

Zbirka elektronskih cijevi profesora Petra Biljanovića¹

Sažetak: Profesor Biljanović skupio je tijekom gotovo pedesetogodišnjeg rada zbirku od 70-ak elektronskih cijevi. Čuvao ju je u staklenoj vitrini u svojem kabinetu. U članku su popisane elektronske cijevi i navedene su oznake na njima. Također su prikazani važniji dostupni tehnički podaci elektronskih cijevi, njihove značajke i područja primjene. Osim elektronskih cijevi, u zbirci se, primjerice, nalaze prototipovi silicijeva poluvodičkog grijača, poluvodičke elektroničke komponente na keramičkim pločicama Radio industrije Zagreb (RIZ – tvornica poluvodiča), eksponati poluvodičkih komponenti svjetskih proizvođača i neke osobne stvari koje su profesor uzbile značajne.

Ključne riječi: Petar Biljanović, Fakultet elektrotehnike i računarstva, elektronika, mikroelektronika, MIPRO, kolekcija elektronskih cijevi

Uvod

Profesor Petar Biljanović godinama je iz hobija skupljao elektronske cijevi. Čuvao ih je u staklenoj vitrini u svojem uredu na trećem katu nove zgrade Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu.

¹ Petar Biljanović (Sarajevo, 7. veljače 1938. – Zagreb, 27. veljače 2020). Na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu diplomirao 1961., doktorirao 1972., redoviti profesor od 1983. Uveo područje mikroelektronike u znanstveni rad i visokoškolsku nastavu u Hrvatskoj. Autor znanstvenih radova, патената i visokoškolskih udžbenika *Mikroelektronika* (1983.), *Elektronički sklopovi* (1989.), *Poluvodički elektronički elementi* (1996.). Prvi je autor i urednik knjige *MIPRO – jučer, danas, sutra* (2007.) i autor i urednik knjige *MIPRO – Yesterday, Today&Tomorrow* (2008., 2009.). Četrdeset godina (1978. – 2018.) bio je predsjednik Programskog odbora MIPRO-a, najvećeg znanstveno-stručnog ICT skupa u našem okruženju. Dobitnik je nagrade na Svjetskoj izložbi inovacija u Pittsburghu (1996.), Nagrade “J. J. Strossmayer” za najbolje znanstveno djelo u području tehničkih znanosti u 1996., Državne nagrade tehničke kulture “Faust Vrančić” za životno djelo (2014.) kao i Zlatne plakete Josip Lončar Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu.



Sl. 1.: Petar Biljanović kraj vitrine na FER-u, sa svojom zbirkom elektronskih cijevi 1977. godine (lijevo) i ispred te vitrine 40-ak godina ranije na ETF-u (snimio nigerijski student Williams Era Ehigbalua) (desno)

1. Zbirka elektronskih cijevi

Nažalost, na više elektronskih cijevi izbrisane su oznake. To je čest slučaj kod starijih elektronskih cijevi. Oznake su izložene visokim temperaturama zbog žarenja katode kroz dugo razdoblje, a i drugim čimbenicima koji štetno djeluju na njih. Tako oznake iščeznu zbog dodira prstiju pri vađenju iz uređaja ili brisanja prašine s njih. Stoga ih nije bilo moguće detaljnije opisati, nego ostaje diviti se njihovom vanjskom obliku i vještinama konstruiranja i izrade unutrašnjosti takvih starih elektronskih cijevi.

1.1. Prva polica odozgo, slijeva nadesno, stražnji red

Izložak br. 6

Elektronska cijev Miniwatt PL-5544, slika 2. (br.6), proizvod je tt. Philips i pripada obitelji tzv. tiratrona. To su plinom punjene ispravljačke cijevi, a koriste se kao učinkiti visokonaponski prekidači ili ispravljači. PL-5544 izravno je žarena trioda (napon žarenja 2,5 V i struje žarenja 12 A) s četiri izvoda u podnožju i anodnim priključkom na vrhu staklenog balona punjena ksenonom. Može raditi do napona 1500 V i provoditi struje do 40 A.

Za razliku od većine elektronskih cijevi u kojima vlada visoki vakuum u kojem se vođenje struje temelji na struji elektrona, tiratroni se pune plinom



Sl. 2.: Miniwatt – PL-5544 (Philips)

(živine pare, ksenon, helij, argon) tako da u procesu vođenja struje kroz cijev sudjeluju elektroni i ionizirani atomi ubačenog plina, što tiratronima omogućava upravljanje znatno jačim strujama. Za razliku od konvencionalnih elektronskih cijevi, tiratroni imaju zamjetno veće fizičke izmjere (PL-5544 ima ukupnu dužinu od 190 mm i debljinu od gotovo 70 mm), balon od debljeg stakla i masivne katode i anode prilagođene jakim strujama i odvođenju topline. Kasnije su ih zamijenili poluvodički tiristori i trijaci.

Izložak br. 7

Orthicon 7293, slika 3. (br. 7), elektronska je cijev namijenjena televizijskom snimanju u studijima i otvorenom prostoru nekadašnjim kamerama. Promjer svjetlosnog dijela upadnih zraka je oko 76 mm, a ispred njega postavlja se sustav leća različitih žarišnih daljina fokusiranih na fotokatodu iz koje se izbijaju elektroni razmjerno jakosti upadne svjetlosti. Fotokatoda se potom skenira mlazom elektrona iz tzv. elektronskog topa s rezolucijom od 600 linija i uz anodni napon od 1350 V.

Prikazani *orthicon* ima podnožje s 14 priključaka za katodu i žarenje, anodni napon te niz rešetki za upravljanje mlazom elektrona, a samo upravljanje



Sl. 3.: Vakuumska cijev *orthicon* (English Electric Valve Co. Ltd.) 7293 (B7887)

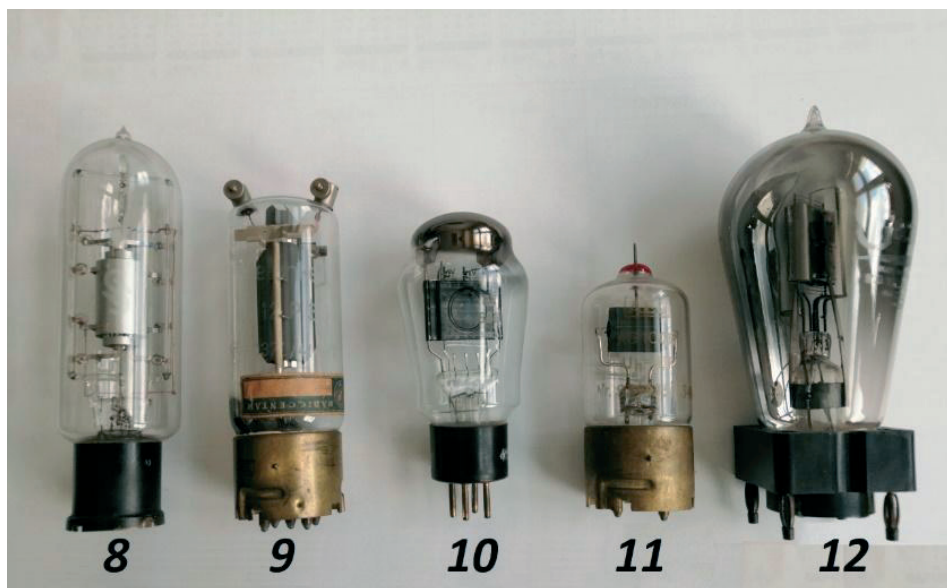
obavlja se vanjskim zavojnicama protjecanim strujom koja uspostavlja promjenjivo magnetsko polje za upravljanje mlazom pri skeniranju fotokatode.

Izložak br. 8

Nije identificiran.

Izložak br. 9

Telefunkenova cijev RL12P35, slika 4. (br. 9), učinska je pentoda korištena u odašiljačkim sklopovima radiostanica njemačke vojske iz Drugog svjetskog rata. Prvi put se pojavila 1936. godine. Iz same oznake mogu se razabrati ključne karakteristike cijevi: slovo R znači cijev (njem. *Roehre*), slovo L snagu ili učin (njem. *Leistung*), brojka 12 označava napon žarenja, slovo P pentodu (njem. *Pentode*), a brojka 35 je snaga cijevi (u ovom slučaju 35 W). Karakteristična je po dva priključka s vijkom na vrhu staklenog balona s oznakama A za anodu i B za treću ili kočeću rešetku. Ostali priključci izvedeni su na podnožju



Sl. 4.: Siemens (?) (8), Telefunken RL12 P35 (9), Telefunken RE604 smq (10), AEG AG 1006 (11), Marconi D.E.T.1 – *dull emitter transmitting triode* (12)

cijevi, dva priključka za neizravo žarenu katodu, zatim katodu, prvu ili upravljačku rešetku te drugu ili zaštitnu rešetku. Mogla je raditi na naponima do 800 V i strujama do 150 mA.

Izložak br. 10

Cijev prikazana na slici 4. (br. 10) Telefunkenova je cijev RE604, trioda s podnožjem od četiri priključka za izravno žarenu katodu, rešetku i anodu. Pojavila se 1928. godine i namijenjena je bila za niskofrekvencijska pojačala u radijskim i televizijskim prijamnicima. Napon žarenja je 4 V, a disipacija anode 1,7 W. Ima simpatičan kruškasti oblik staklenog balona koji je kasnije zamijenjen cilindričnim.

Izložak br. 11

AEG-ova cijev oznake AG1007 prikazana na slici 4. (br. 11) poluvalna je ili jednostruka ispravljačka vakuumska dioda s izvedenom anodom na vrhu staklenog balona. Podnožje joj se sastoji od samo dvaju priključaka, za izravno žarenu katodu naponom od 3 V i strujom od 3 A. Unatoč jednostavnoj konstrukciji, koja se mogla vidjeti kroz stakleni balon, cijev je podnosila napone do 12 kV i radnu struju do 50 mA, a vršne struje i do 130 mA.

Izložak br. 12

DET11 engleska je cijev, slika 4. (br. 12). Pojavila se 1924. godine. Koristila se kao u tadašnjim odašiljačima (emisiona cijev), tad respektabilne snage od 35 W uz anodni napon do 1000 V i anodnu struju do 35 mA. Smatra se da je to bila prva cijev na svjetskoj razini koja je s tungstenovom žarnom niti. Početno je bila namijenjena za frekvencije do 2 MHz, što znači da je uspješno pokrivala dugi i srednji val, a kasnije je dosegla tad visokih 30 MHz, čime je frekvencijski pokrivala čitavo kratkovalno radijsko područje.

Izložak br. 13

Elektronska cijev VT4c, slika 5. (br. 13), američka je cijev iz Drugog svjetskog rata, predstavljena 1942. godine. To je moderna cijev, emisiona trioda, snage 75 W pri anodnom naponu od 1350 V, najveće struje 150 mA, s izravno žarenom katodom. Namjena joj je trebala biti univerzalna, kao niskofrekvencijsko pojačalo, modulator, oscilator te visokofrekvencijsko pojačalo. Najbolje emisijske rezultate davala je do frekvencije od 15 MHz na kojoj su radile tadašnje vojne radiostanice, međutim, spomenuta cijev mogla se koristiti čak do frekvencije od 80 MHz.



Sl. 5.: General Electric VT4c (13), Telefunken D.R.P. RS-59 (14), Telefunken D.R.P. RS-231 (15), Telefunken D.R.P. RS-24 (16), Telefunken D.R.P. RS-19 (17)

Izložci br. 14, 15 i 16

Za cijevi njemačkog proizvođača Telefunken RS-59, RS-231 i RS-24 (br. 14, 15 i 16) na slici 5. nisu pronađeni nikakvi podaci, čak ni u velikim i opsežnim katalozima pa je moguće da su to emisione cijevi korištene u Wehrmachtu (njemačkoj vojsci) tijekom Drugog svjetskog rata koje su proizvedene u malim serijama pa nisu bile značajnije zastupljene u tadašnjim uređajima.

Izložak br. 17

Telefunkenova cijev RS-19, slika 5. (br. 17), emisiona je trioda maksimalne snage 175 W, najvišeg anodnog napona 3000 V i anodne struje 110 mA. Ovako, razmjerno veliku snagu, postizala je pobudom od samo 1,2 W.

1.2. Prva polica odozgo, slijeva nadesno, prednji red

Izložak br. 18

Philipsova cijev QB3/300, slika 6. (br. 18), poznata je emisiona tetroda za odašiljače i linearna pojačala, a čak je i danas omiljena cijev samogradnje hrvatskih radioamatera. Cijev može raditi do frekvencije od 200 MHz, a u tzv.



Sl. 6.: Philips QB3/300 (18), Philips – Miniwatt DG4-2 (19), MWT-KTW 61 (LC4) (20), MWT-KTW 61 (G) (21), RCA 832A (22)

klasi C (primjena u telegrafiji) mogla je dati više od 300 W snage uz anodni napon od 3000 V i anodnu struju 225 mA. Ima pet priključaka u podnožju za izravno grijanu katodu, upravljačku i zaštitnu rešetku, a priključak za anodu izveden je na vrhu staklenog balona. Osim telegrafskih odašiljača, može se koristiti i za govorno odašiljanje, modulatore i niskofrekvencijska pojačala.

Izložak br. 19

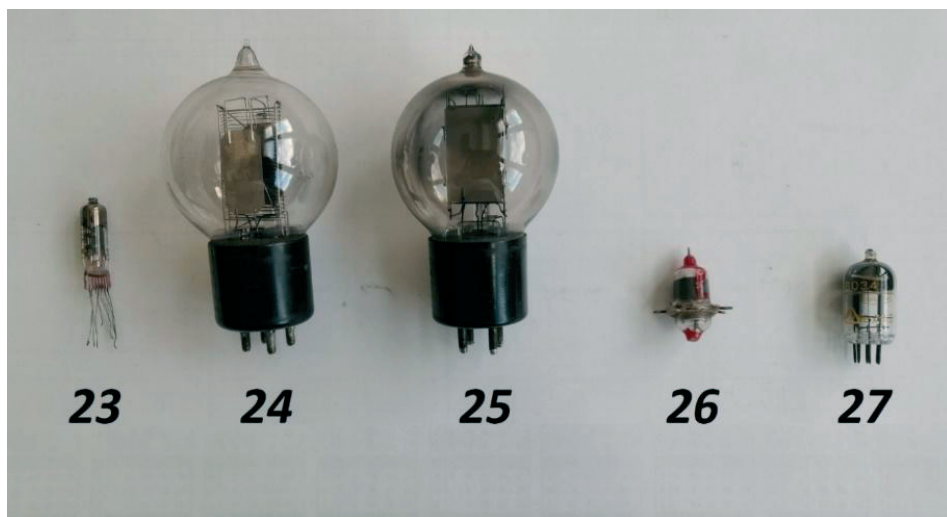
Philips-Miniwat DG4-2, slika 6. (br. 19), cijev je katodnog osciloskopa promjera pokazivačkog zaslona od 40 mm. Prikaz na zaslonu zelene je boje i srednje perzistencije. Pojavila se 1953. godine. Napon žarenja joj je tad već standardnih 6,3 V. Fokusiranje mlaza i otklon prikaza na zaslonu izvedeni su elektrostatski, s pomoću dva para otklonskih pločica. Širina prikaza na zaslonu bila je 0,7 mm pri anodnom naponu od 1000 V. Priključivala se na normirano 9-pinsko Loctal podnožje.

Izlošci br. 20 i 21

Cijev MTW-KTW 61, slika 6. (br. 20), prijamna je visokofrekvencijska pentoda iz 1925. i ostala je razmjerno dugo u uporabi, sve do 1945. godine. Bila je namijenjena radijskim i televizijskim prijamnicima u visokofrekvencijskim i međufrekvencijskim sklopovima, standardnog napona žarenja od 6,3 V i s oktal podnožjem koje je postalo standardno i često korišteno, posebno za američke cijevi. Ovo je prva cijev iz zbirke koja na vrhu staklenog balona nema priključak za anodu nego za upravljačku rešetku, što je bilo široko primjenjivano za američke vojne radioprijamnike. Cijevi br. 20 i 21 na slici 6. razlikuju se po obliku staklenog balona cijevi.

Izložak br. 22.

Vrlo neobičan oblik staklenog balona ima američka cijev RCA 832A, slika 6. (br. 22). To je dvostruka visokofrekvencijska emisiona tetroda, prvi put prikazana 1938. godine, a proizvođena tijekom Drugog svjetskog rata. Ima zajedničku izravno žarenu katodu i anodne priključke na vrhu staklenog balona. Najviša radna frekvencija joj je 250 MHz, a može razviti snagu od 26 W pri najvišem anodnom naponu od 600 V i struji od 72 mA uz pobudnu snagu od svega 0,18 W.



Sl. 7.: БЖ1Б (23), Standard telephones and cables Company (STC) 205 D (24), Western Electric 205 D (25), (???) (26), RWN Neuhaus EAA91 (27)

Izložak br. 23

Na slici 7. (br. 23) prikazana je neobična ruska minijturna elektronska cijev БЖ1Б, mase samo 4,5 g. To je minijturna pentoda smještena u stakleni cilindar promjera svega 10 mm, duljine 36 mm, a nema klasične krute izvode u podnožju, nego sedam savitljivih žičanih izdanaka, dugih 35 mm, koji se leme izravno u elektronički sklop. Najviši radni anodni napon je do 120 V uz struju od 7,5 mA. Napon žarenja je standardnih 6,3 V uz struju od 200 mA. Cijev pokriva frekvencijsko područje do ultrakratkih valova.

Izložci br. 24 i 25

Na slici 7. (br. 24 i 25) prikazana je engleska elektronska cijev STC 205 D koja se proizvodila od 1920. do 1930. godine. To je trioda s izravno žarenom katodom naponom 4,5 V i strujom 1,5 A te s četiri izvoda na metalnom podnožju. Dopušteni anodni napon je 350 V, a anodna struja do 35 mA, anodna disipacija joj je 1 W. Koristila se kao izlazna cijev u audiopojalima.

Izložak br. 27

Na slici 7 (br. 27) prikazana je minijturna dvostruka demodulatorska dioda EAA91. Pojavila se ranih 1950-ih, bila je vrlo popularna i koristi se još i danas,

najviše u pouzdanim cijevnim elektronskim voltmetrima i cijevnim prijamnicima. Ima minijaturno podnožje sa sedam izvoda, neizravno žarenu katodu napona žarenja 6,3 V uz struju 300 mA. Ima vrlo mali međuelektrodni kapacitet, podnosi razmjerno visok anodni napon i ima prilično dobru ispravljačku karakteristiku tako da se može koristiti i za ispravljanje odnosno demodulaciju napona frekvencija do nekoliko stotina MHz. Koristila se u mnogim elektronskim voltmetrima renomiranih stranih proizvođača, ali redovito voltmetara tt. Iskra – Kranj u Jugoslaviji.

1.3. Druga polica odozgo, slijeva nadesno, stražnji red

Izložci br. 28 i 29

Nisu identificirani.

Izložak br. 30

Na slici 8. (br. 30) prikazana je još jedna posebno lijepa elektronska cijev tt. Siemens & Halske oznake Bo1. Zanimljivost je s obzirom na to da se kroz stakleni balon lijepo vide konstrukcijski dosezi tadašnjeg inženjerstva i tehnologije. Znalci se posebno dive staklopuhačkim vještinama majstora koji su



Sl. 8.: (???) (28), (???) (29), Siemens & Halske Bo1 (30), Telefunken D.R.P. EVN171 (31), (???) (32), (???) (33)

izrađivali staklene balone za ondašnje elektronske cijevi. Cijev Bo1 pripada seriji trioda koje su služile kao tzv. poštanske lampe jer su bile namijenjene pojačanju telefonskih signala njemačkih pošta. Nakon završetka Prvog svjetskog rata tt. Siemens & Halske prionula je telefonskom povezivanju glavnih europskih gradova gdje su, zbog velikih udaljenosti, bila potrebna pojačala signala na repetitorima s triodnim pojačalima. Nakon nekoliko uspješnih serija volframovih cijevi ranih 1920-ih pojavila se 1925. godine nova serija s oksidnom presvlakom katode, a cijev Bo1 bila je prva u toj seriji. Uglavnom je služila za pojačanje govornih signala i u multipleksnoj telegrafiji.

Izložak br. 31

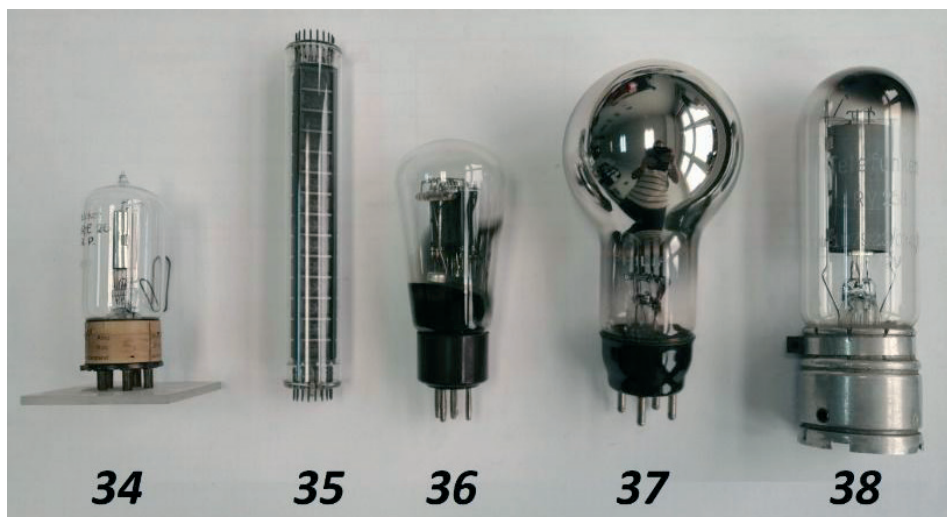
Na slici 8. (br. 31) prikazana je elektronska cijev EVN171 tt. Telefunken. To je trioda s izravno žarenom katodom napona žarenja 3 V i struje 0,5 A i s četveropinskim podnožjem. Prvi se put pojavila 1914. godine s namjenom pojačanja u audiofrekventijskom području. Intenzivno se koristila u njemačkim vojnim uređajima. Zanimljiva je zbog vrlo neobične konstrukcije. Izravno žarena katoda bila je načinjena od žice tungstena ovješene iznad vodoravno postavljene upravljačke rešetke savijene u spiralnu formu. Ispod svega nalazila se pločasta anoda. Svi metalni dijelovi u unutrašnjosti ovješeni su na staklene stupiće, što elektronskoj cijevi daje posebnu draž i ljepotu uz istodobno divljenje vještinama staklopuhača.

Izlošci br. 32 i 33

Nisu identificirani.

Izložak br. 34

Elektronska cijev Telefunken RE26 na slici 9. (br. 30) pripada obitelji tetroda. U doba njezina pojavljivanja, 1921. godine, te cijevi s dvije rešetke, upravljačkom i zaštitnom, nisu još zvane tetrodama nego su opisivane kao *Doppelgitter Röhre*, odnosno kao cijevi s dvije rešetke. I nju krasi ljepota tehničke izvedbe te se kroz stakleni balon može vidjeti gotovo školska izvedba tetrode. Ona je posebno zanimljiva i s još jednog aspekta: njezin dopušteni anodni napon je svega 15 V, napon žarenja uobičajenih 4 V uz struju od 0,5 A. Koristila se u sklopovima radijskih prijamnika.



Sl. 9.: Telefunken RE26 D.R.P. 617 (34), Nixy 1471 (35), (???) (36), Philips 367 (37), Telefunken RV258 (oznaka: *Kriegsmarine*) (38)

Izložak br. 35

Posebna je elektronska cijev tzv. *Nixie* cijev prikazana na slici 9. (br. 35), Nixy 1471. To je cijev s višestrukim hladnim katodama izrađenim u obliku brojki od 0 do 9, decimalne točke i ponekog simbola, smještenih jedna iza druge. Cijev je punjena plinom pod niskim tlakom tako da ona brojka na koju je doveden napon tinjavo svijetli zbog izboja u plinu. Najčešće je punjena neonom pa svijetli žućkasto-crvenkastom bojom. Njihov se rad dakle ne temelji na termoionskoj emisiji kao kod cijevi sa žarenom katodom te stoga nemaju žarnu nit ni upravljačku rešetku, nego samo anodu u vidu rijetke mrežice ispred zaslona cijevi. Napon koji se dovodi na pojedini prikaz je oko 170 V, a struja koja podržava svjetlost je nekoliko miliampera. Koristile su se za brojila, mjerila frekvencije ili druge numeričke prikaze, a kasnije su ih zamijenili LED i LCD pokazivači.

Izložak br. 36

Nije identificiran.

Izložak br. 37

Neobična cijev Philips 367 prikazana je na slici 9. (br. 37). To je dvostruka punovalna ispravljačka dioda punjena plinom tako da podnosi struje do 6 A, što

je jako puno za obične elektronske cijevi. Ima karakteristični stakleni kuglasti balon promjera 80 mm i podnožje s četiri izvoda, a prvi se put pojavila 1925. godine. Ima izravno žarenu katodu naponom 1,9 V i strujom 8 A, a dopušteni anodni napon joj je 48 V. Namjena joj je bila kao industrijski punjač olovnih akumulatora i mogla je puniti akumulatore koji su imali do 12 ćelija.

Izložak br. 38

Na istoj slici 9. (br. 38) još je jedna Telefunkenova emisiona cijev RV258, koja se prvi put pojavila 1928. godine. To je trioda s izravno žarenom katodom od torija, snaga joj je 32 W uz najviši dopušteni anodni napon 800 V i uz anodnu struju 40 mA. Najčešće se koristila kao cijev za amplitudnu modulaciju odašiljača. Cijev je i danas omiljena i tražena za audiofile i njihova niskofrekvencijska pojačala.

Izložak br. 39

Elektronska cijev Y-512 na slici 10. (br. 39) odašiljačka je tetroda američke tt. EIMAC, također neobičnog i unikatnog oblika s anodnim priključkom na



Sl. 10.: Y-512 (39), Brown Boveri & Cie DQ4 (40)

vrhu cijevi i neobičnim četveropinskim podnožjem s keramičkim diskom. Cijev je neobična i po rebrastom obliku anode s očitom svrhom poboljšane mogućnosti odvođenja topline. Drugi podaci o njoj nisu pronađeni.

Izložak br. 40

Elektronska cijev DQ4 na slici 10. (br. 40) poluvalna je visokonaponska dioda, punjena živom i namijenjena učinkitim ispravljačima. Može izdržati napon 13,5 kV i struje 7A. Upravo živine pare omogućuju ovako visoke struje. Budući da joj je najveća radna frekvencija 150 Hz, koristi se u visokonaponskim mrežama od 50 Hz / 60 Hz za jednofazne i trofazne poluvalne i punovalne ispravljače. Anoda joj je izvedena na vrhu staklenog balona.

1.4. Druga polica odozgo, slijeva nadesno, drugi red straga

Izložak br. 41

Nije identificiran.

Izložak br. 42

Na slici 11. (br. 42) prikazana je Philipsova cijev 4687 koja se pojavila 1936. godine, a služila je kao stabilizator napona od 93 V pri strujama kroz cijev od 10 mA do 30 mA. Te su cijevi punjene smjesom plinova, a naponsku regulaciju temelje na električnom izboju u plinu. Za njih je također značajno da nemaju žarenje katode za potrebe termoionske emisije nego je katoda hladna. Stoga je potreban nešto veći napon od napona stabilizacije (oko 20 %) kako bi se potaklo početno izbijanje i ionizacija u plinu. Imaju samo dva priključka, anodu i katodu. Takve cijevi lijepo je vidjeti kako rade u mraku jer oko katode intenzivno svijetle ugodnom crvenkastom ili plavičastom svjetlošću čija se jakost mijenja s promjenom napona, odnosno struje koja protječe kroz elektronsku cijev.

Izložak br. 43

Na slici 11. (br. 43) prikazana je elektronska cijev Telefunken RL12T2. To je trioda snage do 2 W, razmjerno malih izmjera, za niskofrekvencijske sklopove radijskih uređaja njemačke vojske (Wermacht) u Drugom svjetskom ratu. Proizvodila se od 1935. do 1945. godine. Strogo standardizacijom njemačke



Sl. 11.: (???) (41), Philips TYP 4687 X (42), Telefunken RL 12T2 (43), Miniwatt EF 22 (44), Tungram MR3 (45), Photozelle Original Pressler Special II (1837/1262) (46)

vojske određeno je da joj je napon žarenja indirektno grijane katode 12,6 V, što sugerira da je bila namijenjena mobilnim uređajima napajanim iz olovniha akumulatora vojnih vozila. Anodni napon im je mogao biti do 220V uz struju do 10 mA. Neobično podnožje s radijalnim izvodima omogućavalo je brzu i jednostavnu zamjenu cijevi, što je za ratne uvjete bilo iznimno važno.

Izložak br. 44

Nadalje, na slici 11. (br. 44) prikazana je cijev Miniwatt EF22 tt. Philips koja se pojavila 1941. godine s Loctal-8 podnožjem koje je kasnije postalo jednim od standardnih i poznatijih tipova podnožja. To je pentoda namijenjena visokofrekvencijskim i međufrekvencijskim sklopovima radijskih uređaja, snage 2 W, a mogla se koristiti i u niskofrekvencijskim sklopovima. Anodni napon joj je mogao dosežati do 250 V, a anodna struja do 6 mA.

Izložak br. 45

Cijev Tungram MR3, slika 11. (br. 45), vrlo je stara i lijepa trioda sa specifičnim staklenim balonom. Proizvoditi se počela još 1914. godine u Budimpešti, Mađarska. Ima 4-pinsko metalno podnožje, izravno žarenu katodu naponom 3,5 V i strujom 60 mA, dok drugi podaci zasad nisu poznati.

Izložak br. 46

Elektronska cijev na slici 11. (br. 46) pod nazivom Photozelle Original Presler Special II (1837/1262) u nas je poznata kao fotočelija. U njoj vanjska upadna svjetlost fotoelektričnim učinkom izbija elektrone iz katode prevučene fotoosjetljivim slojem. Katoda i anoda utaljene su u stakleni balon u kojem je vakuum ili plemeniti plin pod niskim tlakom. Pod djelovanjem električnog polja i fotoučinka izazvanog upadnom svjetlošću pojavi se struja elektrona koja teče od katode prema anodi. Fotočelija se koristi kao detektor svjetla ili mjerni osjetnik za jakost svjetla, a u novije doba zamijenili su je fotootpornici, fotodiode i fototranzistori.

Izložak br. 47

Na slici 12. (br. 47) prikazana je elektronska cijev AK2 tt. Philips. To je oktoda (elektronska cijev s osam elektroda, tj. šest rešetki, anoda i katoda) koja se pojavila 1935. godine. Služi kao miješalo signala ulazne frekvencije i frekvencije lokalnog oscilatora kako bi se dobila potrebna frekvencija za međufrekvencijske stupnjeve pojačanja u superheterodinskim radijskim i televizijskim prijamnicima. Stakleni balon karakterističnog kruškastog oblika premazan je

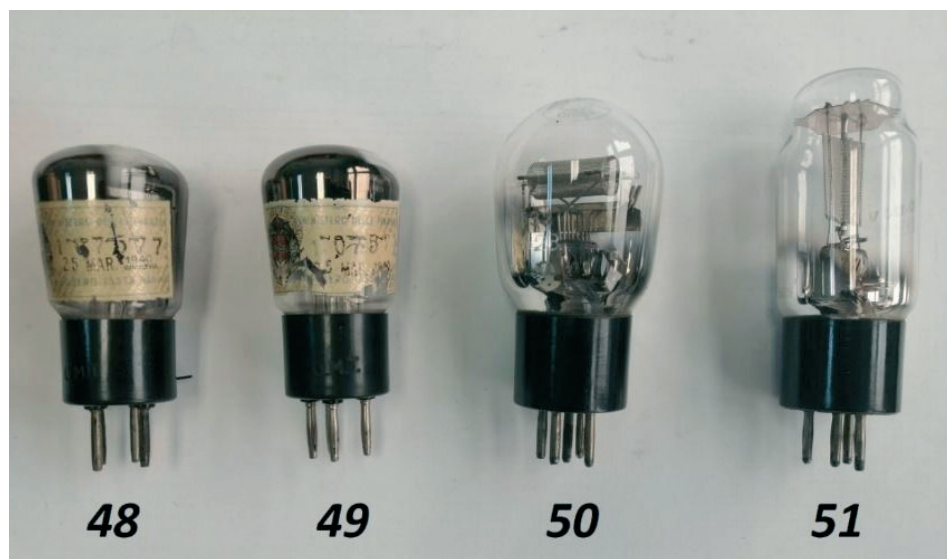


Sl. 12.: Philips Miniwatt AK2

vodljivom zlatnožutom bojom koja služi kao oklop odnosno kao Faradayev kavez. Vodljivi premaz spojen je na jedan izvod podnožja i u pravilu se spaja s masom uređaja, odnosno uzemljuje. Na vrhu staklenog balona je izvod četvrte rešetke (mrežice g4). Dopušteni anodni napon je 250 V uz anodnu struju od 1,6 mA. Za žarenje katode potreban je napon 4 V i struja 0,65 A.

Izlošci br. 48 i 49

Elektronske cijevi Zenith RRBf O.M.T. na slici 13. (br. 48 i 49) vakuum-ske su triode (RE084) s izravno žarenom katodom naponom 4 V i strujom 80 mA. Imaju 4-pinsko podnožje, a zanimljive su po nalijepljenoj markici talijanskog ministarstva financija iz 1940. godine. U to su doba u nekim zemljama radijski prijamnici bili pod strogom kontrolom države te je za njihovu nabavu i držanje valjalo ishoditi i posebne dozvole, pa tako i elektronske cijevi s pomoću kojih su radioamateri i strukovno obrazovani pojedinci mogli sami izgraditi jednostavan prijamnik. Slično je bilo i u Kraljevini Jugoslaviji. Oglašavane su kao audionske cijevi za prijamnike koji su bili u to doba vrlo popularni. Audion je bio jednostavan prijamnik s tzv. povratnom reakcijom zadovoljavajuće osjetljivosti i selektivnosti, kasnije su ga potisnuli superheterodinski prijamnici. Spomenuta cijev radila je na anodnim naponima od 150 V i anodnim strujama do 15 mA, a imala je faktor pojačanja od 16 puta.



Sl. 13.: Zenith RRBf O.M.T. (25. mar.1940. – Ministro de le finanze) (48, 49), OSTAR RADIO U920 (50), OSTAR RADIO EG-50 (51)

Izložak br. 50

Na slici 13. (br. 50) prikazana je elektronska cijev OSTAR RADIO U920. To je neizravno žarena trioda s 5-pinskim podnožjem. Namijenjena je završnim sklopovima radijskih prijamnika za niskofrekvencijsko pojačanje signala. Proizvodila se u Beču, Austrija, između 1930. i 1940. godine u tt. Gustav Ganz i društvo. Zanimljivo je da su se proizvodile za napone žarenja katode od 115, 155 i 230 V, a kupac je mogao naručiti cijev za bilo koji napon žarenja od 20 do 250 V.

Izložak br. 51

Na slici 13. (br. 51) prikazana je elektronska cijev istog proizvođača OSTAR RADIO EG-50 (EG50-110V) iz 1928. godine. To je poluvalna ispravljačka vakuumaska dioda napona žarenja 110 V tako da se u strujne krugove mogla spajati paralelno i serijski za napone 220 V. Struja žarenja za 110-voltnu izvedbu bila je 32 mA. Podnosila je anodne napone do 130 V i struje do 50 mA. Imala je jednako 5-pinsko podnožje kao i prethodna trioda (br. 50), s četiri izvoda na obodu okruglog podnožja i jednim u sredini.

1.5. Druga polica odozgo, slijeva nadesno, treći red straga

Izlošci br. 52

Na slici 14. (br. 52, lijeva i desna slika) prikazane su dvije tzv. čelične elektronke američkog proizvođača RCA. Čelične elektronke i dalje u unutrašnjosti imaju vakuumirani stakleni balon i elektrode koje čine elektronsku cijev, ali im je izvana dodan čelični oklop koji ih štiti od mehaničkih oštećenja i ujedno ih oklapa na način da otklanja smetnje od elektrostatičkih i elektromagnetskih polja. Razvijene su prije Drugog svjetskog rata, a intenzivnu proizvodnju i primjenu doživjele su upravo u njemu. Vrlo su izdržljive i pouzdane. U pravilu su koncipirane na 8-pinskom podnožju nazvanom 'oktal' koje se i danas koristi, posebno u kvalitetnim audiopojačalima.

Elektronska cijev 12SK7 vrlo je kvalitetna i poznata univerzalna pentoda snage 4 W, namijenjena visoko i niskofrekvencijskim pojačalima te međufrekvencijskim stupnjevima radijskih prijamnika. Pojavila se 1939. godine, ima neizravno žarenu katodu, napon žarenja je 12,6 V, a struja žarenja 0,15 A. Najviši dopušteni anodni napon je 250 V, a anodna struja 15 mA.

Elektronska cijev 12SR7 dvostruka je dioda i trioda sa zajedničkom katodom, integrirana u isti stakleni balon. Bila je zamišljena kao diodni demodulator

i detektor signala za automatsku regulaciju pojačanja kod superheterodinskih prijamnika, a trioda snage 2,5 W služila je kao prvi stupanj niskofrekvencijskog pojačanja. I ona ima oktal podnožje. Prvi se put pojavila 1940. godine. Podnosila je anodne napone do 250 V i struje do 9,5 mA. Napon i struja žarenja jednaki su kao kod prethodno opisane elektronske cijevi 12SK7.

Izložak br. 53

Elektronska cijev na slici 14. (br. 53) tzv. je fotomultiplikator i detektor svjetlosti. Cijev ima otvor za upadnu svjetlost, a signal se kroz niz kaskadnih elektroda, nazvanih dinode, pojačava i do stotinjak milijuna puta pa se praktički može detektirati prisutnost samo jednog fotona. Sastoji se od fotokatode, više dinoda i anode. Svjetlost koja pada na fotokatodu izbija elektrone, oni se potom usmjeravaju prema dinodnim množilima na načelu sekundarne emisije. Stoga takva cijev ima više od desetak izvoda priključenih dinoda tako da je svaka na većem pozitivnom naponu u odnosu na prethodnu. Kad snop elektrona stigne do anode, sadrži toliko puno elektrona da se njihova struja može elektronički pojačati i obrađivati u skladu s potrebama.



Sl. 14.: RCA JAN CRC – 12SK7 VT131 (52, lijevo), RCA JAN 12SR7 VT133 (52, desno), WF M10 FS301 (53), Siemens YD-1270 (54), Telefunken RV 12P 2000 – oznake Wehrmacht (55)

Izložak br. 54

Na slici 14. (br. 54) prikazana je keramička emisiona tetroda YD-1270. Može raditi do frekvencije 1,2 GHz razvijajući pritom snagu od 200 W. Keramičke tetrode tog tipa razmjerno su malih izmjera s obzirom na snagu koju imaju, rade do vrlo visokih frekvencija i pokazale su se jako pouzdanim. Karakterizira ih aluminijsko rashladno tijelo u obliku niza diskova koje služi za učinkovito odvođenje topline s anode cijevi.

Izložci br. 55

Na slici 14. (br. 55) prikazane su tri univerzalne vakuumske pentode tt. Telefunken RV12P200. Vjeruje se da su to najviše proizvođene elektronske cijevi za njemačku vojsku tijekom Drugog svjetskog rata. Moglo se naći u visokofrekvencijskim sklopovima, oscilatorima, međufrekvencijskim pojačalima, audiopojačalima, pa čak i u ispravljačima. Ima radijalno postavljene izvode na podnožju, što olakšava brzu izmjenu cijevi u slučaju kvara. Vađenje cijevi nije se izvodilo povlačenjem staklenog balona kao kod niza drugih cijevi, dovodeći do prekida spojeve elektroda i podnožja, nego povlačenjem konusa na podnožju, bez diranja staklenog balona. Katoda se žari naponom 12,6 V i strujom 75 mA. Podnosila je anodni napon do 250 V, anodnu struju do 35 mA, razvijala je snagu do 2 W, a frekvencijski je dosegala niže frekvencije ultrakratkovalnog područja.

1.6. Druga polica odozgo, slijeva nadesno, četvrti red straga**Izložci br. 56, 57 i 58**

Nije identificirano kojim elektroničkim cijevima pripadaju prikazani dijelovi elektronskih cijevi.

Izložak br. 59

Na slici 15. (br. 59) prikazana je Philipsova cijev D VI. To je cijev sa samih početaka proizvodnje u Philipsu, još iz razdoblja kad se elektronske cijevi označavalo rimskim brojevima. Tako bi ta cijev zapravo trebala nositi oznaku D6. Zanimljivo je da ima dvije rešetke, ali nije tetroda, nego eksperimentalna trioda. Pojavila 1923. godine s dvije rešetke, unutarnjom i vanjskom. Unutarnja rešetka spojena je na niski pozitivni napon, a vanjska služi kao upravljačka rešetka. To



Sl. 15.: Dijelovi elektronskih cijevi (56), (57) i (58), Philips D VI (59), Telefunken (???) Wehrmacht (60), Radiotron RCA 12 H6 (61), Eimac DK BD 2092 (62)

joj omogućava rad na vrlo niskim anodnim naponima od samo nekoliko volta. Kao detektor radila je već na naponima od 2 do 4 V, a kao pojačalo na anodnom naponu od 4 do 10 V. Ima izravno žarenu katodu naponom 3,5 V. I ta cijev plijeni pažnju ljepotom i tehničkom ingenioznošću.

Izložak br. 60

Nije identificiran.

Izložak br. 61

Nadalje, na slici 15. (br. 61) prikazana je mala čelična cijev Radiotron RCA 12H6. To je neizravno žarena dvostruka dioda namijenjena radijskim prijamnicima za zadaće demodulacije signala i za upravljanje automatskom regulacijom pojačanja superheterodinskih prijamnika. Pojavila se 1941. godine. Napon žarenja joj je 12,6 V, a struja žarenja 150 mA. Ima standardno oktal podnožje kao i druge čelične elektronske cijevi, samo je znatno niža te time izaziva posebno zanimanje.

Izložak br. 62

Na slici 15. (br. 62) prikazana je keramička tetroda Eimac DK BD 2092. Prema izgledu to je također emisiona učinska tetroda snage do nekoliko stotina vata. Vidljiv je veliki metalni cilindar ispunjen radijalno postavljenim limovima za povećanje površine hlađenja i odvođenja topline s anode. Takve se cijevi, pojedinačno i uparene, uobičajeno koriste u linearnim visokofrekvencijskim učinskim pojačalima. Obično se postavljaju tako da se mogu hladiti prisilnom cirkulacijom zraka s pomoću zračnih turbina. Ostali tehnički podaci za ovu cijev nisu dostupni.

1.7. Treća polica odozgo, slijeva nadesno**Izložak br. 63**

Nije identificiran.

Izložak br. 64

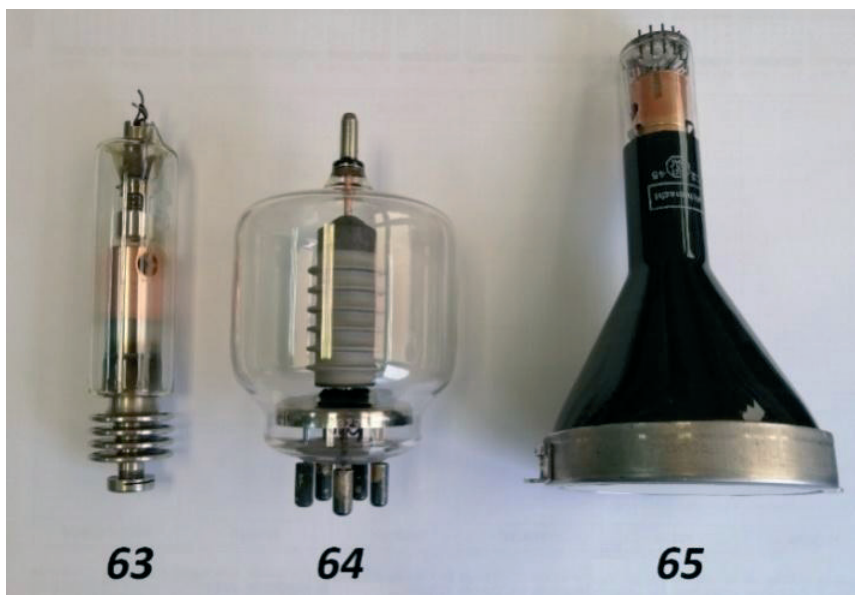
Na slici 16. (br. 64) prikazana je učinska odašiljačka cijev Siemens RS 1016. To je zrakom hlađena trioda snage 1,69 kW. Ima izravno žarenu katodu naponom 10 V i strujom 9,9 A. Kroz stakleni balon dobro se vidi rebrasta površina anode radi boljeg odvođenja topline. Može se rabiti za radijske i industrijske primjene do frekvencije 100 MHz. Anodni napon smije dosežati do 4 kV, a anodna struja do 650 mA.

Izložak br. 65

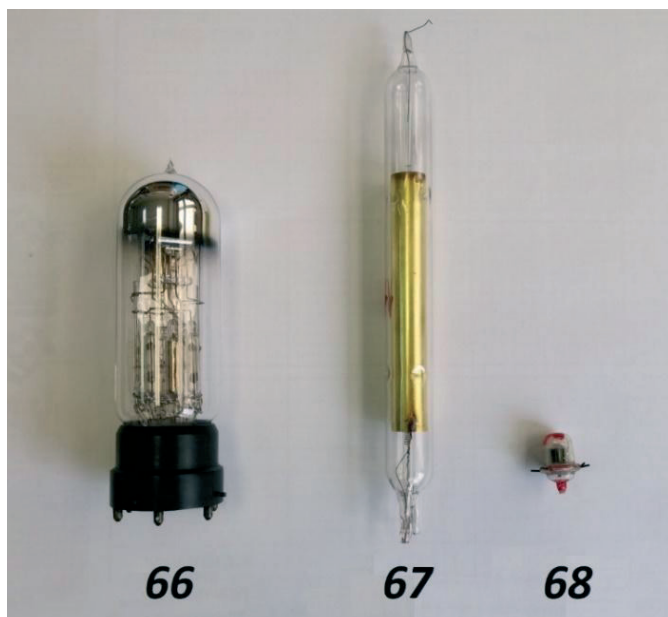
Za cijev br. 65 na slici 16. nisu pronađeni nikakvi podaci. Moguće je da je to pokazivačka cijev radara, sonara ili osciloskopa koja nije našla zamjetniju ulogu u njemačkoj vojsci pa nije popraćena nikakvim javno dostupnim podacima.

Izložci br. 66, 67 i 68

Na slici 17. prikazane elektroničke cijevi nemaju oznake (izbrisane su) pa za njih nije moguće dati tehničke podatke.



Sl. 16.: (???) (63), Siemens RS 1016 (64), Lampa od ekrana oznaka Wehrmacht BA 6646 (65)



Sl. 17.: (???) (66), Geigerov brojač (???) (67), (???) (68)



Sl. 18.: Philips QBL5 3500

Izložak br. 69

Na slici 18. (br. 69) prikazana je učinska emisijska cijev tt. Philips oznake QBL5 3500. Koristila se za radijske i televizijske odašiljače s obzirom na to da joj je gornja granična frekvencija 220 MHz. Podnosila je anodne napone do 5 kV i struje do 1,1 A. U normalnom dugotrajnom radu davala je 3 kW snage, a kratkotrajno se mogla opteretiti s čak 5,5 kW. Tako velike snage zahtijevale su učinkovito odvođenje topline strujom zraka pa ima impresivno rashladno tijelo za hlađenje zrakom.

Izložak br. 70

Na slici 19. (br. 70) prikazana je specijalna elektronska cijev Siemens RW4 namijenjena radu na vrlo visokim frekvencijama. To je tzv. cijev s putujućim valom; nastala za potrebe generiranja visokih frekvencija i za pojačanje signala visokih frekvencija. Naime, sve elektronske cijevi mogu se rabiti do određene frekvencije jer razmjerno mali štetni kapaciteti između elektroda postaju to veća smetnja što je frekvencija viša. Stoga mnoge klasične elektroničke cijevi ne mogu raditi na visokim frekvencijama, a ta pojava potakla je razvoj više specijalnih vrsta elektroničkih cijevi: klistrona, magnetrona, cijevi s putujućim valom i drugih.



Sl. 19.: Siemens RW 4

Cijev s putujućim valom, pa tako i prikazana RW4, ima prepoznatljiv, vrlo izdužen cjevasti oblik. U njemu se nalazi helikoidalna zavojnica s pomoću koje se, u snažnom magnetskom polju, događa pojačanje elektromagnetskog vala. Za te potrebe koristi se permanentni magnet (koji na sl. 19. nije prikazan) oko cjevastog izduženja, a u slučaju cijevi RW4 njegova masa iznosi čak 7,5 kg, dok je masa cijevi samo 100 g. Temeljna je namjena cijevi RW4 za radiorelejne sustave koji rade na frekvencijama od 3,3 do 4,3 GHz, gdje razvija snagu do 16 W. Radi uz napon napajanja helikoidalne zavojnice od 1750 V i struje od 2 mA, a za žarenje katode potreban je napon 6,3 V i struja 1 A.

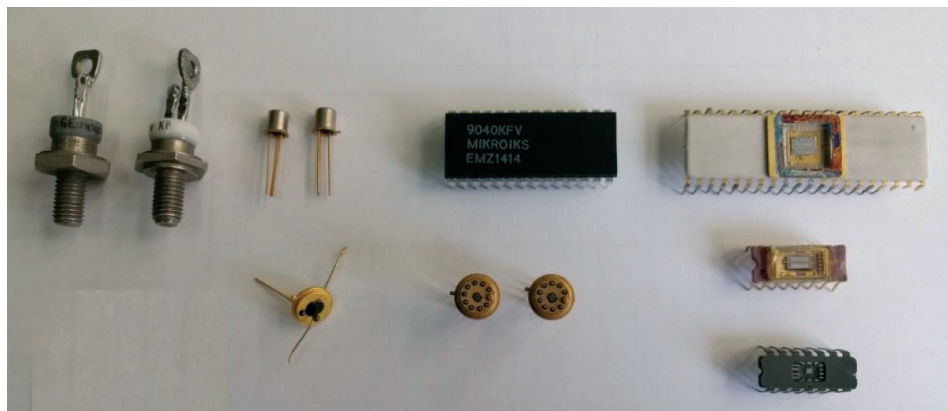
1.8. Elektroničke poluvodičke komponente i drugi artefakti u vitrini



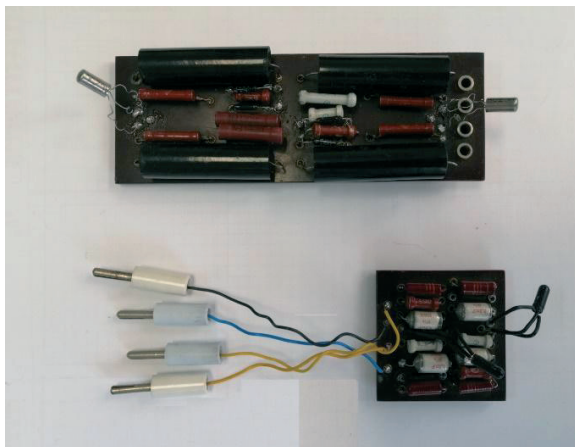
Sl. 20.: Kristal silicija – sirovina za proizvodnju poluvodičkih elektroničkih komponenti



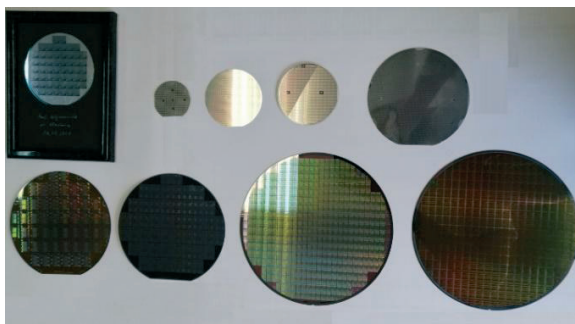
Sl. 21.: Štap koji su “dede” Petar Biljanović i unuk Josip Medić “deljali” nožem za vrijeme ljetovanja u Selcu 1995. godine (gore), učinski otpornik proizvođača Iskra – Kranj (dolje)



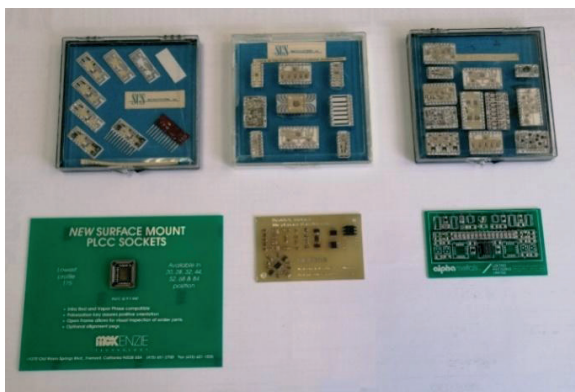
Sl. 22.: Poluvodičke elektroničke komponente



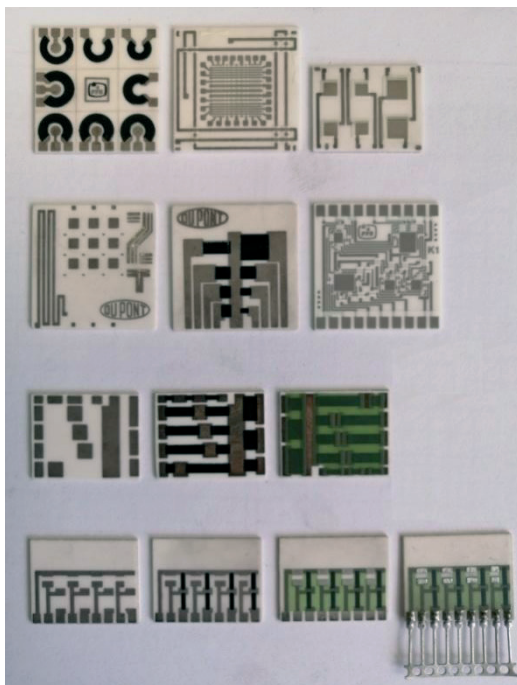
Sl. 23.: Prvi diplomski rad kojem je profesor Biljanović bio mentor – Pojačalo signala s germanijevim tranzistorima



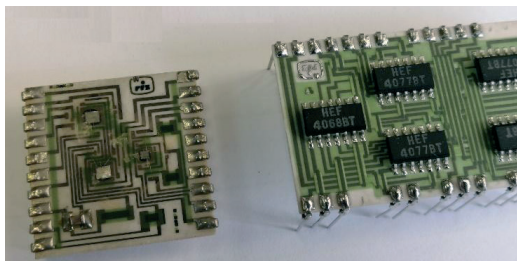
Sl. 24.: Silicijski *waferi* – pločice tehnički čistog silicija s integriranim krugovima – tehnološki korak u proizvodnji poluvodičkih elektroničkih komponenti



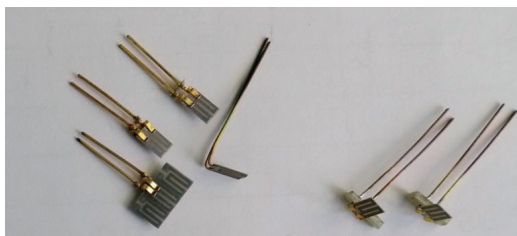
Sl. 25.: Ekspoziti poluvodičkih komponenti svjetskih proizvođača



Sl. 26.: Elektroničke komponente na keramičkim pločicama: gornji red – Radio industrija Zagreb (RIZ), drugi red DuPont, treći i četvrti red RIZ



Sl. 27.: Poluvodičke elektroničke komponente na keramičkim pločicama proizvođača Radio industrija Zagreb (RIZ)



Sl. 28.: Prototipovi silicijevih grijača (patent profesora Biljanovića)

2. Izvan vitrine, u kabinetu

Zbirka prof. dr. sc. Petra Biljanovića završava prikazom impresivnih emisionih elektronskih cijevi koje privlače pažnju oblikom, impresivnim izmjerama, masom i snagom.

Izložak br. 1

Na slici 29. (br. 1) prikazana je učinska emisiona cijev tt. Siemens RS1001L. To je oveća zrakom hlađena trioda snage 10 kW i frekvencije do 100 MHz. Trioda se koristila u profesionalnim radiodifuzijskim odašiljačima. Za tako veliku snagu potrebna je i primjerena snaga žarenja katode pa tako uz napon od 5 V kroz izravno žarenu katodu protječe struja od čak 150 A. Za tako veliku snagu potreban je i primjeren anodni napon od 6 kV i golema anodna struja od 4,7 A, a pobuda od gotovo 600 W.

Izložak br. 2

Na slici 29 (br. 2) prikazana je američka cijev, tetroda EIMAC 8171, koja je neznatno niža od prethodne (br. 1) iako i ona ima jednaku snagu od 10 kW i radi na nešto višoj frekvenciji, do 110 MHz. Žari se naponom od 7,5 V i



Sl. 29.: Siemens RS1001L (1) i EIMAC 8171 (2), u usporedbi s kemijskom olovkom radi predodžbenja veličine

strujom od 75 A. Radi uz anodne napone od 7,5 kV i anodnu struju do 3 A, a za pobudu joj treba snaga od samo 150 W. Masa joj je 7,5 kg. Karakteristična je po ručicama na rashladnom tijelu koje omogućavaju lako izvlačenje cijevi iz podnožja pri remontu ili popravku.

Izložak br. 3

Na slici 30. (br. 3) prikazana je američka keramička tetroda RCA 8792. Razvijena je posebno za mobilne kratkovalne uređaje s emisijom jednog bočnog pojasa, ali može se koristiti i u UKV području kao TV odašiljačka cijev te može razviti snagu do 1 kW na frekvencijama do 500 MHz. Razmjerno je malih izmjera i ima masu od samo 0,9 kg. Krasi je izvrsna linearnost emisijonih karakteristika i mala distorzija prenesenog signala. Žari se naponom od 5,5 V i strujom od 17,3 A. Radi uz anodni napon do 3,5 kV i anodnu struju do 1 A, a za pobudu joj treba snaga od svega 15 W. I ona zahtijeva prisilno hlađenje zrakom.

Izložak br. 4

Na slici 30. (br. 4) prikazana je elektronička cijev također od proizvođača RCA. To je zamjetno veća cijev od prethodne, a i snaga joj je puno veća: 12,5 kW. Žari se naponom 5,7 V i strujom 125 A. Radi uz najviši anodni napon od 8 kV i struju od 8 A. Masa joj je 4,5 kg, a granična frekvencija 400 MHz.

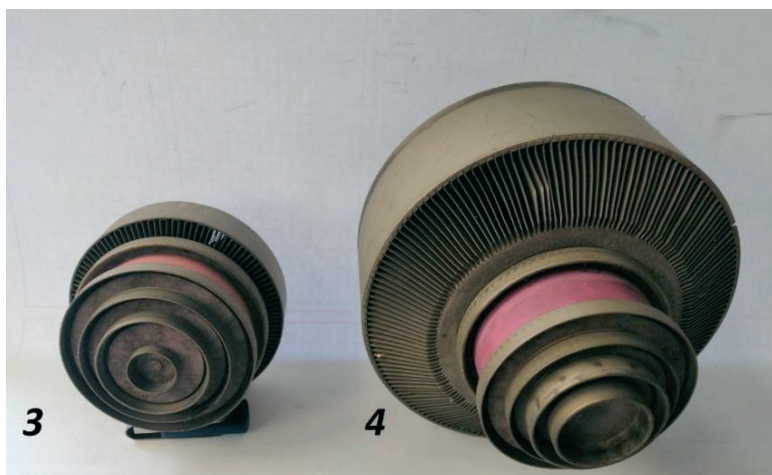
Izložak br. 5.

Identičan je izložku br. 69 na slici 18.

Sve navedene keramičke elektronske cijevi krasi izvrsne karakteristike, vrlo velika izlazna snaga uz razmjerno male izmjere i mase, visoka kvaliteta radnih karakteristika, pouzdanost i dugovječnost u radu. Iako su poluvodičke komponente u tehnici gotovo u cijelosti potisnule elektronske cijevi, u emisioj tehnici to nisu uspjele. Velike izlazne snage i dalje se postižu primjenom keramičkih trioda i tetroda.

Zaključak

Prof. dr. sc. Petar Biljanović uistinu je uspješno obilježio svoj radni vijek kroz mnoga postignuća, koja se očituju u materijalnoj i nematerijalnoj baštini. U nematerijalnom nasljeđu svakako su sva ona predavanja, pedagoški rad i sve



Sl. 30.: RCA 8792 (3) i RCA 8806 (4)

ono što sveučilišni profesor ostvaruje svojim naporom kako bi prenio znanje na studente. U materijalnom smislu nasljeđe profesora Biljanovića očituje se ponajprije u njegovim knjigama, patentima, znanstvenim radovima te međunarodnom ICT skupu MIPRO. U aspekt hobija ulazi ova njegova zbirka elektronskih cijevi te poluvodičkih artefakata. Iako je prikupio razmjerno malo elektronskih cijevi, svega 70-ak, njegov je odabir bio znalački s više motrišta. Tu su prikazane cijevi od njihova nastanka pa tijekom burnog i bogatog razvoja, do suvremenih emisionih cijevi koje se i danas koriste. Pomnim odabirom prikupio je cijevi kod kojih je vidljiva njihova ljepota, staklopuhačko umijeće i tehnička genijalnost konstruktora. Zastupljene su sve važne elektronske cijevi: diode, triode, tetrode, pentode i oktode pa i neobične konstrukcije triode s dvije mrežice. Nadalje, prikupio je i prikazao niz specijalnih elektronskih cijevi poput tiratrona, ortikona, osciloskopskih katodnih cijevi, pokazivačkih cijevi s hladnom katodom, cijevi za stabilizaciju napona, fotočelija, fotomultiplikatora, cijevi s putujućim valom i emisionih cijevi. Prikupio je, može se i tako reći gledajući po izmjerama i masi, od minijaturnih do golemih cijevi, od onih lakih od 4,5 g do cijevi mase desetak kilograma. Tu su i cijevi sa žarenom katodom do cijevi s hladnom katodom, niskonaponske i visokonaponske cijevi te vakuumске i plinom punjene cijevi. Kroz razmjerno mali broj cijevi znalački je i koncentrirano prikazao sva njihova bitna obilježja i raznolikost.

Zbirka prof. dr. sc. Petra Biljanovića vrijedna je ostavština tehničkih artefakata koji su obilježili jedno bitno razdoblje tehničkog napretka ljudskog roda te vrelo praktičnih, vidljivih i opipljivih izložaka za sve istinske poštovatelje tehnike i tehničkih dostignuća naših prethodnika te njihove tehničke genijalnosti i stvaranja.

Professor's Petar Biljanović electronic Tubes Collection

Josip Medić, Dubravko Rogale

Abstract: During the almost fifty years of professional work of Professor Biljanović, he collected a collection of 70 electronic tubes. The collection is kept in a glass showcase in his office. Electronic tubes and their designations are shown in the article. The more important available technical data of electronic tubes, their features and areas of application are also shown. In addition to electronic tubes, prototypes of a silicon semiconductor heater, semiconductor electronic components on ceramic tiles of Radio Industry Zagreb, exhibits of semiconductor components from world manufacturers are also shown.

Keywords: Petar Biljanović, Faculty of Electrical Engineering and Computing, electronics, microelectronics, MIPRO, collection of electronic tubes