

IZNAJDBA IN RAZVOJ KATODNE ELEKTRONKE IN DRUGIH VAKUUMSKIH ELEMENTOV ZA TELEVIZIJO (I. del)

Stanislav Južnič* in Vinko Nemanič, Inštitut za tehnologijo površin in elektrooptiko, Teslova 30, 1000 Ljubljana

Invention and development of cathode ray tube and other vacuum components of television (Part I.)

ABSTRACT

Next year we celebrate a century from invention of cathode ray tube. In the first part of the article the history of the vacuum components of television before the predominance of electronics is described. Special concern is put on the research done by Slovenes.

POVZETEK

Prihodnje leto bomo praznovali stoletnico iznajdbe katodne elektronke. V prvem delu razprave opisujemo razvoj vakuumskih komponent za televizijo pred prevlado elektronike. Posebno pozornost posvečamo raziskavam avtorjev slovenskega rodu.

1 Uvod

Težko bi našli področje, kjer se je vakuumna tehnika uveljavila močnejše kot ob razvoju televizije. Zgodovino fizike in tehnike lahko zadnjih sto let spremljamo tudi skozi prizmo razvoja vakuumne tehnike. Zaradi prepletenosti pa je kaj težko ločiti prispevek posamezne veje od napredka drugih.

Ob vsakdanjem delu z računalnikom ali pri gledanju TV zvečer nas še vedno večina sedi za nerodno katodno elektronko**, ki praznuje drugo leto častitljivih sto let.

Za delovanje televizije kot sistema prenosa žive slike je poleg katodne elektronke pomembnih še mnogo drugih komponent, ki pa so vse, kljub vsemu, zopet povezane z vakuumom. Kvalitetne snemalne studijske kamere imajo namreč še vedno vgrajene po tri slikovne elektronke (npr. vidicon), oddajne in transmissijske postaje imajo ojačevalnike s končnimi mikrovalovnimi elektronkami.

Iz zgodovinskega razvoja bomo spoznali, koliko globokih spoznanj o sestavi atomov oz. trdne snovi je bilo potrebnih, da so lahko nato bistre domislice preko izumov in patentov pripeljale do današnjega stanja. Težko je nepristransko ovrednotiti vrednost posameznega prispevka k celoti. Odkritje luminiscence, fotoemisije, emisije elektronov iz vročih kovin in njihovih oksidov, delovanje elektronskih leč, odklonskih sistemov itd. je bilo treba s trdim delom tehnologov napraviti dosegljive tehnikom in uporabnikom. Nekaj mejnikov v

razvoju televizije bi lahko našli že v uvodu, a bi to nepristransko težko storili. Razvoj namreč še ni končan; med obetavnejšimi možnostmi posodobitve današnjega formata TV slike na enega od prihodnjih napovedanih standardov HDTV je znova: katodna elektronka. V prvem delu je prikazan razvoj katodne elektronke, to je elektronskooptičnega sistema za pretvorbo električnega signala v vzorec na zaslonu, ki ga oko zazna kot gibljivo sliko. Čeprav je tehnično izobraženemu bralcu delovanje oz. princip delovanja poznan, ga na kratko ponovimo. Zavedati se je treba, da je bilo ob nastanku idej o televiziji neznank in resnih težav nepregledno veliko. Velika večina elektronk ima za izvir elektronov vgrajeno oksidno katodo (Ba, Sr, Ca), ki pri 800°C emitira elektrone z gostoto približno 1A/cm². Za enako emisivnost bi bilo treba segreti volfram na 2800°C, kar bi otežilo preslikavo. Med katodo in prvo anodo je nameščena kontrolna ali modulacijska elektroda, Wehneltovalj, ki določa trenutni delež prepuščenih elektronov (=svetlost na ekranu). Katodni tok je le del vsega razpoložljivega toka, ki je omejen s prostorskim nabojem, zato je z modulacijsko napetostjo nastavitve sivega klina enostavna. Slika katode, preslikana z modulatorjem v t.i. presečišču, je predmet pri preslikavi z glavnim elektronskooptičnim (EO) sistemom, katerega prava slika nastane na zaslonu. EO sistem predstavljajo bodisi elektrostatične ali (izjemoma) elektromagnetne leče. Prve sestavlja niz valjev in zaslonk na primernih potencialih, magnetne leče so toroidne tuljave ali permanentni magneti. Na poti do zaslona snop elektronov odklanja časovno spremenljivo in medsebojno pravokotno elektrostatično ali elektromagnetno polje. Prvo je uporabljeno pri spremljanju hitrih sprememb signala (osciloskopi), televizijske in radarske katodne elektronke pa imajo praviloma magnetni odklon. Najvišji dovoljeni tlak je v vseh elektronkah določen predvsem z dolgotrajnim delovanjem oksidne katode. Povratni tok pozitivnih ionov, ki jih ustvarja elektronski tok na poti do zaslona, najbolj razpršuje ravno emisijsko mesto katode. Zaradi premajhnega vakuumskega znanja so bile, kot bomo videli v tekstu, elektronke v petdesetih letih opremljene s t.i. ionskimi pastmi, ki so blažile posledice ionskega bombardiranja katode. Zmanjševanje razprševanja na ekranu se je zmanjšalo z uvedbo neparjene tanke aluminijaste elektrode, ki je hkrati omogočila prehod na direktno odvajanje primarnega toka, kar so pri napetostih do 10 kV reševali s sekundarno emisijo. Danes velja za spodnje dopustno merilo, da sme tlak neoksidativne atmosfere v elektronki proti koncu uporabnosti (več let delovanja po nekaj ur na dan) priti v območje pod 1.10⁻⁵ mbar. Svetlost in ločljivost slike sta povezani z dvema nasprotujočima zahtevama: čim nižjo anodno napetostjo in čim večjo emisivnostjo katode. Kompromisi so ob povečevanju tehničnega in tehnološkega znanja rasli v prid obeh. Bralcem je morda za prikaz napredovanja primeren zgled povečevanje kvalitete monitorjev za PC; od VGA do standarda EGA ni minilo niti desetletje. Povečevanje ločljivosti pomeni povečevanje poljske

* Stanislav Južnič je profesor fizike in računalništva na srednji šoli v Kočevju. Leta 1980 je diplomiral iz tehnične fizike na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo, magistriral pa leta 1984 iz zgodovine fizike na Filozofski fakulteti v Ljubljani.

** Dr. E. Kansky se je zavzemal, da namesto katodna cev (nemško Bild Röhre ali angl. Cathode ray tube, v slovenščini uporabljamo izraz katodna elektronka. Namesto snemalna ali slikovna cev, ki jo uporabljamo za pretvorbo slike s fotokatode v električni signal pa je predlagal slikovna elektronka (angl. Image tube). Priznati je celo treba, da današnje katodne elektronke s kotom odklona 120 stopinj še komaj spominjajo na cev.

jakosti med elektrodami EO sistema in s tem povezanimi problemi hladne emisije, prebojev in nastanka plazme. Zgodnji poskusi uporabe hladne emisije za elektronski izvir so se končali z razočaranji in še danes niso prerasli stopnje tehnološke zrelosti za izdelek v široki uporabi. Prav tako so naštetih pojavi trd oreh tehnologov, kadar jih skušajo preprečiti; danes konstruirajo EO sisteme z zahtevo (pri stabilnem delovanju) za makro poljske jakosti 100 kV/cm. Barvna televizija je dobila tehnološko osnovo z uvedbo senčne maske ob koncu štiridesetih. Zanimivo je, da se drugi principi tvorbe barvne slike niso široko uveljavili kljub nekaterim specifičnim prednostim. Senčna maska namreč zadrži večino anodnega toka. Sony je s principom Trinitron, vpeljanim ob koncu šestdesetih, še vedno edini svetovni proizvajalec, ki mu je uspelo delež ekranskega toka povečati za večkrat. Prav tako je ostal za vojaško uporabo rezerviran sistem kontroliranega vodenja (beam index) enega samega elektronskega snopa.

Razveseljivo je, da smo vsaj v zgodnji dobi razvoja sodelovali tudi Slovenci in morda skromna samohvala, da smo negotovim zadnjim letom navkljub obdržali pri življenju osvojeno tehnologijo izdelave zahtevnih miniaturnih katodnih elektronk (Vakuumist, 26(4), 1991).

V nadaljevanju si bomo podrobneje ogledali zgodovinski razvoj katodne elektronke in drugih vakuumskih komponent za televizijo.

Ob razvoju telegrafije se je zdelo, da bo mogoče tudi slike prenašati na razdalje, ki presegajo fiziološke možnosti. Leta 1843 je Anglež Alexander Bain opisal sistem za prenos slik, predvsem kemično obarvanih portretov. Tok med elektrodama pritisnjenima na sliko, je vseboval podatke o narisanim. Bainov telegraf s popravki dunajskega mehanika Eklinga so uporabljali v Avstriji od leta 1847 do vpeljave Morsejevega telegrafa (Šubic, 1875, 21).

Vzporedno so razvili še druge načine za kemično detekcijo in električni prenos zapisa, med drugim Friderick Collier Bakewellov telegrafski faksimil leta 1847. Prenos slik gibanja je postal aktualen šele z iznajdbo kinematografa konec stoletja.

2 Senzorji in fotocelica

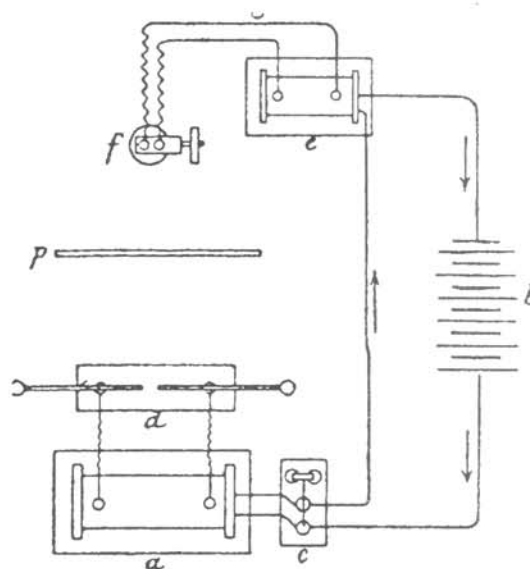
Pri televiziji je treba pretvoriti svetlobni signal v električni tok, ki so ga v prejšnjem stoletju že znali prenašati na velike razdalje. Alexandre Edmond Becquerel (1820-1891) je v Parizu leta 1839 prvi opazil, da svetloba povzroča električni tok v nekaterih elektrolitih.

Leta 1873 sta Willoughby Smith in njegov pomočnik, brzojavni uradnik May, po naključju odkrila svetlobno odvisnost električne prevodnosti selena med preizkušanjem podmorskih kablov na Irskem.

G. R. Carey je v Bostonu leta 1875 prvi opisal televizijski sistem s projekcijo slike objekta na fotoobčutljivo površino izolatorja, ki ni bil selen, temveč srebrova spojina. Angleža W.E. Ayrtton in J. Perry sta leta 1877 že uporabila selenske celice, B.F. Rignoux in Fournier pa sta leta 1906 medsebojno povezala 64 selenskih celic (Swift, 1950, 21; Zworykin, 1950, 1-2 in 350; 1958, 5).

Alexander Graham Bell (1847-1922) in Symner Tainter sta 27.8.1880 uporabila selen v fotofonu. Manj kot leto dni pozneje smo o odkritju že lahko brali v slovenskem jeziku (Klemenčič, 1881; Šubic, 1882, 535-536).

Občutljivejša od selena je bila fotocelica. Fotoefekt je odkril Hertz maja 1887 v Karlsruheju ob raziskovanju resonance med hitrimi oscilacijami. Opazil je, da praznjenje Ruhmkorffove indukcijske tuljave sproži dve povsem istočasni električni iskri. Prva (A) je bila iskra praznjenja induktorja in je rabila za vzbujanje primarne oscilacije. Med poskusi je natančno meril največjo dolžino druge, šibkejše iskre (B), ki je nastajala ob inducirani sekundarni oscilaciji. Zaradi lažjega opazovanja je iskro B osenčil s škatlo in presenečeno opazil, da se je njena dolžina občutno skrajšala. S premikanjem škatle je dognal, da ovira med obema iskrama ne vpliva na dolžino iskre B le v njeni neposredni bližini, temveč tudi na večji razdalji med iskrama A in B (Hertz, 1905, 260-261).



Slika 1: Shema naprave, s katero je Hertz leta 1887 odkril fotoefekt

Hertz ni mogel pojasniti odkritja z naelektrenjem ovire, saj so efekt opazili tako pri ovirah iz prevodnikov, kot pri izolatorjih, ne pa pri kovinskih mrežah. Menil je, da gre za vpliv kratkovalovne ultravijolične svetlobe, ki jo absorbira večina trdnin, mogoče pa jo je tudi odbijati in lomiti. Hertz je eksperimentalno dokazal zamotanih okoliščinah, zato se je v svojem poročilu raje izognil razlagi fotoefekta (Hertz, 1905, 269).

Hertzov asistent Lenard in M. Wolf sta marca 1889 v Heidelbergu združila idejo Wilhelma Hallwachsa (1859-1922) iz leta 1888 o izbujanju elektronov z ultravijolično svetlobo in Robert Nahrwoldovo (r. 1850) raziskovanje razprševanja kovinskih katod v vakuumu iz let 1887 in 1888 (Južnič, 1995, 19). Lenard je sprva domneval, da ultravijolična svetloba izloča delce z merljivo maso (Lenard, 1889, 444). 19.10.1899 je kot Hertzov naslednik v Bonnu dokazal, da svetloba pri fotoefektu izbija elektrone. Opazil je, da fotoefekt poteka tudi v najboljšem vakuumu, kjer drugi znani pojavi električnega

praznjenja odpovedo. Pri navadnih tlakih pa se izbiti elektroni ustavijo v okoliškem plinu.

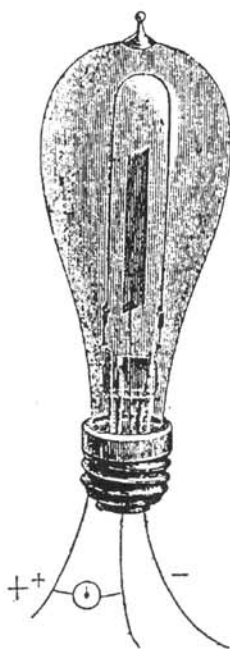
Za elementarni negativni naboj je Lenard uporabil izraz "quantum", ki je zaznamoval fiziko naslednjih generacij. Izmeril je naboj, ki ga žarki ultravijolične svetlobe spravijo v gibanje v praznem prostoru pri različnih napetostih med elektrodama in dokazal, da same električne sile ne zadostujejo za premagovanje izstopnega dela pri fotoefektu (Lenard, 1905, 398, 400-402, 412-414, 416).

Geitel in Elster z gimnazije v Wolfenbüttlu sta leta 1889 fotokatodo iz kalijevega ali natrijevega živosrebrnega amalgama osvetljevala z vidno svetlobo skozi anodo v obliki obroča. Pri osvetljevanju z ultravijolično svetlobo sta uporabljala fotokatodo iz cezija. Naslednje leto sta napravo zaprla v stekleno vakuumsko cev in tako dobila prvo sodobno fotocelico (Zworykin, 1950, 5-6).

3 Ojačevalniki in trioda

Edison je leta 1883 patentiral in nato v predavanju na razstavi v Philadelphiji opisal "eterično silo", zaradi katere se nabita plošča prazni v bližini razžarjene žarnice. Izolirano elektrodo iz platine je postavil na razdaljo 1,35 cm od loka med razžarjenima nitima iz oglja v žarnici. Z galvanometrom je meril tok med ploščo iz platine in eno od žic.

Edison je domneval, da nabiti delci zraka (ali ogljika) premočrtno zapustijo nit iz oglja. Tok je spremenil smer, ko je zamenjal elektrodi v žarnici in je bil pogosteje (sic!) večji, ko je bila plošča iz platine povezana s pozitivnim polom. Intenziteta toka se je spreminjala sočasno s žarilnim tokom skozi nit žarnice. Čez nekaj časa se je tok med elektrodo iz platine in pozitivno elektrodo oslabil, po hlajenju pa se je pri ponovnem žarenju ponovil s prejšnjo intenziteto. Opazil je tudi tok skozi steklo žarnice na elektrodo iz platine (Edison, 1905, 183-184).



Slika 2: Shema Edisonove žarnice

John Ambrose Fleming (1849-1945), Edisonov svetovalec iz Londona, je leta 1890 pojasnil Edisonovo odkritje s termoelektronsko emisijo. Kot tehnični svetovalec Marconija je leta 1904 uporabil termoelektronsko emisijo v diodi (Settel, 1978, 29, 40).

Richardson je v Cavendishovem laboratoriju J.J.Thomsona (1856-1940) med leti 1901-1903 raziskoval prevajanje pri nizkih tlakih pod vplivom segrety kovin. Pojav je zamotan, saj je odvisen od stopnje ionizacije, temperature, narave plina v vakuumu, "preteklosti" kovine in tudi od njene površine.

Razmere se poenostavijo pri visokih temperaturah, ko je prevajanje odvisno samo od negativnih delcev izločenih iz kovine. Richardson je raziskoval temperaturno odvisnost toka med segreto kovino in kovinsko elektrodo v bližini. Velikost toka je v ravnovesju odvisna od polnega števila delcev, ki jih površina izloči v časovni enoti.

Pri tlaku 1/600 mm Hg je Richardson dobival presenetljivo visoke tokove do 0,4 A med elektrodama, oddaljenima 2 mm, pri napetosti 60 V. Segrete elektrode iz platine, ogljika ali natrija so spremenile vakuum v odličen prevodnik elektrike po termodinamski enačbi odvisnosti gostote toka od temperature površine katode. Zato je Richardson zavrnil možnost, da se molekule plina ionizirajo pri trkih s segreto kovino.

Po teoriji Nemca Paula Drudeja (1863-1906) in J.J.Thomsona z mednarodnega kongresa fizikov v Parizu leta 1900 je bilo znano, da hitri prosti elektroni prevajajo elektriko v kovinah. Segrevanje poveča povprečno hitrost elektronov. Zato s površine uide več elektronov v procesu, podobnem izparevanju, s katerim je Richardson pojasnil tudi Edisonovo "eterično silo" (Richardson, 1905, 581-583, 601). Za raziskovanje termoemisije je Richardson dobil Nobelovo nagrado za leto 1928.

Wehnelt je leta 1904 v Erlangenu dobil curek elektronov že pri pospeševalni napetosti nekaj sto voltov v katodni elektroni z zelo tanko žarečo katodo iz platine, prekrito z nekaj mm širokim madežem iz kovinskega oksida. Napetosti nad 1000 V ni uporabljal, saj je povzročala močno razprševanje platine. Počasne elektrone je zlahka usmerjal z električnim ali magnetnim poljem. Počasni elektroni so močno ionizirali plin, zato je bil zaželen čim boljši vakuum. Tok elektronov je bil zvezen, njihovo hitrost pa je bilo mogoče spreminjati v širokih mejah (Wehnelt, 1905, 732-733).

Wehneltovo odkritje počasnih "katodnih žarkov" je Dunajčan Robert von Lieben (1878-1913) uporabil leta 1906 v patentu v Nemčiji in drugod. Katodne žarke je odklanjal z magnetom in tako spreminjal upornost tokokroga. V drugem patentu leta 1910 je odkritje nekoliko modificiral, v tretjem patentu istega leta pa je postavil v elektrono mrežico z nizko negativno napetostjo za uravnavanje toka. Več nemških podjetij je družno izkoriščalo Liebenov patent, ki ga je AEG leta 1912 razvil v uporaben ojačevalnik.

Samostojni podjetnik Lee de Forest (1873-1961), nekdanji inženir pri Western Electric v Chicagu, je neodvisno od Liebena leta 1907 v ZDA patentiral "audion", Flemingovo diodo z mrežico. De Forestova trioda je bila manj občutljiva za spremembe temperature od triode Liebena, ki je uporabil slabši vakuum s sledmi živega srebra za domnevno povečanje ojačenja. Leta

1913 je Alexander Meissner pri Telefunknu uporabil triodo s povratno vezjo, ki je preprečevala dušenje (Siemens, 1957, II, 11-14; Settel, 1978, 40; Osredkar, 1996, 15-16).

Slovenec Julij Nardin (1877-1959) je leta 1904 diplomiral pri Ludwigu Boltzmannu (1844-1906) na Dunaju in nato poučeval na realki v Idriji med leti 1905-1912. S prijateljem Zeijom iz Gorice sta patentirala leta 1913 v Avstriji samostojni izum releja za telefone in telegrafe, še posebno pri uporabi podmorskih kablov.

Uporabila sta Wehneltov generator počasnih elektronov z napetostjo 400 V v izčrpani cevi z dvema (ali več) enakovrednima, medsebojno izoliranima anodama. Anodi sta povezala v isti tokokrog tako, da sta njuna konca zunaj elektronke navila v nasprotnih smereh okoli železnega jedra primarne tuljave transformatorja. Med anodi sta lahko postavila še krajšo anodo s konstantnim tokom za preprečevanje motenj.

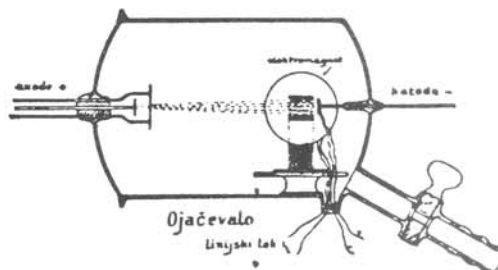
Katodo nista segrevala neposredno, kot to počnemo danes, temveč sta jo razžarila s posebno ploščo, postavljeno za katodo v elektronki. Med elektrodi sta postavila elektromagnet za usmerjanje katodnih in drugih (sic!) žarkov. Patentni spis je kar dvakrat omenjal neimenovane "druge žarke", kar je lahko zadevalo Goldsteinove kanalske žarke, manj verjetno pa električno nevtralne magnetne žarke Augusta Righija (1850-1920), N žarke René Blondlota (1849-1930) in celo vrsto drugih.

Če so elektroni padali simetrično na oba dela anode, sta imela oba enak potencial in je skozi obe veji tekla enak tok. Učinka obeh tokov sta se na nasprotno usmerjenih navojih tuljave izničila. Ko je na eno od anod padalo več elektronov, jih je padalo na drugo toliko manj, vpliva njihovih tokov pa sta se v nasprotnih navitjih tuljave seštevala in zato ojačila.

Med prizadevanjem za pridobitev patenta je Nardin dognal, da je njegov ojačevalnik štirikrat močnejši od Liebenovega tekmeča iz leta 1906. Ionizacija plinov ga ni motila tako kot Liebenovo triodo iz leta 1910. Vendar svoje naprave ni mogel preizkusiti, saj ni imel na voljo dovolj učinkovitih vakuumskih črpalk. Z Zeijom nista zmogla nakupa močnejše črpalke in sta se brez uspeha menila za sodelovanje s tovarno telefonov Zwietsch iz Berlina, ki je med prvo svetovno vojno postal del Siemens & Halskeja.

Med leti 1912 in 1920 je Nardin poučeval na klasični gimnaziji v Ljubljani. Tam je načrtoval vakuumsko črpalčko z uporabo tlaka kapljic in adhezije par živega srebra. Žal je dogovor z dunajskim izdelovalcem propadel zaradi vojne. Zato je Nardin eksperimentalno kar z elektromagnetnim odklanjanjem žarečega plinskega loka med anodama iz ogljene palice pri navadnem tlaku. Po koncu prve svetovne vojne se je pokazalo, da ga je prehitela de Forestova iznajdba triode z izboljšavami Irvinga Langmuirja (1881-1957) pri General Electric (Nardin, 1912, 1-2 in 1929, 44-48; Sitar, 1987, 193; 1989, 167; Reich, 1983, 213).

Od leta 1922 je bil Nardin honorarni, nato redni profesor fizike na medicinski fakulteti v Ljubljani, kjer je osnoval fizikalni inštitut. Med leti 1927-1928 je honorarno predaval fiziko na filozofski fakulteti univerze v Ljubljani. Na tehnični srednji šoli je poučeval med leti 1920-1947 s premorom med drugo svetovno vojno.



Klasse 21 a.

Ausgegeben am 10. September 1914.

KAIS. KÖNIGL.



PATENTAMT.

Österreichische

PATENTSCHRIFT N^o 66604.RENÉ ZEI IN GÖRZ UND JULIUS NARDIN IN LAIBACH.
Relais für elektrische Ströme.

Angemeldet am 13. August 1912. — Beginn der Patentdauer: 15. Juni 1913.

Vorliegende Erfindung betrifft ein Relais für elektrische Ströme, insbesondere für Fernschreib- und Fernsprechwerte auf große Distanzen, mittels variabler, elektromagnetischer Beeinflussung von Strahlen wie Kathodenstrahlen usw.

Diese Strahlen erfinden Ablenkungen und Änderungen in ihrer Intensität durch die Schwankungen eines vom Linienstrome durchflossenen Elektromagneten. Die Änderung der Intensität sowie die Ablenkung der Strahlen hat eine Variation der Stromintensität in den Zweigen des Lokalhochspannungsstromes zur Folge. Die Anode ist zwei-, drei- oder mehrteilig und erdungsgegemäß liegen alle Anodenleitungszweige in einem einzigen Lokalkreis. Die Ablenkung der Strahlen hat ein wechselndes Fallen derselben auf den einen oder den anderen Zweig dieser Elektrode zur Folge, wodurch der Strom in den Zweigen der geteilten Elektrode schwankt und so den Empfangsapparat in die dem Sender entsprechende

Slika 3: Shema ojačevalnika, ki sta ga leta 1913 patentirala R. Zei in J. Nardin

4 "Skenerji" in katodna elektronika

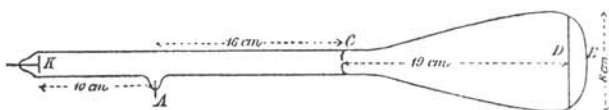
Že leta 1880 so objavili v Scientific American, da bi bilo treba vsaj 10000 tokokrogov za natančen prenos trinajstih kvadratnih centimetrov slike. Zato je že Bakewell uporabljal princip vrstičenja (skeneriranja) slike, ki ga je Portugalec de Paiva leta 1878 prvi predložil za uporabo pri televiziji. Za mehansko analizo slike so od leta 1884 uporabljali ploščo z luknjami v obliki spirale nemškega fizika Paula Nipkowa (1860-1940), vibrirajoča zrcala Avstrijcev Jana Szepanika in Ludwiga Kleinberga, patentirana leta 1897, ali druge mehanske priprave.

Ob mehanski se je razvila tudi elektronska analiza slike, ki je pozneje prevladala. Braun je doktoriral leta 1872 pri Hermanu von Helmholtzu (1821-1894) v Berlinu, enako kot pozneje Hertz. Kot pomožni predavatelj Thomas-Schule v Leipzigu je v letih 1874-1875 nadaljeval Stefanove (1865) raziskave ojačevanja v polprevodniških kristalih in sestavil "detektor", ki je bil nepogrešljiv usmernik pred iznajdbo triode (Adlešič, 1952, 453).

Med decembrom 1877 in 1878 je Braun v Marburgu nadaljeval Hittorfova raziskovanja razprševanja katode v Geisslerjevi cevi iz leta 1869 (Braun, 1878, 441, 477). Leta 1880 je nasledil Röntgena na katedri za teorijsko fiziko univerze v Strassburgu in eksperimentalno v Kundtovem fizikalnem laboratoriju.

Leta 1887 je Braun objavil meritve sevanja razžarjene ploščice kvadratnega centimetra porcelana v primerjavi s platino in kovinskimi oksidi. Ni omenil Stefanovega zakona iz leta 1879, čeravno sta oba citirala meritve Johna Tyndalla (1820-1893) iz leta 1864 (Braun, 1888, 414).

Leta 1895 je Braun prevzel nekdanje Kundtovo mesto direktorja fizikalnega inštituta v Strassburgu in obenem sodeloval s Siemens & Halskom. Raziskovanja posebnosti prevajanja elektrike v plinih (Braun, 1896, 688, 691-692) so ga leta 1897 pripeljala do odkritja katodne elektronke.



Slika 4: Shema Braunove elektronke (K - katoda, A - anoda, C - aluminijasta zaslonka, D - zaslon, prevlečen s fosforescentno snovjo, E - steklena stena)

V prvotni katodni elektronki je Braun elektrone iz mrzle aluminijaste katode pospeševal s Töplerjevim influenčnim strojem z 20 ploščami mimo anode, skozi aluminijasto odprtino širine 3 mm. Elektroni so trkali ob stekleno steno, prevlečeno s fosforescentnim zaslonom iz sljude v razširjenem delu izpraznjene cevi, ki jo je izdelal Franz Müller, naslednik Geisslerja v Bonnu. V bližino odprtine je Braun postavil majhen elektromagnet z osjo, pravokotno na os cevi. Ko je spuščal tok skozi elektromagnet, se je točka zapisa premikala po zaslonu. Tako je dobil sinusni zapis izmeničnega toka električne centrale v Strassburgu, krivulje Jul. Antona Lissajousa (1822-1880) itd. (Braun, 1897, 552-553).

Hess iz nemškega podjetja Sigmunda Schuckerta je trdil, da je sam izumil katodno elektronko že leta 1894 (Hess, 1898, 622). Leta 1898 je Hess konstruiral zelo priljubljene oblike elektrod (Siemens, 1957, I, 204-205)

Graetz z Univerze v Münchenu je 25.4.1897 odkril, da katoda iz aluminija prekrita s tanko plastjo oksida, deluje kot usmernik brez premičnih delov, ki pretvarja izmenični tok v enosmerni. Pollak je 24.6.1897 opozoril, da je samostojno opazil isti pojav in ga uporabljal v tovarni akumulatorjev v Frankfurtu na Maini (Graetz, 1897, 326-327).

14.4.1898 je Braun nadaljeval Pollakovo in Graetzovo raziskovanje z merjenjem izsevane svetlobe aluminijaste elektrode v elektrolitu. 29.3.1898 je Braun svojo elektronko dopolnil še z dodatno železno palico v stek-

leni cevi na zaslonu. Katodne žarke si je predstavljal kot vodnik, pritrjen na katodi. Drugi konec "vodnika" je ukrivljal z magnetom in pri tem upošteval veliko hitrost elektronov in njihovo trenje v plinu elektronke (Braun, 1898, 361, 368, 370-371).

Braun se sprva ni zanimal za Hertzove valove, čeprav ga je prav Hertz zamenjal na mestu profesorja eksperimentalne fizike visoke šole v Karlsruheju. Prevajanje Hertzovih valov v vodi je začel raziskovati šele leta 1898 za potrebe telegrafije. Izboljšal je Marconijev aparat, ki se je prvotno razlikoval od Hertzovega le po ozemljitvi in anteni.

Braun je bil predvsem eksperimentalni fizik in je v šali obžaloval svoje pomanjkljivo znanje matematike (Jungnickel, II, 346). Zasnoval je podjetje Telebraun v okvirju Siemens & Halskeja, ki se je po cesarski intervenciji 27.5.1903 združilo z berlinskim AEG v Telefunken. Podjetje, ki ga je vodil skupaj s profesorjem Adolfom Slabyjem in tehničnim direktorjem grofom Arcom, je imelo monopol pri nemškem radiu. Leta 1909 je Braun delil z Marchesom Guglielmom Marconijem (1874-1937) Nobelovo nagrado iz fizike za razvoj radia (Siemens, 1957, I, 185; Zajc, 1995, 74).

Braun je visoko ocenil možnosti katodne elektronke v znanstvenem raziskovanju, čeprav so bile sprva počasne zaradi dolgih časov prehoda ionov (Braun, 1897, 553). J. Richarz je leta 1900 z Braunovo elektronko analiziral nihanje naboja Leydenske steklenice. Leta 1904 je Johnatan Zenneck (1871-1959) z Braunovo elektronko fotografiral oscilogram dušenega nihanja nihajočega naboja. Leta 1903 sta Wehnelt in Walter König (1859-1936) postavila v Braunovo elektronko uklonske elektrostatične plošče, ki sta jih leta 1908 demonstrirala na zborovanju nemških naravoslovcev in zdravnikov v Kölnu (Kudrjavcev, 1971, 313).

W. Rogowski je v Aachenu leta 1925 razvil osciloskop z zaslonom iz fosforescentne plasti cinkovega sulfida. Elektroni so se z žareče katode pospeševali v pravokotni smeri s 25000 V proti anodi. Med anodo in fluorescentnim zaslonom je postavil ozko zaslonko. V starejšem Samsonovem modelu je bila zaslonka preblizu katode. Zato je bil zapis premera 5 mm na zaslonu pretemen in neuporaben za visoke frekvence (Busch, 1927, 583, 591). Na zaslon Rogowskega pa je žarek zarisal krivuljo, ki so jo lahko opazovali, merili ali fotografirali. Prvi uporabni model so naredili pri AEG, med razvojem pa je nastal tudi električni mikroskop (Siemens, 1957, II, 192-193; Južnič, 1994, 22).

Nemec Busch s Fizikalnega inštituta v Jeni je 18.10.1926 objavil enačbe za gibanje elektronov v nosimetričnem magnetnem in električnem polju po analogiji z geometrijsko optiko. Konec maja 1927 je Busch svoje ideje uporabil v Braunovi elektronki, kjer je majhna odklonska tuljava vplivala na curek elektronov kot konveksna leča z isto goriščno razdaljo na svetlobo. Električno polje je opisal podobno lomnemu kvocientu v optiki. Idejo je utemeljil na Erwin Schrödingerjevi (1887-1961) valovno mehanski analogiji med svetlobnim žarkom in delcem z maso, objavljeni januarja 1926. Da bi se izognil razprševanju, je za katodo uporabil kroglo premera 13 mm. Anoda je bila kovinska cev premera 25-30 mm in dolžine 20-30 cm s krožno odprtino premera 8 mm. Na fluorescentnem

zaslonu je z več kot 10% celotnega toka elektronov dobil zapis premera 0,3 mm (Busch, 1926, 993 in 1927, 583, 588, 592, 594; Južnič, 1994, 21).

5 Sklep

Opisali smo razvoj senzorjev, ojačevalnikov in katodne elektronke, ki se je najprej uveljavila na sprejemni strani televizije. V drugem delu razprave si bomo ogledali razvoj po prvi svetovni vojni, ko so začeli uporabljati tudi slikovno elektronko.

LITERATURA

- Abraham Henri in Paul Langevin (1872-1946) (urednika), Les quantités élémentaires d'électricité. Ions, électrons, corpuscules, Gauthier-Villars, Paris, 1905
- Adlešič Miroslav (r.1907), Od mehanike do elektronike, Mladinska knjiga, Ljubljana, 1952
- Braun Karel Ferdinand (1850-1918), Bemerkungen über die unipolare Leitung der Flamme, Ann.Phys. 3 (1878) 436-447
- Ueber unipolare Elektrizitätsleitung, Ann.Phys. 4 (1878) 476-484
- Ein Versuche über Lichtemission glühender Körper, Ann.Phys. 33 (1888) 413-415, ponatis iz Göttinger Nachr. (7.9.1887)
- Ueber die Leitung elektrisirter Luft, Ann.Phys. 59 (1896) 688-692
- Ueber ein Verfahren zur Demonstration und zum Studium des zeitlichen Verlaufes variabler Ströme, Ann.Phys. 60 (1897) 552-559
- Zeigen Kathodenstrahlen unipolare Rotation ?, Ann.Phys. 65 (1898) 368-371
- Busch Hans (1884-1973), Berechnung der Bahn von Katodenstrahlen im axialsymmetrischen, elektromagnetischen Felde, Ann.Phys. 81 (1926) 974-993
- ber die Wirkungsweise der Konzentrierungsspule bei der Braunschen Röhre, Arch.Elektrotechn, 18 (1927) 583-594
- Edison Thomas Alva (1847-1931), Engineering, 12.12.1884, 553. Prevod: Un phénomène de la lampe Edison (Abraham, 1905, 183-184)
- Elster Julius (1854-1920) Hans Friderick Geitel (1855-1923), Ann.Phys. 41 (1890) 161. Povzetek: On the Use of Sodium-Amalgam in Photo-electric Experiments (Lodge, 1894, 42)
- Graetz Leo (1856-1941), Ein electrochemischen Verfahren, um Wechselströme in Gleichströme zu verwandeln, Ann.Phys., 62, 1897, 323-327
- Hertz Heinrich (1857-1894), Ann.Phys., 31, 1887, 983. Prevod: Sur une influence de la lumière ultra-violette sur la décharge électrique (Abraham, 1905, 261-269)
- Hess Albert, Reclamation, Ann.Phys., 64, 1898, 622
- Jungnickel Christa in Russell McCormmach, Intellectualmastery of nature, II, The University of Chicago press, 1986
- Južnič Stanislav, Zgodovina elektronskega mikroskopa, Vakuumist, 14, 1994, 4, 20-25
- Zgodovina tehnologije tankih plasti, Vakuumist, 15, 1995, 4, 18-23
- Kleinert Andreas, Ferdinand Braun et les débuts de la TSF en Allemagne, Revue d'histoire des sciences, 46, 1993, 1, 59-71
- Klemenčič Ignac (1853-1901), O fonofonu, Lj.Zvon, (1881) 52-55 in 122-124, ponatis v ZZT, 1, 1971, 100-102
- Kudrjavcev P.S., Istorija fiziki, Prosvetščenije, Moskva, 1971
- Reich Leonard S., Irving Langmuir and the pursuit of Science and Technology in the Corporate Environment, Tehnology and Culture, 24, 1983, 199-221
- Lenard Phillip (1862-1947) in Max Wolf, Zerstäuben der Körper durch das ultraviolette Licht, Ann.Phys., 37, 1889, 443-456
- Lenard, Wien.Ber.IIIa (19.10.1899) 164 in Ann.Phys., 2, 1900, 359-. Prevod: Rayons cathodique produits par les rayons ultra-violets (Abraham, 1905, 398-413) Ann.Phys., 1, 1900, 486-. Prevod: Effets produits par la lumière ultra-violette sur les corps gazeux (Abraham, 1905, 416-423)
- Lodge Oliver Joseph (1851-1940), The work of Hertz and some of his successors, being the substance of a lecture delivered at the Royal Institution on Friday evening, June 1, 1894, London
- Nardin Julij (1877-1959) in René Zei, Relais für elektrische Ströme, Österreichische Patentschrift Nr.66604, prijavljen 13.8.1912 z začetkom veljave 15.6.1913, izdan 10.9.1914 Nardin, Težave z iznajdbo, Odmevi, zv.IV, 1929, 43-48
- Osredkar Radko, Radijsko odkrivanje in merjenje, ŽIT, februar 1996, 12-19
- Richardson Owen Willans (1879-1959), Phil. Trans. a.201, 1903, 497-513. Prevod: Conductibilité électrique communiquée au vide par les conducteurs chauds (Abraham, 1905, 381-601)
- Settel Irving in William Laas, A pictorial history of television, Grosset & Dunlap Inc, New York, 1969. Prevedeni izbor v: Istorija američke televizije, Univerzitet umetnosti, Beograd, 1978
- Siemens Georg, History of the house of Siemens, Karl Alber, Freiburg/Munich, 1957, I in II.del
- Sitar Sandi, Elektronka i torpedo profesora Nardina, Teslov Zbornik, Tesla - neostvarena odkrića, Duga, Beograd, september 1984, 72-75
- Sto slovenskih znanstvenikov, zdravnikov in tehnikov, Prešernova družba, Ljubljana, 1987
- Iz predzgodovine radijske in televizijske tehnike na Slovenskem, Zbornik za zgodovino naravoslovja in tehnike, 10, 1989, 163-170
- Stefan Jožef (1834-1893), Über einige Thermolemente von grosser elektromotorischer Kraft. Vorläufige Mitteilung, Wien.Ber., 51, 1865, 260-262 in Ann.Phys., 124, 1854, 632
- Swift John, Adventure in vision. The First Twenty-Five Years of Television, John Lehmann, London, 1950
- Šubic Simon (1830-1903), Telegrafija, Letopis SM, Ljubljana, 1975 O imenitnejših električnih iznajdbah, Kres, 2, 1882, 479-485, 533-538 in 585-590
- Wehnelt Arthur, Empfindlichkeitssteigerung der Braunschen Röhre durch Benutzung von Kathodenstrahlen geringer Geschwindigkeit, Physikalische Zeitschrift, 6, 1905 732-733
- Zajc Melita, Nevidna vez: rabe radiodifuzne televizije v Sloveniji, Znanstveno in publicistično središče, Ljubljana, 1995
- Zworykin Vladimir Kosma (1889-1982) in E.G.Ramberg, Photoelectricity and its application, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1950
- Zworykin, Ramberg in L.E.Flory, Television in Science and Industry, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1958

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujeva dr.Sandiju Sitarju in Knjižnici Kočevje za pomoč pri zbiranju gradiva o slovenskih raziskovalcih televizije.