

ELEKTRONSKA CIJEV

(Vakuumska cijev)

Pavle Trupina

Prirodoslovno-Matematički Fakultet u Splitu

Sadržaj

1. Uvod

1.1. Vrste emisija

2. Povijest i razvoj elektronske cijevi

2.1. Diode i triode

2.2. Tetroda i pentoda

2.3. Heksoda i hpetoda

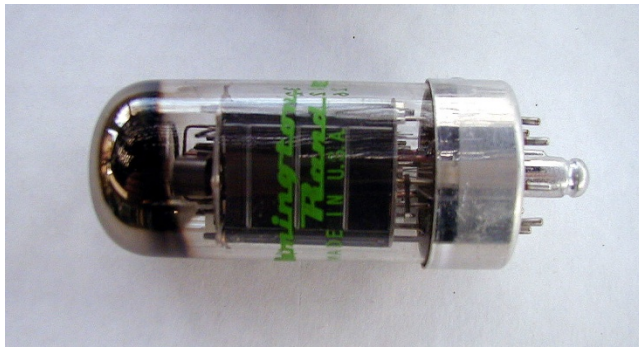
2.4. Oktoda

3. Prijenos topline i hlađenje

4. Pouzdanost

5. Vakuumske cijevi odašiljači i primatelji

6. Literatura



1. Uvod

Vakuumska cijev sastoji se od elektroda u što savršenijem vakuumu (da ne bi došlo do reagiranja čestica u cijevi sa anodom ili katodom) u izolacijskom toplinsko-otpornom omotu koji je obično cijevast. Većina cijevi imaju staklene omote, ali postoje i one koje imaju keramički ili metalni omot. Elektrode su priključene na vodove koji prolaze kroz omot putem hermetički zatvorenog prolaza tako da zrak ne može ulaziti. Vodovi su tako poredani da je sasvim jednostavno zamijeniti pokvarenu za novu elektronsku cijev.

Najjednostavnije vakuumske cijevi podsjećaju na obične žarulje. Kada je vruće sijalično vlakno otpušta elektrone u vakuum; taj proces je termionska emisija. Rezultat negativno nabijenog oblaka elektrona naziva prostor naboja. Ti elektroni će biti povučeni na metalnu ploču unutar omota, ako je ploča (anoda) pozitivno nabijena u odnosu na sijalično vlakno (katoda). Rezultat je tok elektrona iz niti do ploče. Taj proces kod žarulje ne radi u obrnutom smjeru jer se ploča ne zagrijava i ne otpušta elektrone. To je jednostavno opisan uređaj koji provodi struju samo u jednom smjeru. Dok diodna vakuumska cijev provodi elektronsku struju u obrnutom smjeru od ploče (anoda) do filameta (katoda).

Vakuumske cijevi zahtijevaju velike temperaturne razlike između vruće katode i hladne anode zbog čega su vakuumske cijevi inherentno energetski neučinkovite. Ograđivanje cijevi sa izolacijom koja zadržava toplinu bi dovelo cijelu cijev na istu temperaturu što bi rezultiralo elektronskom emisijom od anode u suprotnom smjeru. Zato što cijev da bi radila treba vakuum konvekcija hlađenja anode općenito nije moguća osim ako anoda nije dio vakuumske ovojnice (u tom slučaju kondukcijsko hlađenje je kroz anodni materijal, a konvekcija je izvan vakuumske ovojnice). Hladne katodne cijevi se ne oslanjaju na termionsku emisiju na katodi i obično imaju neki oblik izboja plina kao radni princip, kao što to imaju neonska svijetla ili regulatori napona.

Nekad se dodaje druga elektroda između anode i katode koja služi kao kontrolna mreža. Tada to više nije dioda već trioda. Trioda je uređaj koji se kontrolira naponom, odnosno tom kontrolom napona se kontrolira protok elektrona između anode i katode. Odnos između ulaznog napona i izlazne struje je određena transkonduktnom funkcijom. A utjecaj kontrolne rešetke je zanemariv. Solid-state uređaj koji je najbliži triodi je JFET (junction gate field-effect transistor).

1.1.Vrste emisija

1. Termionska emisija: Žarenjem katode dio elektrona dobiva dovoljno elektrona za napuštanje katode. To je tehnički najvažnija emisija.
2. Emisija poljem: Primjenom jakog polja snižava se potencijalna barijera i elektron zbog svojih valno-mehaničkih svojstava tuneliraju kroz $B E$
3. Sekundarna emisija: Do emisije elektrona dolazi uslijed bombardiranja čvrstog tijela elektronima, ionima i neutralnim atomima. Primarne čestice predaju energiju elektronima bombardiranog materijala, koji onda mogu biti emitirani i nazivaju se sekundarnim elektronima.
4. Fotoemisija: Elektroni apsorbiraju energiju zračenja koje pada na njih.

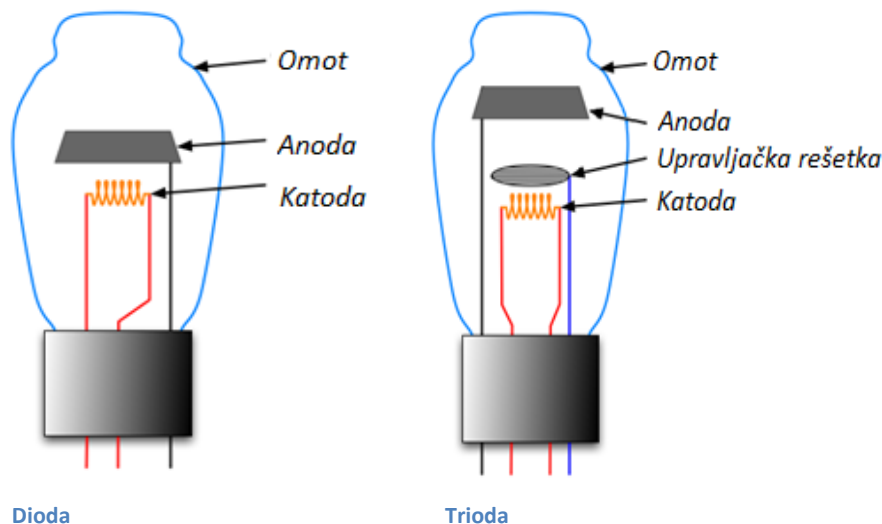
2.Povijest , razvoj i karakteristike elektronske cijevi

U 19. stoljeću se znatno povećalo istraživanja sa ispražnjenim cijevima kao što su Geissler i Crookes-ove cijevi.Mnogi znanstvenici kao N.Tesla,J.Wilhelm Hittlof, T.Edison,E.Goldstein su istraživali i vršili pokuse sa tim cijevima.Te cijevi su uglavnom specijalizirane za znanstvene aplikacije ili novine kao ,od kojih je izuzetak žarulja.Temelji su postavljeni sa istraživanjima tih znanstvenika što je bilo presudno za razvoj tehnologije vakuumske cijevi.

Iako je termionski učinak izvorno iskazan 1873. od F.Guthrie-a, T.Edison je 1884. istražio Edisonov efekt i patentirao ono što je pronašao, ali nije razumio temelje fizike njegovog otkrića niti potencijalnu vrijednost otkrića. Tek se ranih godina 20. stoljeća to otkriće stavilo u uporabu, kao što je to učinio J.A.Fleming koji je iskoristio diodu kao radio detektor ili L. De Forest 1906. „audion“ koji je iskoristio u prvom telefonskom pojačalu (koje je 1908. Od strane drugih poboljšan sa triodom).Ta otkrića su dovela do velikog unaprijeđenja telekomunikacijskih tehnologija kao što je prvi transkontinentalni telefon u SAD-u koji je spajao istočnu i zapadnu obalu i rođenje radio emitiranja.

2.1.Diode i triode

Engleski fizičar J.A.Fleming je radio kao konzultant za inženjering za firme,uključujući „Edison Telephone“ i „Marconi Company“.Godine 1904. kao rezultat ekperimentiranja na Edisonovim žaruljama uvedenim iz SAD-a razvio je uređaj nazvan „oscillation valve“ (eng. oscilacijski ventil), koji je naknadno poprimio ime „dioda“. Naziv oscilacijski ventil je dodijelio tom izumu jer struja prolazi samo u jednom smjeru.Poslije poznato kao Fleming-ov ventil, moglo se iskoristiti kao ispravljač izmjenične struje i kao detektor radiovalova.

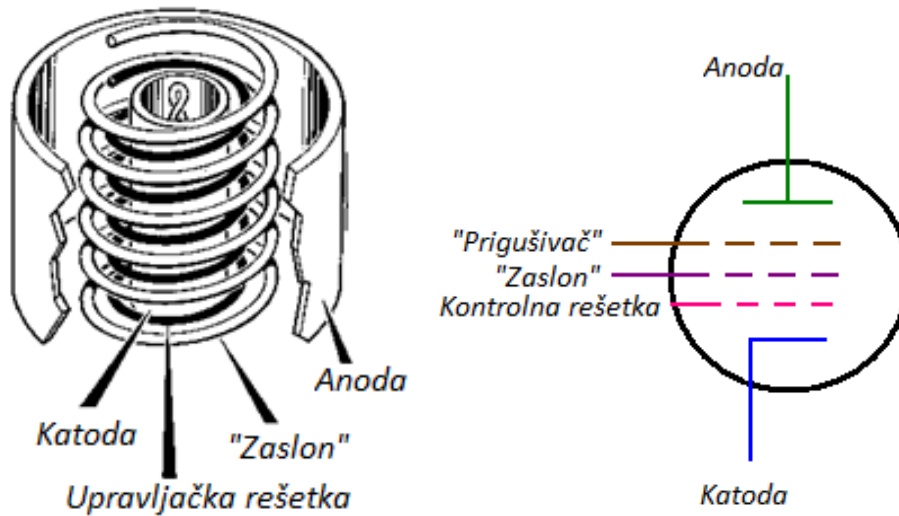


Godine 1906. Robert von Lieben je napravio tro elektrodnu vakuumsku cijev za pojačavanje. Njegov izum je uključivao fokusiranje snopa elektromagneta, a 1907. Lee De Forest smjestio je savijenu žicu koja je služila kao zaslon između vlakna i ploče elektroda što je poslije poznato kao kontrolna mreža. Kako bi napon na toj mreži varirao tako bi i broj elektrona koji su prešli varirali u skladu s tim. To je rezultiralo da je taj uređaj sa tri elektrode odlično osjeljivo pojačalo napona. Taj izum je nazvao „audion“. Kasnije je usavršio svoj izum za korištenje u radio-komunikacijama. Taj uređaj je sad poznat kao trioda, ali njegov uređaj nije striktno vakuumaska cijev. Izumitelj konačnice triode je Eric Tigerstedt koji je značajno poboljšao originalni dizajn triode 1914. godine, dok je radio na njegovom zvuk-nafilmu projektu u Berlinu. Prva prava vakuum trioda je bila Pilotron koju su razvili I. Langmuir u GERL-u (General electric research laboratory) 1915. godine. On je bio jedan od prvih znanstvenika koji je utvrdio da tvrdi vakuum poboljšava ponašanje pojačavanja triode. Pilotron-i su ubrzo zaostali za francuskim tipom „R“ koji su naširoko koristili amerikanci u svojoj vojsci 1916. Trioda je svakako prvi aktivni elektronički element sa svojstvima pojačanja. Kako se kod triode upravljačka rešetka nalazi znatno bliže katodi nego anoda, električno polje između rešetke i katode osjetno je više utjecalo na veličinu anodne struje u odnosu na električno polje između anode i katode. Na taj je jednostavan način ostvareno i naponsko pojačanje elektronske cijevi. Triodi se u krug katode stavljao otpor kako bi se osigurao odgovarajući prednapon za postavljanje radne točke u najlinearnije područje radne karakteristike i izbjegla preobuda. Trioda je u to vrijeme, međutim, bila dosta nestabilna u radu na pojavu oscilacija, a kapacitet anoda/rešetka je nepovoljno utjecao na naponsko pojačanje pojačala s elektronskim cijevima na višim frekvencijama. Te su se poteškoće pokušale riješiti ugradnjom druge rešetke kako bi ta rešetka spriječila utjecaj kapacitivne veze anoda/rešetka. Tako izvedena cijev nazvana je tetroda.

2.2. Tetrode i pentode

Druga rešetka imala ulogu svojevrsnog “zaslona” i zaklanja upravljačku, prvu rešetku od anode. Druga rešetka spajana je na pozitivan potencijal i za izmjenične komponente uzemljena na katodu odgovarajućim kapacitetom. Za razliku od tipične

triode koja je imala ukupni ulazni kapacite između rešetke i katode kojih 5 pF, ugradnjom druge rešetke ulazni kapacitet je smanjen na otprilike 0.01 pF.



Tetroda

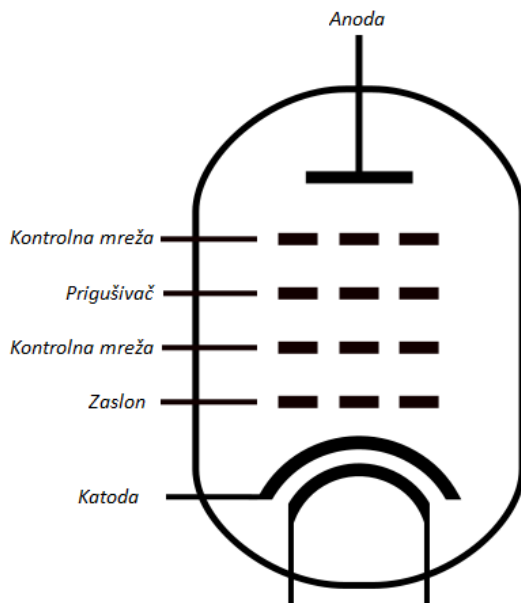
Pentoda

Tetroda osigurava dovoljnu izlaznu snagu za pobudu zvučnika ili odašiljača, može raditi na višim frekvencijama i ima znatno veći faktor naponskog pojačanja u odnosu na triodu. Međutim, kod triode su odnosi u izlaznom krugu bili nepovoljniji. Pozitivni napon na drugoj rešetki privlačio je elektrone i uzrokovao tijekom relativno velike struje uzrokujući kao posljedicu grijanje rešetke, dodatni potrošak snage i opasnost od

uništenja elektronske cijevi. Druga rešetka privlači i sekundarne elektrone koji se odbijaju od anode i imaju dovoljno kinetičke energije da stignu na drugu rešetku. To izaziva smanjenje anodne struje u određenom radnom području i pojavu negativnog unutarnjeg dinamičkog električnog otpora diode, gdje se povišenjem anodnog napona jakost anodne struje smanjuje. Ugradnjom nove, treće, rešetke riješena je i ova poteškoća.

2.3. Heksode i heptode

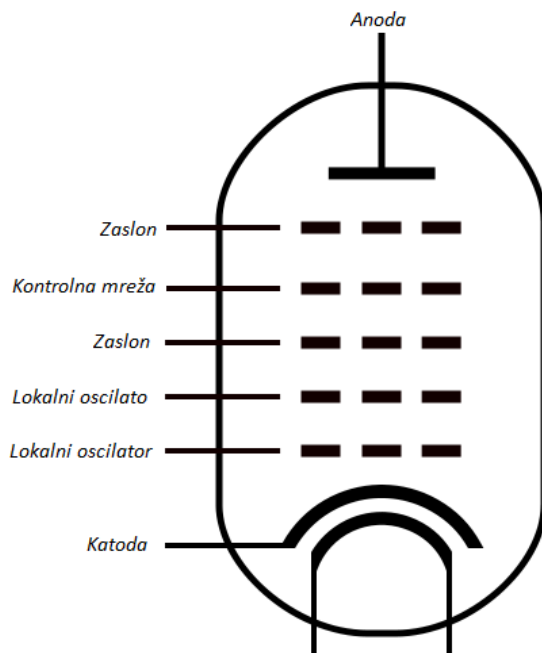
Postoji više izvedbi "pentagrid" elektronskih cijevi koje su sve u sebi objedinjavale i oscilator i miješalo signala pokušavajući pri tome što više smanjiti međusobni utjecaj pojedinih cjelina elektronske cijevi. Elektronska cijev "pentagrid" je imala ozbiljan nedostatak, gdje je oscilator mijenjao frekvenciju u blizini jakog odašiljača što je stvaralo poteškoće u prijemu signala slabijih radio stanica na drugim frekvencijama.



Heksoda

Heksoda je, iznenađujuće, proizvedena nakon heptode, odnosno “pentagrid” elektronske cijevi. Razvijena je u Njemačkoj, no od početka je bila zamišljena s odvojenim triodnim oscilatorom. Ulazni signal je doveden na prvu rešetku, rešetke 2 i 4 su, obično interno, spojene zajedno kao zakrilne rešetke kod tetrode, a rešetka 3 poslužila je kao ulaz oscilatora. Glavna je prednost bila što je ulazni signal doveden na prvu rešetku te je time povećana osjetljivost prijemnika. Slijedile su i druge kombinacije te je, na primjer, u elektronsku cijev ECH35 bio u jedno stakleno kućišteugrađen sustav trioda/hexoda.

Zamisao o elektronskoj cijevi s dvije upravljačke rešetke koja bi “miješala” ulazne signale bila je u to vrijeme već duže prisutna u istraživačkim krugovima. Isprva je triodi naprosto dodana druga upravljačka rešetka, gdje se takva elektronska cijev nikako nije smjela smatrati tetrodom kojoj je druga rešetka bila na visokom pozitivnom potencijalu. U novoj izvedbi elektronske cijevi miješali su se ulazni signali pomoću dvije upravljačke rešetke i djelovanjem nelinearne prijenosne karakteristike cijevi na izlazu su se pojavili električni signali kojima je frekvencija bila jednaka zbroju, odn. razlici frekvencija ulaznih električnih signala. Međutim, kapacitivna veza između obje upravljačke rešetke bila je prevelika te su se tražila nova rješenja.

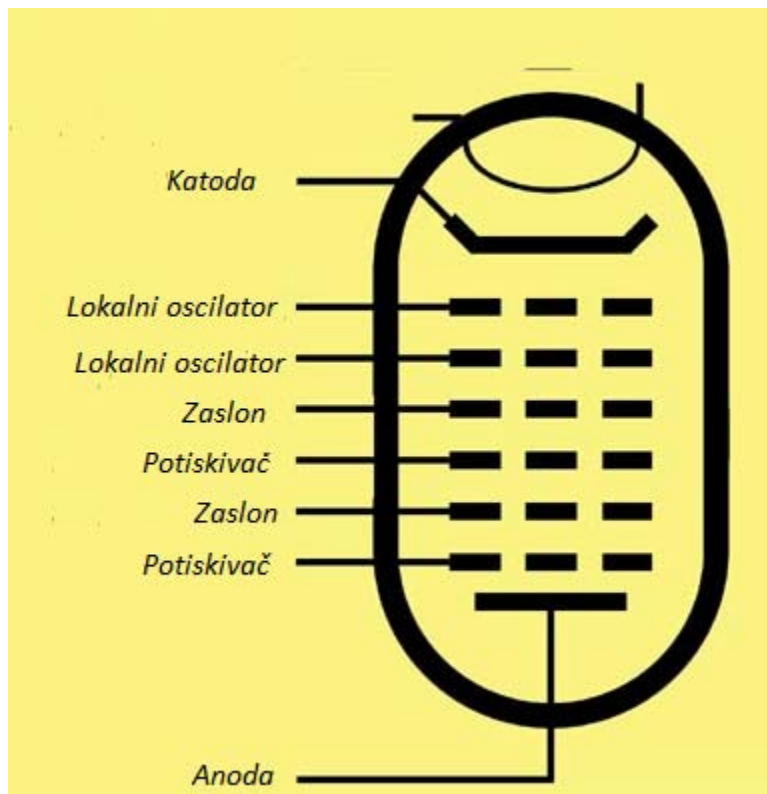


Heptoda

Edwin Armstrong je 1918. godine ostvario efekt amplitudne demodulacije koristeći par trioda u istom kućištu elektronske cijevi ugrađene u superheterodinski prijemnik, gdje je jedna poslužila kao oscilator, a druga kao miješalo signala. U heptodi se na taj način na katodu druge elektronske cijevi dovodio električni signal oscilatora, na upravljačku rešetku primljeni signal s antene, a signal zbroja i razlika frekvencija pojavljivao se na anodi. Prve takve elektronske cijevi zvale su se "pentagrid", elektronske cijevi s pet rešetki i sve su manje ili više bile osjetljive na kapacitivnu vezu između pojedinih dijelova elektronske cijevi kao cjeline.

2.4.Oktode

Premda nema 5 rešetki, ova elektronska cijev bez sumnje koristi princip elektronske cijevi s pet rešetki ("pentagrid"). Dodatkom još jedne rešetke smanjena je sekundarna emisija s anode i time ostvarena dodatna energetska ušteda kod radio prijemnika na baterije koji su tada bili vrlo popularni. Bilo je raznih izvedbi, no ona vrijedna spomena je svakako Philipsova EK3 oktoda, gdje je tijekom elektrona oba sustava bio usmjeren u užu snop, na koji način je međudjelovanje trebalo biti potisnuto.



Oktoda

Razvojem elektronskih cijevi s više rešetki dosegnut je na izvjestan način i vrhunac u upotrebi elektronskih cijevi. Tijekom šezdesetih godina vodeće elektroničke komponente postaju poluvodiči, no elektronske cijevi i do danas ostaju u upotrebi u pojedinim primjenama, prvenstveno u tonfrekvencijskim pojačalima i pretpojačalima gdje se traži specifična „boja“ zvuka (instrumentalna pojačala, pojačala za vrhunsku reprodukciju zvuka te za neke posebne namjene). Elektronske cijevi se i danas proizvode u malim serijama za audio i još neke posebne primjene, tehnološki usavršene i pouzdanije no karakteristikama jednake najpopularnijim elektronskim cijevima iz prošlosti.

3. Prijenos topline i hlađenje

Znatne količine topline je proizvedeno pri njihovom radu. U većini strujnih krugova cijevi učinkovitost je 30-60%, što znači da 40-60% ulazne snage je potrošeno na toplinu. Potrepštine da se poveća učinkovitost značajno su promijenile visokonaponske vakuumske cijevi.

Većina cijevi ima dva izvora topline za vrijeme rada. Jedan na filamentu (katoda) a drugi na anodi. Ta toplina obično pobjegne iz uređaja putem zračenja crnog tijela sa anode kao infra crveno svjetlo.



Primjer bakrenog omotnog štita

Međutim, to zagrijavanje je jedna od najbitnijih činjenica koje utječu na trajanje tih vakuumskih cijevi. Većina topline ipak proizlazi iz anode iako neke kontrolne mreže mogu također zahtijevati hlađenje za uklanjanje viška topline. Na primjeru vakuumske cijevi EL34, hlađenje njegovog zaslona olakšano je sa dva radijatora odnosno „krila“, koji se nalaze pri vrhu cijevi. Metoda hlađenja anode ovisi o samoj izgradnji cijevi. Za cijev sa unutarnjom anodom kao što su 12AX7 ili EL34, hlađenje nastaje zračenjem topline crnog tijela od anode prema omotu, prirodna cirkulacija zraka otklanja toplinu sa omota. Omotni štitovi od bakra se mogu dodati na cijevi radi raspršavanje topline. Ti štitovi poboljšavaju vođenje topline od površine cijevi prema samom štitu. Hlađenje može biti dodatno poboljšano sa uvođenjem prisilnog zračnog hlađenja, dodajući vertikalne stabilizatore (peraje) za anode. Ove mjere su poduzete za sve sve 4-1000A prijenosne cijevi.



EL34 cijevi nestandardnog dizajna

Količina topline koja se može otkloniti sa cijevi je ograničena. Cijevi sa vanjskom anodom mogu biti hlađene zrakom, vodom, parom i višefaznim tehnikama. U cijevima

koje su vodeno hlađene anoda je direktno u dodiru sa vodom što je zahtijevalo da se voda električno izolira, inače zbog visokog napona bi strija sa anode mogla doći do radijatorskog sustava. Stoga je bilo potrebno da se voda deionizira te da se postavi monitor koji provjerava provodljivost vode koji će ugasi zalihe visoke-napetosti.

4. Pouzdanost

Jedan od pouzdanosnih problema cijevi sa oksidnom katodom je mogućnost da katode mogu postati otrovne zbog drugih elemenata u cijevi koje smanjuju sposobnost katode da emitira elektrone. Zarobljeni plinovi ili polagano istjecanje tih plinova može također oštetiti katodu ili da katodna ploča pobjegne tijekom ionizacije molekula slobodnog plina. Vakuumska tvrdoća i pravilan izbor građevinskih materijala za izradu cijevi utječe na životni rok vakuumske cijevi. Još jedan važni problem pouzdanosti je uzrokovan propuštanjem zraka u cijev. Uobičajeno je da kisik u zraku kemijski reagira sa vrućim filamentom ili katodom i ubrzo ih uništi. Zato je većina cijevi građena od stakla.



Usijana vakuumska cijev

Kada se vakuumska cijev preoptereći ili je radila više nego što joj je to dizajn omogućio, njena anoda zna zacrveniti. U potrošačkoj opremi to je znak preopterećenja cijevi. Međutim, neke velike odašiljačke cijevi su dizajnirane da njihova anoda radi dok je crvena, narančasta ili u rijetkim slučajevima dok je usijana.

5. Vakuumske cijevi odašiljači i primatelji.

Velike odašiljačke cijevi imaju karbonizirane wolfram niti koje sadrže mali trag torija (1-2%). Veoma tanki (molekularni) sloj atoma torija čini karbonizirani sloj na vanjskoj strani žice te kad se zagrije posluži kao efikasan izvor elektrona. Torij polako isparava s površine žice dok druki atomi torija difuzijom zamjenjuju one koji su otišli sa površine. Takva katoda produži život cijevi na desetke tisuća sati. Najduži životni vijek vakuumske cijevi zabilježen je na „Eimac“ tetrodi koja se koristila kao odašiljač u Los Angeles-koj radio stanici koji je uklonjen nakon 80.000 sati rada (~9 godina). Rečeno je da vakuumske cijevi bolje preživljavaju udar groma od tranzistora. Također FM radiofuzijski odašiljači s pojačalima do cca. 15kW također pokazuju ukupnu učinkovitost od pojačala temeljenih na vakuumskim cijevima.



Vakuumska cijev odašiljač

Katode u malim cijevima „primateljima“ su obložene sa mješavinom barijevog oksida i stroncijevog oksida te ponekad uz dodatak kalcijevog oksida ili aluminijskog oksida. Uz to je dodan električni grijač u katodni rukav i izoliran od njega sa slojem aluminijskog oksida. Ta kompleksna konstrukcija dozvoljava bariju i stroncij da difundiraju do površine katode kad su zagrijani na temperaturu oko 780° Celzijusa, što puspješuje emitiranje elektrona.

6. Literatura

- Spangenberg, Karl R. (1948). Vacuum Tubes. McGraw-Hill
- Shiers, George, "The First Electron Tube", Scientific American, March 1969, p. 104.
- Eastman, Austin V., *Fundamentals of Vacuum Tubes*, McGraw-Hill, 1949
- en.wikipedia.org/wiki
- Tyne, Gerald, *Saga of The Vacuum Tube*, Ziff Publishing, 1943, (reprint 1994 Prompt Publications)