

4. ELEKTRONKY, VÝBOJKY A FOTONKY

Vladimír Novák

Obsah :

4.1. Fyzikální základy činnosti elektronek, výbojek a fotonek	150
4.2. Elektronky	151
4.3. Rušivé jevy	168
4.4. Speciální elektronky	170
4.5. Výbojky	175
4.6. Fotonky	178
4.7. Elektronová optika, obrazové elektronky a televizní snímací elektronky	180
4.8. Značení elektronek, výbojek a fotonek	187
4.9. Jednoduché obvody s elektronkami	190

4. ELEKTRONKY, VÝBOJKY A FOTONKY

Tato kapitola obsahuje stručné vysvětlení fyzikálních základů činnosti elektronek, výbojek a fotonek a výklad o složení a konstrukci těchto elektronických součástek a o jejich vlastnostech.

Dále jsou probrány nejdůležitější rušivé jevy vyskytující se u elektronek a podstata činnosti speciálních elektronek a obrazovek.

Kapitola je uzavřena vysvětlením typového značení elektronek, výbojek a fotonek a je připojen výklad o jednoduchých obvodech s elektronekami.

4.1 FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY ČINNOSTI ELEKTRONEK, VÝBOJEK A FOTONEK

Podstatou činnosti elektronek, výbojek a fotonek je využití fyzikálních jevů zvaných emise elektronů a ionizace plynů. Vznikající volné elektrony a ionty jsou nositeli elektrického náboje. S činností elektronek, výbojek a fotonek souvisí pohyb těchto nositelů, čili vedení proudu ve vakuu a plynech.

4.1-1 Emise elektronů

Emise elektronů je fyzikální děj, při kterém dochází k výstupu elektronů z povrchu pevné nebo kapalné látky. Z látky mohou vystoupit elektrony, které mají takovou pohybovou energii, že překonají elektrostatické síly působící proti jejich vystoupení.

Energií nutnou k překonání těchto sil mohou elektrony získat zahřátím nebo ozářením látky. Při zahřátí látky dochází k tepelné emisi, při ozářením látky světlem k emisi světelné a při ozářením látky částicovým (korpuskulárním) zářením tvořeným elektrony k emisi sekundární.

Elektrony, které vystoupily z látky do volného prostoru, vykonaly výstupní práci, jejíž velikost je dána součinem náboje elektronu a výstupního potenciálu. Výstupní potenciál (afinita) je pro určitý materiál konstantní.

4.1-2 Ionizace plynů

Ionizace plynů je fyzikální děj, při kterém dochází k vytváření kladných a záporných iontů, případně k uvolňování elektronů z elektrův neutrálních molekul plynu. Kladné ionty vznikají po odtržení elektronů od neutrálních molekul plynu, záporné ionty po spojení neutrálních molekul s volnými

elektrony. Ionty, případně volné elektrony se mohou vytvořit po srážkách částic majících dostatečnou pohybovou energii (ionizační energii) s molekulami plynu. Pírozenými ionizačními částicemi jsou částice kosmického a radioaktivního záření. Ionizačními částicemi mohou být též elektrony emitované elektrodou umístěnou v prostoru naplněném plynem; ionizační energii nabudou urychlením v elektrickém poli vytvořeném mezi emitující elektrodou a elektrodou mající proti emisní elektrodě dostatečně vysoké kladné napětí. Vznik nositelů náboje (tj. kladných a záporných iontů, popřípadě elektronů) závisí na vlastnostech plynu (tj. na tlaku, teplotě, velikosti molekul plynu atd.) a na vlastnostech ionizačních částic (zejména na jejich energii).

4.1-3 Vedení proudu ve vakuu a plynech

Formou vedení proudu ve vakuu je uspořádaný volný pohyb elektronů. K uspořádanému pohybu těchto nositelů náboje dochází pod vlivem elektrického nebo magnetického pole, přičemž velký vliv má i elektrické pole prostorového náboje vytvářejícího se při vyšších hustotách elektronů.

Formami vedení proudu v plynech jsou nesamostatný a samostatný výboj. Nesamostatný výboj je charakterizován tím, že počet nositelů náboje vznikajících za jednotku času samovolnou ionizací plynů (tzn. bez působení ionizačního činidla) je menší než počet nositelů náboje zanikajících za jednotku času při současně probíhající deionizaci (při které se ionty a elektrony spojují v neutrální molekuly). K udržení určitého počtu nositelů náboje je tedy zapotřebí neustálého působení ionizačního činidla. Samostatný výboj vzniká lavinovou ionizací plynu, při které k udržení vývoje není třeba působení ionizačního činidla. Vznik elektrických výbojů závisí na vlastnostech plynů, na napětí na elektrodách a na tvaru a materiálu elektrod.

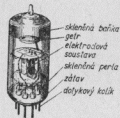
Pro technické využití jsou důležité samostatné výboje, ke kterým dochází v nezředěných nebo slabě zředěných plynech (tlak okolo 1 torr) při vyšších hodnotách napětí mezi elektrodami. Samostatné výboje se dělí podle intenzity proudu tekoucího mezi elektrodami na temné, doutnavé a obloukové.

4.2 ĚLEKTRONKY

Elektronka je tvořena dvěma nebo více elektrodami, umístěnými obvykle ve skleněné nebo kovové baňce, vyčerpané na tlak 10^{-6} až 10^{-8} torrů (obr. 4-1).

Baňky moderních elektronek jsou většinou skleněné a válcové a místo zvláštní patice (obvyklé u starších elektronek) mají moderní elektronky

chromželezné kolíky zatavené přímo do dna baňky. (Uvnitř baňky tvoří tyto kolíky zároveň nosníky soustavy elektrod.) Technického vakua (tlaku vzduchu 10^{-6} až 10^{-8} torru) uvnitř baňky se dosáhne vyčerpáním plynů nejprve vývěvami a nakonec dočerpávacím (getrem); malé množství magnézia nebo barya, uložené v destičce připevněné k soustavě elektrod, se vhodným způsobem zahřeje (např. vysokofrekvenčně) a jeho páry vytvoří na vnitřní stěně baňky povlak, který absorbuje zbytky plynů.



Obr. 4-1. Provedení elektronky se skleněnou baňkou

Elektroda, která emituje elektrony, se nazývá katoda. K emisi elektronů z katody dochází při zahřátí katody proudem elektrického proudu buď přímo látkou tvořící katodu (přímo žhavené katody), nebo vláknem, které je od emisní hmoty elektricky odizolováno (nepřímo žhavené katody).

Přímo žhavené katody jsou tvořeny:

- a) vláknky z čistých kovů,
- b) kovovými vláknky, které mají na povrchu adsorbovanou jednomolekulární vrstvu dobře emitujícího kovu,
- c) kovovými vláknky pokrytými kyslíčkovou vrstvou.

Nejúčinnějšími a v malých elektronkách nejčastěji používanými katodami jsou katody z kovových vláken, obvykle niklových, pokrytých vrstvou polovodivého kyslíčnicku snadno emitujícího prvků, např. barya nebo stroncia. Jsou však značně citlivé na zbytky plynu a další jejich nevýhodou je, že se na nich vytvářejí horká místa, jejichž teplota může dosáhnout takové hodnoty, při které se emisní vrstva na těchto místech úplně rozžhaví (čímž se sníží celková emise katody) nebo se vláknko přepálí.

Všechny přímo žhavené katody mají několik společných nevýhod. Při žhavení stejnosměrným proudem dochází k nerovnoměrnému ohřívání katody (proud elektronů emitovaný katodou se na jedné polovině vláknka přičítá a na druhé odečítá od proudu žhavicího). Žhavení střídavým proudem působí kolísání potenciálu jednotlivých míst vláknka, jakož i kolísání teploty vláknka, a mimoto vyvolává proměnné magnetické pole okolo katody.

U nepřímo žhavených katod se používá jako emisní vrstvy kyslíčnicku některého snadno emitujícího prvku, např. barya, naneseného na povrch kovové, obvykle niklové trubičky, ve které je umístěno žhavicí vláknko. Izolaci mezi vláknkem a trubičkou tvoří buď keramická vložka ve tvaru válečku, nebo izolační hmota odolná proti žáru, např. kyslíčnick hliníty, nanesená přímo na vláknko.

Nepřímo žhavené katody v podstatě odstraňují potíže spojené s přímým žhavením stejnosměrným nebo střídavým proudem, mají však mnohem větší tepelnou setrvačnost než katody žhavené přímo. Kromě toho je nutno

počítat s tím, že napětí mezi vláknkem a katodou nesmí překročit určitou maximální dovolenou hodnotu, aby se neporušila izolace mezi nimi.

Další elektrodou v každé elektronce je anoda, která je obvykle zhotovena z niklu, u výkonových elektroněk z mědi nebo molybdenu. Je-li mezi anodou a katodou potenciální rozdíl odpovídající kladnému napětí anody vzhledem ke katodě, vytvoří se mezi nimi elektrické pole, které urychluje pohyb katodou emitovaných elektronů směrem k anodě. Při dopadu elektronů na anodu dochází k jejich okamžitému zabrzdění, k přeměně jejich pohybové energie v energii tepelnou, a tudíž k zahřátí anody.

Teplota anody roste s množstvím elektronů a s jejich rychlostí. Elektrony dopadající na anodu tvoří anodový proud a jejich rychlost je závislá na velikosti anodového napětí, tj. na napětí mezi anodou a katodou.

Okamžitý ztrátový výkon, kterým se anoda zahřívá, se označuje jako okamžitá anodová ztráta, daná vztahem

$$P(t) = U_a(t) \cdot I_a(t), \quad (4-1)$$

kde $P(t)$, $U_a(t)$, $I_a(t)$ jsou okamžitě hodnoty ztrátového výkonu, anodového napětí a anodového proudu.

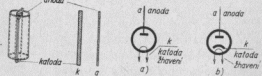
U elektroněk s anodovou ztrátou o velikosti řádově 10^2 W je nutno zvýšit odvod tepla sáláním; anoda se proto opatřuje žebrovaním. U elektroněk s velikostí anodové ztráty řádově 10^3 W je nutné použít nuceného chlazení, a to buď vzduchem, nebo vodou. U vodou chlazených elektroněk je anoda obtékána destilovanou vodou nebo se voda nechá na anodě odpařovat (vapotronové chlazení). Chlazení vzduchem má proti vodnímu chlazení výhodu zejména v tom, že elektronky lze snáze vyměňovat a že odpadlá spotřeba destilované vody; výhodou vapotronového chlazení jsou malé rozměry a jednoduchost zařízení, protože výkonná čerpadla vody nebo vzduchu nejsou nutná.

4.2-1 Dioda

Princip činnosti a voltampérová charakteristika

Dioda je elektronka, která má dvě elektrody — katoda a anoda (obr. 4-2).

Elektrony emitované katodou vytvoří v prostoru mezi elektrodami elektrovný mrak. Vlivem prostoro-
rového náboje elektronového mraku vznikne mezi katodou a anodou elektrické pole s potenciálovým minimem v místě s největší hustotou elektronů. Toto elektrické pole působí proti pohybu katodou emitovaných



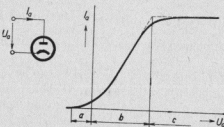
Obr. 4-2. Konstrukce, část fyzu elektronkovou soustavou a schematická značka diody a - přímo žhavené, b - nepřímo žhavené

elektronů směrem k anodě a prakticky znemožní výstup dalších elektronů z katody. Po připojení zdroje napětí na elektrody dochází ke změně původního elektrického pole, a tím i k odpovídajícímu ovlivnění pohybu elektronů mezi katodou a anodou. Uspořádaný pohyb elektronů jako nositelů elektrického náboje dochází k vedení elektrického proudu. Tento proud, jehož technický směr je opačný než směr pohybů elektronů, je značně závislý na velikosti napětí mezi elektrodami; při stále teplotě katody lze tuto závislost vyjádřit charakteristickou rovnicí

$$I_a = f(U_a). \quad (4-2)$$

Grafickým znázorněním této závislosti je voltampérová charakteristika (obr. 4-3).

Diodou začíná téci ztelný proud již při malých záporných hodnotách napětí anody vzhledem ke katodě, protože určitý počet katodou emitovaných elektronů má energii potřebnou k překonání vlivu odpovídajícího elektrického pole. Tento proud se označuje jako proud náběhový.



Obr. 4-3. Voltampérová charakteristika diody: *a* - oblast náběhového proudu, *b* - oblast prostorového náboje, *c* - oblast nasyceného proudu

jehož velikost je ovlivňována velikostí prostorového náboje elektronového mraku. V této oblasti prostorového náboje lze pro zidealizované poměry (které se v praxi nedají uskutečnit) vyjádřit závislost proudu na napětí vztahem

$$I_a = k \cdot U_a^{\frac{3}{2}} \quad (4-3)$$

kde *k* je konstanta daná konstrukcí elektronky (perveance); její hodnota je tím větší, čím delší je katoda a čím menší je poměr poloměrů anody a katody.

Při určité hodnotě anodového napětí vlivem vytvořeného elektrického pole mezi katodou a anodou prostorový náboj mezi elektrodami zaniká, protože všechny katodou emitované elektrony doletí k anodě. Hodnota tohoto anodového napětí se označuje jako napětí sytné (saturační). Na voltampérové charakteristice vymezuje začátek oblasti nasyceného proudu. Od saturačního napětí roste se zvyšováním anodového napětí anodový proud už jen nepatrně.

Pracovní bod a diferenciální parametry

Pracovním bodem diody je bod o souřadnicích *U* a *I* ležící na voltampérové charakteristice diody. Při znalosti průběhu voltampérové charakteristiky je jednoznačně určen, je-li známa jedna jeho souřadnice.

Směrnici tečny k průběhu voltampérové charakteristiky v daném pracovním bodě *P* je dána hodnota diferenciálního parametru zvaného vnitřní vodivost, který se též někdy označuje jako strmost

$$G_i = S = \left(\frac{dI}{dU} \right)_P \quad (4-4)$$

Převrácená hodnota vnitřní vodivosti je vnitřní odpor. Mezi oběma diferenciálními parametry platí vztah

$$SR_i = 1. \quad (4-5)$$

Lineární náhradní obvody

Pro změny obvodových veličin vyvolané malými a poměrně pomalými změnami signálu (malými změnami stejnosměrného nebo nízkofrekvenčního signálu) je lineární náhradním obvodem diody diferenciální odpor. Při rychlých změnách signálu (změnách vyvolaných vysokofrekvenčním signálem) je lineárním náhradním obvodem diody paralelní spojení vnitřního odporu a kapacity mezi anodou a katodou diody.

Pracovní podmínky

Abý při činnosti diody nedošlo k přetížení katody, k průrazu mezi katodou a anodou nebo k přehřátí anody, je nutné dodržet maximální dovolené hodnoty proudu procházejícího diodou, napětí mezi anodou a katodou a maximální dovolenou hodnotu anodové ztráty.

Použití

Diody s malou anodovou ztrátou se používají v nízkofrekvenční technice pro usměrňování nízkofrekvenčních signálů, ve vysokofrekvenční technice pro demodulaci. V poslední době jsou nahrazovány polovodičovými diodami.

Diody s větší anodovou ztrátou (1 až 10 W i více) se používají především pro usměrňování střídavých napájecích napětí. V těchto případech jsou namáhány nejen anodovou ztrátou, ale též impulsní odebráními proudy a inverzními napětími. Také tyto diody se nahrazují polovodičovými diodami (křemíkovými), kromě diod s mimořádně vysokými inverzními napětími (několik kV), např. v televizních přijímačích.

4.2-2 Trioda

Trioda je elektronka, u níž je mezi katodou a anodou umístěna ještě jedna elektroda — mřížka (obr. 4-4). Ta je provedena tak, že nezabraňuje

průletu elektronů od katody k anodě; je zhotovena z tenkého niklového drátu, nejčastěji ve tvaru šroubovice (se stoupáním závitů od několika desetin mm do několika mm) a elektrony se mohou pohybovat mezi jejími závitů.

Mřížka ovlivňuje elektrické pole mezi katodou a anodou, přičemž vliv jejího potenciálu na tok elektronů je větší než vliv potenciálu anody, protože je umístěna blízko katody. Při záporných hodnotách potenciálu mřížky vzhledem ke katodě se v prostoru mezi mřížkou a katodou vytváří potenciálové minimum, které působí proti pohybu elektronů od katody k anodě a jehož vliv může být potlačen zvýšením potenciálu anody vzhledem ke katodě. Při malých záporných hodnotách a při kladných hodnotách potenciálu mřížky vzhledem ke katodě dochází k rozdělení



Obr. 4-4. Řez elektrodovou soustavou a schematické značky triody: a - přímo žhavené, b - nepřímo žhavené

toku elektronů z katody na tok z katody na anodu (mezi závitů mřížky) a z katody na mřížku (elektrony zachycené závitů mřížky).

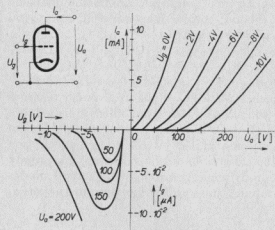
Vztah mezi čtyřmi proměnnými veličinami triody, které jsou představeny vstupními a výstupními napětími a proudy, lze vyjádřit charakteristickými funkcemi triody. Jsou to dvě funkce, z nichž každá vyjadřuje vztah tři proměnných veličin. Nejčastěji se používají tyto charakteristické rovnice triody:

$$I_g = \gamma_1(U_g, U_a), \quad (4-6)$$

$$I_a = \gamma_2(U_g, U_a), \quad (4-7)$$

kde I_g je mřížkový proud, I_a je anodový proud, U_g je mřížkové napětí, což je napětí mřížky vzhledem ke katodě, a U_a je anodové napětí, což je napětí anody vzhledem ke katodě.

Rovnice obsahující tři proměnné veličiny (I_g , U_g , U_a nebo I_a , U_g , U_a) jsou rovnicemi plochy v prostoru; lze je znázornit v trojrozměrné souřadnicové soustavě. V rovině je možno

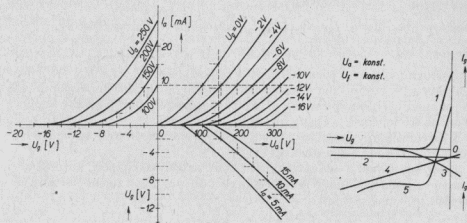


Obr. 4-5. Voltampérové charakteristiky triody: v I. kvadrantu anodové charakteristiky, ve III. kvadrantu mřížkové charakteristiky

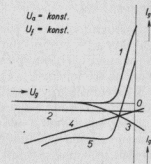
tyto plochy zobrazit parametrickými skupinami křivek. Užívají se tyto parametrické skupiny:

- vstupní (mřížkové) s parametrem U_a , pro $U_g < 0$ (obr. 4-5),
- výstupní (anodové) s parametrem U_g (obr. 4-5),
- převodní s parametrem U_a (obr. 4-6),
- izoampérové s parametrem I_a (obr. 4-6).

První charakteristická rovnice $I_g = \gamma_1(U_g, U_a)$ vyjadřuje závislost mřížkového proudu na mřížkovém a anodovém napětí. Mřížkový proud má několik složek (obr. 4-7). Složka 1 je náběhovým proudem „diody“ tvořeném



Obr. 4-6. Vzájemná souvislost anodových (v I. kvadrantu), převodních (ve II. kvadrantu) a izoampérových (ve III. kvadrantu) charakteristik triody



Obr. 4-7. Složky mřížkového proudu (1, 2, 3) a celkový mřížkový proud (5)

katodou a mřížkou, složka 2 je způsobena tepelnou a světelnou emisí elektronů z mřížky (po zahřátí a osvětlení mřížky žhavou katodou), složka 3 je proudem kladných iontů vznikajících ionizační zbytků plynu v baňce elektrony a složka 4 je izolačním proudem mezi mřížkou a ostatními elektrodami. Charakteristika 5 znázorňuje průběh celkového mřížkového proudu v závislosti na mřížkovém napětí při konstantním anodovém a žhavičím napětí.

Mřížkové napětí má obvykle takovou hodnotu (alespoň $-1V$ až $-3V$ podle typu elektronky), že mřížkový proud triody a její vstupní vodivost jsou prakticky rovny nule a vstupní odpor elektronky je teoreticky nekonečný. Rovnice $I_g = \gamma_1(U_g, U_a)$ se tedy pro $U_g < 0$ zjednoduší na $I_g = 0$ a řízení toku elektronů je bezvýkonové.

Druhá charakteristická rovnice triody $I_a = y_2(U_g, U_a)$ vyjadřuje závislost anodového proudu na mřížkovém a anodovém napětí. Pro ideální triodu (s homogenním elektrostatickým polem mezi elektrodami) a za předpokladu, že trioda pracuje v oblasti prostorového náboje a že je $U_g < 0$ a $U_a > 0$, má druhá charakteristická rovnice tvar

$$I_a = k(U_g + DU_a)^{\frac{3}{2}}, \quad (4-8)$$

kde k je konstanta zvaná permeance, která závisí na geometrickém uspořádání systému elektronky, a D je průnik, který závisí na velikosti kapacit mezi elektrodami ideální triody $D = \frac{C_{ak}}{C_{gk}}$. Nejčastěji používaným grafickým znázorněním rovnice $I_a = y_2(U_g, U_a)$ jsou anodové charakteristiky.

Pracovní bod a diferenciální parametry

Pracovním bodem triody je bod o souřadnicích U_g, I_g, U_a, I_a , jejichž hodnoty vyhovují oběma charakteristickým rovnicím. Při znalosti průběhů voltampérových charakteristik je jednoznačně určen, jsou-li známy hodnoty dvou ze tří veličin U_g, U_a, I_a (pro $I_g = 0$).

Diferenciální parametry triody jsou zesilovací činitel, vnitřní odpor nebo vnitřní vodivost a strmost.

Zesilovací činitel μ udává velikost změny anodového napětí, nutné k udržení nezměněné hodnoty anodového proudu při dané změně mřížkového napětí,

$$\mu = \left(\frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \right)_P (I_a = I_{aP} = \text{konst.}). \quad (4-9)$$

Se znaménkem minus vychází hodnota zesilovacího činitele kladná, samotné změny anodového a mřížkového napětí mají při konstantním anodovém proudu opačná znaménka. Zesilovací činitel je bezrozměrná veličina. Převrácenou hodnotou zesilovacího činitele je průnik D .

Vnitřní odpor R_i udává velikost změny anodového napětí při změně anodového proudu, nemění-li se mřížkové napětí,

$$R_i = \left(\frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \right)_P (U_g = U_{gP} = \text{konst.}). \quad (4-10)$$

Vnitřní odpor se udává obvykle v $k\Omega$. Převrácenou hodnotou vnitřního odporu je vnitřní vodivost, která se obvykle udává v μS .

Strmost S udává velikost změny anodového proudu při změně mřížkového napětí, nemění-li se anodové napětí,

$$S = \left(\frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \right)_P (U_a = U_{aP} = \text{konst.}). \quad (4-11)$$

Strmost má rozměr vodivosti, ale udává se obvykle v $\frac{mA}{V}$, tj. v mS .

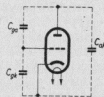
Velikosti diferenciálních parametrů závisí na poloze pracovního bodu; mezi parametry v určitém pracovním bodě platí vztah

$$\mu = R_i S \quad (\text{Barkhausenův vztah}). \quad (4-12)$$

V soustavě voltampérových charakteristik lze hodnoty diferenciálních parametrů stanovit graficky. Strmost triody je dána směrnici tečny, která je vedena v pracovním bodě k převodní charakteristice triody. Vnitřní odpor je dán směrnici tečny vedené v pracovním bodě k anodové charakteristice triody. Zesilovací činitel lze určit ze směrnice tečny k izoampérové charakteristice jdoucí pracovním bodem triody.

Kapacity triody. Soustava vodivých, vzájemně izolovaných elektrod triody nesoucíh elektrické náboje tvoří kondenzátory, jejichž kapacity závisí na geometrických rozměrech elektrod a na jejich vzájemné vzdálenosti. Vnitřními kapacitami triody jsou kapacity (obr. 4-8):

- kapacita mezi mřížkou a katodou C_{gk} (vstupní kapacita),
- kapacita mezi mřížkou a anodou C_{ga} (přechodí kapacita),
- kapacita mezi anodou a katodou C_{ak} (výstupní kapacita).



Obr. 4-8. Mezelektrodrové kapacity triody

Lineární náhradní obvody

Pro malé změny napětí a proudu vyvolané malým vstupním signálem lze triodu nahradit lineárním náhradním obvodem. Jsou-li navíc tyto změny poměrně malé (tj. nízkofrekvenční), neuplatní se ani kapacity mezi elektrodami elektronky, kapacity ostatních součástek obvodu a kapacity mezi spoji. K linearizaci triody lze použít lineárních rovnic, které popisují vztahy mezi malými změnami napětí a proudu:

$$\Delta I_g = 0, \quad (4-13)$$

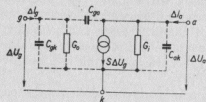
$$\Delta I_a = S \Delta U_g + G_1 \Delta U_a, \quad (4-14)$$

$$\Delta U_g = 0, \quad (4-15)$$

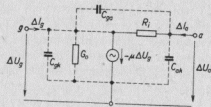
$$\Delta U_a = -\mu \Delta U_g + R_i \Delta I_a. \quad (4-16)$$

Triodu pak lze nahradit některým z lineárních náhradních obvodů, které jsou popsány uvedenými lineárními rovnicemi. Je to buď lineární náhradní obvod se závislým proudovým zdrojem (tento obvod je vyznačen na obr. 4-9

plynnými čarami), který je popsán rovnicemi (4-13) a (4-14), nebo lineární náhradní obvod se závislým napětovým zdrojem (vyznačený plynnými čarami na obr. 4-10), který je popsán rovnicemi (4-15) a (4-16). (Závislost proudu nebo napětí je nějakým způsobem určováno proudem nebo napětím v jiných částech obvodu, např. vstupním napětím.)



Obr. 4-9. Lineární náhradní obvod triody se závislým proudovým zdrojem



Obr. 4-10. Lineární náhradní obvod triody se závislým napětovým zdrojem

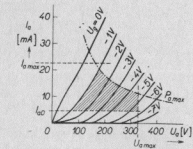
Při rychlých změnách napětí a proudu způsobených signálem o vyšších kmitočtech je nutné náhradní obvod elektronky pro malé změny obvodových veličin doplnit zejména kapacitami mezi elektrodami elektronky a při kmitočtech řádově 10^7 až 10^8 Hz též vodivostí G_0 , což je vyznačeno na obr. 4-9 a obr. 4-10 čárkovaně.

Pracovní podmínky

Soubor všech použitelných hodnot napětí a proudu triody nebo část charakteristické plochy, v níž může ležet pracovní bod, se nazývá pracovní oblast. Graficky lze pracovní oblast nejlépe zobrazit v prvním kvadrantu souřadnicové roviny U_a, I_a (obr. 4-11). Je to plocha omezená anodovou charakteristikou s parametrem $U_e = -1V$ až $-3V$ (podle typu elektronky); vodorovnou přímkou, která je znázorněním rovnice $I_a = I_{amax}$; křivkou, nazývanou hyperbolou maximální dovolené anodové ztráty, která znázorňuje rovnici $U_a I_a = P_{amax}$; svislou přímkou, znázorňující rovnici $U_a = U_{amax}$, a vodorovnou přímkou, která odděluje oblast, kde dochází k nepřípustnému zkreslení signálu.

Použití

Triody s velkým zesilovacím činitelem a velkým vnitřním odporem se používají jako zesilovače, invertory, ka-



Obr. 4-11. Pracovní oblast triody

todové sledovače s malým výkonem, oscilátory, klopné obvody atd. Výkonové triody se používají poměrně zřídka, protože mají malou účinnost; v přístrojové technice se výkonové triody nahrazují pentodami v triodovém zapojení.

4.2-3 Několikamřížkové elektronky

Zavedením další mřížky mezi mřížkou řídicí a anodu lze dosáhnout elektrostatického odstínění těchto dvou elektrod. Tím se podstatně zmenší

- kapacita mezi řídicí mřížkou a anodou,
- vliv anodového napětí na katodový proud.

Snížení kapacity mezi řídicí mřížkou a anodou zmenšuje zpětné působení zesíleného signálu v anodovém (výstupním) obvodu elektronky na mřížkový (vstupní) obvod čili se zmenšuje vnitřní zpětná vazba, a to i při vyšších kmitočtech a větším zesílení signálu.

Zmizením vlivu anodového napětí na katodový proud elektronky představuje vlastně zvýšení jejího vnitřního odporu. Větší vnitřní odpor umožňuje jak lepší přizpůsobení pracovní impedance (elektronka s velkým vnitřním odporem umožňuje např. výhodnější připojení rezonačních obvodů), tak zvětšení zesílení (zvýšení vnitřního odporu znamená též zvětšení zesilovacího činitele, protože strmost elektronky se zavedením druhé mřížky podstatně neovlivní) a lepší využití elektronky (má-li druhá mřížka dostatečně vysoký kladný potenciál vzhledem ke katodě, teče elektronkou značný proud i při malých hodnotách anodového napětí).

Samotná stínící mřížka neumožňuje splnit případný další požadavek kladený na několikamřížkové elektronky, totiž požadavek dvojího nezávislého a bezvýkonového řízení. Jestliže je však mezi ni a anodu vložena další, třetí mřížka, která může mít i záporné napětí proti katodě, může být tato mřížka druhou řídicí mřížkou a pak je splněn i tento požadavek. Ještě lépe to umožňuje elektronka se čtyřmi mřížkami, ve které opět kladná pomocná mřížka stíní třetí mřížkou proti vlivu anody.

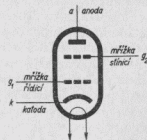
Vložení dalších mřížek může být tedy základní zesilující elektronka (trioda) podstatně zdokonalena.

4.2.3.1 Tetroda se stínící mřížkou

Tetroda je elektronka se dvěma mřížkami. První mřížka je mřížkou řídicí, druhá mřížka mřížkou stínící (obr. 4-12).

Charakteristické funkce tetrody vyjadřují vztah celkem šesti proměnných

$$I_{a1} = Y_1(U_{g1}, U_a, U_{g2}), \quad (4-17)$$



Obr. 4-12. Schematická značka tetrody se stínící mřížkou

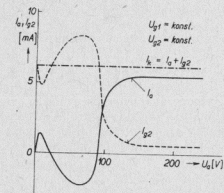
$$I_a = y_2(U_{z1}, U_a, U_{z2}), \quad (4-18)$$

$$I_{z2} = y_3(U_{z1}, U_a, U_{z2}). \quad (4-19)$$

Proudy I_{z1} , I_{z2} a I_a jsou proudy první a druhé mřížky a proud anodový. Napětí U_{z1} , U_{z2} a U_a jsou napětí první a druhé mřížky a napětí anodové.

Napětí řídicí mřížky je obvykle záporné a mřížkovým obvodem protéká zanedbatelný proud. Pak platí $I_{z1} \approx 0$.

Charakteristiky stíněné tetrody jsou na obr. 4-13. Při malých hodnotách anodového napětí anodový proud stoupá; při vyšších hodnotách anodového napětí (ale menších než je hodnota napětí stínící mřížky) však dochází vlivem sekundární emise elektronů z anody k poklesu anodového proudu. Sekundárně emitované elektrony se nevracejí zpět na anodu (jako je tomu u diod a triod), nýbrž dopadají na stínící mřížku (protože ta má větší kladný potenciál než anoda) a zvětšují její proud. Tento jev, tj. klesání anodového proudu při zvětšování anodového napětí, se nazývá jevem dynatronovým. Je zřejmé, že tetoda pracující za těchto podmínek má záporný vnitřní odpor. Při hodnotách anodového napětí jen o málo menších, než je napětí stínící mřížky, mají primární elektrony tak velkou pohybovou energii, že proniknou hluboko do anody a nemohou vyrazit elektrony z jejího povrchu; (pouze anodu zahřívají) a anodový proud začíná opět stoupat.



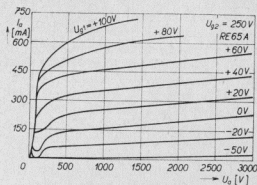
Obr. 4-13. Anodová charakteristika a charakteristika stínící mřížky stíněné tetrody

4.2-3.2 Svazková tetoda

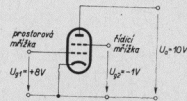
Svazková tetoda má mřížky uspořádány tak, že jejich závity jsou v přesném zákrytu. Tok elektronů mezi závity je pak rozdělen ve svazky s velkou hustotou, které svým prostorovým nábojem vytvářejí mezi stínící mřížkou a anodou potenciálové minimum. Toto minimum působí na sekundárně emitované elektrony tak, že je vrací zpět k anodě. Svazková tetoda pracuje nejlépe při velkých hodnotách anodového proudu, což lze zajistit při použití v zesilovačích výkonu, ve kterých je k dosažení dostatečně velkého výstupního výkonu nutné, aby elektronka pracovala s poměrně velkým anodovým proudem. Hodnota anodového proudu roste při konstantním napětí řídicí mřížky se zvyšujícím se napětím mřížky stínící. Svazková tetoda může pracovat s dosti vysokým napětím stínící mřížky, protože touto mřížkou teče i při poměrně velkých hodnotách napětí malý

proud (elektrony jsou stínící mřížkou, jejíž závity jsou „skryty“ za závity řídicí mřížky, zachycovány v daleko menším počtu než u stíněné tetrody), a nehrozí tudíž nebezpečí jejího výkonového přetížení.

Anodové charakteristiky svazkové tetrody jsou na obr. 4-14. Vliv sekundární emise je prakticky (kromě oblastí malých hodnot anodového napětí a proudu) potlačen.



Obr. 4-14. Anodové charakteristiky vysilací svazkové tetrody



Obr. 4-15. Zapojení tetrody s potlačeným prostorovým nábojem

4.2-3.3 Tetoda s mřížkou proti prostorovému náboji

První mřížka tetrody s potlačeným prostorovým nábojem má vzhledem ke katodě kladný potenciál (obr. 4-15). Elektrony emitované katodou jsou proto urychlovány směrem k anodě, čímž se značně zmenší prostorový náboj mezi katodou a první mřížkou. Druhá mřížka je mřížkou řídicí a má proti katodě záporný potenciál. Elektrony jsou při tomto uspořádání po průletu stínící mřížkou bržděny a v prostoru mezi první a druhou mřížkou se vytvoří potenciálové minimum s potenciálem, jehož hodnota se pohybuje okolo hodnoty nulové. Toto minimum se svou funkcí blíží funkci katody. Proto se takové minimum nazývá virtuální katoda.

Tok elektronů z této katody závisí na napětí druhé mřížky a anody. Pro poměrně velký anodový proud stačí malé anodové napětí, které udělí elektronům emitovaným virtuální katodou jen takovou rychlost, při jaké nedochází prakticky k ionizaci zbytku plynu v elektronce, a tím je potlačena iontová složka mřížkového proudu. Proto se tato elektronka používá v elektrometrických zapojeních.

4.2-3.4 Pentoda

Pentoda je elektronka se třemi mřížkami — řídicí, stínící a brzdící. Brzdící (též hradící) mřížka je umístěna mezi mřížkou stínící a anodou

(obr. 4-16). Je zapojena tak, že má vzhledem k anodě záporné napětí (obvykle je spojena s katodou). Účinek třetí mřížky na tok elektronů je s ohledem na její potenciál obdobný jako účinek potenciálního minima vrtářejšího se při vyšších hodnotách anodového napětí mezi stínicí mřížkou a anodou svazkové tetrydy. Potenciál v místě této mřížky je však i při malých hodnotách anodového napětí menší než potenciál anody.

Zavedením brzdící mřížky se kromě vytvoření potenciálního minima v prostoru mezi stínicí mřížkou a anodou dosáhne ještě účinnějšího odstínění řídicí mřížky a anody a téměř úplného oddělení mřížkového (vstupního) obvodu elektronky od jejího anodového (výstupního) obvodu. Kromě toho se dále zvýší vnitřní odpor a zesilovací činitel.

Vysoký vnitřní odpor a zesilovací činitel mají pentody s hustě vintou stínicí mřížkou, která má velký stínicí účinek. Nevýhodou těchto pentod je poměrně velký proud stínicí mřížky. Používají se v zesilovačích napětí a nazývají se napětové pentody. Je-li stínicí mřížka vintá řídce, má menší stínicí účinek a pentody takto konstruované mají sice menší proud stínicí mřížky, ale též menší vnitřní odpor a zesilovací činitel. Používají se v zesilovačích výkonu a nazývají se pentody výkonové.

Charakteristické funkce pentody s brzdící mřížkou spojenou s katodou vyjadřují stejně jako charakteristické funkce svazkové tetrydy a katody stíněné vztah celkem šesti proměnných a lze je podobně jako charakteristické funkce tetrydy se stínicí mřížkou zobrazit jako parametrický soubor skupin charakteristik anodových a charakteristik stínicí mřížky: parametrem souboru je U_{a2} (obvykle kladné), parametrem skupin U_{e1} (obvykle záporné).

Pro anodový proud platí, za předpokladu, že $U_{e1} < 0$, $U_{a2} > 0$, $U_{e3} = 0$ a $U_a > 0$, vztah

$$I_a = k(U_{e1} + D_{21}U_{a2} + D_{a1}U_a)^{\frac{3}{2}} \frac{q}{q+1}, \quad (4-20)$$

kde k je permeance pentody; D_{21} a D_{a1} průniky druhé mřížky a anody vzhledem k první mřížce, jejich hodnoty jsou řádově 10^{-1} a 10^{-3} ; q je činitel rozdělení proudu: $q = \frac{I_a}{I_{a2}} = c \sqrt{\frac{U_a}{U_{a2}}}$, kde c je konstanta závislá na geometrickém uspořádání elektrod.

Parametrická skupina anodových charakteristik napětové pentody je na obr. 4-17. Vliv sekundární emise je potlačen již od nejnižších hodnot anodo-

vého napětí a proudu. Z toho vyplývá možnost využití pentody i v těch oblastech, a tím i možnost dosáhnout v zesilovači s pentodou většího výstupního signálu, většího výkonu a větší účinnosti než v zesilovači triodovém.

Vliv anodového napětí na velikost anodového proudu je v porovnání s vlivem napětí druhé mřížky velmi malý. Je-li potenciál druhé mřížky konstantní, mění se při změně anodového napětí jen velmi málo záporné napětí první mřížky, což znamená, že převodní charakteristiky pentody jsou pro různá anodová napětí vzhledem k sobě navzájem jen nepatrně posunuty.

Nevýhodou pentod v porovnání s triodami je, že mají větší vlastní rušivý signál (šum), složitější napájení a větší spotřebu (o proud stínicí mřížky).

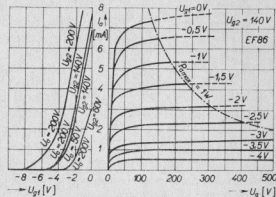
Kromě napětových pentod, které mají v určitém úseku lineární průběh převodní charakteristiky, se používají (zejména v rádiových přijímačích) též napětové pentody s přibližně exponenciálním průběhem převodní charakteristiky (selektody); hustota vintů řídicí mřížky těchto pentod je proměnná (šroubovice má uprostřed své délky část s větším stoupáním).

4.2-3.5 Elektronky s více než třemi mřížkami

Konstrukci elektronek s více než třemi mřížkami si vyžádala potřeba řídit anodový proud dvěma vstupními signály současně, zejména pro směšování. To lze nejjednodušeji provést pomocí dvou mřížek, na které se přivádějí samostatně oba řídicí signály.

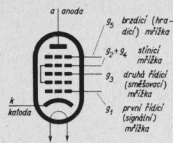
Pentoda vyhovuje pro řízení dvěma signály jen nedokonale. Řízení proudu pomocí brzdící mřížky pentody není vhodné, protože zesilovací činitel je velmi malý a kapacita mezi anodou a brzdící mřížkou je značná. Pokud není podmínkou vysoký vstupní odpor elektronky, je možno k řízení využít i stínicí mřížku pentody, příp. tetrydy. Stínicí mřížkou protéká ovšem dosti značný proud zatěžující zdroj řídicího signálu, který musí proto mít nízký vnitřní odpor.

Hexoda je elektronka se šesti elektrodami — anodou, katodou a čtyřmi mřížkami (obr. 4-18). První mřížka je řídicí a přivádějí se na ni např. kmity



Obr. 4-17. Anodové charakteristiky napětové pentody

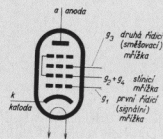
místního oscilátoru, druhá mřížka je stínící a slouží ke zmenšení kapacity mezi první a třetí mřížkou, která je další mřížkou řídicí. Na ni se např. přivádí signál z laděného anténního obvodu přijímače. Čtvrtá mřížka je stínící. Bývá přímo v elektronce spojena elektricky s mřížkou druhou (rovněž stínící) a na ně je připojeno kladné polarizační napětí.



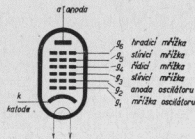
Obr. 4-18. Schematická značka hexody

má za úkol odstranit vliv sekundární emise z anody, která u hexody vyvolává nežádoucí deformaci anodových charakteristik. Heptody vytlačily dnes hexody téměř ze všech aplikací.

Oktoda je elektronka s osmi elektrodami — katodou, anodou a šesti mřížkami (obr. 4-20). První mřížka je mřížka řídicí a druhá mřížka plní funkci anody. V podstatě tvoří dohromady samostatný triodový systém, který se využívá jako oscilátor k výrobě kmitů o kmitočtu f_1 . V pořadí třetí mřížka je stínící a odděluje triodový systém od další části oktody,



Obr. 4-19. Schematická značka heptody



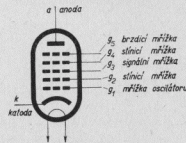
Obr. 4-20. Schematická značka oktody

kteřá je v podstatě pentodovým systémem: čtvrtá mřížka je řídicí, pátá stínící (je obvykle spojena s mřížkou třetí uvnitř baňky oktody) a šestá mřížka je brzdící (hradičí).

Čtvrtá mřížka má záporné napětí. Proto v oblasti mezi třetí a čtvrtou

mřížkou vzniká potenciálové minimum, takže se zde vytvoří virtuální katoda. Elektronky jsou odtud odsávány anodou podle okamžitého napětí na čtvrté mřížce, na kterou se přivádí napětí o kmitočtu f_1 . Produktem směšování je tu složka signálu o kmitočtu f_3 v anodovém obvodu. Na rozdíl od dříve popsané hexody a heptody, u kterých se na první řídicí mřížku musel přivádět signál f_1 vyráběný ve zvláštním oscilátoru, je oktoda sama pro zapojení vnějšího kmitavého obvodu zdrojem kmitočtu f_1 . V poslední době se oktody nahrazují pentagridem.

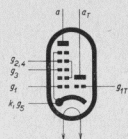
Pentagrid je konstruktivně upravená a zdokonalená heptoda (obr. 4-21), označovaná též jako heptoda—směšovač. Elektrodová soustava tvořená katodou a prvními dvěma mřížkami pracuje spolu s rezonančním obvodem jako triodový oscilátor. Na nosičích druhé mřížky jsou přivařena stínící křídélka. Třetí mřížka je na mírném záporném potenciálu vzhledem ke katodě a je druhou řídicí mřížkou. Následuje mřížka stínící a brzdící. Proud elektronů je ovládán oscilátory napětím a virtuální katoda mezi druhou a třetí mřížkou pulsuje ve rytmu oscilátorového napětí s kmitočtem f_1 . Třetí mřížka řídí proud elektronů z virtuální katody na anodu shodně jako u oktody.



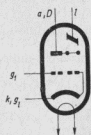
Obr. 4-21. Schematická značka pentagridu

4.2-4 Sdružené elektronky a ukazatel vyladění

Sdružené elektronky mají v jedné baňce několik elektrodových soustav, které jsou využity pro přibližné nebo obvodově blízké funkce. Jsou to např. dvojité diody používané v usměrňovačích, popřípadě v demodulačních obvodech, dvojité triody používané ve stejnosměrných a nízkofrekvenčních souměrných stupních, popřípadě ve vysokofrekvenčních zesilovačích v kaskádním zapojení, dále v multivibrátorech a klopných obvodech, nebo trioda a heptoda (obr. 4-22) používané v oscilátorech (trioda) a směšovačích (heptoda) atd.



Obr. 4-22. Schematická značka sdružené elektronky triody-heptody



Obr. 4-23. Schematická značka ukazatele vyladění

Ukazatel vyladění je elektronka, která má v jedné baňce triodovou soustavu elektrod a soustavu elektrod vlastního ukazatele (obr. 4-23). Trioda je zapojena jako odporový zesilovač a její anoda je uvnitř baňky spojena s elektrodou D, která řídí tok elektronů z katody na světélkující stínítko I. Při zvýšení anodového napětí triodové části ukazatele se zvýší potenciál řídicí elektrody, rozšíří se elektronový paprsek dopadající na stínítko, a tím i světélkující stopa na stínítku.

4.3 RUŠIVÉ JEVY

4.3-1 Drift elektronek vlivem stárnutí a vlivem změn žhavení

Při provozu elektronek dochází ke změnám jejich vlastností. Tyto změny jsou způsobeny změnami vlastností elektrod (zejména snížením emisní schopnosti katody) a projevují se jako změny proudů elektronky. Časová změna mřížkového napětí nutná k udržení konstantního anodového proudu při změně vlastností elektronky se nazývá drift elektronky. Snížení emisní schopnosti katody se projeví tak, že asi po 1000 hodinách provozu elektronky se její převodní charakteristiky posunou o 0,3 V až 0,7 V směrem k počátku souřadnic. Ke změnám emise dochází též při změnách žhavicího napětí; změna o 10 % se projevuje přibližně stejně jako změna mřížkového napětí o 0,1 V.

4.3-2 Vliv konečné doby průletu elektronů

Při použití elektronek v obvodech pracujících na velmi vysokých kmitočtech je doba kmitu vstupního napětí srovnatelná s dobou průletu elektronů od jedné elektrody ke druhé. Vlivem proudů indukovaných v elektrodách elektronky během letu elektronů od katody k anodě dochází k fázovému posuvu mezi proudem a napětím elektrod a ke zvětšení činné složky vodivosti mezi elektrodami; proud indukovaný v řídicí mřížce snižuje ekvivalentní vstupní odpor elektronky (zmenšení je úměrné druhé mocnině kmitočtu vstupního napětí).

4.3-3 Chrastění a mikrofoničnost

Chrastěním se nazývají krátké náhodné zvuky na výstupu elektroakustického zařízení, které obsahuje nějakou součást, jež je zdrojem těchto zvuků. U elektronky způsobují chrastění nedokonalé kontakty kolíků patice se svorkami objímky nebo nedokonalé sváry elektrodové soustavy, náhodné zkratky, deformace apod. Chrastění se zkouší poklepem paličkou z měkké gumy na baňku elektronky.

Mikrofoničnost se od chrastění elektronek liší tím, že vlivem mechanické chvění elektronky nedochází sice ke zkrátům, ale ke změně vzdálenosti mezi elektrodami, a tím i ke změně elektrických parametrů. Změny těchto veličin se navenek opět projevují jako rušivé signály. Mikrofoničnost se zkouší stejně jako chrastění; poklepem na baňku elektronky se volněji uložené elektrody nebo jejich části mohou mechanicky rozkmitat. Mikrofoničnost elektronky lze charakterizovat ekvivalentním „mikrofonickým“ napětím na vstupu elektronky.

4.3-4 Bručení a šum elektronek

Bručení vzniká při žhavení elektronky střídavým proudem o kmitočtu 50 Hz, kdy se v anodovém proudu objevují střídavé složky s kmitočtem 50 Hz a celistvými násobky tohoto kmitočtu. Zdrojem tohoto rušivého signálu je žhavicí vlákno a přívody k němu. Žhavicí vlákno má vzhledem ke katodě určitý izolační odpor, kterým teče do obvodu katody proud vytvářející na katodových odporech rušivé napětí. Přívody ke žhavicímu vláknu mají vzhledem k ostatním elektrodám kapacity, kterými se střídavé žhavicí napětí dostává do obvodů těchto elektrod; rušivé působí zejména v obvodu řídicí mřížky. Žhavicí vlákno a přívody mohou též samy emitovat elektrony, přičemž přívody, které nejsou obklopeny podkladovým válečkem katody, tvoří přímo žhavenou katodu se všemi důsledky plynoucími z použití střídavého žhavicího napětí. I když je žhavicí vlákno vinuto ve tvaru bifilární spirály, může kolem něho vlivem nedokonalé symetrie vnitřní vzniknout magnetické pole ovlivňující tok elektronů z katody, což působí nepříznivě zejména u strmých elektronek. Přímo žhavené elektrony s vláknem o malé hmotě (bez tepelné setrvačnosti) mohou periodicky měnit emisi vlivem změn teploty katody.

Bručení lze snížit volbou vhodného zapojení elektronky: užitím zvláštního zdroje pro předpětí elektronky, uzemněním katody, symetrizací žhavicího napětí nebo užitím stejnosměrného žhavicího napětí.

Bručení elektronek se charakterizuje pomocí ekvivalentního „bručivého“ napětí, které má u speciálních elektronek hodnotu řádu μV , u běžných elektronek je podstatně větší.

Šumem se označuje rušivá složka anodového proudu, která vzniká vlivem nerovnoměrné emise elektronů z katody elektronky.

Hlavními příčinami šumu elektronek jsou tyto jevy:

- výstřelový jev, působený nepravidelným uvolňováním elektronů z katody,
- blízkavý jev, působený krátkodobými změnami stavu povrchu katody. U elektronek s více než jednou kladnou elektrodou vzniká navíc vlivem

náhodného dělení katodového proudu mezi kladné elektrody rozdělovací šum.

Dále se ještě u elektronek vyskytuje šum působený ionizací zbytkových plynů a na vysokých kmitočtech šum indukovaný.

Účinek šumu lze vyjádřit ekvivalentním šumovým odporem. Je to takový odpor, který při zařazení do mřížkového obvodu ideální bezšumové elektronky způsobí, že se tato elektronka chová z hlediska šumu jako elektronka skutečná.

4.4 SPECIÁLNÍ ELEKTRONKY

Na činnost elektronek jsou často kladeny požadavky, které lze někdy splnit pouhou úpravou zapojení klasických elektronek, jindy však musí být použity elektronky speciální. Jsou to zejména požadavky kladené na elektronky používané v zesilovačích a generátorech velmi vysokých kmitočtů nebo v zesilovačích velmi malých napětí nebo proudů.

4.4-1 Elektronky pro velmi vysoké kmitočty

4.4-1.1 Planární triody

Při velmi vysokých kmitočtech se doba průletu elektronů mezi elektrodami blíží době kmitu a elektrony nestačí vlivem své setrvačnosti sledovat změny elektrického pole. Elektronky pro velmi vysoké kmitočty musí mít proto mezi elektrodami velmi malou vzdálenost. Aby se nepřifízivě neuplatňovaly kapacity mezi elektrodami (zvětšené úpravou vzdáleností), indukčnosti vývodů a ztráty ve vývodech, musí mít elektrody malou plochu, což omezuje jejich sehopnost odvádět ztrátový výkon, a vývody musí být krátké a poměrně silné.

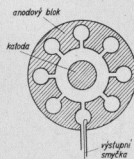
Takto jsou konstruovány planární triody, které mají na rozdíl od běžných triod všechny elektrody rovinné a vzdálené od sebe pouhé desetiny až setiny mm a vývody elektrod ve tvaru prstenců tvořících část povrchu elektronky, což umožňuje ideální spojení s dutinovými rezonátory. Tyto elektronky pracují v zesilovačích a oscilátorech malého výkonu, obvykle v impulsním provozu; některé planární triody pracují až do 7 GHz a v násobičích do 9 GHz.

4.4-1.2 Průletové elektronky

Na nejvyšších kmitočtech se používají elektronky, jejichž činnost je založena na jiných principech než činnost klasických elektronek; záleží ve využití vzájemného působení vysokofrekvenčních polí a pohyblivých se elektronů.

Magnetron

Magnetron je v podstatě dioda tvořená válcovou katodou a s ní sousoudu anodou, rozdělenou řezou rovnoběžnými s katodou na sudý počet segmentů (obr. 4-24). Štěrbiny oddělující jednotlivé segmenty ústí do válcových dutin tvořících rezonátory. Protože všechny liché i všechny sudé rezonátory musí při provozu magnetronu kmitat se stejnou fází, jsou anodové segmenty vždy ob jeden propojeny. Elektrodotvá soustava je umístěna v magnetickém poli, jehož siločáry jsou rovnoběžné s osou soustavy. Při kritické hodnotě intenzity tohoto pole (závislé na intenzitě elektrického pole mezi katodou a anodou) nedopadají elektrony emitované katodou na anodu, nýbrž krouží v její blízkosti, a mezi segmenty anody se tím vybudí přidavné vysokofrekvenční elektromagnetické pole, jehož kmitočet je dán rezonančním kmitočtem dutinových rezonátorů. Toto pole kroužící elektrony buď urychluje, nebo přibrzdzuje. Urychlené elektrony změni svou dráhu tak, že dopadnou zpět na katodu, přibrzděné elektrony odevzdávají před dopadem na anodu svou energii (dodávanou jim zdrojem anodového napětí) elektromagnetickému poli, a tím buď a udržují elektrické kmity v dutinových rezonátorech. Vysokofrekvenční energie se odebrává z jednoho rezonátoru vazební smyčkou.

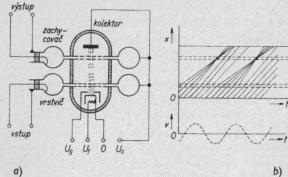


Obr. 4-24. Magnetron

Magnetron je výkonovým generátorem decimetrových a centimetrových vln pracující v impulsním provozu. V decimetrovém pásmu dává výkon okolo 1 MW a má účinnost nad 70 %, na centimetrových vlnách má výkon desítky kW a účinnost 30 až 60 %.

Klystron

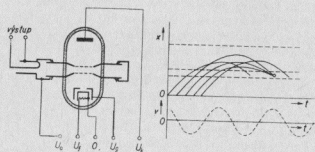
Klystron je elektronka, která má katodu, anodu a mezi těmito elektrodami čtyři mřížky uspořádané do dvojice (obr. 4-25a). První dvojice, bližší katodě, se nazývá vrstvič, druhá dvojice zachycovač. Obě dvojice jsou součástí rezonančních obvodů, obvykle dutinových rezonátorů zvaných rumbatrony. Na vrstvič se přivádí vysokofrekvenční napětí (obr. 4-25b); v prů-



Obr. 4-25. Klystron

běhu jedné půlperiody tohoto napětí je na první mřížce záporné napětí vzhledem k napětí na druhé mřížce a pole mezi nimi zrychluje elektrony emitované katodou (rychlost elektronů v se mění v soulase s průběhem napětí na vrstvičce). Během následující půlperiody se polarita mřížek změní a elektrony, které se v této době pohybují mezi mřížkami, se zpomalí. Rychlost všech elektronů, jež byla před vstupem do vrstvičky zhruba stejná, je při výstupu z něho modulována napětím přiváděným na vrstvičku.

V prostoru mezi první a druhou dvojicí mřížek nepůsobí na elektrony



Obr. 4-26. Reflexní klystron

žádné pole (obě dvojice mřížek jsou na stejném středním potenciálu), a elektrony se proto pohybují pouze setrvačností. Po určité době dosáhnou rychlejší elektrony elektrony pomalejší a vytvoří se shluky elektronů. Děje se tak právě v prostoru, ve kterém je umístěna druhá dvojice mřížek a shluky elektronů procházející zachycovačem rozkmitávají jeho rezonanční obvod naladěný na stejný kmitočet jako vrstvičky. Vznikající kmitův vytvářejí mezi mřížkami zachycovače brzdící pole, a to vždy právě v okamžicích, kdy přilétají shluky elektronů. Tyto elektrony odevzdávají polí zachycovače velkou část své energie, která jim byla udělena anodovým napětím.

Reflexní klystron má na rozdíl od výše popsaného klystronu dvouokruhového pouze jednu dvojici mřížek, která je využita nejen jako vrstvička, ale též jako zachycovač (obr. 4-26a). Po prvním průchodu touto dvojicí mřížek se elektrony dostávají do oblasti působení vratné elektrody — reflektoru. Pole této elektrody, která má záporný potenciál, vrací elektrony zpět k mřížkám. Při zpětném průchodu mřížkami odevzdávají elektrony svou energii elektromagnetickému poli mezi nimi.

Během pohybu elektronů v prostoru mezi druhou mřížkou a reflektorem se vytvářejí shluky elektronů (obr. 4-26b) stejně jako u dvouokruhového klystronu během pohybu mezi vrstvičkou a zachycovačem. Na shlukování elektronů má při konstantní vzdálenosti mezi mřížkami a reflektorem (dané konstrukcí klystronu) vliv reflektorové napětí (které se může za provozu měnit). Velikost tohoto napětí určuje, v jaké pracovní oblasti šli v jaké

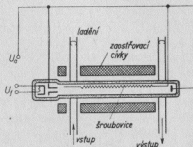
třídě kmitání bude klystron pracovat. (Třída kmitání roste s klesajícím reflektorovým napětím.)

Dvouokruhový klystron se nejčastěji používá jako výkonový zesilovač na centimetrových vlnách. Jeho výkon bývá až několik kW a má účinnost až 45 %. V impulsním provozu má výkon až několik MW. Lze ho též použít jako násobiče kmitočetů.

Reflexní klystron se používá jako místní oscilátor v přijímačích.

Permaktron a karcinotron

Permaktron je elektronka s postupným polem (s postupnou vlnou). Dochází v ní stejně jako v klystronu k rychlostní modulaci elektronů, ale oproti klystronu se prodlužuje doba vzájemného působení elektronů a elektromagnetického pole. Dosahuje se toho tím, že se elektromagnetické pole



Obr. 4-27. Permaktron

nesoustředuje do malého prostoru mezi mřížkami, jako je tomu u klystronu, ale postupuje v podobě vlny spolu s elektrony. Aby se pole pohybovalo přibližně stejnou rychlostí jako elektrony, šíří se po zpoždovacím vedení, které má obvykle tvar šroubovice (obr. 4-27), v jejíž ose se pohybuje elektronový paprsek. Elektrony vlétají do šroubovice rychlostí poněkud větší, než je rychlost postupu elektromagnetického pole ve směru osy šroubovice. Pole na ně působí tak, že je buď přibrzdí a na konci oblasti, ve které je přibrzděje, se vytvoří shluk elektronů, nebo se jejich rychlost působením pole zvětší a vytvoří se místa s menší hustotou elektronů. V oblastech brzdícího pole vznikající shluky elektronů odevzdávají pak během celé dráhy energii vysokofrekvenčnímu poli. Amplituda signálu se při postupu po šroubovici stále zvětšuje, což vede k vytváření stále silnějšího brzdícího pole, a tím k intenzivnějším shlukování elektronů, které pak odevzdávají poli stále větší množství energie.

Karcinotron je uspořádán tak, že se postupná vlna na jeho konci odráží zpět a vrací se ke vstupnímu obvodu. Tím se uskutečňuje zpětná vazba a elektronka začne kmitat.

Permaktron se používá jako zesilovač v decimetrovém, centimetrovém i milimetrovém pásmu, přičemž zesiluje pásmo několik set MHz. Permaktrony se vyrábějí v trojím provedení: jako permaktrony malého výkonu (asi do 10 mW), u nichž se klade důraz na malý šum, pokud se jich používá na vstupu; jako permaktrony středního výkonu (asi 0,1 až 10 W), kterých se používá ve vysílačích, např. radioreléových spojů, a jako permaktrony velkého (impulsového) výkonu (řádově kW) pro radiolokátory. Účinnost bývá kolem 15 %.

Karcinotronů se používá jako elektronicky laditelných oscilátorů, protože jejich kmitočet lze v širokých mezích měnit pouhou změnou napětí.

4.4-2 Měřicí elektronky

Nejdůležitějšími měřicími elektronkami jsou elektronky elektrometrické; jejich specifickou zvláštností je minimální mřížkový proud. Elektronky pro elektrometrické účely odolávaly nejdéle nástupu polovodičových součástí. Dnes jim konkurují tranzistory řízené elektrickým polem.

Československé typy 1 NE 9, 2 NE 9, 4 NE 9 mají mřížkový proud $3 \cdot 10^{-13}$ A; $4 \cdot 10^{-14}$ A; $3 \cdot 10^{-12}$ A a stejnosměrný vstupní odpor řádu 10^{14} Ω. Elektrometrická tetroda 2Э2ИI sovětské výroby má přibližně stejný vstupní odpor a mřížkový proud řádu 10^{-14} A. Americké elektronky 5800, 5889, 6250 s mřížkovým proudem řádu 10^{-15} A mají stejnosměrný vstupní odpor větší než 10^{16} Ω; drift nuly je $100 \mu\text{V}$ za několik hodin.

Protože často není k dispozici dostatek speciálních typů elektrometrických elektronek nebo jsou pro některé účely zbytečně nákladné, byly vyzkoušeny též elektronky běžné konstrukce v elektrometrickém zapojení (pseudoelektrometrické elektronky).

Vhodné jsou zejména:

a) Žaludové pentody 959 a 954 (6Ж1Ж či 6Ж1Ж) či 6Ж1Ж. Při elektrometrickém zapojení se používá k řízení anodového proudu třetí mřížka g_3 s předpětím U_{g3} menším než $-2,5$ V; druhá mřížka g_2 má napětí U_{g2} blízké nebo rovné anodovému napětí $U_a = 5$ až 6 V; první mřížka g_1 má obvyklé napětí $U_{g1} = +0,5$ až 1 V. Žhavicí napětí U_f je asi 3 až 4 V. V tomto zapojení je mřížkový proud I_g řádu 10^{-14} A.

b) Moderní novalové elektronky EF 86, EF 80, ECH 84 (heptodový systém), ECC 82 a ECC 83. Anodový odpor je 5 MΩ.

EF 86 ... $U_f = 4$ až 4,5 V; $U_{g1} = 0$; $U_{g2} = 4$ až 4,5 V; g_3 je signální; $U_a = 8$ až 12 V; I_g je řádu 10^{-14} A; vstupní odpor 10^{12} Ω; napětové zesílení je 3 až 4.

EF 80 ... při zhruba stejných napájecích poměrech je I_g asi 10^{-11} A; vstupní odpor řádu 10^{10} Ω, ale napětové zesílení je větší než u EF 86.

ECH 84 ... $U_f = 4$ až 4,5 V; $U_{g1} = -1,4$ V; $U_{g2+3} = 17$ až 30 V; g_3 je signální; $U_a > 10$ V; $I_g \approx 10^{-11}$ A; vstupní odpor je řádu 10^{10} Ω; zesílení je větší než 10.

ECC 82 ... $U_f = 4$ až 4,5 V; $U_a = 30$ V; $I_g = 10^{-10}$ A; vstupní odpor je řádu 10^{10} Ω.

ECC 83 ... při stejných hodnotách jako ECC 82 má ECC 83 větší vstupní odpor i větší zesílení než ECC 82.

K měřicím účelům slouží i šumové diody (např. TESLA 1NA31). K tomu, aby elektronka mohla sloužit jako generátor normálního (bílého) šumu, musí mít zřetelně vyjádřenou oblast nasycení, sytné napětí co nejmenší (150 V) a co nejkratší průletovou dobu. Změnou žhavicí diody se řídí velikost šumu. Šifru pásma je možno zvětšit volbou menší hodnoty pracovního odporu.

4.5 VÝBOJKY

Výbojky jsou elektronické součástky, které mají dvě nebo více elektrod umístěných v baňce naplněné netečným (inertním) plynem (neónem, argonem, kryptonem, xenonem, radonem, heliem) nebo rtuťovými parami. Jedna z elektrod je katoda, jedna anodou a další jsou mřížkami. Katoda je buď nežhavaná (studená), nebo žhavaná, popřípadě je tvořena tekutou rtuť.

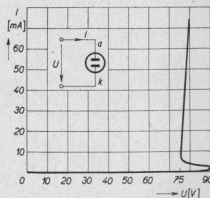
4.5-1 Doutnavky a dekatrony

Doutnavky a dekatrony jsou výbojky se studenou katodou pracující v oblasti doutnavého výboje, na kterém je úbytek napětí do značné míry nezávislý na protékajícím proudu.

Doutnavky se proto používají ke stabilizaci napětí při proměnném zatížení. Stabilizační doutnavky jsou konstruovány nejčastěji jako dva sousedě válece z tenkého plechu nebo drátěné sítky — jeden je anodou, druhý katodou — vestavěné do skleněné baňky podobné baňce elektronky. Baňka je plněna neónem, někdy též argonem nebo heliem. Tlak plynu je několik torrů.

Provozní napětí (hodnota napětí asi uprostřed pracovní oblasti doutnavky) je u většiny používaných doutnavek buď okolo 150 V (doutnavky se železnými nebo měděnými elektrodami), nebo v rozmezí od 70 do 90 V (doutnavky s elektrodami aktivovanými vzácnými nebo alkalickými zeminami).

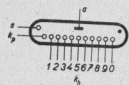
Zápalné napětí (napětí, při kterém se vytvoří doutnavý výboj) je o 10 až 20 V vyšší než napětí provozní. Hodnoty jmenovitého pracovního proudu se pohybují v rozmezí od se-



Obr. 4-28. Schematická značka a volt-ampérová charakteristika doutnavky

tin do desítek mA (podle typu doutnavky). Typická voltampérová charakteristika doutnavky je na obr. 4-28. V poslední době jsou stabilizační doutnavky nahrazovány Zenerovými diodami.

Dekatrony jsou doutnavky s deseti kruhově uspořádanými dvojicemi hlavních a pomocných katod a s jednou anodou společnou pro všechny katody (obr. 4-29). Výboj se přesouvá z jedné hlavní katody k_h na druhou (tyto katody jsou označeny čísly od 0 do 9) řídicími impulsy přiváděnými na vzájemně propojené pomocné katody k_p . Dekatrony se používají pro počítání na napětových impulsů; rychlost počítání může být až 25 000 impulsů za vteřinu.



Obr. 4-29. Schematická značka dekatronu

nebo obloukového výboje.

Usměrnovači výbojky jsou plynem nebo rtuťovými parami plněné diody (obr. 4-30) využívající skutečnosti, že úbytek napětí na výboji je poměrně malý a prakticky nezávislý na protékajícím proudu. Používají se podobně jako vakuové diody k usměrnování střídavého proudu, přičemž s nimi lze dosáhnout, díky malému napětí na oblouku, vyšší účinnosti usměrnění než s vakuovými diodami.



Obr. 4-30. Schematická značka usměrnovači výbojky

Usměrnovači výbojky plněné plynem (tungary) mají vzhledem k dosti vysokému tlaku plynu (10 až 30 torrů) poměrně malé, ale na teplotě nezávislé zpětné (inverzní) napětí (do 500 V). Výbojky plněné rtuťovými parami (fa-natrony) mají zpětné napětí mnohem vyšší, ale závislé na teplotě. Při vyšší teplotě se vypaňuje větší množství rtuti, tím roste tlak par a snižuje se zpětné napětí. Teplota nemá zpravidla přestoupit 60 °C. Nesmí však také klesnout pod hodnotu okolo 15 °C, protože pak je ve výbojce tak málo rtuťových par, že nemůže vzniknout dostatečný počet nositelů náboje; na výbojce vzrůstá napětí, pod jehož vlivem nabývají kladné ionty takové pohybové energie, že při dopadu na katodu ji ničí.

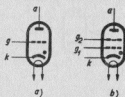
Tyratrony jsou plynem plněné triody a tetrody (obr. 4-31) využívající možnosti řídit napětím mřížky tok elektronů výbojkou. Pokud má mřížka dostatečně velké záporné napětí, neprochází výbojkou proud, i když je na anodě napětí kladné a katoda emituje elektrony. Při zvyšování napětí na mřížce začnou elektrony pronikat k anodě, a to rychlostí, která je závislá na velikosti napětí mřížky. Po dosažení napětí, při kterém nabývají elektrony takové rychlosti, že způsobí lavinovou ionizaci plynu, vznikne výboj. Po vzniku výboje už nemá mřížka vliv na průtok proudu tyratronem, protože

4.5-2 Usměrnovači výbojky a tyratrony

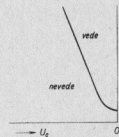
Usměrnovači výbojky a tyratrony jsou výbojky se žhovou katodou pracující v oblasti doutnavého

její záporný náboj přitáhne ionizaci vzniklé kladné ionty, které je neutralizují. Tyratron pak pracuje jako dioda. Mřížka tedy určuje pouze okamžik začátku lavinové ionizace plynové náplně tyratronu; ovládá zápalné napětí tyratronu. Různým anodovým napětím odpovídají různá napětí mřížky, při kterých začíná téci anodový proud. Průběh závislosti zápalného anodového napětí U_{az} na napětí mřížky U_g , tj. $U_{az} = f(U_g)$ čili zapalovací charakteristika je na obr. 4-32.

Konstrukce tyratronů je odlišná od konstrukce vakuových elektroněk. Anoda má tvar disku, mřížku tvoří válec obklopující katodu i anodu a pře-



Obr. 4-31. Schematická značka tyratronu: a - triodového, b - tetrodového



Obr. 4-32. Zapalovací charakteristika triodového tyratronu



Obr. 4-33. Konstrukce tyratronů: a - triodového, b - tetrodového

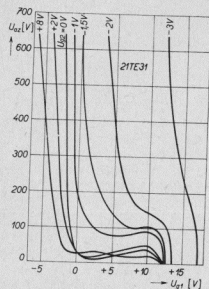
pážka s kruhovými otvorem umístěná mezi katodou a anodou (obr. 4-33a) brání vzniku parazitních nábojů, které by se mohly vytvořit koncentrací kladných iontů na skle baňky a které by měly vliv na průběh zapalovací charakteristiky tyratronu.

Tyratron s jednou mřížkou má velkou kapacitu mezi katodou a mřížkou, která zvětšuje zážehový proud (proud protékající v okamžiku zapálení tyratronu mezi katodou a anodou). Tento nedostatek lze odstranit zavedením další mřížky — mřížky stínící (obr. 4-33b), která má potenciál blízký potenciálu katody. Změnou tohoto potenciálu lze posouvat zapalovací charakteristiku. Skupina zapalovacích charakteristik pro různá napětí stínící mřížky je na obr. 4-34.

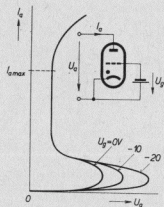
Tyratronu se nejčastěji používá jako řízeného usměrnovače. Při tomto použití je nutno počítat nejen s největším dovoleným anodovým proudem, s úbytkem napětí na tyratronu a s inverzním napětím jako u ostatních usměrnovacích prvků, ale též s ionizací a deionizační dobou tyratronu. Tyto časové parametry rozhodují o použití tyratronu v obvodech pracujících s vyššími kmitočetmi. U tyratronů se rtuťovými parami dosahuje ionizační a deionizační doba řádově 10^{-3} s. Tyratrony s inertními plyny mají tyto doby podstatně menší, řádově 10^{-6} s. Tyratrony plněné rtuť se proto hodí

pro práci v obvodech s kmitočty do 500 Hz, tyratrony s plynovou náplní v obvodech s kmitočty do 150 kHz. Parametrická skupina anodových charakteristik tyratronu je na obr. 4-35.

V poslední době jsou usměrňovací výbojky nahrazovány křemíkovými usměrňovacími tyratrony jsou nahrazovány tyristory.



Obr. 4-34. Zapalovací charakteristiky tetrodového tyratronu



Obr. 4-35. Anodové charakteristiky triodového tyratronu

4.6 FOTONKY

Fotonky jsou elektronické součástky, které využívají skutečnosti, že energii potřebnou k emisi elektronů z katody mohou elektrony získat po dopadu světelného záření. Katodou fotonek je obvykle stříbrocesiová nebo cesioantimonová vrstva nanesená na části vnitřní stěny skleněné baňky (u některých typů fotonek na zvláštní kovovou destičku). Množství emitovaných elektronů je úměrné osvětlení (pokud se s intenzitou záření nemění jeho vlnová délka). Fotokatodou emitované elektrony dopadají na anodu, která je umístěna uprostřed baňky a má tvar smyčky nebo tyčinky, aby nepřekážela dopadajícímu světelnému toku (obr. 4-36).



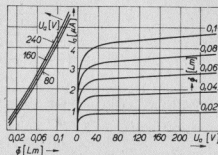
Obr. 4-36. Konstrukce vakuové fotonky

4.6-1 Vakuové fotonky

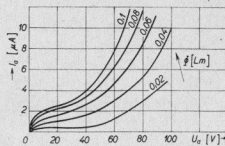
Baňka vakuové fotonky je vyčerpána na tlak 10^{-6} až 10^{-8} torru. Emisní proud fotokatody je velmi malý (10^{-6} až 10^{-5} A), a proto se u vakuových fotonek dosáhne oblasti nasyceného proudu již při malých hodnotách anodového napětí (obr. 4-37).

Pro použití fotonek jsou důležité údaje o citlivosti (řádově 10^{-6} A·lm $^{-1}$), o kmitočtu záření, který odpovídá největší citlivosti (fotonky se stříbrocesiovou katodou jsou citlivé v oblasti viditelného a infračerveného záření, fotonky s katodou cesioantimonovou v oblasti viditelného a ultrafialového záření), o největším dovoleném anodovém napětí (řádově 10^2 V) a o největším dovoleném zatížení katody (10^{-5} A·cm $^{-2}$). Kapacita mezi katodou a anodou fotonky bývá řádově 10^{-12} F.

Rušivými jevy u vakuových fotonek jsou: proud potmě, svodový proud a konečná průletová doba nositelů náboje. Proud potmě je způsoben tepelnou emisí fotokatody a jeho velikost roste se stoupající teplotou okolí a s klesající výstupní prací fotokatody; svodový proud vzniká vlivem nedokonalé izolace mezi katodou a anodou a bývá zvláště u proudů potmě zanedbatelný. Konečná průletová doba elektronů se u vakuových fotonek obvyklých rozměrů začíná uplatňovat až při kmitočtu řádově 10^8 Hz.



Obr. 4-37. Předvodní a anodové charakteristiky vakuové fotonky



Obr. 4-38. Anodové charakteristiky plynové fotonky

4.6-2 Plynové fotonky

Baňky plynových fotonek jsou plněny netečným plynem, nejčastěji argonem (je levný a má malý ionizační potenciál). Při malých hodnotách anodového napětí je průběh anodového proudu plynové fotonky stejný jako u vakuové fotonky, při vyšších hodnotách anodového napětí dochází k ionizaci plynu, vznikají další nositelé náboje a anodový proud se zvětšuje (obr. 4-38). Poměr proudu protékajícího

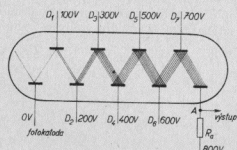
plynovou fotonkou k proudu emitovanému katodou samou se nazývá čí-
 tel zesílení plynem (bývá 3 až 5). Citlivost plynových fotonek je až 20krát
 větší než fotonek vakuových, spektrální citlivost není plynovou náplní prak-
 ticky ovlivněna, největší dovolené anodové napětí je menší než u vaku-
 ových fotonek (okolo 100 V), protože nesmí dojít k výboji v plynu, který by
 fotonku zničil.

Z rušivých jevů je podstatně větší než u vakuových fotonek vliv konečné
 průletové doby nositelů náboje, kterými jsou i kladné ionty mající velkou
 hmotu a tedy malou pohyblivost. Projevuje se již při kmitočtech řádu
 10^8 Hz. Rušivě působí i ionizační a deionizační procesy v plynové fotonce;
 v porovnání s vakuovými fotonkami vykazují plynové fotonky mnohem
 větší setrvačnost, tj. nevracejí se do výchozího elektrického stavu okamžitě
 po přerušení osvětlení fotonkatody. Další nevýhodou plynových fotonek je
 iontový šum.

V poslední době jsou fotonky nahrazovány polovodičovými fotodiodami,
 fototranzistory, popřípadě fototryristory.

4.6-3 Fotonásobiče

Podstata fotonásobičů je v tom, že tok elektronů emitovaných fotonkato-
 dou dopadá na sekundární emitující elektrodu — dynodu, ze které každý
 primární elektron vyrazí více než jeden elektron sekundární (obvykle 5 až
 6 sekundárních elektronů). Tok těchto sekundárních elektronů je veden
 na další dynodu, ze které je opět každým dopadajícím elektronem vyraženo



Obr. 4-39. Podstata činnosti fotonásobiče

několik elektronů sekundárních. Použitím většího počtu dynod
 (obr. 4-39) je možné dosáhnout velké citlivosti fotonásobiče (bývá
 řádově $10 \text{ A} \cdot \text{lm}^{-1}$). Hlavní předností fotonásobiče je větší odstup
 signálu od šumu na výstupu zesí-
 lovače připojeného za fotonásobi-
 čem. Rušivým jevem je zejména
 proud potmě, působený tepelnou
 emisí fotonkatody a dynod.

4.7 ELEKTRONOVÁ OPTIKA, OBRAZOVÉ ELEKTRONKY A TELEVIZNÍ SNÍMAČI ELEKTRONKY

4.7-1 Elektronová optika

Elektronové paprsky se pohybují pod vlivem elektrických a magnetických
 polí obdobně jako světelné paprsky v prostředí s proměnným indexem

lomu, jak je podrobněji popsáno v kap. 1. Pro elektronové paprsky platí
 zákony obdobné zákonům světelné optiky, a to zákon o přímočarém šíření,
 zákon o lomu a zákon o odrazu. U elektronových paprsků neplatí zákon
 o nezávislosti jednotlivých paprsků mezi sebou, neboť elektronové paprsky
 na sebe vzájemně působí a pouze při malé hustotě prostorového náboje lze
 tento vliv zanedbat. U světelného paprsku nastává lom při změně indexu lo-
 mu prostředí, u elektronového paprsku ve vakuu nastává lom při změně
 rychlosti elektronů; rychlost elektronů je úměrná druhé odmocnině z napětí,
 které na pohyb elektronů působí. Světelné paprsky se lámou na přesně
 ohraničených plochách mezi materiály s různými indexy lomu, kdežto změna
 prostředí působící lom elektronových paprsků je plynulá; proto jsou elektro-
 nově čočky složitější než optické.

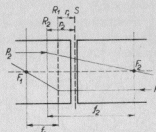
4.7-1.1 Elektrostatické čočky

Pro elektronové paprsky lze vytvořit čočky (obdobné čočkám optickým)
 osově symetrickými elektrostatickými poli, vytvářenými např. válcovými
 elektrodami, které mají vhodné potenciály. Jednoduchá válcová čočková
 soustava je na obr. 4-40. F_1, F_2 jsou ohniska; p_1, p_2 hlavní paprsky; R_1, R_2
 hlavní roviny; r_1, r_2 vzdálenosti hlavních rovin
 od středu čočky S ; f_1, f_2 vzdálenosti hlavních
 rovin od ohnisek. Značí-li p vzdálenost zobrazo-
 vaného předmětu od středu čočky, o vzdálenost
 jeho obrazu od středu čočky a V_1, V_2 jsou potenci-
 ály elektrod, platí

$$\frac{f_1}{p + r_1} + \frac{f_2}{o + r_2} = 1, \quad (4-21)$$

$$p \cdot o = f_1 \cdot f_2, \quad (4-22)$$

$$\frac{f_2}{f_1} = \sqrt{\frac{V_2}{V_1}}, \quad (4-23)$$



Obr. 4-40. Elektrostatic-
 ká čočka

f_1, f_2, r_1, r_2 jsou hlavní konstanty čočky; pomocí těchto konstant lze určit
 polohu obrazu ke známé poloze zobrazovaného předmětu.

4.7-1.2 Magnetické čočky

Magnetická čočka, která soustřeďuje rozbíhající se elektronový paprsek
 v elektronce, je tvořena magnetickým polem, jehož siločáry jsou rovnoběžné
 s osou elektrony. Magnetické pole působí buď po celé délce dráhy elektronů
 (obr. 4-41), nebo pouze v jednom místě dráhy.

Pohyb jednotlivých elektronů je složen z přímočarého translačního pohy-
 bu ve směru rovnoběžném s osou čočky (tato složka není ovlivněna magne-

tickým polem) a z kruhového pohybu v rovině kolmé na osu, vznikajícího vlivem magnetického pole u elektronů, které měly po vystoupení z katody určitou radiální složku rychlosti; výsledkem je šroubovicová dráha elektronů. Průměr šroubovice je u jednotlivých elektronů různý a závisí při dané intenzitě magnetického pole na velikosti radiální složky rychlosti každého elektronu; doba oběhu po šroubovici je pro všechny elektrony stejná (závisí na anodovém napětí elektrony), a proto se sejdou všechny elektrony vždy v témže bodě na ose.

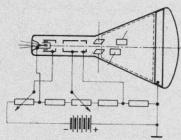


Obr. 4-41. Magnetická čočka

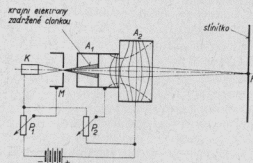
4.7-2 Obrazové elektrony

Obrazové elektrony (obrazovky) uskutečňují přeměnu elektrického signálu na signál optický a jsou podstatnou součástí řady elektronických měřicích přístrojů a všech televizních přijímačů. Každá obrazovka se skládá ze skleněné baňky vyčerpáné na vysoké vakuum, ze zdroje elektronového paprsku — elektronové trysky, z obvodů pro vychylování elektronového paprsku a ze stínítka, které po dopadu elektronů vysílá světelné záření (obr. 4-42).

Elektronová tryska se skládá z katody, mřížky a obvodů pro ostření (fokusaci) svazku elektronů. Katoda obrazovky je nepřímě žhavená a je tvořena kovovým (niklovým) nebo keramickým válečkem, na jehož čele je



Obr. 4-42. Obrazovka s elektrostatickým vychylováním



Obr. 4-43. Elektrostatické ostření

nanesena emitující kyslíčnicková vrstva. Elektrony jsou emitovány z katody směrem ke stínítku. Mřížka obrazovky má tvar válce obklopujícího katodu (Wehneltův válec) s malým otvorem uprostřed základny, kterým procházejí elektrony. Mřížka řídí svým potenciálem proud elektronů z katody na anodu a současně soustřeďuje elektronový paprsek do bodu za vnější plochou

Wehneltova válce, do křížště. Křížště se zobrazuje na stínítku pomocí zaostřovacích (fokusačních) obvodů elektrostatických nebo magnetických. Elektrostatické zaostřovací obvody se skládají ze dvou nebo více anod (se clonkami k zachycení okrajových, špatně se zaostřujících elektronů), na které je přiloženo urychlovací napětí. Na obr. 4-43 je systém se dvěma anodami; mezi nimi vzniká osově symetrické elektrické pole, které soustřeďuje rozbíhavé dráhy elektronů zpět k ose do ohniska. Zpětné zakřivení drah elektronů závisí na potenciálním rozdílu mezi první a druhou anodou. Magnetické zaostřování elektronového paprsku se provádí nastavením proudu zaostřovací cívky, která je navlečena na hrdle obrazovky nebo pomocí stejně umístěných permanentních magnetů.

Z elektronové trysky vystupuje elektronový paprsek do vychylovacího systému, který může být opět buď elektrostatický, nebo magnetický. Elektrostatický vychylovací systém se skládá ze dvou párů destiček navzájem na sebe kolmých, z nichž jeden pár je určen pro vychylování ve vodorovném směru, druhý pár ve směru svislém. Při magnetickém vychylování elektronového paprsku se užívá vhodné formovaných dvojice vychylovacích cívek, které obklopují hrdlo obrazovky a vytvářejí homogenní magnetické pole. U magnetického vychylování na rozdíl od elektrostatického je výchylná částice závislá na její hmotě. Zatímco elektrony i těžké záporné ionty jsou v elektrostatickém poli vychylovány stejně, jsou v magnetickém poli vychylovány prakticky jenom elektrony, kdežto ionty jsou vychylovány pouze nepatrně vzhledem ke své poměrně velké hmotě. Výhodou elektrostatického vychylování je téměř nulová spotřeba energie (vychylyje se pouze napětím) a frekvenční nezávislost vychylovacího systému až do vysokých kmitočetů. Pro velké vychylovací úhly je však zapotřebí velkého napětí mezi vychylovacími destičkami (kV), které se získává nesnadno. Elektrostatické vychylovací systémy se používají převážně u osciloskopických obrazovek, kde nejsou vychylovací úhly příliš velké. Při magnetickém vychylování dochází ke značné spotřebě energie, neboť vychylovací cívky je třeba napájet značným proudem. Dalším nedostatkem je frekvenční závislost vychylovacích cívek. Přesto se u televizních obrazovek, kde jsou velké vychylovací úhly nutné (110°), užívá téměř výhradně magnetického vychylování, neboť zde nevádí frekvenční závislost vychylovacího systému (vychylovací proud má konstantní kmitočet) a potřebný napájecí proud pro vychylovací cívky lze poměrně snadno získat.

Stínítko obrazovky tvoří vrstva luminiscenčních látek — luminiforů; je špatně vodivá, takže dopadající elektrony nemohou být ze stínítka odváděny. Dopadající elektrony však vyvolávají sekundární emisi a sekundárně emitované elektrony jsou odváděny vodivou grafitovou vrstvou, na kterou dopadají. Tato vrstva je nanesena na vnitřní straně rozžhvací se části baňky, je vodivě spojena s poslední anodou a slouží též jako ochrana elektronového paprsku proti působení vnějších elektrických polí. U moderních televiz-

ních obrazovek je povrch stínítka pokryt monomolekulární vrstvou hliníku (obrazovky s metalizovaným stínítkem), kterou mohou elektrony procházet. Hliníková vrstva slouží jako zrcadlo, a tím zvyšuje jas a současně odvádí ze stínítka nežádoucí náboj, neboť je vodivá. Stínítka obrazovek se liší od sebe barvou (zelená, modrá, žlutá, bílá atd.) a dosvitem (krátký, střední a dlouhý).

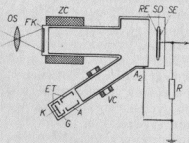
4.7-3 Televizní snímací elektronky

Snímací elektronky mění optické obrazy v elektrické signály. Všechny snímací elektronky používané v současné době se skládají ze tří hlavních částí. Jsou to:

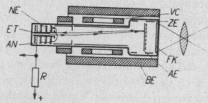
- fotosenzitivní elektroda (elektroda citlivá na světlo), která vlivem světla emituje elektrony nebo mění vodivost,
- akumulační elektroda (elektroda hromadící elektrické náboje), jejíž jednotlivá místa získávají náboj úměrný jasů odpovídajících míst optického obrazu,
- snímací soustava (soustava vytvářející elektronový paprsek, postupující po akumulační elektrodě řádku po řádku), která převádí informace o jasů na elektrický signál.

4.7-3.1 Superikonoskop a superortikon

Fotosenzitivní vrstva obou těchto elektronek (fotokatoda FK) je tvořena průsvitnou vrstvou látky citlivé na světlo (např. cesium-antimon), nanesenou na vnitřní straně čelní stěny elektronky (obr. 4-44 a 4-45). Při promítání



Obr. 4-44. Superikonoskop



Obr. 4-45. Superortikon

snímaného obrazu optickou soustavou OS na fotokatodu FK dochází ke světelné emisi elektronů. Množství elektronů emitovaných z jednotlivých míst fotokatody je úměrné jasů odpovídajících míst optického obrazu.

Akumulační elektroda superikonoskopu se skládá z rozkladové elektrody RE (obr. 4-44), tvořené tenkou vrstvou sekundárně emitující izolální látky (např. kyslíčnicku hořečnatého), z izolální destičky ID, obvykle síldové,

a z kovové signální elektrody SE. U superortikonu je akumulační elektrodou AE (obr. 4-45) jemná fólie (o síle pod 5 μm) ze speciálního skla. Do roviny akumulační elektrody se přivádí pomocí magnetického pole zaostřovačích cívek ZC elektronový obraz vznikající na fotokatodě.

Snímací soustava superikonoskopu i superortikonu se skládá z elektronové trysky ET (obr. 4-44 a 4-45), vytvářející elektronový paprsek, a vychylovačích cívek VC, ovládajících pohyb tohoto paprsku tak, aby postupně dopadla na všechna místa akumulační elektrody.

U superikonoskopu se používá pro snímání nábojů z rozkladové elektrody RE (obr. 4-44) paprsku rychlých elektronů. Po dopadu těchto elektronů dochází k sekundární emisi elektronů z rozkladové elektrody a příslušné místo se nabije na určitý kladný potenciál. Mezi dvěma za sebou následujícími dopady elektronového paprsku klesá potenciál tohoto místa na hodnotu, jež je závislá na intenzitě osvětlení příslušného místa fotokatody. Změna potenciálu vyvolá ve výstupním obvodu proud úměrný velikosti této změny.

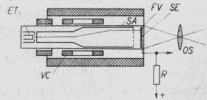
Snímání nábojů z akumulační elektrody AE superortikonu (obr. 4-45) se děje paprskem pomalých elektronů (elektrony jsou před dopadem na elektrodu zpomaleny emisí elektronů z rozkladové elektrody BE). Jednotlivá místa akumulační elektrody přijímají z dopadajícího paprsku elektrony v množství potřebném k neutralizaci náboje, takže vracující se paprsek je modulován původním nábojem příslušného místa akumulační elektrody. Elektrony vracujícího se paprsku dopadají na první dynodu násobiče elektronů NE, který je uspořádaný souměrně kolem elektronové trysky. Elektrický signál vzniká na pracovním odporu připojeném k anodě násobiče AN.

Citlivost superikonoskopu je taková, že snímání scény musí mít osvětlení asi 1000 luxů. Citlivost superortikonu se blíží citlivosti lidského oka a při použití speciální optiky lze snímat scény osvětlené světlem měsíce. Rozlišovací schopnost superikonoskopu je téměř 1000 řádků, superortikonu okolo 500 řádků.

4.7-3.2 Kvantikon (vidikon)

Fotosenzitivní vrstva FV kvantikonu (obr. 4-46) je tvořena vrstvou polovodivé látky (např. sírníku antimonu nebo některého teluridu), která je nanesena na průhledné signální elektrodě SE; povrch polovodivé vrstvy je rozkladovou elektrodou.

Při promítání snímaného obrazu optickou soustavou OS na fotosenzitivní vrstvu dochází ke změně vodivosti jednotlivých míst vrstvy, úměrné jasů odpovídajících míst optického obrazu. Na rozkladové elektrodě se



Obr. 4-46. Kvantikon

vytvoří proti signální elektrodě náboje odpovídající svou velikostí vodivosti příslušných míst. Paprsek pomalých elektronů (zpomalených elektrickým polem mezi sítkou anody SA a signální elektrodou SE) vyvrhovává náboje akumulací elektrody a velikost vzniklého vybijecího proudu pak závisí na vodivosti příslušných míst. Elektrický signál vzniká průtokem tohoto proudu pracovním odporem připojeným k signální elektrodě.

Citlivost kvantikonu je menší než superortikonu, ale větší než superikonoskopu. K dokonalému snímku stačí osvětlení sečny 10 luxy. Rozlišovací schopnost je přes 600 řádků. Nevýhodou kvantikonu je setrvačné polovodičové vrstvy, která způsobuje, že se obraz při rychlých pohybech rozmazává.

4.7-4 Speciální obrazovky

4.7-4.1 Obrazovky pro barevnou televizi

V dnešních soustavách barevné televize se přenášejí tři složkové barvy: červená, zelená a modrá. Tyto barvy jsou přenášeny ve formě elektrických signálů a musí se v obrazovce pro barevnou televizi spojit a změnit ve výsledný barevný obraz. Obrazovky pro přenos barevného obrazu je možno rozdělit na soustavy pro současný a pro postupný přenos barevných složek obrazu.

Do skupiny obrazovek pro současný přenos barevných složek patří masková obrazovka, třítrysková obrazovka s fokusační sítí a reprodukční soustava se třemi obrazovkami.

Do skupiny obrazovek pro postupný přenos barevných složek patří chromatron a obrazovka řízená signály ze stínítka (Apple Tube).

Průmyslově vyráběným a používaným typem obrazovky pro barevnou televizi je masková obrazovka. Stínítka této obrazovky je složeno z pravidelně uspořádaných trojic mikroskopických zrníček luminiforů, které po dopadu elektronů září každé v jiné složkové barvě. Před stínítkem (asi 14 mm) je uvnitř obrazovky umístěna maska, ve které je tolik otvorů, kolik je na stínítku trojic barevných bodů (asi 430 000). V hrdle obrazovky jsou tři elektronové trysky (umístěné ve vrcholech rovnostranného trojúhelníka stejně jako trojice zrníček luminiforů na stínítku), každá pro přenos jedné barevné složky. Otvory v masce musí být rozmístěny tak přesně, aby elektronový paprsek z každé trysky mohl dopadnout jen na zrníčko luminiforu, které září barvou odpovídající barvě přenášené touto tryskou. Při různých intenzitách elektronových paprsků tří elektronových trysek vzniká na stínítku barevný obraz libovolného barevného odstínu. Bližší o maskové obrazovce je v kap. 16, čl. 5-5.

Pro snímání poskvy v barevné televizi je rozhodující požadavek, aby snímací zařízení poskytovalo při snímání jednoho obrazu tři obrazové výstupní signály (pro tři základní barvy).

4.7-4.2 Paměťové obrazovky

Pro různé účely je žádoucí, aby snímací obrazovka pracovala s malou rychlostí snímání. Velmi pomalé snímání umožňuje zúžit kmitočtové pásmo přenosu a zvětšit citlivost. Rozkladová elektroda paměťových elektronek musí mít schopnost akumulovat náboje po dosti dlouhou dobu přenosu jednoho snímku (vteřiny až minuty). Obraz se snímá obvyklým způsobem; velikost kladných nábojů, které vznikají na rozkladové elektrodě sekundární emisí elektronů, roste úměrně s dobou expozice (je úměrná počtu primárních elektronů emitovaných fotokatodou). Jsou-li akumulované náboje dostatečně velké, otočí se rozkladová elektroda pomocí magneticky ovládaného držáku o 180°; v této poloze na ni dopadají snímací elektronový paprsek, jehož pomocí se provádí čtení. Doba čtení může být i několik hodin a doba paměti rozkladové elektrody i několik dní.

4.7-4.3 Počítací a přepínací elektrony

Počítací elektrony jsou určeny pro zaznamenávání počtu napěťových impulsů. Kromě dekatronů, které pracují na principu doutnavky, se používají počítací elektrony založené na principu obrazovky; tyto elektrony se skládají v podstatě ze systému vytvářejícího elektronový paprsek, z vyhovovacího systému a ze stínítka. Elektrody vyhovovacího systému ovládají spolu s přidavnými elektrodami paprsek elektronů tak, že jeho stopa na stínítku se posune o tolik míst, kolik impulsů bylo na ně přivedeno. Místa na stínítku jsou označena číslicemi od 0 do 9. Po desátém impulsu se paprsek elektronů vrátí zpět do výchozí polohy. Ze zpětného posunu je odvozen napěťový impuls pro další elektronku počítající o řád výše. Typickým představitelem těchto elektronek je elektronka EIT (Philips); zaznamenává až 10^5 impulsů za vteřinu.

Na stejném principu pracují přepínací elektrony, nemají však stínítko; místo něho je na okrajovém kruhu soustava až několika desítek elektrod. Elektronový paprsek dopadá postupně na všechny elektrody, jejichž obrody pak projde elektrický impuls. Rychlost přepínání může být až 10^7 kruhových oběhů za vteřinu.

4.8 ZNAČENÍ ELEKTRONEK, VÝBOJEK A FOTONEK

4.8-1 Jednotné evropské značení elektronek

V Evropě (s výjimkou SSSR a Maďarska) se používá jednotného evropského značení. Typový znak přijímacích a přístrojových elektronek se skládá ze tří částí. První částí typového znaku je písmeno, které vyjadřuje údaj

o žhavení; u elektroněk určených pro paralelní spojení žhavicích vláken udává jmenovité žhavicí napětí, u elektroněk určených pro sériové spojení žhavicích vláken udává jmenovitý žhavicí proud. Běžně užívané jsou

Tab. 4-1 Význam písmen druhé části značení elektroněk

Evropské značení	Sovětské značení	Typ elektronky
A	Д	demodulační dioda
B	X	dvójitá demodulační dioda
C	C	trioda
D	C	výkonová trioda
E	З	tetroda
F	K	pentoda
F	Ж	pentoda s proměnnou strmostí
H	A	hexoda nebo heptoda
K	A	oktoda
L	Π	svazková tetroda
L	Π	výkonová pentoda
M	E	indikátor vyladění
BC	Г	dioda — trioda
BF	Б	duodioda — pentoda
CC	H	dvójitá trioda
CF	Φ	trioda — pentoda
BL		duodioda — pentoda
W		plynem plněná dioda
X		plynem plněná duodioda
Y	И	usměrňovací dioda
Z	И	dvójitá usměrňovací dioda

elektronky se žhavením: A ... 4 V, D ... 1,25 V nebo 1,4 V, E ... 6,3 V, P ... 300 mA, U ... 100 mA.

Za prvním písmenem typového označení následuje druhá část typového znaku, která je tvořena jedním, případně více písmeny udávajícími typ elektronky (tab. 4-1). Třetí částí typového znaku je skupina čísel informující o provedení baňky a patice elektronky a blíže určující typ elektronky.

Elektronky určené pro průmyslové aplikace (tj. vybrané jakosti, s úpravou systému proti ořesům, s úzkými elektrickými tolerancemi apod.) se podle evropského značení označují tak, že se druhý typový znak zamění s třetím.

4.8-2 Sovětské značení elektroněk

Typový znak se skládá ze tří, případně čtyř částí. První část označení přijímacích a přístrojových elektroněk tvoří číslo. Vyjadřuje zaokrouhlené žhavicí napětí, druhou částí je písmeno udávající typ elektronky (tab. 4-1). Třetí částí označení je pořadové číslo typu; čtvrtá část je tvořena písmenem charakterizujícím provedení elektronky.

4.8-3 Značení výbojek, fotonek a obrazovek

Označení výbojek, fotonek a obrazovek Tesla se skládá ze tří částí. Pro určení je rozhodující první písmeno ve znaku, které udává druh elektronické součástky: P ... fotonky, Q ... obrazovky a snímací elektronky, T ... výbojky, U ... různé speciální typy elektroněk a výbojek. Typ elektronické součástky určuje spolu s prvním písmenem číslice, která je před ním.

Druhé písmeno znaku má obdobný význam jako u přijímacích elektroněk: A ... dioda, C ... trioda atd. Kromě těchto písmen jsou zavedena u každé skupiny ještě další písmena, která blíže určují typ součástky. Konec znaku tvoří skupina čísel, která vyznačuje provedení a vlastnosti jednotlivých typů.

4.8-4 Značení vysílacích elektroněk a velkých výbojek

Označení vysílacích elektroněk Tesla se skládá ze tří částí. První písmeno: R ... elektronka vysílací, popř. velká usměrňovací, Z ... speciální modulační elektronka, U ... velká usměrňovací výbojka.

Druhé písmeno má analogický význam jako u přijímacích elektroněk. Následuje skupina čísel, která má tvar zlomku, kde v čitateli je ztrátový výkon, u usměrňovacích elektroněk anodový proud (největší hodnota střed-

ního proudu), ve jmenovateli anodové napětí. Napětí je udáno v kV, proud v A, výkon ve W nebo v kW.

Podle potřeby připojuje se ještě u některých elektronek toto značení: A ... chlazení vzduchem, W ... chlazení vodou, K ... krátkovlnné provedení apod.

4.9 JEDNODUCHÉ OBVODY S ELEKTRONKAMI

4.9-1 Základní zapojení elektronek

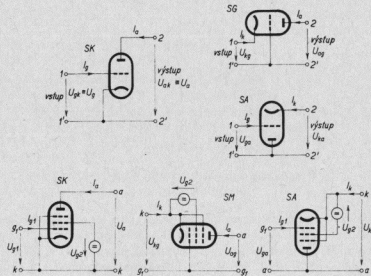
Základní elektronkový obvod má tvar čtyřpólu; má dvě dvojice svorek, jednu dvojici pro vstup a druhou pro výstup signálu. Vlastnosti čtyřpólu týkající se přenosu signálu jsou vyjádřeny údaji vztahy mezi k těmto dvěma dvojicím svorek; jsou to vstupní a výstupní odpor, přenos napětí jedním nebo druhým směrem, převodní vodivost (dynamická strmost). Jedna vstupní a jedna výstupní svorka může být společná; čtyřpól tohoto druhu tvoří v elektronkových obvodech základní typy, zvané základní elektronkové útvary. U obvyklých čtyřpólů tvořených triodou nebo pentodou s konstantními napětími stínící a brzdící mřížky (dynamická velikosti, a proto se na mřížku nepřenáší signál přiváděný do čtyřpólu katodou nebo anodou. V ojedinělých případech, kdy se použije inverzního zapojení mřížky a anody, musí mít mřížka vzhledem ke katodě kladné napětí, aby mřížkový obvod protékal proud, ale jakýkoli signál (napětový, proudový a výkonový) má vždy ve výstupním (mřížkovém) obvodu nižší hodnotu než buďcí signál v obvodu vstupním.

Na základě uvedeného omezení mohou být tedy sestaveny tři základní zapojení elektronky (obr. 4-47). Nejčastěji používané základní zapojení elektronky je zapojení se společnou katodou (SK). Vstupní elektrodou je mřížka, výstupní anoda a společnou elektrodou je katoda. Základní zapojení se společnou anodou (SA) má jako vstupní elektrodu zapojenu mřížku, jako výstupní katodu a společnou elektrodou je anoda. Toto zapojení se nazývá katodový sledovač, neboť napětí na výstupní svorce (katodě) sleduje fázi napětí přivedeného na vstupní svorku (mřížku). Základní zapojení se společnou mřížkou (SG) má jako vstupní svorku (mřížku), výstupní anodu a mřížka je elektrodou společnou. Vstupní a výstupní obvod jsou vázány společným proudem, protože proud katody se prakticky rovná proud anody. Toto zapojení umožňuje přenos signálu v obou směrech; ze vstupu na výstup i z výstupu na vstup. Je v něm zaměněna funkce mřížky a katody, a proto se nazývá inverzní zesilovač.

Podle požadavků na vlastnosti zesilovacích stupňů (např. na vstupní a výstupní impedanci, na zesílení napětí, proudu, výkonu) se používají různá zapojení elektronkových zesilovacích stupňů. Vlastnosti daného zapojení lze vyšetřovat buď experimentálně, měřením na prototypu, nebo výpočtem z daných hodnot veličin a parametrů obvodu, případně grafickou konstrukcí s použitím charakteristik elektronky i ostatních částí daného obvodu.

4.9-2 Řešení obvodů s elektronkami

Řešení obvodů výpočtem je snadné zejména v případech, kdy lze elektronku nahradit lineárním obvodem. Toto řešení předpokládá znalost souřadnic klidového pracovního bodu elektronky a diferenciálních parametrů v tomto bodě. Klidový pracovní bod je soubor klidových hodnot napětí a proudů elektronky, zaručující její správnou funkci. Volba pracovního bodu je dána požadavky na výkon, na který má být signál v obvodu zesílen, na



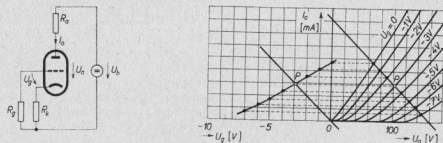
Obr. 4-47. Základní zapojení elektronek

bezpečný provoz a životnost elektronky, na možnosti napájení a na zkrusení signálu obvodem. Je-li např. požadováno pouze zesílení napětí signálu, jsou pro funkci triody nejpříhodnější podmínky při co největším anodovém napětí, při kterém ještě není ohrzena životnost elektronky, a při malém anodovém proudu. U výkonových stupňů je třeba volit i větší anodový proud, aby bylo dosaženo požadovaného zesílení výkonu signálu.

Grafiko-početní metodou lze určit jednak souřadnice pracovního bodu, jednak závislosti mezi napětími a proudy v obvodu. Při tomto řešení je nutné, aby charakteristické rovnice elektronky byly dány graficky některou skupinou charakteristik, a rovněž všechny potřebné obvodové rovnice je třeba vhodným způsobem graficky vyjádřit.

Určení souřadnic pracovního bodu jednoduchého obvodu s triodou je znázorněno na obr. 4-48. Tento obvod je popsán rovnicemi:

- (1) $I_g = 0$ (pro $U_g < 0$),
- (2) $I_a = y_2(U_g, U_a)$... grafickým obrazem jsou anodové charakteristiky,
- (3) $U_a = U_b - I_a(R_a + R_k)$... grafickým obrazem je zatěžovací přímka,
- (4) $U_g = -R_k I_a$... grafickým obrazem je přímka v souřadnicové soustavě U_g, I_a .



Obr. 4-48. Určení souřadnic pracovního bodu obvodu s triodou

Rovnice (2) se zobrazí jako parametrická skupina anodových charakteristik v souřadnicové soustavě U_a, I_a . Do téže souřadnicové soustavy se zobrazí rovnice (3) jako zatěžovací přímka. Z rovnic (2) a (3) se vyloučí proměnná veličina U_a tak, že se volí postupně hodnoty U_g v průsečících příslušných anodových charakteristik se zatěžovací přímkou a určí se v nich hodnoty I_a . Výsledkem je závislost $I_a = f(U_g)$, která se vynesde do souřadnicové soustavy U_g, I_a jako tzv. dynamická převodní charakteristika. Do téže souřadnicové soustavy se zobrazí rovnice (4) jako přímka procházející počátkem. Průsečík této přímky s dynamickou převodní charakteristikou je hledaným pracovním bodem. V tomto bodě lze odečíst hodnoty veličin U_g, I_a ; hodnota U_a se stanoví na zatěžovací přímce.

Určení pracovního bodu obvodu s pentodou se provádí stejným způsobem v charakteristikách použité pentody.

4.9-3 Způsoby získávání mřížkového předpětí

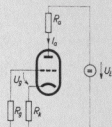
Mřížkové předpětí je napětí mřížky vzhledem ke katodě (obvykle záporné) v daném pracovním bodě. Požadované mřížkové předpětí se nejčastěji získává pomocí katodového odporu R_k (obr. 4-49), někdy též pomocí mřížkového (svodového) odporu R_g (obr. 4-50). V prvním případě platí pro mřížkový obvod tohoto zapojení rovnice $U_g + R_k I_a = 0$ (je-li $I_a \gg I_g, I_g \approx 0$). Z této rovnice lze při znalosti anodového proudu elektronky vypočítat velikost katodového odporu

$$R_k = -\frac{U_g}{I_a} \quad (U_g < 0, I_g \approx 0).$$

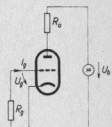
Ve druhém případě platí pro mřížkový obvod rovnice $U_g + R_g I_g = 0$ a pro velikost mřížkového odporu platí vztah

$$R_g = -\frac{U_g}{I_g} \quad (U_g < 0, I_g \neq 0).$$

Velikost mřížkového svodového odporu vychází pro $-1 \text{ V} < U_g < 0$ řádově až $10^7 \Omega$. Z toho na druhé straně plyne, že mřížkový odpor musí být při získávání předpětí jiným způsobem než pomocí svodového odporu obvykle menší než výše uvedená hodnota, nemá-li napětí na něm vytvořený průtokem mřížkového proudu znatelné ovlivnit hodnotu předpětí. Velikost tohoto odporu závisí na typu elektronky a na způsobu získávání mřížkového předpětí.



Obr. 4-49. Obvod pro získávání předpětí pomocí katodového odporu



Obr. 4-50. Obvod pro získávání předpětí pomocí mřížkového odporu

SEZNAM LITERATURY

- [1] Stránský, J.; Vysokofrekvenční elektrotechnika I. NČSAV, Praha 1956
- [2] Stránský, J.-Hudec, L.-Vaniček, F.; Elektronika I. ČVUT, Praha 1968
- [3] Stránský, J.-Pelikán, L.-Novák, V.; Elektronika II. ČVUT, Praha 1968
- [4] Forejt, J.; Elektronika, SNTL, Praha 1961 (Učební texty ČVUT)
- [5] Forejt, J.; Základy elektroniky, SNTL, Praha 1962 (Učební text ČVUT)
- [6] Forejt, J.-Hudec, L.; Grafická elektronika, SNTL, Praha 1968
- [7] Gvozdjak, L.; Základy elektrotechniky přenosu a spracovania zpráv. SVTL, Bratislava 1962

- [8] *Pacák, M.*; Vyšší škola radiotechniky I. Práce, Praha 1961
- [9] *Urgoštk, B.*; Fyzikální elektronika. SNTL, Praha 1964
- [10] *Zuzánek, J.*; Přijímací elektronky. SNTL, Praha 1962
- [11] *Simerský, M.*; Elektronika pro 3. ročník SPŠ vakuové elektrotechniky. SNTL, Praha 1967
- [12] *Simerský, M.*; Elektronika pro 4. ročník SPŠ oboru elektrovakuové techniky. SNTL, Praha 1968
- [13] *Nadler, M.-Nessel, V.*; Elektronkový osciloskop. SNTL, Praha 1960
- [14] *Jareš, V.-Jedlička, M.*; Optické elektronky. SNTL, Praha 1964
- [15] *Barkhausen, H.*; Elektronen-Röhren I, Hirzel, Leipzig 1951
- [16] *Šapošnikov, A. A.*; Elektronnyje i ionnyje pribory. Gosenergoizdat, Moskva 1952
- [17] *Vlasov, B. F.*; Elektronnyje i ionnyje pribory. Svjazizdat, Moskva 1960
- [18] *Dulín, V. N.*; Elektronnyje i ionnyje pribory. Gosenergoizdat, Moskva 1963
- [19] *Tjaĝunov, G. A.*; Elektrovakuumnyje i poluprovodnikovyye pribory Gosenergoizdat, Moskva 1962
- [20] *Chlebnikov, N. N.*; Elektronnyje pribory. Svjazizdat, Moskva 1964