . Šiuo atveju (15) funkcija integruojama elementariai:

$$U_0 = 2bk_{\tau} g_0 \int_{r_0}^d \frac{dx}{b^2 - x^2} = k_{\tau} g_0 \cdot \ln \frac{(b+d)(b-r_0)}{(b-d)(b+r_0)}. \quad (17)$$

Esant nurodytoms nagrinėjamų elektrodų sistemų parametrų vertėms, išlydžio pradinės įtampos vertės yra tokios: elektrodų sistemai „laidas šalia cilindro“  $U_0 = 4,701 \text{ kV}$ , sistemai „laidas šalia plokštumos“  $U_0 = 4,552 \text{ kV}$ . Santykinis šių pradinių įtampos verčių skirtumas yra 3,2 %.

Elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“ voltamperinė charakteristika, apskaičiuota pagal (16) formulę, parodyta 3 paveiksle. Šiame paveiksle taip pat parodyta šios elektrodų sistemos neigiamą vienpolio vainikinio išlydžio eksperimentinė voltamperinė charakteristika. Iš jos matyti, kad pradinės išlydžio įtampos eksperimentinė vertė yra 4,35 kV. Apskaičiuotoji vertė yra 4,70 kV, už eksperimentinę didesnė 7,5 %. Šis skirtumas priklauso nuo eksperimentinės elektrodų sistemos geometrinių matmenų – cilindro spindulio  $R$ ,  $r_0$ , atstumo tarp jų  $d$  nustatymo paklaidos, srovės ir įtampos matavimo prietaisų paklaidos, aplinkos klimatinių parametrų – temperatūros ir slėgio matavimo paklaidos, elektrodų paviršių šiurkštumo, kuris skaičiuojant nebuvo įvertintas, taip pat nuo skaičiavimo metodo pradinių prielaidų. Detaliai aptarti visų šių dydžių įtaką nėra šio straipsnio tikslas.

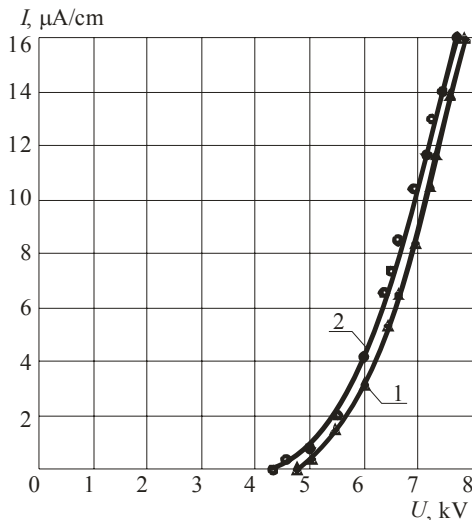
**2 lentelė.** Elektrodų sistemos „laidas šalia plokštumos“ simetrijos ašies lauko stipriai

| A – x, mm | x, mm | $E_1(x)$ , kV/cm | $E_2(x)$ , kV/cm |
|-----------|-------|------------------|------------------|
| 9,95      | 0     | 3,338            | 1,543            |
| 9         | 1     | 3,372            | 2,011            |
| 8         | 2     | 3,477            | 2,441            |
| 7         | 3     | 3,668            | 2,900            |
| 6         | 4     | 3,974            | 3,443            |
| 5         | 5     | 4,451            | 4,139            |
| 4         | 6     | 5,216            | 5,116            |
| 3         | 7     | 6,546            | 6,689            |
| 2         | 8     | 9,273            | 9,758            |
| 1         | 9     | 17,571           | 18,819           |
| 0         | 9,95  | 335,482          | 361,471          |

Iš 3 paveiksle parodytų elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“ voltamperinių charakteristikų kreivių matyti, kad charakteristikų pradžioje, pavyzdžiui, kai

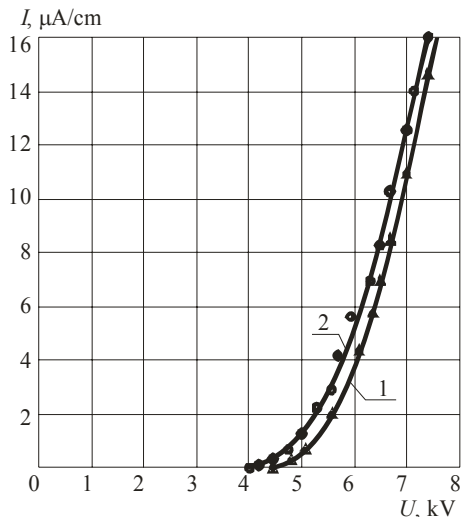
įtampa  $U = 5,0$  kV, eksperimentinė srovės vertė didesnė už teorinę  $0,6 \mu\text{A/cm}$ , o ties charakteristikų viduriu, pavyzdžiui, kai  $U = 7,5$  kV, šis skirtumas sudaro  $1,8 \mu\text{A/cm}$ .

Elektrodų sistemos „laidas šalia plokštumos“ voltamperinės charakteristikos parodytos 4 paveikslė. Iš jų matyti, kad išlydžio pradinės įtamos  $U_0$  eksperimentinė



3 pav. Elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“ voltamperinės charakteristikos: 1 – teorinė, 2 – eksperimentinė

vertė yra  $4,10$  kV, teorinė –  $4,55$  kV. Apskaičiuotoji šios įtamos vertė už eksperimentinę didesnė  $9,9$  %. Kaip matyti iš 3 ir 4 paveiksluose parodytų charakteristikų



4 pav. Elektrodų sistemos „laidas šalia plokštumos“ voltamperinės charakteristikos: 1 – teorinė, 2 – eksperimentinė

pobūdžio, teorinių ir eksperimentinių ilginio srovės tankio verčių skirtumai priklauso visų pirma nuo to, kad skiriasi pradinės įtamos teorinė ir eksperimentinė vertės. Charakteristikos pradžioje, kai  $U = 5,0$  kV, eksperimentinė srovės vertė didesnė už teorinę  $0,7 \mu\text{A/cm}$ , kai  $U = 7,5$  kV, skirtumas yra  $1,5 \mu\text{A/cm}$ .

Palyginę abiejų elektrodų sistemų voltamperines charakteristikas, parodytas 3 ir 4 paveiksluose, matome, kad elektrodų sistemos „laidas šalia plokštumos“ srovių

vertės yra didesnės už sistemos „laidas šalia cilindro“ srovių vertes, atitinkančias tas pačias įtampas. Pavyzdžiui, kai  $U = 7,5$  kV, šis skirtumas sudaro  $16$  %; kai  $U = 5,0$  kV, skirtumas yra  $25$  %. Fiziškai šiuos skirtumus galima pagrįsti tuo, kad, kaip matyti iš 1 ir 2 paveikslų, nors mažiausias atstumas tarp elektrodų abiem sistemoms yra tas pats (išnagrinėtu atveju  $d = 9,95$  mm) ir dėl to abiejų sistemų centrinės lauko linijos ilgis yra vienodas, elektrodų sistemos „laidas šalia plokštumos“ visos kitos lauko linijos yra trumpesnės negu elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“. Dėl šios priežasties toms pačioms įtampoms sistemos „laidas šalia plokštumos“ srovės yra didesnės negu sistemos „laidas šalia cilindro“.

Šiame darbe panagrinėjome elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“, kurio spindulys  $R$  yra maždaug du kartus didesnis už atstumą tarp elektrodų, vienpolio vainikinio išlydžio elektrinį lauką. Tokia šios sistemos konstrukcija būdinga kopijavimo aparatų cilindro paviršiuje esančio šviesai jautraus puslaidinikinio sluoksnio įelektrinimo įrenginiui. Šios sistemos lauką palyginome su tokio pat atstumo tarp elektrodų sistemos „laidas šalia plokštumos“ lauku. Esant nurodytoms šių elektrodų sistemų geometrinių parametrų vertėms vienos sistemos lauko kitos sistemos lauku pakeisti negalima tiek lauko stiprių pasiskirstymo išilgai lauko linijų, tiek voltamperinių charakteristikų atžvilgiu. Iš papildomų skaičiavimų, didinant cilindro spindulį, kai atstumas tarp elektrodų tas pats, rezultatų matyti, kad toks pakeitimas inžineriniams skaičiavimams priimtiniu tikslumu būtų galimas, kai  $R \geq 10d$ .

## Išvados

1. Atlikta elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“, kurios cilindro spindulys yra dukart didesnis už atstumą tarp elektrodų ir tokio pat atstumo tarp elektrodų sistemos „laidas šalia plokštumos“ vienpolio vainikinio išlydžio elektrinio lauko lyginamoji analizė.
2. Elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“ išlydžio išorinės zonos erdvinis krūvis lauko stiprį prie laido paviršiaus padidina iki  $16$  %, o prie cilindro paviršiaus sumažina  $69$  %. Elektrodų sistemoje „laidas šalia plokštumos“ erdvinis krūvis lauko stiprį prie laido paviršiaus padidina  $8$  %, o prie plokštumos sumažina  $54$  %.
3. Nagrinėjamų geometrinių parametrų elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“ vainikinio išlydžio pradinės įtamos apskaičiuotoji vertė yra  $4,70$  kV, elektrodų sistemos „laidas šalia plokštumos“ –  $4,55$  kV, santykinis šių verčių skirtumas yra  $3,2$  %. Sistemos „laidas šalia cilindro“ pradinės įtamos eksperimentinė vertė yra  $4,35$  kV, už apskaičiuotąją mažesnė  $7,5$  %, sistemos „laidas šalia plokštumos“ –  $4,10$  kV, už apskaičiuotąją mažesnė  $9,9$  %. Šie pradinės įtampų skirtumai lemia skirtumus tarp teorinių ir eksperimentinių voltamperinių charakteristikų, taip pat skirtumus tarp šių elektrodų sistemų voltamperinių charakteristikų.

4. Tas pačias įtampų vertes atitinkančios elektrodų sistemos „laidas šalia plokštumos“ srovės yra didesnės už elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“ srovės. Kai  $U = 5,0$  kV, šis srovių skirtumas sudaro 25 %, kai  $U = 7,5$  kV, srovių skirtumas yra 16 %.
5. Darbe nagrinėtos elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“, kurio spindulys dvigubai didesnis už laido atstumą nuo cilindro paviršiaus, vienpolio vainikinio išlydžio elektrinio lauko negalima pakeisti elektrodų sistemos „laidas šalia plokštumos“, kurioje tarpas tarp elektrodų toks pat, kaip ir sistemos „laidas šalia cilindro“, lauku tiek lauko stiprio pasiskirstymo išilgai lauko linijos, tiek pradinių išlydžio įtampų, tiek išlydžio voltamperinių charakteristikų atžvilgiu.
6. Toks pakeitimas inžineriniams skaičiavimams priimtiniu tikslumu būtų galimas, jei cilindro spindulys bent 10 kartų būtų didesnis už atstumą tarp laido ir cilindro.

## Literatūra

1. **Верещагин И.П.** Коронный разряд в аппаратах электронно-ионной технологии. – Москва: Энергоатомиздат, 1985. – 158 с.
2. **Žebrauskas S., Marčiulionis P.** Elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“ elektrostatinis laukas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2005. – Nr. 6(62). – P.26 – 30.
3. **Попков В.И.** К теории униполярной короны постоянного тока // Электричество. – 1949. – № 1. – С.33–48.
4. **Taylor D.M., Secker P.E.** Industrial electrostatics. – New York: Wiley, 1994. – 272 p.
5. **Amoruso V., Lattarulo F.** Deutsch hypothesis revisited // Journal of electrostatics. – 2005. – Vol. 63, No 6 – 10. – P. 717 – 721.
6. **Plukas K.** Skaitiniai metodai ir algoritmai. – Kaunas: Naujasis lankas, 2001. – 549 p.

Pateikta spaudai 2005 06 20.

### S. Žebrauskas, P. Marčiulionis. Elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“ vienpolio vainikinio išlydžio elektrinis laukas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2006. – Nr.1(65). – P. 43 – 47.

Deutscho ir Popkovo metodu atlikta elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“, kurios cilindro spindulys yra dukart didesnis už atstumą tarp elektrodų ir tokio pat atstumo tarp elektrodų sistemos „laidas šalia plokštumos“ vienpolio vainikinio išlydžio elektrinių laukų palyginamoji analizė. Elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“ išlydžio išorinės zonos erdvinis krūvis lauko stiprį prie laido paviršiaus padidina iki 16 %, o prie cilindro paviršiaus sumažina iki 69 %. Elektrodų sistemoje „laidas šalia plokštumos“ erdvinis krūvis lauko stiprį prie laido paviršiaus padidina 8 %, o prie plokštumos sumažina 54 %. Nagrinėjamų geometrinių parametrų elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“ vainikinio išlydžio pradinės įtampos apskaičiuotoji vertė yra 4,70 kV, eksperimentinė vertė yra 4,35 kV elektrodų sistemos „laidas šalia plokštumos“ – atitinkamai 4,55 kV ir 4,10 kV. Tas pačias įtampų vertes atitinkančios elektrodų sistemos „laidas šalia plokštumos“ srovės yra didesnės už elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“ srovės. Charakteristikų pradžioje, kai  $U = 5,0$  kV, srovių skirtumas sudaro 25 %, padidėjus įtampai, kai  $U = 7,5$  kV, skirtumas yra 16 %. Darbe nagrinėtos elektrodų sistemos „laidas šalia cilindro“ vienpolio vainikinio išlydžio elektrinio lauko negalima pakeisti elektrodų sistemos „laidas šalia plokštumos“ lauku. Toks pakeitimas inžineriniams skaičiavimams priimtiniu tikslumu būtų galimas, kai cilindro spindulys bent 10 kartų būtų didesnis už atstumą tarp laido ir cilindro. Il. 4, bibl. 6, lent. 2 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

### S. Žebrauskas S, P. Marčiulionis. Direct Current Corona Field of „Wire-to-Cylinder“ Electrode System // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2006.– No.1(65).– P. 43 – 47.

Comparison of the DC corona field in the system „wire-to-cylinder“ with the cylinders radius 2 times greater than the distance between electrodes and in the system „wire-to-plane“ with the same distance between electrodes is performed by using the Deutscho’s–Popkov’s method. The space charge of the „wire-to-cylinder“ system increases the field strength on the wire surface by 16 % and decreases it on the surface of cylinder by 69 %. Corresponding quantities of change of the field strength in „wire-to-plane“ system are 8 % and 54 %. Computed value of onset voltage for the system „wire-to-cylinder“ is 4.70 kV, the experimental one – 4.35 kV. Corresponding quantities for „wire-to-plane“ system are 4.55 kV and 4.10kV. Current of discharge for the system „wire-to-plane“ are greater by 25 % in comparison with the values of current for „wire-to-cylinder“ system in the range of voltages near the onset value. This difference is equal to 16 % in the range of voltages exceeding the onset value by 50 %. The DC corona field for the „wire-to-cylinder“ system can’t be changed by the field of the system „wire-to-plane“ for given values of geometric parameters without introducing the substantial errors. It may be done when the radius of cylinder exceed the distance between electrodes more than 10 times. Ill.4, bibl. 6, tabl. 2 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English and Russian).

### С. Жебраускас, П. Марчулонис. Электрическое поле униполярного коронного разряда в системе электродов „провод–цилиндр“ // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология, 2006. – № 1 (65). – С. 43 – 47.

Методом Дойча и Попкова произведен сравнительный анализ и расчет электрического поля униполярного коронного разряда в системах электродов „провод–цилиндр“ и „провод–плоскость“. Объемный заряд внешней зоны разряда в системе „провод–цилиндр“ напряженность поля у поверхности провода усиливает на 16 %, а напряженность поля у поверхности цилиндра ослабляет на 69 %. Соответствующие числа для системы „провод–плоскость“ равны 8 % и 54 %. Расчетное значение начального напряжения для данных значений геометрических параметров системы „провод–цилиндр“ равно 4,70 кВ, экспериментальное – 4,35 кВ, соответствующие значения для системы „провод–плоскость“ – 4,55 кВ и 4,10 кВ. Токи разряда при одинаковых значениях напряжения в системе „провод–плоскость“ превышают токи разряда системы „провод–цилиндр“ на 25 % вблизи начального напряжения и на 16 % в зоне напряжений развитого разряда. Поле униполярного коронного разряда в системе электродов „провод–цилиндр“ не может быть заменено полем системы „провод–плоскость“ без введения значительных погрешностей. Это возможно при радиусе цилиндра, не менее чем в 10 раз превышающем межэлектродное расстояние. Ил. 4, библи. 6, табл. 2 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).

DOI: 10.5755/j02.eie.10559