

Renessanssi hifi-sovelluksissa

Putkitekniikkaa digitaaliaikaan

Lähes satavuotias elektroniputki ei suinkaan ole vielä kuollut. Päinvastoin, putkia käytetään edelleen yleisesti suuritehoisissa radio- ja mikroaaltolähettimissä. Ja jopa perinteiset lasikuoriset putket ovat kokeneet renessanssin tosihifistien putkivahvistimissa.

Lähes sata vuotta sitten keksittiin triodi, maailman ensimmäinen elektroninen komponentti, joka pystyi vahvistamaan sähköistä signaalia. Tästä käynnistyi nopea kehitys, joka mullisti tiedonvälityksen, käynnisti maailmanlaajuisen elektroniikkateollisuuden ja aiheutti uuden teollisen vallankumouksen.

Transistorit korvasivat lasikuoriset putket kulutuselektronikassa täysin vasta 1960-luvulla. Monissa muissa sovelluksissa metalli- ja keramiikkarakenteiset tehoputket ovat edelleen käytössä, eikä niille ole näkyvissä korvaavaa tekniikkaa.

Radio ja televisio alkusovelluksina

Elektroniputken ensimmäinen massasovellus oli radiovastaanotin, jonka kulta-aika alkoi 1920-luvulla. Kolmekymmentäluvun loppuun mennessä putkitekniikka olikin sitten jo saavuttanut kypsän iän. Kaikki merkittävät pienitehoiset putkityypit ja niiden sovellukset oli jo keksitty ja kehitetty.

Kehityksen viimeisin sana 1930-luvulla oli televisio. Berliin olympiakisa vuonna 1936 televisioitiin suorana paikallislähetysenä, koska mitään menetelmää televisiokuvan tallentamiseksi ei vielä ollut olemassa. Kuvassa oli 180 juovaa ja



Kuva: Pekka Väänänen

sen kuvataajuus oli 25 kuvaa sekunnissa.

Toinen maailmansota keskeytti kuitenkin television kehittämisen ja yleistymisen. Sodan aikana kehitettiin erityisesti tutka- ja tietokonetekniikkaa. Molemmat olivat tarkoin varjeltuja sotasalaisuuksia, mutta vapautuivat myös siviilikäyttöön heti sodan jälkeen.

Tutkan kehittäminen tapahtui Englannin ja USA:n yhteisprojektina sodan aikana. Tutkan avainkomponentti oli niin sanottu ontelomagnetroni. Magnetroni pystyi tuottamaan lyhyitä, erittäin suuritehoisia mikroaaltopulsseja, jotka soveltuvat erinomaisesti tutkakäyttöön. Mikroaaltojen taajuusalue on 1–100 gigahertsia.

Vaikka tutkan toimintaperiaate on yksinkertainen, sen toteutus oli käytännössä erittäin vaativaa. Lähetysteho oli kymmeniä kilowatteja, mutta vastaanottimen piti silti olla äärimmäisen herkkä. Samoin lähetyspulssein ja heijastuneen signaalin välisen aikaeron mittausrakenteen tuli olla mahdollisimman hyvä. Tutkassa käytetty pulssitekniikka hyödytti myöhemmin suuresti television ja väritelevisiion tekniikan kehitystyötä.

Ensimmäinen elektroninen tietokone ENIAC valmistui vuonna 1946. Sen suunnittelu oli aloitettu jo sodan aikana neljä vuotta aikaisemmin. ENIACissa oli 18 000 putkea, 70 000 vastusta ja viisimiljoonaa juotosta, ja se kulutti tehoa 160 ki-



Brittiprofessori John Flemingin vuonna 1904 patentoimaa diodia käytettiin lennättimen ilmaisimena.



Amerikkalaisen Lee de Forestin kehittämä Audion oli maailman ensimmäinen triodiputki, jonka avulla sähköistä signaalia voitiin vahvistaa. Putki patentoitiin vuonna 1907.

lowattia. Sanapituus oli kymmenen desimaalinumeroa ja suorituskyyky 300 laskuoperaatiota sekunnissa. ENIACin "ohjelmointi" oli tosi hankalaa, koska se tapahtui koneen kytkentöjä muuttamalla.

Putkia käytettiin tietokoneiden alkuaikoina, sillä muitakaan vaihtoehtoja ei ollut. Tietokoneissa alettiinkin käyttää transistoria ja varsinkin mikropiirejä heti niiden ilmestyttyä markkinoille.

50- ja 60-luvut putkien kulta-aikaa

Sodan jälkeinen aika 1960-luvulle asti oli putkitekniikan kulta-aikaa. Putket pienenivät, niiden tehonkulutus väheni ja käyttökelpoinen taajuusalue kasvoi aina UHF-alueelle asti. Putkityypit stardardoitettiin niin, että eri tehtaiden putket olivat vaihtokelpoisia toistensa kanssa.

Kun putkitekniikka oli 30-luvulla pyrkinyt tuomaan markkinoille mahdollisimman yleiskäyttöisiä putkia, tehtaasitellivät 50-luvulla radio- ja TV-sovelluksiin pitkälle erikoistuneita putkityyppejä. Tällaisia olivat esimerkiksi sekoittimiin tarkoite-



Vuonna 1933 rakennettu regeneratiivinen vastaanotin oli rakenteeltaan hyvin yksinkertainen.

tut heksodi ja heptodi. Tilan ja tehon säästämiseksi samaan lasikuoreen sovitettiin kaksi, joskus jopa kolme elektrodiasetelmaa. Yleisimpiä yhdistelmäputkia olivat kaksoistriodit ja triodi-pentodit.

Transistori keksittiin vuonna 1947. Kesti kuitenkin parikymmentä vuotta ennen kuin transistori korvasi kokonaan pienitehoiset putket. Germaniumtransistorit olivat kalliita, asennuksessa helposti tuhoutuvia ja herkkiä ylijännitteille, ylikuormitukselle sekä lämpötilan vaihteluille. Niiden suorituskyky oli vaatimatonta puolen vuosisadan aikana huippuunsa kehittyneiden putkien rinnalla.

Transistorien hyvät puolet, pieni koko ja tehonkulutus, tekivät kuitenkin mahdolliseksi täysin uusia sovelluksia, esimerkiksi kuulokojeet, sydämentahdistimet, pienoisradiot ja tietokoneet. 1950-luvulla ilmestyivät markkinoille ensimmäiset matkaradiot ja "kokonaan transistoroidut" pienet matkatelevisiot. Kesti kuitenkin vielä parikymmentä vuotta ennen kuin isojen väritelevisioiden juova- ja kenttäpääteasteet pystyttiin toteuttamaan transistorilla.

Esittelyssä yhä käytössä olevat putkityypit

Kuvaputki

Vuonna 1887 J. J. Thompson rakensi ensimmäisen alkeellisen katodisädeputken, jonka avulla hän myös osoitti pienen varatun alkeishiukan, elektronin, olemassaolon. Hän jopa kykeni määrittämään elektronin massan ja varauksen hämmästyttävällä tarkkuudella.

Kuluneiden sadan vuoden aikana kuvaputki on kehittynyt valtavasti sovellusten mukana. Vasta viime vuosikymmenen aikana sille on löytynyt varteenotettava haastaja, värillinen nestekidenäyttö. Silti kuvaputki tulee pysymään laajassa käytössä vielä pitkään.

Lähetinputket

Suuritehoiset lähetinputket eivät muistuta lainkaan pieniä lasikupuisia putkia. Niiden ulkokuori on valmistettu keramiikasta tai metallista ja putken koko voi vaihdella nyrkin-kokoisesta aina kaasupullon kokoihin. Tehonkesto vaihtelee alle kilowatista satoihin kilowatteihin.

Lähetinputket ovat yleensä tetrodeja, joita käytetään C-luokassa ja jäähdytetään ilmalla tai vedellä. C-luokan toiminnassa putki syöttää lähetinpiiriin tehoa vain alle puolella kantoaallon jaksonajasta, jolloin saavutetaan hyvä hyötysuhde. Lähetinputki pystyy käsittelemään suuria jännitteitä, virtoja ja taajuuksia samanaikaisesti. Se myös kestää hetkellistä ylikuormitusta ja kuumenemista rikkoutumatta.

Suurimpia lähetinputkien valmistajia ovat Eimac USA:ssa ja Svetlana Venäjällä. Tunnettuja tyyppejä ovat esimerkiksi 3CX-, 3CW-, 4CX- ja 4CV-perheet.

Magnetronit

Magnetroni oli vielä toisen maailmansodan aikana suuri sotasala-

suus, mutta nykyään sellainen on mikroaaltouunissa lähes joka kodissa.

Magnetronin anodi on pyöreä metallisylinteri, jonka kehällä on symmetrisesti onteloita. Mikroaaltotaajuuksilla nämä ontelot käyttäytyvät kuten resonanssiipiirit. Katodi on anodin keskellä eikä hilaa ole lainkaan. Anodin ja katodin väliin muodostuu tavallisten putkien tapaan sähkökenttä. Anodisylinterin molemmilla puolilla on voimakkaat kestopagneetit, jotka muodostavat sähkökentän suunnalle poikittaisen magneettikentän.



Magnetroniputki ilman suojakoteloa ja kestopagneetteja.



Eimacin lähetinputkivalikoimaa.

Katodilta lähtevät elektronit alkavat kasvavalla nopeudella kulkeutua anodia kohti. Mitä suuremmaksi niiden nopeus kasvaa, sitä voimakkaammin magneettikenttä poikkeuttaa niitä sivulle. Riittävän suurella anodijännitteellä elektronit kiertävät ympyrän muotoista rataa ja palaavat takaisin katodille.

Elektronien liike anodin kehällä oleviin resonanssionteloiden ohi indusoi niihin suurtaajuisen signaalin. Lähetettävä signaali johdetaan ulos magnetronista aaltoputkella tai koaksiaalikaapelilla.

Tutkakäytössä magnetronia pulssitetaan. Tyypillinen tutkamagnetroni pystyy lähettämään kymmenen gigahertsin taajuuksia, yhden mikrosekunnin mittaisia pulsseja tuhat kertaa sekunnissa. Yhden pulssin hetkellinen teho voi olla jopa useita megawatteja.

Klystronit

Klystroni on samantapainen ontelo-resonaattoriputki kuin magnetroni. Klystronissa elektronisuihku kuitenkin

kin kulkee lineaarisesti rivissä olevien resonanssikammioiden ohi. Se voi toimia vahvistimena, sekoittimena tai oskillaattorina.

Useimmiten klystronia käytetään hyvin suuritehoisena vahvistimena UHF-alueen TV-lähettimissä. Sitä käytetään myös lentokoneiden tutkissa, varsinkin sotilaskäytössä.

Valomonistinputket

Valomonistinputkia (Photo Multiplier Tube, PMT) käytetään ilmaisemaan erittäin heikkoa valoa. Ne pystyvät havaitsemaan parhaimmillaan jopa yhden fotonin suuruisen valokvantin. Puolijohteista valmistetut valodetektorit ovat kuitenkin korvanneet valomonistinputket monissa sovelluksissa, joissa ei tarvita äärimmäistä herkkyyttä.

Valomonistinputken katodi on valmistettu materiaalista, jonka valosähköinen kynnys on pieni. Hilan tilalla on peräkkäisiä dynodeja, jotka on päällystetty elektroneja herkästi emittoivalla materiaalilla. Dynodeille on järjestetty ulkopuolisilla vastuksilla portaittain kasvavat jännitteet.

Valomonistinputken tyypillinen sovellusalue on esimerkiksi lääketieteellinen elektronikka. Analysaattoreilla ja sopivilla reagensseilla voidaan esimerkiksi ilmaista verestä vasta-aineita, hormoneja ja entsyymejä.

Röntgenputket

Röntgenputkissa (X-ray tubes) suurella anodijännitteellä kiihdytetyt elektronit törmäävät metalliseen anodiin, jolloin vapautuu röntgensäteilyä. Aallonpituus eli säteilyn kovuus riippuu anodimateriaalista ja kiihdytysjännitteestä. Putken virtaa säädetään muuttamalla hehkulangan lämpötilaa.

50-luvun lopulla putkiteollisuus teki vielä viimeisen yrityksen transistorin kaatamiseksi. Nuvistori oli lähes yhtä pieni kuin transistori, vei tehoa vain watin verran ja toimi muutaman kymmenen voltin anodijännitteellä. Toimintalämpötilaksi luvatattiin huikeat -190 – $+350$ Celsius-astetta ja eliniäksi 100 000 tuntia. Valitettavasti nuvistorin julkistus tapahtui samaan aikaan kuin ensimmäisten mikropiirien julkistus 1959, joten ne jäivät vain piensignaaliputkien joutensauluksiksi.

60- ja 70-lukujen aikana lasikupuiset vastaanotinputket korvattiin transistorilla lähes kaikissa kulutuselektronikan ja teollisuuselektronikan laitteissa. Ne putkisovellukset, jotka silloin jäivät käyttöön, ovat pääosin käytössä vielä tänäpäkin.

Näissä sovelluksissa transistorit eivät vielääkään pysty korvaamaan putkia: kuvaputket, röntgen- ja valomonistinputket sekä suuritehoiset radiotaajuus- ja mikroaaltolähetinputket. Tällaisissa sovelluskohteissa putkien koko, paino, tehonkulutus tai hehkujännitteen tarve eivät myöskään aiheuta yleensä ongelmia.

Lasiputkien uusi elämä
Ensimmäiset transistorivahvistimet saivat 60-luvulla hifistien tuomion, sillä niiden äänenlaatu

oli huomattavasti huonompi kuin putkilaitteiden. Tämä siitä huolimatta, että transistorilaitteiden mittaustulokset, taajuusvasteet ja säröarvot olivat moitteettomia ja jopa huomattavasti parempia kuin putkilaitteiden.

Matti Ojala osoitti kuitenkin 1970-luvun alussa löytämänsä TIM- eli transientti-intermodulaatio-särön avulla, että tarkkorvaiset hifistit eivät olleet väärässä. Hyvistä staattisista mittaustuloksista huolimatta vahvaa takaisinkytkentää käyttävät transistorivahvistimet menivät voimakkaiden katkoäänten aikana lyhyeksi hetkeksi kokonaan tukkoon. Vahvistimen ääni kuulosti karhealta ja tukkoiselta. Ilmiötä ei esiintynyt putkivahvistimilla, joissa kovin tiukkaa takaisinkytkentää ei voinut värähtelyvaaran takia käyttää.

Ojalan tutkimusten ansiosta transistorivahvistimien äänenlaatu parani pian huomattavasti. Osa hifilehdistöstä julistikin tuolloin luottavaisesti, ettei laadukkaiden vahvistimien välillä enää ole korvin kuultavia eroja.

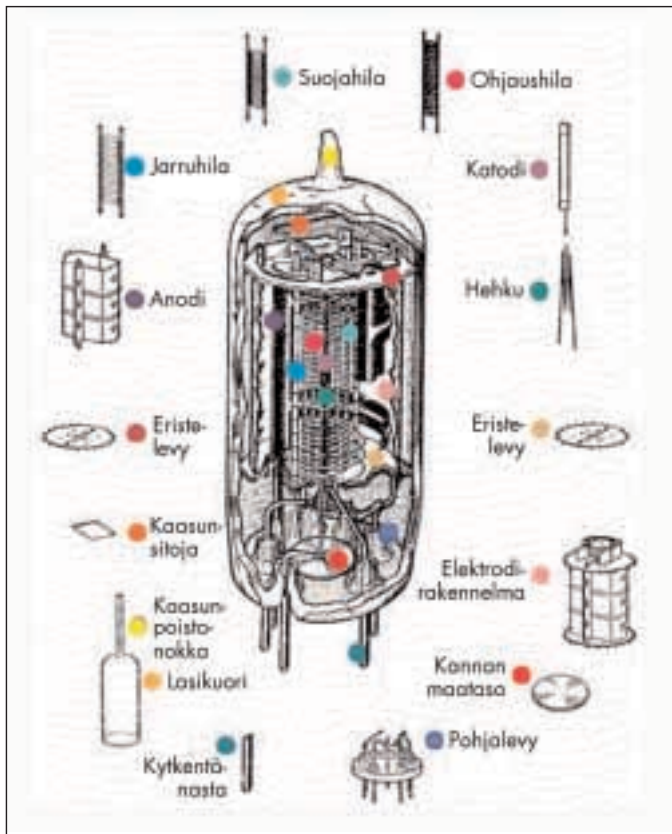
1980-luvun lopulla alkoi maailmalta kuitenkin kuulua kummit: Yhä useammat hifiharrastajat siirtyivät käyttämään putkivahvistimia, joko vanhoja malleja tai itse rakennettuja. Muutamassa vuodessa alkoi vanhojen putkilaitteiden renessanssi, ja aikaansa seuraavat hi-



Saksalainen televisiovastaanotin vuodelta 1935 oli massiivinen kokonaisuus, joka koostui kuvaputkesta, superheterodyne-vastaanottimesta, juovan- ja kuvantahdistimesta sekä verkko-osasta.



Western Electricin legendaarinen 300B-triodi oli 50 vuotta tuotannossa ennen eläkkeelle jäämistään. Nyt putki on kokenut renessanssin tosihifistien keskuudessa.



Pentodi-putkessa pienen lasikuvun sisään on ahdettu aikamoinen määrä tavaraa.

fivalmistajat alkoivat tarjota markkinoille aivan uusia putkivahvistimia.

Viimeisin villitys ovat olleet pienitehoiset, alle kymmenen wattia tehoa tuottavat SET-vahvistimet (Single Ended Triode). Useimmiten niissä on ainoana pääteputkena 1930-luvulta peräisin oleva suoraan hehkutettu 300B-tyyppinen triodi ja muina osina kourallinen kalliita ja huippulaatuisia komponentteja. Näiden vahvistimien väitetään luovan kuuntelijalle uskomattoman vahvan läsnäolon tunnun vinylilevyjä ja jopa vanhoja 78-kierroksen "savikiekköjä" kuunneltaessa.

Nykyään monet maailman kalleimmista ja arvostetuimmista high-end-audiovahvistimista on ainakin osittain toteutettu

putkilla. Alan lehdistön arvion mukaan audioputkien kysyntä kasvaa 10–20 prosenttia vuodessa. Audioputkia myydään USA:ssa noin 100 miljoonan ja koko maailmassa arviolta noin 400 miljoonan dollarin arvosta, joten aivan nappikaupasta ei ole kysymys.

Muutama tehdas jäljellä

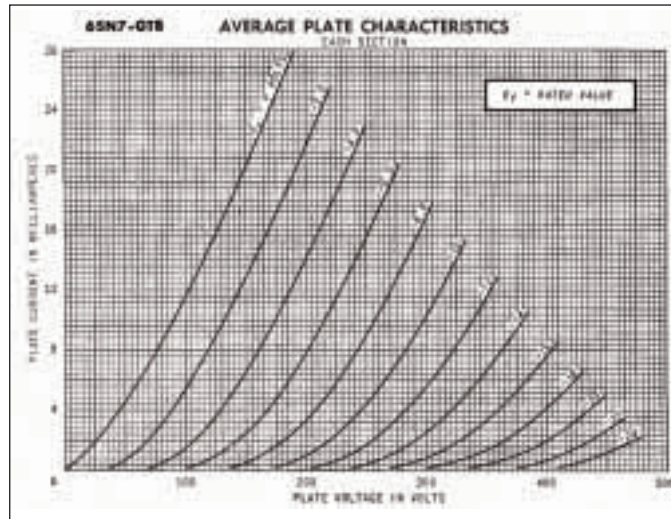
Maailmassa on vielä jäljellä tusinan verran lasiputkia tuottavia tehtaita. Suurimmat ovat Venäjällä ja Kiinassa, mutta Itä-Euroopan maissa on myös useita pieniä tehtaita. Useimmat tehtaot valmistavat vain tiettyjä putkityyppejä ikivanhoilla koneilla ja puutteellisin laadunvalvontamenetelmin.

Pietarissa sijaitseva Svetlana-yhtiö perusti 1992 amerikkalaisen R&G International -yhtiön kanssa yhteisyrityksen markkinoimaan ja myymään Svetlanan valmistamia lasi- ja tehoputkia. Amerikkalainen osapuoli hoitaa rahoituksen ja markkinoinnin sekä valitsee valmistettavat putkityypit asiakkaiden tarpeiden ja vaatimusten mukaan.

Svetlanan tehdas Pietarissa pystyy toimittamaan laadukkaita putkia luotettavasti sovitun toimitusajan puitteissa. Tehtaan tuotekehitys pystyy tarvittaessa ottamaan tuotantoon aivan uusiakin putkityyppejä vastauksena muuttuville markkinoille.

Western Electric -yhtiö avasi vuonna 1997 uudelleen Kansassa sijaitsevan tehtaansa, joka valmistaa legendaarisia WE300B-putkia alkuperäisten piirustusten mukaan. Tehtaan tuotanto ja laadunvalvonta on toteutettu nykyaikaisella tekniikalla. Uusia putkia myydään 360 dollarin kappalehintaan.

Prahassa toimii Tesla enti-



Triodiputken ominaiskäyrästä. Tasaväliset hilajännitekäyrät takaavat putken ihanteellisen lineaarisuuden.

sessä putkilaboratoriossa KR Audio Electronics, entiseltä nimeltään KR Enterprises. Tehdas valmistaa itse suunniteltuja huippulaatuisia malleja kuuluisasta 300B-putkesta. KR val-

mistaa myös omia high-end-vahvistimia, joissa omien putkien erikoisominaisuuksia hyödynnetään tehokkaasti.

Ei siis kannata heittää pois sitä isoisan ullaolta löytynyttä



Erikoisputkista tunnetuin oli Magic Eye eli näkövirityspotki. Kuvan tyyppi EM87 oli tarkoitettu kelanauhurien äänitystason tarkkailuun.

vanhaa putkiradiota tai -vahvistinta. Vanhoihinkin laitteisiin löytyy vielä varaosia ja entistettyinä ne muistuttavat elektronikka-alan pitkstä historiasta ja perinteistä. Ne ovat elektronikan antiikkia. ●

Eri elektroniputkien toimintaperiaatteet

Suora ja epäsuora hehkutus

Ensimmäisten, hehkulampusta kehitettyjen elektroniputkien katodina oli pelkkä hehkulanka, joka toimi myös katodina. Jos moniputkisen kytkennän katodit olivat eri potentiaaleissa, tarvittiin erilliset hehkuvirtalähteet. Hehkujen täytyi lisäksi toimia aina tasajännitteellä eli käytännössä paristolla.

Putkien kehittymisen myötä putkissa vakiintui käyttöön epäsuora hehkutus. Siinä itse hehkulanka on eristetty varsinaisesta katodista, joten kaikille kytkennän putkille voidaan käyttää samaa tehohähdettä, myös vaihtojännitettä. Tämä parannus helpotti monimutkaisten putki-kytkentöjen rakentamista ja paransi samalla olennaisesti kytkentöjen vakautta ja kaistaleveyttä.

Diodi

Diodissa on vain kaksi elektrodia: katodi ja anodi. Kun katodia hehkutetaan, se emittoi ympärilleen elektroneja. Jos anodi on samassa potentiaalissa kuin katodi, elektronit pysyttelevät lähellä katodia ja muodostavat avaruusvarauksen putken sisään.

Jos anodi on negatiivinen katodiin nähden, anodi hylkii elektroneja eikä anodin ja katodin välillä kulje virtaa. Jos taas anodi on positiivinen katodiin nähden, niiden välinen sähkökenttä vetää elektroneja anodille ja piirissä kulkee virta anodilta katodille.

Mitä suurempi on anodin ja katodin välinen jännite, sitä suurempi on anodivirta. Jollakin jännitteellä saavutetaan kuitenkin kylläystarvo, josta anodivirta ei enää kasva. Sil-

loin kaikki katodilta vapautuneet elektronit kulkeutuvat voimakkaan sähkökentän mukana anodille. Kylästyvirtaa kutsutaan myös emisiovirraksi.

Triodi

Putkitriodissa on katodin ja anodin välille sijoitettu ohjaushila. Hila on tavallisesti hyvin ohuesta metallilangasta kahden tukilangan ympärille harvasti kierretty aitamainen rakenne, joka ympäröi koko katodin. Lanka on ohutta ja kierrosten välit pitkät, jotta hila haittaisi mahdollisimman vähän elektronien liikettä.

Triodissa anodivirran suuruutta voidaan säätää hilajännitteellä. Jos hila on samassa potentiaalissa katodin kanssa, se ei vaikuta anodivirtaan. Toiminta on silloin aivan kuten diodilla; mitä suurempi anodijännite, sitä suurempi anodivirta.

Jos hilan jännite on negatiivinen katodiin nähden, hilan ja katodin välille syntyy sähkökenttä, jonka suunta on vastakkainen anodin ja katodin väliselle kentälle. Negatiivinen hilajännite siis heikentää katodilla olevaa sähkökenttää ja pienentää anodivirtaa. Riittävän suurella negatiivisella hilajännitteellä anodivirta katkeaa kokonaan.

Positiivisella hilajännitteellä hilakatodiväli toimii diodina. Useimmat putkikytkennät käyttävät vain negatiivisia hilajännitteitä, jolloin hilavirta on käytännössä olematon. Joitakin tehoputkia käytetään positiivisella hilajännitteellä, jolloin niistä saadaan suurempi anodivirta.

Putkitriodi käytetty siis suunniteltiin samalla tavalla kuin JFET-transistori, putken jännitteenkesto vain on paljon suurempi.

Triodin taajuusvaste ei ole erityisen laaja ilman erikoiskytkentöjä. Tämä johtuu triodin elektrodien välisistä kapasitansseista, jotka ovat useita pikofaradeita. Miller-ilmiön takia triodiasteen tulokapasitanssi on suurehko. Koska putkikytkennöissä impedanssi on suuri, pienetkin kapasitanssit ovat merkittäviä. Erikoiskytkennöillä triodeja voidaan käyttää jopa UHF-alueelle asti.

Tetrodi

Tetrodissa on ohjaushilan ja anodin väliin lisätty suojahila. Se toimii anodin staattisena suojana ja pienentää ohjaushilan ja anodin välisen kapasitanssin mitättömän pieneksi, joihinkin femtofaradeihin.

Niin kauan kuin anodin jännite on suurempi kuin suojahilan jännite, tetrodin anodijännitteellä on vain hyvin pieni vaikutus anodivirtaan. Siten tetrodistä voidaan saada hyvin suuri jännitevahvistus. Mitättömän pieni anodin ja ohjaushilan välinen kapasitanssi sallii suuren toimintataajuuden ilman värähtelyvääriä tai suurta Miller-kapasitanssia.

Kun elektrodit iskeytyvät riittävän suurella nopeudella anodiin, ne vapauttavat anodista muita elektroneja. Diodissa ja triodissa nämä elektronit ajautuvat takaisin anodille, koska lähistöllä ei ole muuta positiivista elektrodia. Tetrodissa tämä toisioemissio on haitallinen. Positiivinen suojahila vetää elektroneja puoleensa varsinkin, jos anodin jännite on pienempi kuin suojahilan. Tämä ilmiö pienentää tetrodin anodivirtaa ja rajoittaa anodijännitteen vaihtelualuetta.

Tetrodia käytetään ainoastaan tehoputkissa, sillä piensignaali-

putken pentodi tarjoaa paremmat vahvistusominaisuudet.

Pentodi

Toisioemission haitat pystytään poistamaan lisäämällä putkeen vielä viides elektrodi. Suojahilan ja anodin väliin sijoitettava jarruhila kytketään yleensä suoraan katodiin. Useissa putkissa tämä kytkentä on tehty jo putken sisällä. Koska jarruhila on katodin potentiaalissa, se kerää tehokkaasti toisioemission elektronit ja estää niiden kulumen suojahilalle tai takaisin anodille.

Pentodissa anodijännitteen vaihtelualue on suuri ja se voi kutistua jopa alle suojahilan jännitteen ilman pahoja sivuvaikutuksia. Pentodi toimii tetrodin tapaan jänniteohjattavana virtalähteenä (kuten mosfet). Jos kuormaimpedanssi on suuri, pentodista saadaan erittäin suuri vahvistus. Pentodi on siksi ihanteellinen putki suurta vahvistusta ja kaistaleveyttä vaativiin sovelluksiin. Sitä käytettiin yleisesti radio- ja TV-vastaantimien välitaajuusasteissa.

Erikoisputket

Radio- ja televisioikäyttöön kehitettiin myös monenlaisia sovelluskohdaisia erikoisputkia. Tällaisia olivat esimerkiksi monihilaputket heksodi, heptodi ja oktodi, joita käytettiin sekoittimissa ja television pulssikytkennöissä.

Erikoisimpia ja näyttävimpiä pienputkia olivat näkövirityspotket, joita käytettiin esimerkiksi radiovastaantimissa aseman hienovirityksen säätöindikaattoreina ja kelanauhureissa äänitystason indikaattoreina.