

Časopis pro pěstování matematiky a fyziky

Bohuslav Pavlík

O elektronových lampách, používaných v přijimačích, se zřetelem k jejich vývoji a zdokonalování. [III.]

Časopis pro pěstování matematiky a fyziky, Vol. 64 (1935), No. 3, R39--R50,R51--R55

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/121513>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1935

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

$$V = \frac{C}{l} \quad (c)$$

C je libovolná konstanta, později vhodně volená. Pro průsečíky přímek (c) a isopleť d platí

$$V^2 = \frac{1}{40000} \pi C d^2.$$

Položme nyní K^2 za $\frac{1}{40000} \pi C$ tak, aby $V = K \cdot d$ byl pohodlný vztah pro počítání. Na př. volme $K = 0,01$ pak $C = 1,273 \dots$ a na přímce $V = \frac{1}{l} 1,273$ platí $V = 0,01d$.

Přímku, označme ji (m), narýsujeme velmi snadno z „bodů“ (1; 1,27), (10; 0,127). Pak volíme $K = 0,05$ a sestrojíme přímku (n) o rovnici:

$$V = \frac{31,83 \dots}{l}$$

na ní platí $V = 0,05d$. Pomocí přímek (m) a (n) je narýsování celého nomogramu velmi snadné (viz náčrtek 2).

Používání nomogramu je jednoduché a patrné z obr. 3, ke kterému je připojen tak zv. klíč k rychlejší orientaci při čtení. Prakticky se užívá nomogramu v části pro d ($8 \div 100$), takže se obvykle isoplety pod 8 a nad 100 nerýsují.

Při větším modulu ($\alpha = 20$ až 25 cm) lze výsledky odčítati rychle s přesností pro praxi úplně postačující (na 3 místa).*) Výhoda proti tabulkám je v tom, že nemusíme stále listovat, a pak, že hodnoty nezakreslené snadno odhadneme přibližným vložení přímky „od oka“ mezi zakreslené a výsledek získáme s přesností postačující a s námahou značně menší, než je potřebí k interpolaci v tabulkách.

O sestrojení logaritmických obrazů funkcí složitějších a řešení algebr. rovnic na dvoj. log. papíře bude pojednáno v některém příštím čísle.

O elektronových lampách, používaných v přijímačích, se zřetelem k jejich vývoji a zdokonalování.

Bohuslav Pavlík.

Uvažme

$$\begin{aligned} \omega \xi &= \omega \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{\omega^2} = \frac{(\omega - \omega_0)(\omega + \omega_0)}{\omega} = \frac{\Delta\omega(\omega + \omega_0)}{\omega} \\ &= \frac{\Delta\omega \cdot 2\omega}{\omega} = 2\Delta\omega \end{aligned}$$

*) Láška-Hruška, Počet graf. a grafickomechanický, JČMF., Praha 1923.

(v okolí resonance). Příslušné $\Delta\omega$, pro něž klesne kvadratický efekt na polovinu, se vypočítá ze vztahu

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \left(\frac{\mathcal{G}_g}{D}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{1 + R_i/R_h}\right)^2 &= \left(\frac{\mathcal{G}_g}{D}\right)^2 \cdot \frac{(L/C)^2}{[L/C + R_i(R_a + jL \cdot 2\Delta\omega)]^2} = \\ &= \left(\frac{\mathcal{G}_g}{D}\right)^2 \cdot \frac{(L/C)^2}{(L/C + R_iR_a + jR_iL \cdot 2\Delta\omega)^2}. \end{aligned}$$

Odtud plyne po dosazení za R_h

$$\begin{aligned} 2 \left(R_iR_a + \frac{L}{C}\right)^2 &= \left(\frac{L}{C} + R_iR_a\right)^2 + 4L^2 \Delta^2\omega R_i^2, \\ \frac{L}{C} + R_iR_a &= 2LR_i \Delta\omega, \\ \Delta\omega &= \frac{R_a}{2LR_i} \left(R_i + \frac{L}{CR_a}\right). \end{aligned}$$

Označme

$$\delta_a = R_a/2L.$$

Pak

$$\Delta\omega = \delta_a(1 + R_h/R_i).$$

Kdyby $R_i = \infty$, byl by hledaný rozdíl frekvencí

$$(\Delta\omega)_{R_i=\infty} = \delta_a.$$

$R_i = \infty$ znamená, že vyšetřujeme rezonanční křivku pouhého oscilačního kruhu; výraz δ_a sluje útlumový faktor oscilačního kruhu. Šířka rezonanční křivky oscilačního kruhu rovná se dvojnásobku útlumu. Čím je $\Delta\omega$ menší, tím je kruh selektivnější.

U lamp staršího typu je podle prospektů

$$R_i = 10000 \Omega.$$

Poměrně snadno lze dosáhnouti, aby $R_h = 60000 \Omega$. Je tedy

$$\Delta\omega = \delta_a(1 + 6) = 7\delta_a.$$

Vřadíme-li takovýto kruh do anodového kruhu lampy, vzroste šířka jeho rezonanční křivky 7krát. Kruh se stane podstatně méně selektivním.

U lamp stíněných však podle prospektů je

$$R_i = 420000 \Omega,$$

tedy

$$\Delta\omega = \delta_a \left(1 + \frac{60000}{420000}\right) = \delta_a \left(1 + \frac{1}{7}\right) = \frac{8}{7} \delta_a.$$

Rozšíření rezonanční křivky oscilačního kruhu je při použití moderních lamp velmi malé.

Z toho plyne: Používáme-li v přijímači moderních stíněných

lamp, je selektivita přijímače za jinak stejných okolností větší, než používá-li se lamp starých typů.

Uvážíme-li, že u lamp staršího typu bylo $D \doteq 10\%$, plyne ze vzorce (8)

$$- \mathcal{E}_{a \text{ res}} = \frac{\mathcal{E}_g}{100} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{8}} = \frac{1}{9} \mathcal{E}_g \doteq 9\mathcal{E}_g,$$

u nových však je na př. $D \doteq 1\%$; tedy

$$- \mathcal{E}_{a \text{ res}} = 100\mathcal{E}_g \frac{1}{1 + 7} = \frac{100}{8} \mathcal{E}_g \doteq 13\mathcal{E}_g.$$

Stíněnými lampami se dosáhne, jak jsme již v popisu stíněných lamp uvedli, také podstatně většího zesílení.

Regulace hlasitosti. Fading. Přeslech (cross talk). Lampa s proměnnou strmostí (variable u -tube). — **Selektoda.** Moderní přijímače jsou vybaveny zařízením zvaným automatická regulace hlasitosti (automatic volume control). Aby přijímač reprodukoval dosti hlasitě vzdálené rozhlasové stanice, musí býti dosti citlivý. Přijímáme-li takovýmto přijímačem místní stanici, jsou poslední lampy přijímače přetíženy; přijímač reprodukuje daleko věrněji vzdálené stanice než stanici místní (předpokládáme-li ideální hlasadlo). Je tedy potřeba opatřiti přijímač zařízením, jímž by se automaticky měnila vhodně jeho citlivost tak, aby hlasitost reprodukce zůstávala pro určitý obor vstupního napětí více méně stálá.

Přijímá-li se vzdálená stanice, pozorujeme, že příjem časem slábne a sílí; někdy se opakuje tento zjev v tak krátkých periodách, že poslech stává se nesnesitelný. Zjev tento nazývá se fading (únik). Je způsoben tím, že elektromagnetické vlny z vysílací stanice dospějí k přijímací anténě po dvou různých (různě dlouhých) cestách. Tyto dvě vlny mají fázový rozdíl a vzájemně interferují. Podle fázového rozdílu nastává zesílení, po případě zeslabení vstupního napětí v přijímači. Poněvadž pak fázový rozdíl se mění, mění se i hlasitost reprodukce. I zde, má-li se fading kompenzovati, je nutno automaticky vhodně měniti citlivost přijímače se změnou vstupního napětí. Proto se také někdy zmíněné zařízení (které je v obou případech stejné) nazývá zařízením pro automatickou kompenzaci fadingu. Všechny moderní přijímače jsou opatřeny tímto zařízením. Myšlenka spočívá v tom ovlivniti zesilovací část v přijímači jí samou tak, aby tento zesilovač reagoval na zvětšení hlasitosti signálů automaticky snížením své citlivosti. Nejvhodněji se takovéto regulace dosáhne řízením vhodného předpětí (u stíněné lampy na řídicí mřížce, u protifadingové hexody také napětí na třetí mřížce). Změna předpětí pro vysokofrekventní lampy se získá tím, že proud z detektoru po usměrnění prochází vhodným odporem,

umístěným v mřížkovém kruhu zesilovače. Tím se způsobí, že silný signál vzbudí velké záporné předpětí, jež posune pracovní bod na charakteristice příslušné lampy do oboru zakřiveného, do oboru menší strmosti. V důsledku posunutí pracovního bodu do zakřiveného oboru charakteristiky vzniká nový rušivý zjev, zvaný přeslech (cross talk).

Názvem přeslech rozumíme interferenční pochod mezi dvěma radiovými signály, který lze rozdělit na dva druhy: Jeden druh přeslechu vzniká při heterodynovém pochodu dvou signálů takových, že rozdíl jejich frekvencí leží v oboru, na nějž je naladěn přijímač. Pracuje-li na př. jedna rozhlasová stanice na vlně 1400 kc a druhá na vlně 600 kc, heterodynním pochodem obou nosných vln vznikne vlna o diferenční frekvenci 800 kc; tato bude působiti na přijímač, jestliže tento je naladěn na tuto diferenční frekvenci. Aby vznikl přeslech, je nutné, aby oba interferující signály zastihly mřížku prvé vysokofrekvenční lampy a aby charakteristika této lampy byla v pracovním bodě značně zakřivena. V tomto případě funguje prvá lampa pro přijaté signály jako anodový usměrňovač. Tento druh přeslechu lze omeziti použitím laděného vstupního kruhu mezi mřížkou prvé lampy a anténou.

Druhý druh přeslechu nastává za těchto okolností: přijímač je naladěn na silnou stanici; energie v přijímací anténě je tak veliká, že je nutno v zařízení pro regulaci síly zvuku použítí velkého záporného předpětí. Současně pak vysílá jiná silná stanice, kterou nechceme přijímati a jejíž frekvence není příliš rozdílná od přijímané stanice. V přestávkách, kdy přijímaná stanice vysílá nemodulovanou vlnu, je slyšeti zvuky, jimiž je modulována nosná vlna nežádoucího vysílače. Tento druh přeslechu, jenž je způsoben nežádoucí modulací nosné vlny žádaného vysílače, je mnohem nepříjemnější, než první druh přeslechu, neboť může nastati, když frekvence obou vysílačů nejsou příliš odlišné.

Budiž signál, který chceme přijímati,

$$e_1 = E_1 \cos \omega_1 t,$$

signál rušící (modulovaný)

$$e_2 = E_2 (1 + m_2 \sin at) \cos \omega_2 t,$$

kde m_2 je t. zv. modulační stupeň.

Předpokládejme, že zpětné působení anody na mřížku lze zanedbat (do jisté míry u lampy stíněné); pak lze, v případě nelineární charakteristiky, závislost anodového proudu na mřížkovém napětí v okolí pracovního bodu vyjádřiti rozvojem v řadu

$$i_a = A_1 e_v + A_2 e_v^2 + A_3 e_v^3 + A_4 e_v^4 + A_5 e_v^5 + \dots, \quad (9)$$

kde

$$A_n = \frac{1}{n!} \frac{d^n i_a}{de_g^n}.$$

Na mřížce působí napětí

$$e_g = e_2 + E_1 \cos \omega_1 t,$$

což dosazeno do rovnice (9) dává

$$i_a = A_1 (e_2 + E_1 \cos \omega_1 t) + A_2 (e_2^2 + 2e_2 E_1 \cos \omega_1 t + E_1^2 \cos^2 \omega_1 t) + \dots$$

V tomto výrazu nahradíme vyšší mocnosti $\cos \omega_1 t$ funkcemi více-násobného úhlu

$$\begin{aligned} \cos^3 \omega_1 t &= \frac{1}{4} \cos 3\omega_1 t + \frac{3}{4} \cos \omega_1 t, \\ \cos^5 \omega_1 t &= \frac{1}{16} (\cos 5\omega_1 t + 5 \cos 3\omega_1 t + 10 \cos \omega_1 t), \\ &\dots \end{aligned}$$

a uspořádáme podle mocností e_2

$$\begin{aligned} i_a &= A_1 E_1 \cos \omega_1 t + \frac{3}{4} A_3 E_1^3 \cos \omega_1 t + \frac{5}{8} A_5 E_1^5 \cos \omega_1 t + \dots \\ &+ e_2 (A_1 + 2A_2 E_1 \cos \omega_1 t + 3A_3 E_1^2 \cos^2 \omega_1 t + \\ &\quad + 4A_4 E_1^3 \cos^3 \omega_1 t + \dots) + \\ &+ e_2^2 (A_2 + 3A_3 E_1 \cos \omega_1 t + 6A_4 E_1^2 \cos^2 \omega_1 t + \dots) + \\ &+ e_2^3 (A_3 + 4A_4 E_1 \cos \omega_1 t + 10A_5 E_1^2 \cos^2 \omega_1 t + \dots) + \dots \end{aligned}$$

V případě, že jde o druhý druh přeslechů, musíme z posledního vzorce vybrati pouze členy obsahující frekvenci ω_1

$$(i_a)_{\omega_1} = \{(A_1 + \frac{3}{4} A_3 E_1^2 + \frac{5}{8} A_5 E_1^4 + \dots) + (2A_2 + \dots) e_2 + (3A_3 + \frac{1}{2} E_1^2 A_5 + \dots) e_2^2 + (4A_4 + \dots) e_2^3 + \dots\} E_1 \cos \omega_1 t.$$

Zbývá ještě dosaditi za e_2 . Aby byl signál po detekování slyšitelný, musí to býti signál modulovaný, t. j. musí obsahovati členy tvaru

$$E(t) E_1 \cos \omega_1 t;$$

členy obsahující e_2^2 , e_2^4 atd. vedou k proudům žádaného tvaru:

$$\begin{aligned} (i_a)_{\omega_1} &= \{(A_1 + \frac{3}{4} A_3 E_1^2 + \frac{5}{8} A_5 E_1^4 + \dots) + \\ &\quad + \frac{1}{2} E_2^2 (3A_3 + \frac{1}{2} A_5 E_1^2 + \dots)\} \\ &\cdot (1 + 2 m_2 \sin at + m_2^2 \sin^2 at) + \dots\} E_1 \cos \omega_1 t. \end{aligned}$$

Je-li m_2 malé, lze zanedbat člen obsahující $\sin^2 at$. Má tedy proud tvar

$$(i_a)_{\omega_1} = I_a (1 + m \sin at) \cos \omega_1 t.$$

Podržíme-li pouze první členy, obdržíme přibližně

$$(i_a)_{\omega_1} = S E_1 \left(1 + \frac{E_2^2 m_2}{2S} \frac{d^3 i_a}{de_g^3} \sin at \right) \cos \omega_1 t.$$

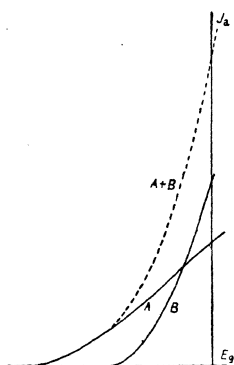
Zavádí se pojem činitele přeslechu:

$$\text{činitel přeslechu} = \frac{m}{m_2} = \frac{E_2^2}{2S} \cdot \frac{d^3 i_a}{de_g^3};$$

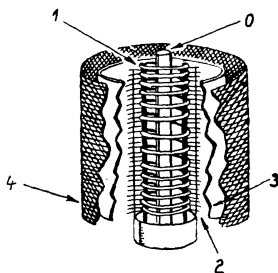
S je strmost charakteristiky.

Je patrné, že za námi učiněných předpokladů je činitel přeslechu nezávislý na amplitudě nosné vlny, již chceme přijímati, a je úměrný třetí derivaci funkce vyjadřující závislost anodového proudu na mřížkovém napětí (třetí derivaci charakteristiky) a čtverci amplitudy napětí, jímž působí nežádaná nosná vlna na mřížku.

R. 1930 Ballantine a Snow popsali zvláštní lampu, které se dnes výhradně používá ve vysokofrekvenčních stupních přijímače, opatřeného zařízením pro automatickou regulaci hlasitosti; její charakteristika je upravena tak, aby derivace vyšších řádů byly



Obr. 16.



Obr. 17.

0 katoda, 1 řídicí mřížka,
2 vnitřní stínicí mřížka,
3 anoda, 4 vnější stínítko.

malé. Kombinujeme-li dvě lampy v zapojení vedle sebe, a to jednu s malou hodnotou μ a druhou s velkou hodnotou μ , obdržíme charakteristiku jako v obr. 16. Anodový proud nenasazuje tak náhle; takováto kombinace se hodí k automatické regulaci hlasitosti.

Místo aby používal dvou lamp, Snow dosáhl toho, že jedna lampa má žádaný průběh charakteristiky, tím, že část mřížky má hrubší otvory než ostatek mřížky (obr. 17). Dolní část charakteristiky této lampy s proměnnou strmostí (také exponenciální zvané) blíží se velmi zvolna ose napětí, takže anodový proud začíná téci asi při -60 V mřížkového napětí. Neení zde žádného ostrého ohbí. Třetí derivace charakteristiky je velmi malá. Křivka probíhá téměř podle exponenciálního zákona, t. j. při vzrůstu záporného předpětí o stejné hodnoty klesá anodový proud na stejné zlomky. U této lampy lze regulaci hlasitosti prováděti téměř ideálním způsobem. Žádaného průběhu charakteristiky se dosáhne tím, že hustota mřížky, jež obklopuje katodu, směrem k jejímu středu klesá. To znamená, že část katody, která se může uplatňovati, je tím menší, čím větší je záporné mřížkové předpětí. Volíme-li na př. záporné

předpětí — 30 voltů, jsou oba konce úplně pro elektrony již zablockovány; elektrony mohou proletovat pouze středními otvory. Důsledkem toho je, že strmost znamenitě poklesla; také ovšem průnik se mění.

Lampu s exponenciální charakteristikou lze pokládati za řadu lamp o různých průnicích, jež jsou spojeny vedle sebe. Při velkém záporném předpětí jsou části o malém průniku vyřazeny z funkce. Je tedy nejen strmost, nýbrž i průnik s mřížkovým předpětím proměnný; zesilovací činitel s rostoucím záporným předpětím klesá. Odtud americký název lampy „variable Mu“. U nás se prodávají lampy, mající popsaný průběh charakteristiky, pod názvem selektody. Vysokofrekvenční pentoda s popsanou charakteristikou sluje pentoda-selektoda.

Snad se na první pohled zdá, že sestrojením lampy s proměnnou strmostí se vyhání čert ďáblem, t. j. že bylo sice odstraněno ostré dolní ohbí charakteristiky, ale v náhradu za to, že je celá charakteristika nelineární; to — na první pohled se zdá — musí vésti ke zkreslení. Toto tvrzení by bylo oprávněné, kdyby šlo o nízko-frekvenční zesilovač. Při vysokofrekvenčním zesílení spojitě zakřivení charakteristiky nemá škodlivého vlivu. Malé zakřivení charakteristiky vede tu ke vzniku harmonických nosné vlny; na modulaci se nic nemění. To nevádí, neboť ony harmonické lze vazbovými články mezi lampami opět vyfiltrovati. Je-li charakteristika více zakřivená, vzrůstá modulace nosné vlny. To ale také nevádí, teprve tehdy, když je charakteristika lampy tak zakřivená, že vzrůst modulace působí omezení největších amplitud, nastává zkreslení. Tento poslední případ však nemůže u lampy s exponenciální charakteristikou nastati.

Jsou tedy dvě výhody lampy s proměnnou strmostí: jsou jí odstraněny přeslechy a provádí se jí pohodlně regulace hlasitosti příjmu.

Americké typy lamp. Typy kombinované.

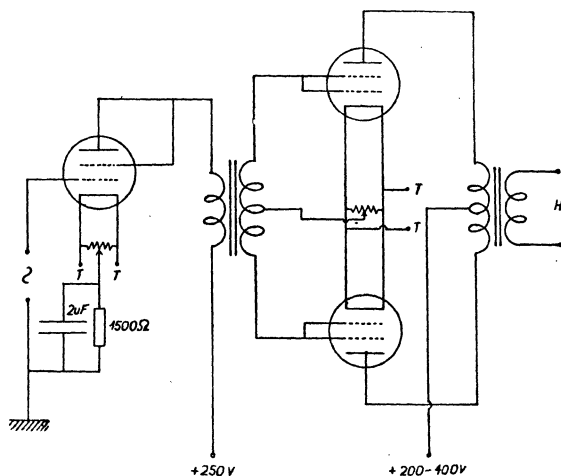
Dvumřížková lampa 46 (dual grid power amplifier) je zesilovací lampa určená pro t. zv. *B*-zesilovače.

Známe totiž tři třídy zesilovačů: *A*, *B* a *C*.

Názvem *A*-zesilovače označujeme zesilovače, v nichž mřížkové předpětí a zesilované střídavé napětí je takové, že anodový proud stále protéká lampou. Ideální zesilovač třídy *A* je takový, kde střídavá složka anodového proudu je co do tvaru věrným (ovšem zvětšeným) obrazem zesilovaných signálů a kde anodový proud teče po celou periodu střídavého proudu. *A*-zesilovače jsou málo účinné a mají malý výstupní výkon.

Názvu *B*-zesilovače používáme pro zesilovače, kde mřížkové předpětí se volí tak, že není-li střídavého napětí na mřížce, anodový

proud právě neteče; vloží-li se na mřížku střídavé napětí, protéká tedy anodový proud vždy jen po dobu půl periody. Ideální *B*-zesilovač je ten, kde střídavá složka anodového proudu je přesným obrazem zesilovaného napětí po dobu půl periody, kdy mřížka je na méně negativním potenciálu, než když nebylo vloženo střídavé napětí; anodový proud teče jen po dobu půl periody. Zesilovače třídy *B* mají střední účinnost a střední výstupní výkon.



Obr. 18.

Zesilovače třídy *C* vyznačují se tím, že záporné mřížkové předpětí se volí větší, než je nutno, aby právě netekl anodový proud, když na mřížce není střídavé napětí; protéká tedy anodový proud lampou po dobu menší než půl periody. Používá se jich, kde se žádá velká účinnost a kde se neklade důraz na lineární závislost mezi vstupním napětím a výstupním proudem.

Při nízkofrekventních zesilovačích, kde se klade důraz na malé zkreslení, pouze zesilovače třídy *A* dovolují použití v jediném stupni jediné lampy. Zesilovače třídy *B* lze použít v nízkofrekventní části pouze ve spojení protitaktním (push-pull, dvě lampy v jediném stupni, uvidíme v obr. 18).

Pracuje-li lampa v části charakteristiky odpovídající zápornému mřížkovému předpětí, je potřebí vysokého anodového napětí, má-li být příslušný obor charakteristiky dosti dlouhý. Podářilo se sestrojiti lampu, jež pracuje převážně v oboru kladných napětí na mřížce; proto se vystačí s malým anodovým napětím. Je-li však mřížka na kladném potenciálu, teče mřížkový proud,

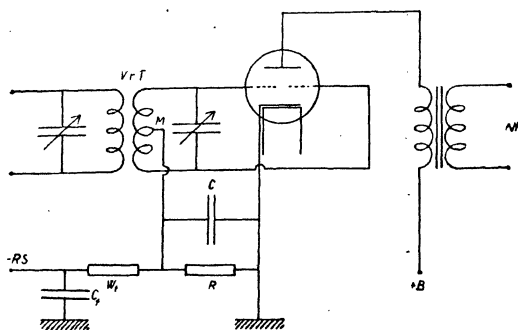
což by mohlo vésti ke zkreslení. Toho se zbavíme, použijeme-li spojení push-pull (protitaktového) a vhodného výstupního transformátoru. Obě potřebné lampy (v našem případě triody) lze kombinovat v jedné baňce (duální trioda Tungstram CB 220).

Lampy 46 se používá obyčejně ve dvou stupních nízkofrekventního zesilovače po sobě; první stupeň (zvaný „driver“) pracuje jako *A*-zesilovač, druhý stupeň (koncový) jako *B*-zesilovač.

Obě mřížky lampy 46 jsou vyvedeny každá zvlášť z lampy. Má-li lampa pracovat jako *B*-zesilovač, spojí se obě mřížky mezi sebou. Toto spojení způsobí, že průnik lampy je tak malý, že není potřebí zvláštního mřížkového předpětí, má-li lampa pracovat jako *B*-zesilovač. Má-li lampa pracovat jako *A*-zesilovač, spojí se mřížka bližší anodě s anodou, aby průnik byl veliký. V tom případě je nutné zvláštní mřížkové předpětí. Je samozřejmé, že na koncovém stupni, kdy pracuje lampa jako *B*-zesilovač, je nutno použití dvou lamp ve spojení push-pull (obr. 18).

Wunderlichova lampa (obr. 19) je trioda, kde mezi závity obvyklé mřížky je navinuta ještě jedna mřížka, odděleně vyvedená z lampy. Této lampy lze použít jako dvoucestného audionu, kde proud vysoké frekvence, tekoucí anodovým kruhem, je zanedbatelně malý. Spojení je patrné z obr. 19.

Sekundární strana vysokofrekventního transformátoru VFT posledního vysokofrekventního stupně se spojí v protitaktu k oběma



Obr. 19.

mřížkám, stejně vzdáleným od katody. Elektrický střed *M* sekundáru transformátoru je spojen přes odpor *R* s katodou. Tak je možno, že lampa zastává tři funkce: pracuje 1. jako dvoucestný (mřížkový) usměrňovač, podobně jako bylo popsáno u duplex diody, 2. jako jedноступňový nízkofrekventní zesilovač s normální triodou a 3. jako regulátor hlasitosti. Je-li *M* elektrickým středem sekundáru transformátoru, protéká zanedbatelně slabý proud vysoké frekvence anodovým kruhem. To je způsobeno tím, že vysokofrekventní napětí vkládané na obě mřížky jsou stejně velká, ale vzájemně ve fázi posunutá o 180° . Tím se ruší jejich vliv na anodový proud. Toto uspořádání se středním vývodem transfor-

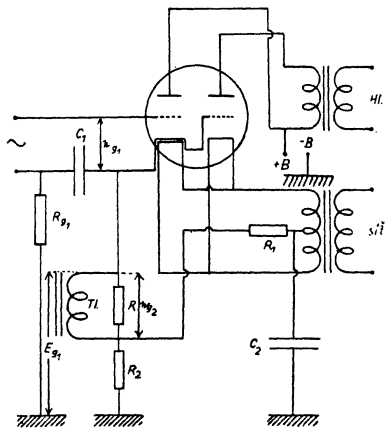
mátoru zvětšuje výstupní napětí a vylučuje možnost současného anodového a mřížkového usměrňování.

Měření ukazují, že usměrněný mřížkový proud ve Wunderlichově lampě nezávisí téměř na anodovém napětí. Tato okolnost spolu s tím, že napětí na obou mřížkách jsou posunuta ve fázi o 180° brání, aby současně nastávalo anodové usměrňování; lze tedy uvažovati naprosto nezávisle usměrňovací a zesilovací činnost lampy.

Usměrněný proud způsobí spád napětí na odporu R . Volí-li se vhodně mřížkový odpor R a mřížkový kondensátor C , je spád napětí na tomto agregátu, způsobený usměrněným mřížkovým proudem, téměř přesně úměrný amplitudě vysokofrekvenčního napětí a je tedy přesným obrazem modulační obalové křivky. Spád napětí na zmíněném agregátu sestává ze stejnosměrného spádu, úměrného amplitudě nosné vlny, a střídavé složky, jež se mění v taktu modulační frekvence. Stejnosměrná složka poskytuje tak záporné předpětí pro obě mřížky pro funkci lampy jako nízkofrekvenční zesilovač. Pro nízkofrekvenční variace napětí jsou obě mřížky spojeny vedle sebe (napětí na nich jsou ve fázi). Ve funkci nízkofrekvenčního zesilovače pracuje lampa jako kdyby měla jen jednu mřížku. Spádu napětí na R lze (ovšem po vyfiltrování nízkofrekvenční složky pomocí W_1 a C_1) použítí k regulaci hlasitosti.

Lampa označovaná **Triple-Twin-Tube (295)** (triodové dvojče) obsahuje v jedné baňce dva normální triodové systémy; ty lze snadno spojit jako nízkofrekvenční zesilovač (obr. 20).

Prvá lampa je nepřímě žhavaná, druhá přímo. Katoda první lampy je spojena uvnitř baňky s mřížkou druhého systému. Vstupní strana první lampy pracuje obvyklým způsobem, neboť v prvním systému neteče mřížkový proud; rozdíl je pouze v tom, že katoda má vyšší potenciál, než je potenciál země. To znamená, že také vstupující střídavé napětí e_g , musí se měnití kol hodnoty vyšší, než je potenciál země. Střídavá napětí dospějí k mřížce přes malý kondensátor C_1 . Mřížkové předpětí E_g , se získá spádem stejnosměrného napětí na tlumivkovém agregátu a odporu R_2 ; nutno si uvědomiti, že pro stejnosměrnou složku jsou v tlumivkovém agre-



Obr. 20.

gátu zapojeny paralelně k tlumivce odporu R a odpor mřížkového kruhu druhého systému dvojjete. Spád napětí na tlumivce Tl je téhož smyslu jako spád napětí na R_2 a je obráceného smyslu než spád napětí na R_1 ; ale spád napětí na Tl je nepatrný, takže jej lze zanedbat.

Střídavé napětí e_{q_1} , vkládané mezi mřížku a katodu prvního systému, vyvolá na odporu R v anodovém kruhu (všimni si, že záporný pól anodové baterie je uzemen) téhož systému zesílené napětí e_{q_2} . Ježto katoda prvního systému je spojena přímo s mřížkou druhého systému, leží napětí e_{q_2} také mezi katodou a mřížkou druhého systému. Odpor R_1 obstarává předpětí pro mřížku druhého systému. Kondensátor C_2 představuje přemostění pro střídavé proudy a brání škodlivé vazbě mezi mřížkou a anodou.

O diodách a duplex-diodách byla řeč již při usměrňovačích (diodách).

Vidíme, že mezi americkými lampami vyskytují se typy, vykazující speciální uspořádání elektrod, i typy, jež obsahují několik lampových systémů v jedné baňce; z nich o mnoha (na př. duplex-dioda-pentoda) jsem se podrobně vůbec nezmiňoval.

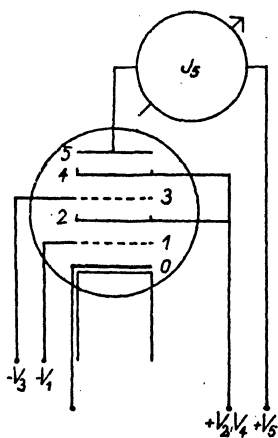
Hexoda. Pentagrid-converter. Hexoda je elektronova lampa o šesti elektrodách, t. j. anodě a katodě, mezi nimiž jsou čtyři mřížky. Katodu lze ohřívati buď střídavým proudem nebo stejnosměrným.

Směšovací hexody se používá na směšovacím stupni superheterodynového přijímače. Protifadingová hexoda představuje zlepšenou elektronovou lampu s exponenciální charakteristikou, jaké se používá při automatické regulaci hlasitosti reprodukce.

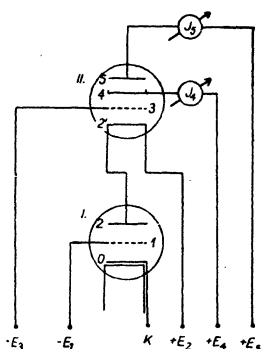
Funkci hexody pochopíme, vzpomeneme-li si na výklad funkce elektronové lampy o čtyřech elektrodách (tetrody) s mřížkou proti prostorovému náboji (obr. 11a, c). Katoda K je obklopena mřížkou na ochranu proti prostorovému náboji G_1 , řídicí mřížkou G_2 a anodou A , jež jsou uspořádány koncentricky. Je známo, že elektrony vylétující z katody vytvoří u triody prostorový náboj (mrak elektronů), který způsobuje zmenšení strmosti charakteristiky triody. Aby se tento neblahý vliv prostorového náboje zmenšil, vkládá se mezi řídicí mřížku G_2 a katodu K další pomocná elektroda, která je udržována na stálém pozitivním potenciálu. Pozitivní napětí elektrody G_1 urychlí elektrony, které většinou prolétnou otvory mřížky G_1 . Kdyby napětí zbývajících dvou elektrod bylo rovno nule ($E_{G_2} = 0$, $E_A = 0$), byly by elektrony v dalším prostoru bržděny, až konečně vlivem pole uvnitř lampy by se obrátily a (po případě po jistém kmitavém pohybu otvory mřížky G_1) by všechny dospěly na mřížku G_1 .

Plochu, ve které elektrony ztrácejí svou rychlost a se obracejí, budeme zvatí plochou nulovou (plochou nulové rychlosti). Ježto rychlost elektronů před touto plochou je velmi malá, je tento prostor v lampě elektrony nejbohatší.

Předpokládejme, že E_a je kladné, na př. $E_a = E_{g_1}$. Je-li mimo to $E_{g_2} = 0$, prolétnou elektrony urychlené napětím E_{g_1} otvory prvé mřížky a dospějí k anodě, tvořící proud I_a . Je-li napětí E_{g_2} záporné, kompensuje se podle velikosti tohoto napětí vliv anody více či méně a elektrony prolétnuvší mřížkou G_1 v důsledku výsledného pole v lampě budou brzděny, takže se vytvoří opět mezi G_1



Obr. 21.
(Čti E místo V .)



Obr. 22.

a G_2 plocha elektrony velmi bohatá, jejichž rychlost je velmi malá, po případě nulová. Tuto (válcovou) plochu, koncentrickou s mřížkou na ochranu proti prostorovému náboji lze pokládati za virtuální katodu. Představuje novou, co do poloměru zvětšenou katodu, jež je vyvolána napětím E_{g_1} a brzdícím polem E_{g_2} ; není-li napětí E_{g_1} , neexistuje.

Závislost anodového proudu I_a a proudu prvé mřížky I_{g_1} na napětí řídicí mřížky (E_{g_1}) je znázorněna na obr. 12. Změnu proudu k příslušné elektrodě připadající na změnu napětí na řídicí elektrodě o 1 volt nazýváme strmostí příslušné charakteristiky (o které elektrody jde, vyjadřujeme indexy). Strmost křivky I_a je kladná, křivky I_{g_1} záporná (I_{g_1} se zmenšuje, vzroste-li E_{g_1}). V druhém případě mluvíme o klesající charakteristice na rozdíl od stoupající charakteristiky v prvním případě.

Protifadingová hexoda (obr. 21) se skládá vlastně ze dvou stíněných lamp: 0, 1, 2, 3 je první stíněná lampa s katodou 0, řídicí mřížkou 1, stínicí mřížkou 2 a anodou 3. Druhá stíněná lampa má anodu 5, 4 je stínicí mřížka a 3 je řídicí mřížka. Katoda této druhé stíněné lampy je virtuální, a to mezi elektrodami 2 a 3; stínicí mřížka 2 zastává funkci pomocné mřížky, jež dává vznik virtuální katodě.

Lze tedy hexodu nahraditi dvěma elektronovými lampami podle obr. 22. Napětí E_2 a E_1 způsobují určitý anodový proud I_2 lampou I . Tento proud je současně topným proudem lampy II . Emise katody závisí na její teplotě, t. j. na velikosti topného proudu. V našem případě emise katody 2' závisí na anodovém proudu lampou I , jenž je řízen napětím E_1 . Chová se tedy katoda 2' podobně jako virtuální katoda, jejíž existenci je nutno v hexodě předpokládati.

Je-li E_3 konstantní, proudy I_2 , I_4 a I_5 závisí na napětí E_1 . Přirozeně závisí I_5 a I_4 také na E_3 . Ukazuje se, že křivky vyjadřující závislost I_5 na napětí E_1 stoupají tím strměji, čím E_3 je méně negativní. Strmost těchto charakteristik jeví se tedy závislá na napětí E_3 ; čím E_3 je více záporné, tím je strmost menší. Vhodným uspořádáním elektrod lze dosáhnouti toho, že strmost lze měniti v rozmezí od největší strmosti $S_{\text{norm.}} = 2 \text{ mA/volt}$ až do hodnoty nejmenší $S_{\text{min.}} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ mA/volt}$. Klesne-li napětí E_3 z 0 na -7 voltů, klesne strmost na $1/10000$ původní hodnoty. Ježto zesílení lampou závisí na strmosti charakteristiky, je patrné, že lze změnou mřížkového napětí o 7 voltů zmenšiti zesílení lampou v poměru 1 : 10000.

Ve skutečném provedení vine se mřížka 1 stejným způsobem jako u dosavadních lamp s exponenciální charakteristikou. E_1 se pak použije ke spouregulaci. Charakteristiky pak mají exponenciální průběh; E_3 určuje zakřivení jednotlivých charakteristik. Měníme-li napětí E_1 a E_3 tak, že $E_1 = E_3$, dostaneme pracovní charakteristiku označenou a v obr. 23; volíme-li $E_1 = 2E_3$ obdržíme křivku b . Vhodnou volbou napětí E_1 a E_3 lze dosáhnouti vhodného žádaného průběhu výsledné charakteristiky.

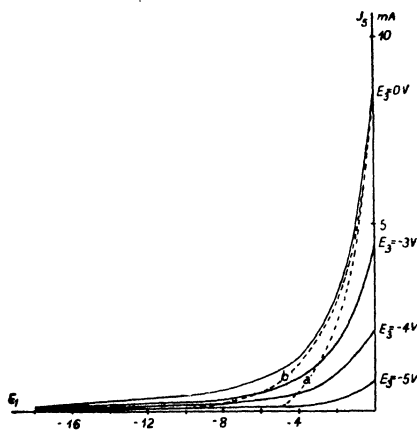
Protifadingová hexoda je tedy lampa s exponenciální charakteristikou, jež umožňuje regulaci zesílení ve velmi rozsáhlých mezích při poměrně malých změnách předpětí (0 až 7 resp. 15 voltů). Změna předpětí se provádí nejen na řídicí, nýbrž ještě na další pomocné mřížce.

Směšovací hexoda. V přijimači, založeném na superheterodynním principu, je důležitý t. zv. směšovací stupeň (obr. 24).

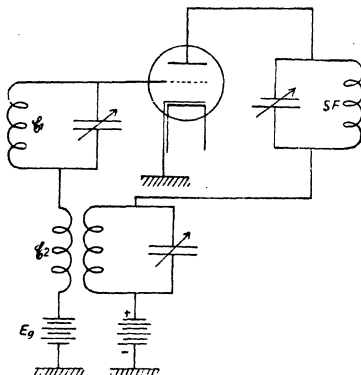
Anténou přijatá vlna cizího vysilače se přenáší na naladěný mřížkový kruh. Zpětnou vazbou vyrobí se touž lampou oscilace \mathcal{C}_1 ,

jež se přenáší na týž mřížkový kruh. Aby se docílilo usměrnění, volí se vhodně mřížkové předpětí E_g tak, aby pracovní bod na mřížkové charakteristice ($I_a - E_g$ -charakteristice) ležel v dolním ohbí této charakteristiky.

Interferenční pochod obou frekvencí (vysoké, modulované z přijímané stanice a vysoké, nedomulované, vzniklé v přijímači) je dosti složitý. Usměrněním, tím, že se vhodně nastaví pracovní bod, po potlačení vysoké a nízké frekvence, jež také vzniká,



Obr. 23.



Obr. 24.

vznikne střední frekvence modulovaná původní modulační frekvencí. Tato střední frekvence se vhodným filtrem SF oddělí a pak dále zesiluje a znovu usměrní.

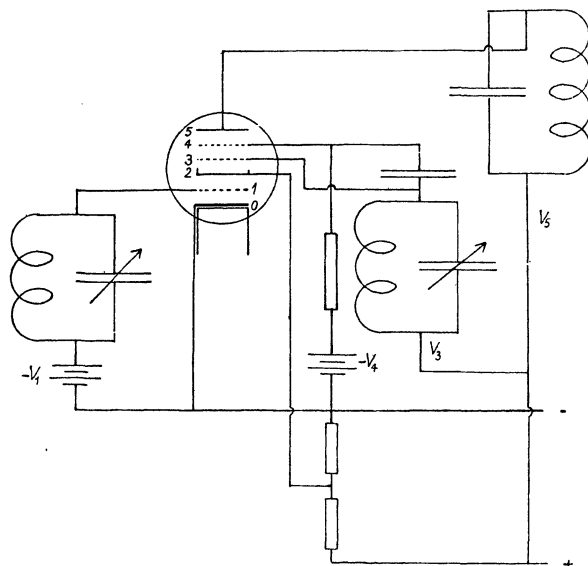
Hlavní vadou popsaného uspořádání je, že pomocná vysoká frekvence dostává se do mřížkového kruhu a odtud může dospět do antény, a tak mohou být okolní přijímače rušeny. Přirozeně vznikají usměrněním harmonické vlny interferující frekvence i cizí, dopadající frekvence, což může značně rušit. Samozřejmě vyžaduje vhodné dimensování součástek, má-li lampa dobře sloužit dvěma účelům (usměrnění a směšování), značné péče.

Průslušné uspořádání pro směšovací hexodu je patrné z obr. 21. Pro šest elektrod směšovací hexody zavedeme toto označení: 0 katoda, 1 prvá řídicí mřížka, 2 stínící mřížka, 3 prvá anoda, 4 druhá řídicí mřížka, 5 druhá anoda.

Představme si opět naši lampu složenou ze dvou lamp: prvá je stíněná lampa a má katodu 0, anodu 3; 1 je řídicí mřížka, 2 stínící. Druhá lampa je v zapojení na ochranu proti prostorovému náboji a má anodu 5, 4 je řídicí mřížka a 3 je mřížka na ochranu proti

prostorovému náboji. Virtuální katodu si můžeme mysliti vně mřížky proti prostorovému náboji (mezi 3 a 4).

Proudy I_2 , I_3 a I_5 závisí na E_1 , jsou-li E_2 , E_3 , E_4 a E_5 udržovány stálé. I_3 a I_5 se jeví jako funkce E_4 jako u obyčejné lampy s ochrannou mřížkou, a to tak, že s rostoucím záporným napětím E_4 (t. j. je-li negativně větší), roste I_3 a I_5 klesá. E_4 tedy diriguje rozdělení proudů I_3 a I_5 , E_1 naproti tomu dosuje všechny jednotlivé proudy. Lze tedy prvou řídicí mřížku 1 označiti jako „dosující“ mřížku a druhou řídicí mřížku 4 jako „přidělující“ mřížku.



Obr. 25. (Čti E místo V .)

V obr. 25 každý kruh je naladěn na jinou frekvenci a také každému je přidělena jiná elektroda. Kruh laděný na přijímanou frekvenci je připojen k první řídicí mřížce, kruh laděný na pomocnou frekvenci je spojen s první anodou. Žádané zpětné vazby se dosáhne využitím záporné strmosti $S_4^{(3)}$. Část interferujícího napětí jakožto napětí řídicí působí na druhé řídicí mřížce (čtvrtá mřížka, čítáme-li od katody). Oscilační kruh, laděný na střední frekvenci je spojen s druhou anodou.

Podle definice strmosti platí, že

$$\mathfrak{S}_5 = S_1^{(5)} \mathfrak{E}_1. \quad (10)$$

$S_1^{(5)}$ není konstanta, mění-li se E_4 , neboť také E_4 řídí anodový proud. Lze přibližně psáti, že

$$S_1^{(6)} = k\mathcal{E}_4.$$

Dosazením do (10) dostaneme

$$\mathcal{S}_5 = k\mathcal{E}_1\mathcal{E}_4. \quad (11)$$

Předpokládáme-li, že \mathcal{E}_1 i \mathcal{E}_4 jsou ryze sinusová napětí

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_1 &= A \sin \omega_1 t, \\ \mathcal{E}_2 &= B \sin \omega_2 t, \end{aligned}$$

platí

$$I_5 = kAB \sin \omega_1 t \sin \omega_2 t = K \{ \cos (\omega_1 - \omega_2) t - \cos (\omega_1 + \omega_2) t \}.$$

Vidíme, že dostaneme přímo vlnu střední frekvence bez usměrnění. Tento způsob superposice sluje multiplikativní [viz vzorec (11)]; na rozdíl od způsobu prvního (aditivního) je tento způsob prost harmonických vln pokud se pracuje v přímé části charakteristiky. Předpětím E_1 se nastaví pracovní bod na prostředek přímé části $I_5 - E_1$ — charakteristiky a předpětím E_4 pracovní bod, kol něhož se mění heterodynamující napětí, na střed $I_5 - E_4$ — charakteristiky. Ve skutečnosti je věc poněkud složitější, ježto přijímaná vlna je modulovaná.

Okolnost, že kapacita C_{13} (mezi první anodou a první řídicí mřížkou) je stínící mřížkou 2 velmi snížena, brání zpětnému působení heterodynamující frekvence na vstupní kruh. Nutno dbáti na to, má-li se předností lampy náležitě využít, aby amplitudy vstupního napětí \mathcal{E}_1 nevybočily z přímé části $I_5 - E_1$ — charakteristiky.

V Americe prodávané lampy Pentagrid Converter, kterých se používá na směšovacím stupni, mají, jak název ukazuje, 5 mřížek. Jsou to tedy v našem smyslu heptody. Funkce jednotlivých elektrod (v pořadí od katody) je patrná z označení: katoda, řídicí mřížka oscilátoru, anoda oscilátoru, první stínící mřížka, (vlastní) řídicí mřížka a druhá anoda. Na řídicí mřížku se vkládá předpětí 3 až 50 voltů, čímž se mění zesílení v poměru 1 : 200. Tímto ovlivňováním řídicí mřížky vyvolané zpětné působení na oscilátor se odstraňuje vhodným zapojením. Kapacita řídicí mřížky vůči oscilátorové mřížce je 0,15 cm, řídicí mřížky vůči oscilátorové anodě 0,25 cm, takže se zde neklade takový důraz na zamezení vyzářování.

Catkin lampy. Všechna posud popisovaná zlepšení v konstrukci lamp se týkají katody, průběhu charakteristik lamp, vytvoření nových druhů lamp, jež kombinací elektrod (hexoda) mohou zastávat více funkcí, i kombinace různých typů lamp v jedné baňce. Základní vnější tvar lamp — skleněná baňka, chovající uvnitř elektrody — byl však zachován. Skla se původně používalo proto, aby bylo možno kontrolovat zahřívání vlákna. V přítomné době, kdy baňka se obaluje kovovým obalem, znamená

používání skla jako vnější obálky systému elektrod dokonce nevýhodu, neboť rozměry lampy nesmějí klesnouti pod určitou hranici, aby vyzařování tepla vyvolaného ohříváním elektrod bylo dosti veliké.

Aby se docílilo pohodlného chlazení anody vysílacích lamp, byla jejich anoda učiněna součástíkou obalu lampy, takže ji bylo možno pohodlně ochlazovati. Tím, že anoda se chladí proudící vodou, bylo umožněno konstruovati lampy až pro výkon několika set kW.

Myšlenky učiniti anodu součástíkou baňky je použito při konstrukci přijímacích lamp, označených názvem catkin (zkratka cat značí lampu, jež má anodu chlazenou vodou — cooled anode transmitter; koncovka kin značí deminutivum). Kovové lampy lze jednodušeji a tedy levněji vyráběti, jsou pevnější a menší než lampy skleněné, a ježto je většinou u nich použito jiného isolačního materiálu než skla, zmenšily se i ztráty dielektrické.

Anoda je měděná. Ježto měď má jiný koeficient roztažnosti než sklo a anodu je nutno vzduchotěsně napojiti na skleněnou dolní část lampy, je anoda zbrušena v ostrou hranu tak tence, že se měď při změně teploty může ohýbat, ale spojení se neporuší. Spojení se provede takto: anoda se po vybroušení očistí od mastnoty a pak žihá ve vodíkové atmosféře, aby se zbavila plynů. Pak se vybroušená část ponoří do roztoku boraxu a opět žihá. Tak se vytvoří na povrchu vrstvička boraxového skla. Skleněná trubice, jež má tvořiti spodek lampy, se zahřívá na horním konci a když sklo změkne, přitiskne se k ní zahřátý konec anody, pokrytý onou vrstvičkou boraxového skla. Svařené místo se znovu zahřívá a anoda spolu se skleněnou trubicí se uvede do rotace kolem vlastní osy. Tím přilne sklo pevně k anodě.

Uvnitř lampy se nepoužívá skleněných podpor elektrod, nýbrž slídových. Přívodní dráty k elektrodám jsou niklové, poměděné; mají tedy stejný koeficient tepelné roztažnosti jako sklo.

II. oddělení fyzikálního ústavu Karlovy university v Praze.

Seznam literatury k podrobnějšímu studiu.

H. Barkhausen: Lehrbuch der Elektronen-Röhren und ihrer technischen Anwendungen, 4. vyd. 1931 a 1933. — F. E. Terman: Radio Engineering, 1932. — E. L. Chaffee: Theory of Thermionic Vacuum Tubes 1933. — Funktechnische Monatshefte 165, 1933. — Proc. Inst. Radio Eng. 20, 1149, 1932; 21, 1075, 1933; 18, 2102, 1930. — Radio Amateur: 6. seš., 10. roč., 1933. — Elektrotechn. Obzor XXII, 460, 1933. — R. C. A. Radiotron-Cunningham: Radio Tube Manual.