

## LANKINIO IŠLYDŽIO ELEKTROMAGNETINIO LAUKO TYRIMAS

**Valdas Jankūnas, Arnas Ulevičius, Jelena Dikun, Eleonora Guseinoviėnė, Algimantas Kiškis**

*KU, Jūrų technikos fakultetas, Elektrotechnikos katedra, Bijūnų g. 17, LT-91225, Klaipėda*

*zmogas@hotmail.com, ulebuyebay@gmail.com jeldik@bk.ru, guseinoviene@gmail.com, abeta@takas.lt*

### **Anotacija**

Darbe nagrinėjami elektromagnetinio lauko dedamųjų parametrai šalia elektrinio prietaiso, kurio veikimo principas pagrįstas elektriniu išlydžiu dujose. Planuojant naudoti šį prietaisą mokymo procese eksperimentiniu tyrimu buvo nustatytos leidžiamos elektromagnetinio lauko parametrų vertės nutolus 27-160cm atstumu nuo 8-80 kHz dažnių diapazone veikiančio prietaiso. Eksperimentinio tyrimo rezultatai palyginti su leistinomis elektromagnetinio lauko vertėmis, tuo siekiama užtikrinti saugų studentų bei dirbančio personalo darbą. Nustatyta, kad leistinas saugus atstumas siekia 1,5m nuo veikiančio prietaiso. Elektros lauko stiprio vertės nėra kenksmingos esant bet kuriam atstumui nuo prietaiso dažnių ribose 72-80 kHz. Dažnių ribose 8 kHz-80 kHz magnetinis laukas nėra kenksmingas.

RAKTINIAI ŽODŽIAI: Elektromagnetinis laukas, dujinis išlydis, plazma

### **Įvadas**

„Jokūbo kopėčios“ (angl. „Jacob’s Ladder“) arba kitaip tariant aukštos įtampos slenkantis dujinio išlydžio lanko efektas pasireiškia nuolat vertikalia kryptimi judančiam elektros lankui. Lanko formavimo sritį sudaro du vertikalieji, turintys tarpusavyje V formos tarpą elektrodai. Elektros srovės išlydis tarp elektrodų apatinės dalies formuojamas esant aukštajai įtampai tarp jų. Kai elektrodams yra paduodama aukšta įtampa, apatiniame tarpe tarp jų susidaro kibirkštis, kuri dėl oro jonizacijos proceso staiga pavirsta išlydžiu. Oro pramušimas įvyksta apytiksliai esant 30 kV/cm priklausomai nuo jo temperatūros, drėgmės bei slėgio. Įtampa tarp anodo ir elektrodo mažėja, ir lankinis išlydis išsitiesia tarp elektrodų trumpojo jungimo srovės pavidalu. Sušildytas jonizuotas oras kyla viršun kartu su lanku [2,3]. Lankui kylant aukštyn, oro jonizacijos procesas ilgėja, tampa vis labiau nestabilus, ir tada nutrūksta. Išnyksta lankas tarp elektrodų. Tuo metu įtampa tarp elektrodų vėl pradeda didėti, ir atsiranda naujas kibirkštys. Toliau visas lankinio išlydžio formavimo procesas kartojasi [1,4]. Aukštos įtampos prietaiso, vadinamo „Jokūbo kopėčios“ (JK), vizualinis efektas yra itin įspūdingas ir todėl plačiai naudojamas vakarėliuose, pokyliuose, šventėse, koncertų specialiesiems efektams bei kituose viešuosiuose renginiuose [4]. Kadangi elektros lanko atsiradimą lemia oro jonizacijos procesas, tai lankinio išlydžio metu stebėtojai iš tikrųjų mato plazmą. Plazma – iš dalies arba visiškai jonizuotos dujos, kurių teigiamųjų ir neigiamųjų krūvių tankis praktiškai vienodas [5,3]. Plazma turi daugelį specifinių savybių, kurios leidžia ją nagrinėti kaip savitos ketvirtosios būsenos medžiagą. Plazmoje lengvai sužadinami įvairios kilmės svyravimai ir bangos; jos laidumas didėja, didėjant jonizacijos laipsniui. Kai temperatūra aukšta, visiškai jonizuotos plazmos laidumas priartėja prie superlaidininkų laidumo [6]. Apibendrinant galima teigti, kad JK gali būti naudojamos ne tik vaizdo efektams kurti, bet ir moksliniams plazmos savybių tyrimams atlikti. Todėl, siekiant užtikrinti sveikatos saugos reikalavimus, svarbu žinoti elektromagnetinio lauko parametrų vertes veikiant JK. Sukurtas JK modelis gali dirbti 1kHz-80kHz dažnių diapazone. Žmogui esant tokiam dažnių diapazone gali atsirasti įvairūs negalavimai, pavyzdžiui: smegenų augliai [7], reprodukcijos sistemų sutrikimai, širdies kraujagyslių [8,9], imuninės sistemos bei kvėpavimo organų funkciniai pakeitimai [10,8]. Kadangi JK yra skirtas naudojimui viešosiose vietose, tai jų skleidžiamos spinduliuotės lygiai turi būti vertinami [8]. Leistinų elektromagnetinės spinduliuotės (EMS) lygių vertės yra pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Viešosioms vietoms rekomenduojami apšvitos kintamojo EML lygiai [10]

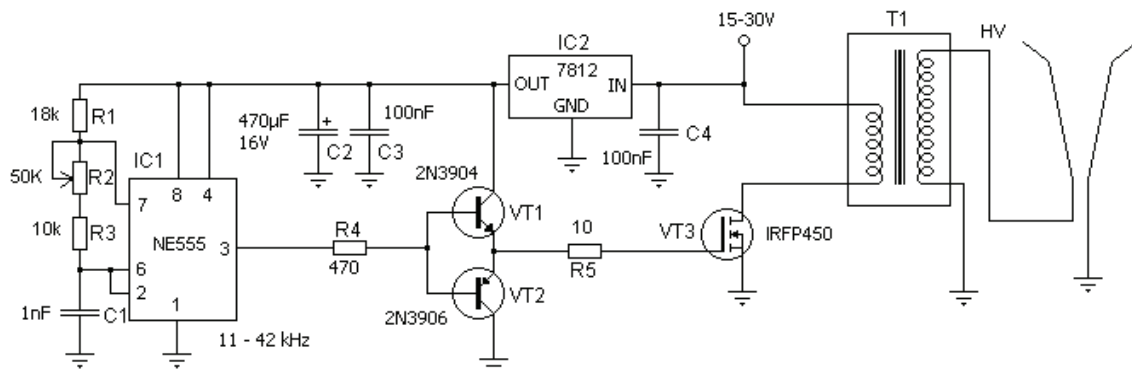
Dažnių diapazonas	Elektrinio lauko stipris, E (kV/m)	Magnetinio lauko stipris, H(A/m)	Magnetinio lauko srautas, B(T)
1Hz-8Hz	5	$3.2 \cdot 10^4/f^2$	$4 \cdot 10^{-2}/f^2$
8Hz-25Hz	5	$4 \cdot 10^3/f$	$5 \cdot 10^{-3}/f$
25Hz-50Hz	5	$1.6 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^{-4}$
50Hz-400Hz	$2.5 \cdot 10^2/f$	$1.6 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^{-4}$
400Hz-3kHz	$2.5 \cdot 10^2/f$	$6.4 \cdot 10^4/f$	$8 \cdot 10^{-2}/f$
3kHz-10MHz	$8.3 \cdot 10^{-2}$	21	$2.7 \cdot 10^{-5}$

## 1. Tyrimai

Šiame skyriuje aptariamas modelio veikimo principas poskyryje 1.1 ir struktūra bei eksperimento eiga poskyryje 1.2.

### 1.1 Modelio veikimo principas ir struktūra

JK prietaiso principinė elektrinė schema yra parodyta 1 paveiksle. Veikimo principas: užduodantysis generatorius generuoja stačiakampės formos impulsus (jų dažnį galima keisti rankiniu būdu), šiais impulsais valdomas galios raktas, pastarasis komutuoja srovę transformatoriaus pirminėje apvijoje. Srovei nutrūkus, transformatoriaus antrinėje apvijoje indukuojama aukšta įtampa, dėl kurios pramušamas oro tarpelis ir sukuriama elektros išlydis.



1 pav. Prietaiso schema

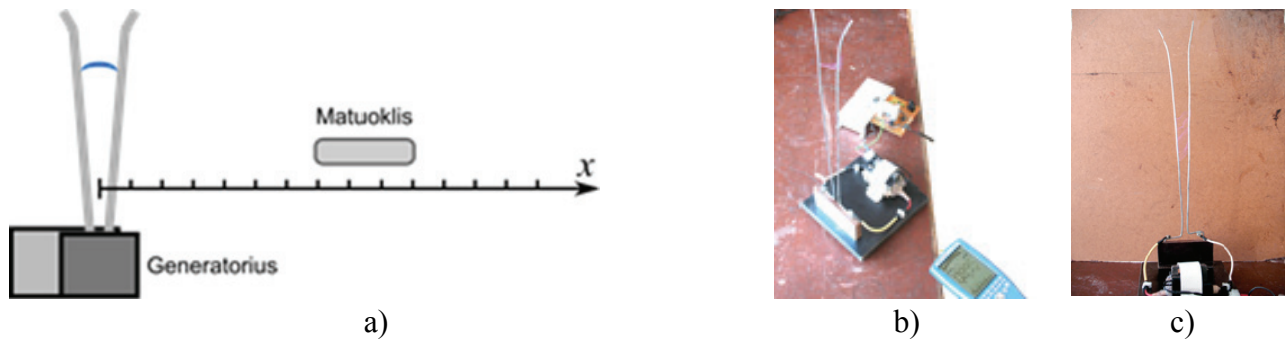
2 lentelė. Schemos elementų specifikacija

Sudedamosios dalis	Žymėjimas schemoje	Paskirtis	Techninė charakteristika
Įtampos stabilizatorius	IC2, C4, C2, C3	Schemos elementų maitinimas	Išvesties įtampa: 12 V
Užduodantysis generatorius	IC1, R1, R2, R3, C1	Lemia aukštos įtampos išlydžių dažnį	Generuojamas dažnis: 2 kHz – 30 kHz
Valdiklis	R4, VT1, VT2	Formuoja valdymo impulsus galios raktui valdyti	-
Galios raktas	R5, VT3	Komutuoja srovę aukštos įtampos transformatoriaus apvijoje	$I_{max} = 14 \text{ A}$
Aukštos įtampos transformatorius	T1	Aukštinantysis transformatorius	Išėjimo įtampa: 15 kV – 50 kV
Iškrovos įrenginys	HV	Jame vyksta išlydis	-

### 1.2 Eksperimento eiga

Elektromagnetinio lauko (EML) parametrai buvo matuojami tolstant nuo JK prietaiso taip, kaip yra parodyta 2 pav., a). Elektros lauko stiprio ir magnetinio srauto tankio vertės buvo matuojamos esant 27,32,36,45,50,55,70,100,130 ir 160cm atstumu nuo generatoriaus. Eksperimento metu buvo naudojamas Spectran NF-5035 elektromagnetinių laukų tyriklis, kurio įvesties parametrai matuojant elektrinį ir magnetinį

laukus buvo nustatyti 1 kHz ... 80 kHz dažnių juostoje; spektro raiška – 1 kHz. Matuojant elektrinį lauką jutiklio ašis nukreipta statmenai kryptčiai į generatorių. Matuojant magnetinį lauką naudota jutiklio X, Y ir Z ašių superpozicija.



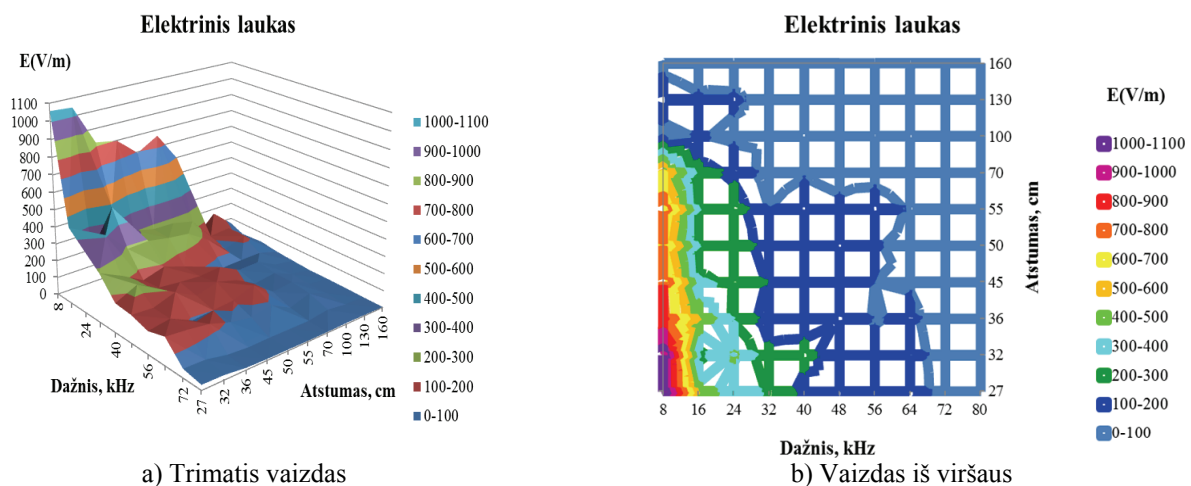
2 pav. Eksperimentiniai matavimai: a) – matavimų schema; b) – matavimai; c) – lankinis iššlydis

## 2. Tyrimų rezultatai

Šiame skyriuje aptariami elektrinio lauko (2.1) ir magnetinio lauko (2.2) eksperimentinio tyrimo rezultatai.

### 2.1 Elektrinis laukas

Elektrinio lauko verčių kitimas priklausomai nuo atstumo iki JK prietaiso bei dažnių yra pateiktas 3 pav., a), vaizdas iš viršaus parodytas 3 pav., b). Kaip matyti, tolstant nuo JK prietaiso elektrinio lauko stipris mažėja atvirkščiai proporcingai atstumui. Didžiausios elektrinio lauko stiprių vertės yra sukonzentruotos 8 kHz-32 kHz dažnių ruože ir siekia nuo 1100V/m iki 300V/m. Remiantis 1 lentelės duomenimis, leistinasis elektrinio lauko stipris esant 3 kHz-10 MHz neturi viršyti 83V/m. Matavimai buvo atlikti minėto 3 kHz-10 MHz diapazono 8 kHz-80 kHz ruože, todėl yra nustatyta, kad mažiausias pavojingas atstumas nuo JK prietaiso yra apytiksliai 1.5m, kuriame, esant bet kuriam dažniui ribose 8 kHz-80 kHz, elektrinio lauko stiprio vertės svyruoja nuo 0-100V/m ir yra artimos arba mažesnės už leistiną 83 V/m elektrinio lauko lygį.

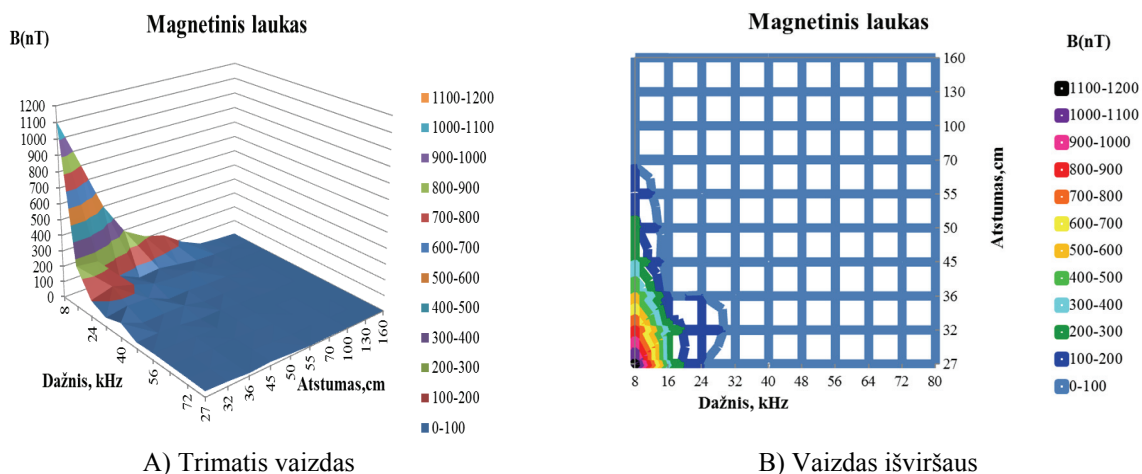


3 pav. Elektrinio lauko kitimas priklausomai nuo atstumo ir dažnio

### 2.2 Magnetinis laukas

Magnetinio srauto tankio verčių kitimas priklausomai nuo dažnių bei atstumo nuo JK prietaiso yra pa-vaizduoti 4 pav. Srauto tankio vertės sparčiai mažėja didėjant atstumui nuo JK prietaiso. Didžiausios magne-tninio lauko srauto vertės pastebimos 8 kHz-16 kHz dažnių diapazone ir atitinkamai sudaro nuo 1200 nT iki

400 nT (4 pav., b). Šio EL parametro ribinė vertė (1 lentelė) yra 27000 nT. Todėl remiantis eksperimentinių tyrimų duomenimis {4pav., a), 4 pav., b)} nustatyta, kad 8 kHz-80 kHz dažnių diapazone magnetinio lauko vertės neviršija ribinės 27000 nT vertės. Didžiausia 1200nT vertė yra 22.5 kartų mažesnė už ribinę, todėl sukonstruotas mokymo procesui skirtas prietaisas yra saugus.



4 pav. Magnetinio lauko pasiskirstymo priklausomybės

## Išvados

Darbe išnagrinėtas EML parametrų pasiskirstymas keičiant darbinį dažnių diapazoną bei atstumą nuo jo veikiant JK. Katedroje sukonstruotas prietaisas bus naudojamas studijų procese kaip mokomoji priemonė dujinių išlydžių fizikinėms savybėms tirti. Bandymų metu apsaugai nuo žalingo žmogaus sveikatai poveikio buvo nustatytos elektromagnetinė spinduliuotė darbinio 8 kHz-80 kHz režimo dažnių diapazone. Įrodyta, kad saugu dirbti 1,5m atstumu nuo veikiančio JK. Elektrinis laukas nėra kenksmingas esant bet kuriam atstumui nuo prietaiso, kai jo darbinis dažnių diapazonas yra 72-80 kHz ribose. Nustatyta, kad JK prietaisui veikiant 8 kHz-80 kHz dažnių diapazone magnetinis laukas nėra pavojingas.

## Literatūra

1. Lin Lie, Wu Bin, Yang Chi, Wu Chengkang; 2007, Characteristics of Gliding Arc Discharge Plasma; Plasma Science and Technology Volume: 8, Issue: 6, Pages: 653-655; ISSN: 1009-0630.
2. R. L. Boxman, V. N. Zhitomirsky; 2006, Vacuum arc deposition devices; Review of Scientific Instruments, Volume: 77, Issue: 2, Pages: 021101; ISSN: 00346748.
3. Rong, Y. Wu, Y. Fei, Z. Sun, W. Wang, X. Wang; 2008, The research of electric arc simulation in low voltage switching devices; 2008 17th International Conference on Gas Discharges and Their Applications; ISBN: 978-0-9558052-0-2
4. A. Fridman, 2004, Physics and applications of the Gliding Arc discharge; The 31st IEEE International Conference on Plasma Science, ICOPS 2004; ISSN: 0730-9244.
5. J. Sekikawa, T. Kitajima, T. Endo, T. Kubono; 2004, Observation of arc-emitted light between slowly opening electrical contacts using a high-speed camera; Proceedings of the 50th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts and the 22nd International Conference on Electrical Contacts Electrical Contacts, 2004; ISBN: 0-7803-8460-1.
6. Michael Gedalin, 2006, Introduction to plasma physics; Ben-Gurion University; 75p.
7. E Litvak, K R Foster, M H Repacholi; 2002, Health and safety implications of exposure to electromagnetic fields in the frequency range 300 Hz to 10 MHz; Bioelectromagnetics (2002); Volume: 23, Issue: 1, Pages: 68-82; ISSN: 0197-8462.
8. World Health Organization; 2007, Extremely low frequency fields; Environmental health criteria; 238; ISBN 978- 92-4-157238- 5.
9. AF McKinlay, SG Allen, R Cox, PJ Dimbylow, SM Mann, CR Muirhead, RD Saunders, ZJ Sienkiewicz, JW Stather and PR Wainwright; 2004, Review of the Scientific Evidence for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (0-300 GHz); Documents of the National Radiological Protection Board (NRPB); Volume 15, No. 3; (2004); ISBN: 0-85951-533-8. <http://www.hpa.org.uk/Publications/Radiation/NPRB/Archive/DocumentsOfTheNRPB/Abd1503/>
10. ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 2003, Exposure to static and low frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (0-100 kHz). Bernhardt JH et al., eds. Oberschleissheim.

# **LANKINIO IŠLYDŽIO ELEKTROMAGNETINIO LAUKO TYRIMAS**

**Valdas Jankūnas, Arnas Ulevičius, Jelena Dikun, Eleonora Guseinovicė, Algimantas Kiškis**

## **Santrauka**

This paper deals with distribution of electromagnetic field parameters on a distance from the device named „Jacob’s Ladder“, which was constructed at the Electrical engineering department of Klaipeda university. This device is expected to be used in study process for investigation properties of electromagnetic field and plasma. For the safety during the performance of the device, both electric and magnetic fields parameters were measured in the certain range of frequencies. Experimentally determined values were compared with the established limited values for electric and magnetic field, which are allowed by regulations in Lithuania. Safe distance 1.5 m from the device was determined. In the range of frequencies 8 kHz-80 kHz magnetic field parameters, and in the range of 72-80 kHz electric field parameters do not exceed limited values.