

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 25 (1997/1998)

Številka 1

Strani 8-12

Janez Strnad:

STO LET KATODNE CEVI

Ključne besede: fizika, katodna cev.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/25/1323-Strnad.pdf>

© 1997 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

STO LET KATODNE CEVI

Gledate televizijo? Računate ali tipkate na računalnik? V obeh primerih je pred vami zaslon katodne cevi. Popravljalci televizijskih in radijskih sprejemnikov ter raziskovalci pogosto zasledujejo časovni potek hitrih pojavov z oscilografom. Tudi vanj je vgrajena katodna cev. Katodno cev je pred sto leti prvi uporabil Ferdinand Braun.

Carl Ferdinand Braun (slika 1) je bil rojen leta 1850 v Fuldi. Študiral je na univerzah v Marburgu in Berlinu. Študij je končal leta 1872. Dve leti je poučeval na gimnaziji, potem je postal profesor najprej na univerzi v Marburgu in leta 1880 na univerzi v Strassburgu. Nekaj časa je predaval na tehniški visoki šoli v Karlsruheju in na univerzi v Tübingenu. Leta 1895 se je kot profesor in ravnatelj fizikalnega inštituta vrnil v Strassburg.

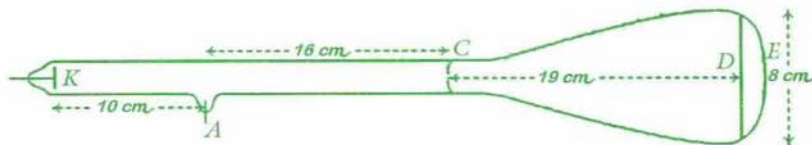
Najprej je pod vodstvom Georga Hermanna Quinckea raziskoval nihanje strun in palic. Nato je preučeval vpliv tlaka na topnost soli. Leta 1874 ga je zanimalo, kako prevajajo električni tok nekateri minerali. Braun je ugotovil, da tok pogosto ni sorazmeren z napetostjo in torej ne velja Ohmov zakon. Poleg tega je bil upor odvisen od smeri. Na kristal je priključil kovinsko konico in drugi priključek ter tok dobil samo v eni smeri. Naprava je delovala kot usmernik. Poskusi z visokofrekvenčnim tokom so ga leta 1897 pripeljali do katodne cevi. Izdelal je tudi natančen elektrometer. Leta 1898 se je Braun začel ukvarjati s prenašanjem Morsovih znakov z visokofrekvenčnimi tokovi tudi po vodi. Pri tem je sledil Guglielmu Marconiju, ki si je že od leta 1897 prizadeval, da bi z radijskimi valovi prenašal sporočila. Dosegel je razdaljo okoli 15 km, a te razdalje ni bilo lahko preseči. Višja napetost ni pomagala. Nekaj večjo razdaljo so dosegli le z 300 m dolgo žico kot anteno, ki je visela z balona. Tedaj so odajno anteno priključili neposredno na krog z izviro. Električno nihanje v anteni ni imelo določene frekvence in je bilo močno dušeno. Braun je dognal, da precej energije porabi iskra v iskrišču, ki je bilo od Hertzevih časov sestavni del kroga. Z nihajnim krogom iz kondenzatorja in tuljave



Slika 1. Ferdinand Braun (1850–1918).

so najprej dosegli, da je tok nihal z določeno frekvenco. Braun je leta 1899 patentiral krog s kondenzatorjem in tuljavo brez iskrišča. Oddajno anteno je *induktivno sklopil* na nihajni krog tako, da je sestavil tuljavo v krogu in drugo tuljavo v anteni v nekakšen transformator. Tako je precej zmanjšal dušenje. Nato se je posvetil radijskemu prenosu v določeni smeri. Najprej je to dosegel tako, da je nagnil anteno iz navpične smeri. Leta 1902 pa je uporabil tri antene v ogliščih enakostraničnega trikotnika. V eni od njih je četrt nihaja prehiteval tokova v drugih dveh. Pri delu z radijskimi valovi sta mu bili v pomoč obe njegovi odkritji: kristalni usmernik in katodna cev. Dognanja je zbral v knjižici *Brezžična telegrafija po vodi in zraku*. Leta 1909 je skupaj z Guglielmom Marconijem dobil Nobelovo nagrado "za prispevke v razvoju brezžične telegrafije". Leta 1915 je odpotoval v ZDA, da bi pričal v nekem patentnem sporu, povezanem z radijskimi valovi. Leta 1917, ko so ZDA vstopile v vojno, so ga internirali. Umrli je leta 1918 pred koncem vojne.

Spomladi leta 1897 je Joseph John Thomson ugotovil, da sestavljajo katodne žarke negativno naelektreni delci. Tako je sklepal, ker je katodne žarke odklanjal s prečnim magnetnim in prečnim električnim poljem. Istega leta je Ferdinand Braun objavil članek z naslovom *O postopku za prikazovanje in raziskovanje časovnega poteka spremenljivih tokov*. V njem je poročal o poskusih s katodnimi cevmi, ki mu jih je po njegovih navodilih izdelal Geisslerjev naslednik v Bonnu. V eni od njih, ki se mu je zdela posebno pripravna, je bila katoda K iz aluminijeve pločevine, kovinska žička kot anoda A, zaslonka C iz aluminijeve pločevine z odprtino s premerom 2 mm in s fluorescentno barvo namazani zaslon D iz sljude (slika 2). Z zaslonko je Braun omejil katodne žarke v ozek curek. Na mestu, na katerem so zadeli fluorescentni zaslon, je bilo opaziti drobno svetlo pego. Med anodo in katodo je priključil influenčni stroj, ki je dajal razmeroma visoko enosmerno napetost. Nekatere poskuse je naredil tudi z induktorjem.



Slika 2. Katodna cev Ferdinanda Brauna iz članka pred sto leti.

Pod cev je v bližini zaslonke postavil tuljavico z vodoravno osjo in speljal skozi elektrini tok. Pega se je premikala gor in dol po zaslonu, ko je spreminjal tok skozi tuljavico. Odklon pege je bil sorazmeren s

tokom po tuljavici in ni bilo mogoče opaziti, da bi bil odklon odvisen od frekvence. Sprememba odklona je brez zakasnitve sledila spremembi toka.

Braun je po tuljavici speljal izmenični tok iz strassburške električne centrale s frekvenco 50 s^{-1} . Zaradi nihajočega toka v tuljavici je hitro nihajoča pega na zaslonu dala navpično črto. Z vrtečim se zrcalom je pego projiciral na steno in opazil sinusno krivuljo. Primerjal jo je s krivuljo, ki jo je dalo nihanje glasbenih vilic s to frekvenco, in zadovoljen ugotovil, da se krivulji dobro ujemata (slika 3).



Slika 3. Nihanje električnega toka (levo) se ujema z nihanjem glasbenih vilic z enako frekvenco. Braun je oboje opazoval z vrtečim se zrcalom.

Nato je skozi tuljavico z navpično osjo spustil izmenični tok in postavil pod njo paličasti magnet, ki ga je hitro vrtel okoli navpične osi. Na zaslonu je Braun dobil sklenjene krivulje, če se je magnet vrtel s frekvenco, s katero je nihal tok, in s primerno fazno razliko. Opazoval je Lissajousove krivulje, ki nastanejo, ko sestavimo nihanji v pravokotnih smereh (slika 4). Uporabil je tuljavico s pravokotnima osema v dveh krogih, ki sta bila induktivno sklopljena. Opazoval je, kako se je oblika krivulje spremenila, ko je v enega izmed krogov vključil kondenzator.



Slika 4. Lissajousove krivulje, ki jih je Braun opazoval neposredno na zaslonu svoje cevi.

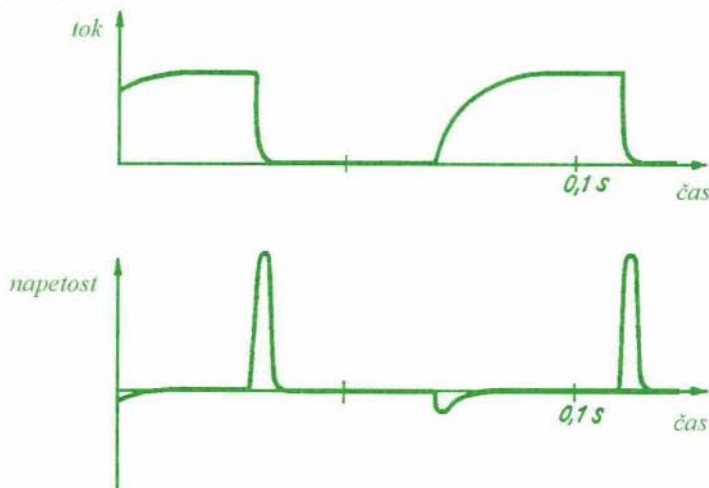
Braunova cev, v kateri prepoznamo predhodnico današnjih katodnih cevi, je imela vrsto pomanjkljivosti. Najprej je bil v njej ostanek plina, sicer ne bi bilo katodnih žarkov. V današnjih ceveh z zelo dobrim vakuumom daje curek elektronov *elektronski top*. Sestavljata ga drobna katoda, ki jo greje električni tok, da iz nje izhlapevajo elektroni, in anoda, na katero je priključena visoka pozitivna napetost proti katodi. Skozi

drobno odprtino v anodi izhaja curek elektronov. Dodatne elektrode med katodo in anodo poskrbijo, da je pega na zaslonu čim manjša. Poleg tega imajo današnje katodne cevi vgrajen majhen kondenzator z navpičnima ploščama, na kateri je priključena žagasta napetost, ali ob vratu par tuljav z navpično osjo, skozi kateri poganjamo žagast tok. S tem dosežemo, da pega enakomerno potuje od levega roba zaslona na desno in se hitro vrne na levi rob. Napetost, katere časovni potek nas zanima, priključimo na kondenzator z vodoravnima ploščama ali na par tuljav z vodoravno osjo. Tako lahko časovno odvisnost opazujemo neposredno na zaslonu in ni treba uporabiti vrtečega se zrcala. Pri televizijskem sprejemniku ali računalniškem zaslonu poganjamo tudi skozi drugi par tuljav žagast tok, le da z nižjo frekvenco, tako da pega potuje tudi z vrhnjega roba zaslona navzdol in otipa ves zaslon. Z napetostjo med katodo in eno od dodatnih elektrod vplivamo na izdatnost elektronskega curka in s tem na svetlost pege na zaslonu.

Za nameček omenimo *induktor*, ki so ga uporabljali Braun in drugi, tudi Conrad Wilhem Röntgen, ko je odkril rentgensko svetlobo. Tedaj ni bilo razširjenega električnega omrežja z izmenično napetostjo in zato ni bilo transformatorjev. Namesto njih so uporabljali induktorje. Šop med seboj izoliranih debelih železnih žic so ovili s primarno tuljavo z N_1 ovoji debele žice in to s sekundarno tuljavo z N_2 ovoji tanke žice. Na primarno tuljavo so priključili akumulatorsko baterijo in mehanično prekinjalo. Na sekundarno tuljavo so priključili elektrodi v cevi z razredčenim plinom. Na cevi ni bilo napetosti, ko je poganjala akumulatorska baterija po primarnem krogu konstanten tok. Napetost se je inducirala na cevi v sunkih, ko je prekinjalo prekinilo tok ali ga zopet sklenilo. Sunek napetosti ob prekinitvi, ko se je zmanjšal magnetni pretok, je bil drugače obrnjen kot sunek napetosti ob vključitvi, ko je magnetni pretok narasel. Morda bo kdo pripomnil, da je bila elektroda cevi zdaj anoda zdaj katoda, in podvomil v to, da je naprava sploh delovala. Transformator zares na sekundarni strani daje N_2/N_1 -krat višjo izmenično napetost, če ga priključimo na primarni strani na izmenično napetost. V tem primeru je treba uporabiti usmernik, ki ga tedaj še niso imeli.

Njegovo vlogo je mimogrede opravil induktor. Po indukcijskem zakonu $U_i = \Delta\Phi/\Delta t$ inducirano napetost določa hitrost spreminjanja magnetnega pretoka Φ . Če je električni tok skozi akumulatorsko baterijo in z njim magnetni pretok naraščal počasi, ko je bilo prekinjalo sklenjeno, se je inducirala razmeroma nizek sunek napetosti. Če se je električni tok in z njim magnetni pretok hitro zmanjšal, ko je prekinjalo tok prekinilo, se je

induciral razmeroma visok, nasprotno obrnjen sunek napetosti (slika 5). S tem, da je cev delovala v sunkih, se je bilo pač treba sprijazniti. V uravnavanju enih in drugih sunkov s spretno rabo prekinjala in iskre, ki je nastala v njem, so bili tedanji raziskovalci katodnih žarkov pravi mojstri. To je veljalo tudi za Brauna.



Slika 5. Časovna odvisnost toka po krogu s prekinjalom v induktorju (zgoraj) in sunki inducirane napetosti na cevi (spodaj).

Influenčni stroji so bili dokaj muhasti, zato so namesto njih in induktorjev nekaj časa uporabljali visokonapetostne akumulatorske baterije. Znamenita je bila harvardska baterija, ki je s svojimi 20 160 celicami zmogla napetost 40 000 V. Kot si je mogoče misliti, so imele tudi te svoje pomanjkljivosti. Zato so jih ob uvedbi izmeničnega toka zamenjali transformatorji in usmerniki.

Janez Strnad

VSOTA IN PRODUKTA

Zapišimo število 1997 kot vsoto (ne nujno različnih) naravnih števil,

$$1997 = n_1 + \dots + n_k.$$

Sprašujem vas, kolikšna je najmanjša in kolikšna največja mogoča vrednost produkta $n_1 \cdot \dots \cdot n_k$.

Martin Juvan