

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

Augustin Žáček

Elektronové lampy v radiotelegrafii

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 50 (1921), No. 4-5, 326--351

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/123794>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1921

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>

průsečné křivky poznáváme, pošineme-li počátek soustavy souřadnic do středu tětivy p, q_1 .

Jak z předešlého patrně, jest tvar hyperboly závislý na veličinách r, v, d ; ježto rovnice I. obsahuje stálé veličiny $d, t\gamma\alpha = \frac{v}{r}$, jest pronik dvou rotačních ploch kuželových, jichž povrchové přímky svírají se základnou též úhel α , při stálé vzdálenosti d obou vrcholů v a v' , táž hyperbola, jejíž rovina jest kolmá k ose X ($//$ s třetí hlavní průmětnou).

Elektronové lampy v radiotelegrafii.

August Žáček.

1. Zavedení elektronových lamp v různých jich funkcích do bezdrátové telegrafie znamenalo začátek neobyčejného rozmachu a nétušeného zdokonalení radiotelegrafie. Stačí jen vzpomenouti, jakou změnu způsobila elektronová lampa na přijímací stanici: místo nespolehlivých krystalových detektorů užívá se nyní na moderních přijímacích stanicích k přijímání tlumených vln naprosto spolehlivých detektorů lampových. Ona část, jež z úhrnné energie, vyslané do prostoru vysílací stanic, do padá na stanici přijímací, jest pravidelně extrémně nepatrná. Lampovým sesilovačem, jenž pracuje jako nehmotné relais, lze tuto energii mnohonásobně zvýšiti; tím se však neobyčejnou měrou zvětší dosah vysílacích stanic bez jakéhokoliv zvýšení jich výkonnosti. A také přijímání pomocí uzavřených kondensátorových kruhů (t. zv. rámových antenn), jež mají proti obyčejným antennám tolik předností, jest umožněno jedině tím, že se nepatrná energie, jež se rámem zachycuje, vysokofrekvenčním lampovým sesilovačem dostatečně zvětší. V dřívějších letech měla radiotelegrafie velké obtíže s přijímáním depeší, vysílaných netlumenými vlnami. Ty, jak známo, pro svoji vysokou frekvenci na telefon nepůsobí; s druhé strany však aparáty (tikker, smykač), jimiž se spojitý sled vln přerušuje a tím značky stávají slyšitelnými, pracují velmi nespolehlivě. Jistě proto nepřeháníme, řekneme-li, že k vítězství vln netlumených nad tlumenými

v radiotelegrafii velkou měrou přispělo užívání heterodynů, jimiž se umožnilo pohodlné a zcela bezpečné přijímání netlumených vln záchvěvovou metodou.

Nejen na přijímací stanici způsobila elektronová lampa velké změny, ale i na straně vysílací. Již dnes staví se totiž pro vysílací stanice o malém a středním výkonu výborně fungující lampové generátory netlumených vln, u nichž je frekvence dána konstantami oscilujících kruhů a je tedy naprosto konstantní. Proto zvolna vytlačují Poulsenův oblouk.

Že také radiotelefonie pomocí lampových generátorů jest na nejlepší cestě k dokonalému řešení, ukazují nejnovější úspěšné pokusy. Rovněž problém mnohonásobné telegrafie a telefonie podél vedení byl v poslední době úspěšně řešen i pro praxi pomocí elektronových lamp.

Pro tento velký význam elektronových lamp nebude zajištěno od místa. podám-li v dalším jednak krátký výklad fyzikálních pochodů v elektronových lampách, jednak vyložím-li různá užití lamp a příslušná spojení, jak se jich v praxi užívá.

Vzhledem k čtenářstvu, pro něž je tento článek určen, budou naše výklady zcela elementární, beze všech matematických vzorců.

2. *Z historie elektronových lamp.* Předem chci se zmíniti několika slovy o vývoji elektronových lamp: Na prvním místě nutno jmenovati Edisona, který již r. 1884 objevil ventilový účinek na žárovce, obsahující vedle žhoucího vlákna další elektrodu. Později studoval Wehnelt vlastností vakuových trubic se žhoucí katodou, pokrytou oxidy alkalických zemin, a dal si v lednu 1904 chrániti patentem usměrňovač, založený na tomto principu. Rok na to (1905) užil Flemming tohoto uspořádání jako detektoru s tím pouze rozdílem, že užíval obyčejné žhoucí katody, bez povlaku oněch oxidů. R. 1907 dal si patentovati De Forest nový lampový detektor, jenž měl vedle katody a anody ještě další pomocnou elektrodu. Na možnost, užití lampy o 3 elektrodách jako relais, první poukázal r. 1906 v. Lieben; příslušné patenty byly jemu a jeho spolupracovníkům — Reiszovi a Straussoví — uděleny r. 1910. Vhodné tvary třetí elektrody pocházejí od Schlömilcha, Rounda a Tiegersiedta (1913 a 1914). Když

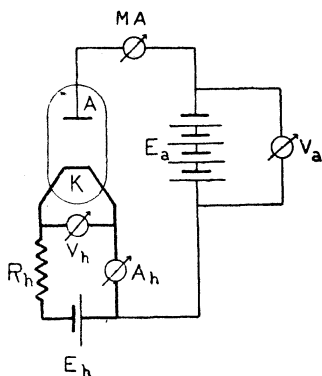
vešel v. Liebenův objev v širší známost, upravil také De Forest svoji detektorovou lampu jako relais. Kdežto lampy dosavad užívané měly poměrně malé zředění, upozornil Langmuir na velké přednosti lamp s vakuem extrémně vysokým. Meissner udal r. 1913 pro konstrukci lampových generátorů neobyčejně důležitý princip zpětného spřažení, jehož se nyní u lampových generátorů všeobecně užívá.

3 *Fyzikální pochody v elektronových lampách.* Tak zvané elektronové lampy jsou vakuové trubice o extrémně vysokém vakuu (ca 10^{-4} mm i vyšším) s dvěma i více elektrodami. Kdežto při mírném zředění stává se obsah trubice vodivým tím, že v elektrickém poli mezi elektrodami nabývají nabitě částice tak značných rychlostí, že nárazem na neutrální molekuly plynu je rozrážejí na část nabitou pozitivně a na část negativní (ionisace nárazem), nenastává při extrémních zředěních tato automatická ionisace, obsah trubice zůstává nevodivým. Lze ho však snadno učiniti vodivým uměle známým způsobem: uvedeme-li totiž jednu elektrodu (na př. elektrickým proudem) do bílého žáru, začne žhoucí elektroda vydávati ze svého povrchu negativní částice elektriny (elektrony), jež sprostředkují transport elektriny lampou, vnitřek lampy jest pak i za nejvyššího vakua vodivým.

Představme si pro jednoduchost, že máme s počátku lampu pouze s jedinou elektrodou. Je-li teplota vlákna dostatečně vysoká, nabývají elektrony, volně se ve vlákně pohybující, tak značných rychlostí, že vystupují s různými rychlostmi z povrchu elektrody ven do okolního prostoru a tvoří kolem žhoucího vlákna negativní prostorový náboj. Působením tohoto náboje jest část elektronů, nově z vlákna vystupujících, hnána k němu zpět a nucena vrátiti se do elektrody. Za konstantní teploty vlákna vytvoří se brzy t. zv. dynamická rovnováha, t. j. do elektrody vrací se právě tolik elektronů, kolik jich za stejnou dobu z elektrody vystupuje. Ježto elektrony vystupují z elektrody s velmi rozdílnými rychlostmi, má prostorový náboj od nich pocházející největší hustotu v bezprostřední blízkosti vlákna, kudy musí proběhnouti všechny elektrony, menší ve větších vzdálenostech od vlákna, kam dojdou jenom elektrony vymrštěné z elektrody rychlostí větší. S hustotou prostorového náboje jde paralelně

jeho snaha, zaháněti nově vystupující elektrony zpět do elektrody: v sousedství žloutého vlákna jest tato síla největší, se vzdáleností od vlákna se zmenšuje.

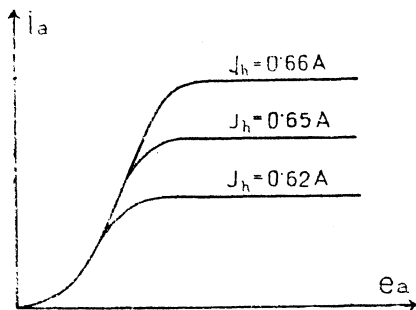
Představme si dále, že lampa obsahuje vedle katody, rozehřavené elektrickým proudem do bílého žáru, další elektrodu, zvanou anodou (obr. 1.). Katoda bývá pravidelně z rovného wolframového drátku; anoda mívá pak nejčastěji tvar pláště kruvého válce, jehož osu tvoří katoda. Má-li katoda jiný tvar, bývá anodou rovinná deštička. Pozorujme nyní, co se v lampě děje: Některé elektrony jsou z katody vymršťovány tak značnou rych-



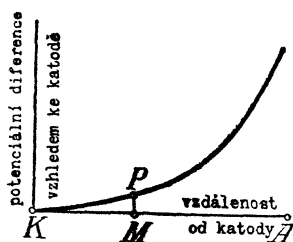
Obr. 1.

lostí, že doběhnou až k anodě a způsobí tak v galvanometru MA , zařazeném do vedení mezi anodou a katodou, velmi slabý proud („anodový“). Poněvadž elektrony jsou negativní částice elektřiny a postupují v lampě od žhoucí katody k anodě, má proud v lampě směr opačný, než je směr postupujících elektronů, t. j. od anody ke katodě. Připojíme-li anodu na pozitivní pól „anodové baterie“ E_a , jejíž negativní pól připojíme ke katodě, vzniká mezi katodou a anodou elektrické pole, jež puď elektrony od katody k anodě a působí tak proti tendenci prostorového náboje, jenž se snaží zaháněti nově vystupující elektrony do katody zpět. Je-li potenciální diference anody vůči katodě dostatečně vysoká, převládá působení elektrického pole mezi katodou a anodou, vliv prostorového náboje vůbec zmizí a všechny

elektrony, jež z katody vystupují, se odvádějí k anodě. Intenzita tohoto proudu, zvaného „nasyceným proudem,“ nezávisí pochopitelně na napětí anody, nýbrž jen na mohutnosti katody emitovatí elektrony a ta opět na teplotě katody. Klesne-li potenciál anody pod „syťící napětí“, t. j. pod ono nejmenší napětí, pro něž ještě vzniká nasycený proud, začne se uplatňovati vliv prostorového náboje, část elektronů z katody vystupujících se jeho vlivem zahání do katody zpět a nedostihne k anodě. anodový proud jest menší než proud nasycený, a to tím menší, čím je napětí anody menší. Je-li napětí anody vůči katodě dokonce negativní, tu jak elektrické pole, tak prostorový náboj působí na elektrony stejně, t. j. elektrony se nejprve brzdí a pak zahánějí zpět do katody,



Obr. 2.



Obr. 3

anodový proud se ještě více zmenší. U většiny elektronů je rychlost, s jakou vystupují z katody, tak nepatrná, že již nepatrné negativní napětí anody vůči katodě rovné -0.3 voltu jim brání doběhnouti k anodě. Některé z rychlejších sice i proti tomuto napětí k anodě dolétnou, ale při větším napětí se i tyto včas zabrzdí a vrátí ke katodě. Možno říci, že již při napětí anody vůči katodě rovném -1 voltu prakticky se zabrání vůbec všem elektronům dolétnouti až k anodě, a že tedy při tomto napětí jest anodový proud prakticky roven nulle.

Závislost intenzity anodového proudu na anodovém napětí lze graficky znázorniti tak zvanými charakteristikami, jak jsou nakresleny pro různé teploty katody na obr. 2.: za abscisu volíme při tom pravidelně anodové napětí e_a , za ordinátu inten-

situ anodového proudu i_a , temperaturu katody, resp. intenzitu topného proudu volíme za parametr. Z obrázku vidíme, že charakteristiky probíhají v okolí inflexčního bodu jako přímky.

Jak z uvedeného patrno, působí elektronová lampa se dvěma elektrodami jako elektrický ventil, který propouští proud pouze jedním směrem, druhým však nikoliv.

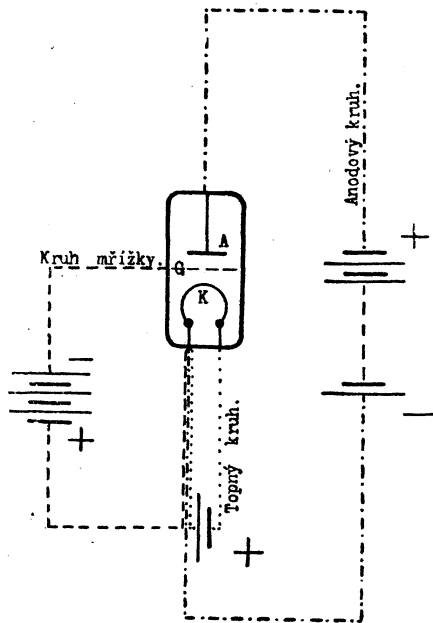
Kdyby nebylo kolem katody negativního prostorového náboje vytvořeného elektrony, vystupujícími ze žhavého vlákna, byl by průběh potenciálu mezi katodou a anodou lineární. Prostorový náboj však způsobuje, že se v okolí katody potenciál jen nepatrně mění, značnější změny nastávají teprve dále od katody, jak o tom svědčí obr. 3., kde je průběh potenciálu mezi katodou a anodou graficky znázorněn.

Elektronové lampy, užívané dnes v bezdrátové telegrafii, mívají pravidelně mezi katodou a anodou další elektrodu, zvanou „mřížka“; u lampy s cylindrickou anodou má také mřížka tvar pláště koncentrického válce, umístěného mezi katodou a anodou. Bývá buď tlačena z plechu nebo vinuta z drátu. Je-li anoda rovinná, jest také mřížka rovinná a s ní rovnoběžná.

Mřížce lze udělití buď pozitivní nebo negativní „mřížkové napětí“ připojením na zvláštní baterii (obr. 4.). Působení mřížky můžeme na základě obr. 3. vyložití přibližně takto: Budiž mřížka namontována na př. v místě M , ve vzdálenosti KM od katody. Potenciální diference tohoto místa vůči katodě jest dle obrázku rovna \overline{MP} . Udělíme-li tedy mřížce malé negativní napětí velikosti \overline{MP} , bude potenciální diference mezi bodem M a katodou právě vykompensována, t. j. rovna nule a proto současně zmizí vliv anodového napětí na katodu resp. elektrony, z katody vycházející, což má za následek, že anodový proud silně klesne. Čím blíže ke katodě umístíme mřížku, tím bude potenciální diference \overline{MP} menší, tím menší negativní napětí mřížky stačí, aby se anodový proud přiškrtil. Negativní napětí mřížky působí tedy stejně jako vzrůst prostorového náboje, naproti tomu pozitivní napětí mřížky vliv tohoto prostorového náboje kompenzuje, což nese s sebou vzrůst anodového proudu.

Studuje-li se chování elektronové lampy o 3 elektrodách blíže, ukazuje se, že z celkového počtu elektronů, jež žhoucí katoda emituje, jen část dopadá na anodu a tvoří tak zvaný

„anodový proud“, kdežto zbytek dopadá na mřížku („mřížkový proud“). Je-li napětí na mřížce sice pozitivní, ale má proti anodovému napětí nepatrnou hodnotu, jest také mřížkový proud nepatrný proti anodovému proudu (obr. 5.). Má-li mřížka vůči katodě napětí negativní (absolutně větší než -1 volt), tu dle dřívějšího žádných elektronů neschytává, nýbrž všechny propouští

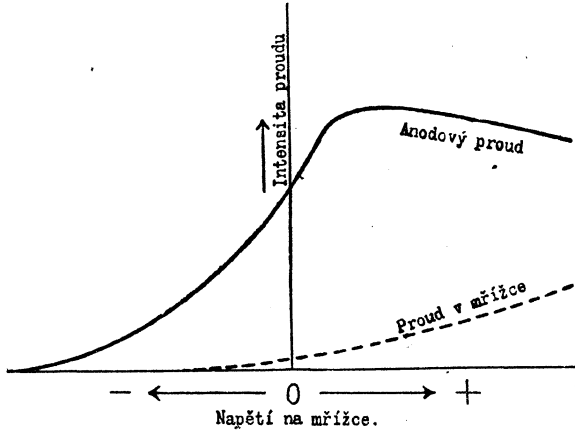


Obr 4.

svými otvory k anodě: mřížkový proud je v tomto případě roven nule.

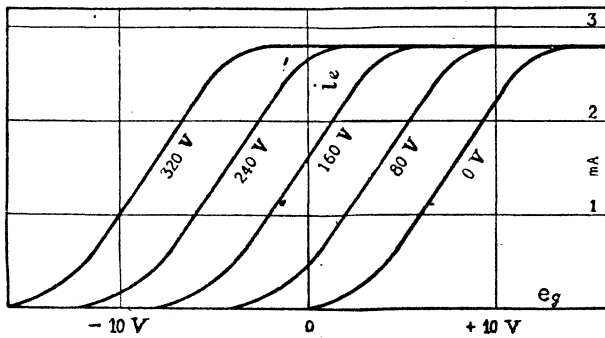
Nejpohodlněji přehlednou se vlastnosti lamp o 3 elektrodách opět z grafického znázornění: nazveme součet anodového a mřížkového proudu, t. j. úhrnné množství elektriny, katodou za sekundu emitované, emisním proudem. Grafické znázornění intensity emisního proudu v závislosti na mřížkovém a anodovém napětí nazýváme emisní charakteristikou. Takové emisní charakteristiky jsou znázorněny na obr. 6., při čemž za abscisu voleno napětí

mřížky e_g , za ordinátu intenzita emisního proudu i_e , anodové napětí je parametrem. Graf, znázorňující závislost anodového proudu na těchto veličinách, sluje anodovou charakteristikou



Obr. 5

(obr. 5.) Pokud zůstává napětí mřížky negativní, nebo je sice pozitivní, ale nepatrné proti anodovému napětí, lze mřížkový



Obr. 6.

proud zanedbatí proti anodovému proudu, emisní charakteristika splývá s charakteristikou anodovou.

Všimneme-li si blíže obr. 6., vidíme, že všechny charakteristiky pro různá anodová napětí mají též tvar, jen jsou para-

lelně s osou abscis navzájem posunuty: charakteristiku pro anodové napětí e_a dostaneme z charakteristiky pro anodové napětí $e_a = 0$ paralelním posunutím o De_a , kdež konstantní faktor D , zvaný „koeficientem průniku“, bývá pravidelně menší než 1. To značí, že anodový proud jest funkcí veličiny

$$e_g + De_a,$$

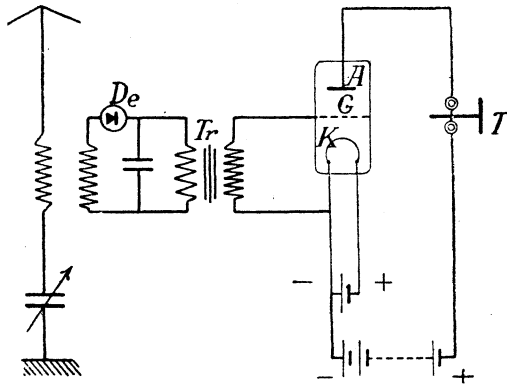
t. j. anodové napětí neuplatňuje se u katody plnou svojí hodnotou, nýbrž jen částí De_a , jíž otvory mřížky ke katodě proniká. Odtud název průnik. Na každé z charakteristik máme kol inflexčního bodu lineární část a dvě místa (jedno pod a druhé nad inflexčním bodem), kde křivost charakteristiky jest největší. Jak z předešlého patrno, lze vhodnou volbou anodového napětí docílití toho, že lineární část charakteristiky probíhá na př. po obou stranách mřížkového napětí $e_g = -1$ voltu. Pro případ znázorněný na obr. 6. bylo by to asi u charakteristiky pro anodové napětí $= 160$ voltům.

4. *Nízkofrekvenční sesilovač.* Jak jsme viděli, jest anodová charakteristika v dosti širokém okolí inflexčního bodu přímkou, t. j. v tomto oboru jest změna anodového proudu přímo úměrná změně mřížkového napětí. Měníme-li tedy mřížkové napětí periodicky, mění se také anodový proud periodicky, přes stejnosměrný proud v anodovém kruhu překládá se střídavý proud téže periody, jako má mřížkové napětí, a amplitudy, úměrné amplitudě mřížkového napětí. energii tohoto střídavého proudu lze odvésti na př. pomocí transformátoru, zařazeného do anodového kruhu lampy, neb podobně. Výslovně nutno vytknouti, že tuto energii dodává jediné anodová baterie, mřížka způsobuje pouze variace anodového proudu — lampa působí jako relais, jako sesilovač. Poněvadž anodový proud je tvořen nehmotnými elektrony, sleduje i ty nejrychlejší změny mřížkového napětí a lze tedy užití lampy nejen jako sesilovače pro nízkou frekvenci, ale stejně dobře i pro frekvence vysoké.

V radiotelegrafii užívá se nízkofrekvenčních sesilovačů velmi zhusta. Tak na př., má-li dopadající tlumená vlna tak nepatrnou intenzitu, že proud, usměrněný detektorem, by měl příliš malou energii, než aby bylo možno přímo jej slyšeti v telefonu, sesílí se nejprve nízkofrekvenčním sesilovačem. Schema spojení tako-

vého zesilovače jest znázorněno na obr. 7.: detektorový kruh je připojen na primární svorky „vstupního transformátoru“ se železem Tr , sekundární strana transformátoru je připojena jednak ke katodě, jednak ke mřížce; telefon T se zařadí do anodového kruhu lampy.

Má-li být zesílení značné, jest třeba dbáti o to, aby jednak již při velmi nepatrném nákladu energie z detektorového kruhu byly variace napětí na mřížce co největší, jednak, aby při dané amplitudě mřížkového napětí byl obnos energie, jež možno z anodového kruhu odebrati, co největší. Aby se vyhovělo pod-



Obr. 7.

míněe prvé, volí se vstupní transformátor o velmi značném převodním poměru, t. j. počet závitů sekundární cívky jest velmi značný ve srovnání s počtem závitů cívky primární. V předěšlém paragrafu jsme viděli, že proud, procházející mřížkovým kruhem, je prakticky roven nule, je-li napětí mřížky negativnější než -1 volt. Zařadíme proto do mřížkového kruhu na př. suchý článek (v obrázku není nakreslen) tak, aby napětí mřížky i při variacích zůstalo pod -1 voltem, a vhodnou volbou anodového napětí posuneme anodovou charakteristiku lampy paralelně s osou abscis, aby její přímá část probíhala právě v oboru variací mřížkového napětí. Pak sekundárním kruhem vstupního transformátoru neprochází žádný proud; transformátor pracuje na prázdno, způsobuje pouze elektrostatické nabíjení mřížky; energií,

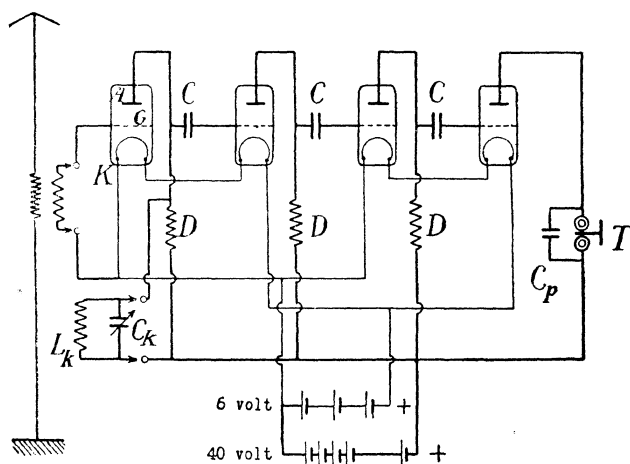
dodávanou detektorovým krouhem, kryjí se pouze ztráty v primární cívce transformátoru (resp. i ztráty, vzniklé hysteresí a Foucaultovými proudy v železném jádře transformátoru). Variace mřížkového napětí při dané energii, dodávané detektorovým krouhem, jsou při tom největší, lampou se za těchto okolností nekonzumuje žádná energie.

Maximální množství energie, jež možno při dané amplitudě mřížkového napětí z anodového kruhu odebrati, závisí na vlastnostech lampy, na její charakteristice: variace anodového proudu jsou při dané amplitudě mřížkového napětí, jak je přímo patrné z obr. 6, tím větší, čím je charakteristika lampy strmější. Strmosti charakteristiky jest také přímo úměrné ono maximální množství energie, jež možno z anodového kruhu odebrati. S druhé strany jest tento maximálně užítivatelný obnos energie nepřímo úměrný veličině D , již jsme na str. 334. nazvali koeficientem průniku. V praxi volívá se průnik D u sesilovacích lamp rovný asi 0·1.

Nestačí-li sesílení jedinou lampou, užije se další lampy (dvojlampový sesilovač nízkofrekvenční): do anodového kruhu první lampy zařadí se primární strana vstupního transformátoru druhé lampy, jeho sekundární svorky se připojí na katodu, resp. mřížku druhé lampy; do anodového kruhu této lampy zařadíme konečně telefon. O působení druhé lampy platí úplně totéž, co jsme uvedli u lampy první.

V tomto sesilování zvyšováním počtu lamp brzy dojdeme k hranici, kdy další sesilování jest zcela bezúčelné; na nízkofrekvenční sesilovač působí totiž také lokální poruchy (jako silnoproudové a slaboproudové vedení, atmosférické poruchy a pod.), jež se sesilovačem rovněž sesilují a tak přijímání velmi znesnadňují. V praxi jsme pravidelně nuceni, omeziti se na dvojlampové sesilovače, u nichž lze docíliti 100 až 600-násobného sesílení; jen v případech zcela vyjimečných lze užiti i sesilovačů tří- ev. čtyřlampových, u nichž bylo docíleno 5000 až 10000-násobného sesílení. Ale i s jiného důvodu jest bezúčelné, užívati mnohólampových sesilovačů nízkofrekvenčních: u detektorů existuje totiž jistá spodní hranice, nad níž teprve fungují jako usměrňovače. Je-li tedy intenzita dopadajících vln tak nepatrná, že padá pod tuto mez, tu detektor nefunguje, proud jím procházející se

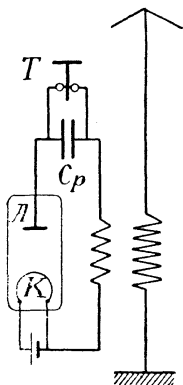
vůbec neusměrní a pak ovšem nemá smyslu, užívatí nízkofrekventního zesilovače sebe dokonalejšího. V tom tkví hlavní význam t. zv. vysokofrekventních zesilovačů, jež zesilují přímo vysokofrekventní energii; teprve zesílený proud se detektorem usměrňuje a tak činí v telefonu slyšitelným. V detektoru vzniklý nízkofrekventní proud ovšem lze, je-li toho třeba, dalším nízkofrekventním zesilovačem znovu zesílit. Na vysokofrekventní zesilovač nepůsobí lokální poruchy nízkofrekventní, i lze proto užívatí bez všech nesnází vysokofrekventních zesilovačů o větším počtu lamp.



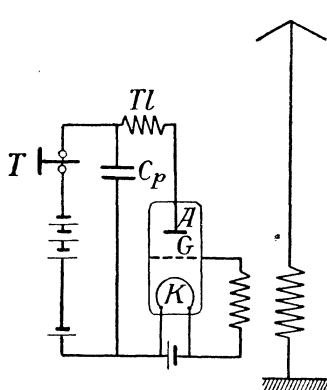
Obr. 8.

5. *Vysokofrekventní zesilovač* jest schematicky znázorněn na obr. 8. Hlavní rozdíl proti nízkofrekventnímu zesilovači spočívá v tom, že při kaskádním spojení lamp není u něho užito transformátorů se železem. Spojení je provedeno takto: mřížka první lampy je připojena na přijímač. Variace napětí na mřížce způsobují variace anodového proudu a tím také variace napětí na tlumivé cívce D , zařazené do anodového kruhu. Mřížka druhé lampy je připojena na konec této tlumivé cívky D . Aby se na mřížku přenášely z první lampy pouze vysokofrekventní variace napětí a nikoli značné stejnosměrné napětí s konce tlumivé cívky D , jest do vedení mezi oběma lampami zařazen blokovač kon-

densátor C . Direktní spojení mřížky s katodou u lampy 2., 3. a 4. (v obrázku nenaznačené) přes velmi značný odpor (více než 100000 ohmů) má za účel, odváděti elektrostatický náboj mřížky, způsobený elektrony dopadajícími z katody, a udržovati mřížku na potenciálu negativního pólu topné baterie. Totéž spojení jest provedeno také u ostatních lamp; anodový kruh poslední lampy, jež funguje jako audion (viz níže), obsahuje telefon T . V případě, že jde o přijímání velmi krátkých vln, t. j. o zesilování proudů velmi vysoké frekvence, lze k tlumicí cívice první lampy paralelně připojiti kondensátorový kruh C_b , L_k , jež lze naladiti na frekvenci přijímané vlny.



Obr. 9.



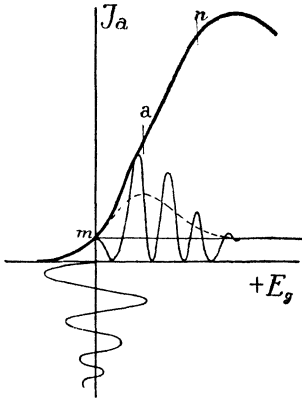
Obr. 10

6. *Elektronová lampa jako detektor.* Na str. 331 jsme viděli, že elektronová lampa o 2 elektrodách působí jako elektrický ventil; pro tuto vlastnost lze ji užíti jako detektoru. jde-li o přijímání vln tlumených. Frekvence oscilací, užívaných v bezdrátové telegrafii, jest totiž příliš vysoká, než aby ji mohla sledovati hmotná membrána telefonu. Spřáhneme-li však s antennou induktivně anodový kruh elektronové lampy o dvou elektrodách (obr. 9.), propustí se jím proud pouze jedním směrem; střední hodnota oscilací takto usměrněných jeví se v telefonu T , připojeném na kondensátor C_p , jako proudový náraz. Poněvadž každé jiskře ve vysílači odpovídá v telefonu takový náraz, slyšíme při dosti vysoké frekvenci jisker v telefonu tón. Je

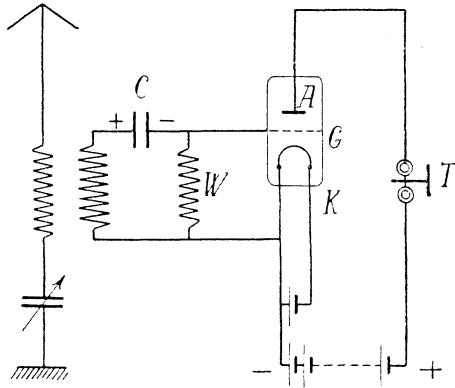
důležitě poznamenati, že celkovou energii, jež v telefonu způsobuje tón, dodává při tomto spojení skrze přijímací stanici stanice vysílací.

Jinak se věci mají, užíváme-li jako detektoru lampy o třech elektrodách ve spojení, naznačeném v obr. 10. Proud, procházející telefonem, jest zde zcela dodáván pouze lokální anodovou baterií; energie, zachycená přijímací stanicí, způsobuje pouze variace anodového proudu.

Fysikální pochod v lampě je za tohoto uspořádání tento: vhodnou volbou anodového napětí docílíme toho, abychom praco-



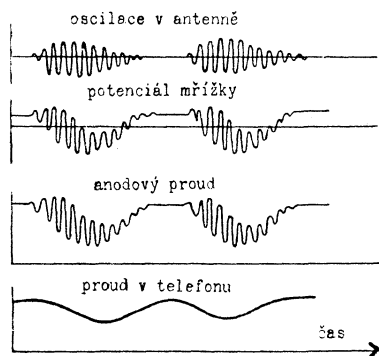
Obr. 11.



Obr. 12.

vali pro mřížkové napětí rovné nule v bodě m charakteristiky (obr. 11.), kde charakteristika má největší křivost. Když dopadá na antenu sled tlumených vln, vyvolaný jedinou jiskrou vysílací stanice, vznikne na mřížce detektorové lampy střídavé napětí, znázorněné na obr. 11. směrem negativní osy Y . Z charakteristiky najdeme pro každou hodnotu tohoto napětí příslušný anodový proud; dostáváme tak křivku (slabě vytaženou), naznačenou v obrázku směrem osy X . Ta má sice zase frekvenci přijímané vlny, ale leží nesymetricky vzhledem k rovnoběžce, vedené s X bodem m ($=$ anodový proud pro $e_g = 0$); proto střední hodnota anodového proudu, naznačená v obrázku čárkovaně, jeví se v telefonu jako proudový náraz. Každé jiskře ve vysílací stanici

odpovídá v telefonu jediný takový proudový náraz, t. j. v telefonu slyšíme tón výšky, dané frekvencí jisker ve vysílací stanici. Do anodového kruhu jest vedle anodové baterie a telefonu zařazena ještě tlumicí cívka TL ; kondensátor C_p obstarává přemostění telefonu. Lampa v tomto uspořádání pracuje jako jednolampový vysoko-frekventní zesilovač ve spojení s krystalovým detektorem. Vhodnou volbou anodového napětí nutno dbáti toho, abychom pracovali vždy pouze v bodech o největší křivosti (v bodech m, n); kdybychom pracovali v bodě a , v jehož okolí je charakteristika přímkou, detektorový účinek lampy, jak je patrné, úplně zmizí.



Obr. 13

7. *Audion* Elektronové lampy o 3 elektrodách lze užití k přijímání tlumených vln také ve spojení, naznačeném na obr. 12. a nazvaném audionem. Mřížka lampy je při tom připojena přes kondensátor C k cívce, obstarávající sprážení s antennou; W značí velmi veliký ohmický odpor. Časový průběh oscilací v anténě, mřížkového napětí, anodového proudu a proudu v telefonu znázorňuje obr. 13. Také při tomto uspořádání je proud v telefonu dodáván jediné lokální anodovou baterií; energie, zachycená antennou, kryje pouze ztráty v mřížkovém kruhu. Lampa v audionovém spojení pracuje jako krystalový detektor ve spojení s nízkofrekventním zesilovačem jednolampovým.

8. *Lampové generátory netlumených oscilací.* Vychýlíme-li kyvadlo na př. slabým nárazem, vykonává kolem své rovnovážné

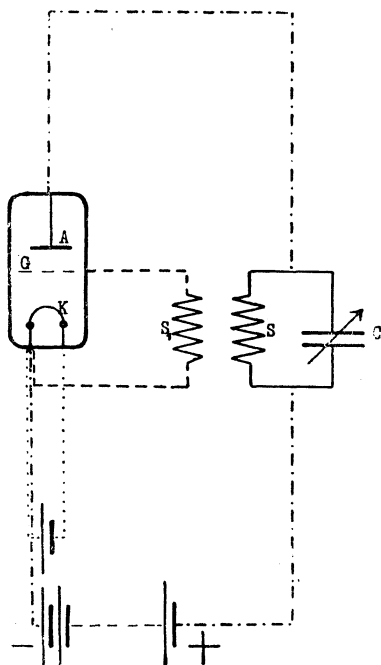
polohy oscilační pohyb. Třením mění se neustále část pohybové energie kyvadla v teplo, amplitud pohybu zvolna ubývá, kyvy kyvadla jsou tlumené. Úplně analogický pochod máme v oscilujícím systému elektrickém: nabíjeme-li kondensátor kondensátorového kruhu, vybíjí se přes samoindukci kruhu ve formě elektrických oscilací. Při tom se neustále část energie mění v Jouleovo teplo (u antenn se vedle toho také část energie vyzařuje), amplitud oscilací zvolna ubývá, výboj děje se ve formě tlumených oscilací.

Vraťme se opět k mechanickému obrazu: u kyvadlových hodin kyvadlo také překonává tření, ale přes to amplitudy kyvů zůstávají konstantní; při každém kyvu kyvadlo sice ztrácí část své kinetické energie překonávajíc tření, ale současně se mu tato ztracená energie nahraňuje závažím, jež zvolna padajíc vykonává práci, ztrácí část své potenciální energie a přenáší ji na kyvadlo. Výsledek obou těchto efektů jeví se v tom, že kyvadlo vykonává kyvy netlumené. Téhož bychom docílili také u elektrických kmitů, kdybychom vždy onu část energie, jež se mění v Jouleovo teplo resp. vyzařuje, oscilujícímu systému dodali z nějakého vnějšího zdroje. To skutečně lze provést a sice pomocí elektronové lampy.

V paragrafech o sesilovačích jsme viděli, že se překládá, mění-li se napětí mřížky periodicky, v anodovém kruhu přes stejnosměrný proud proud střídavý o frekvenci, rovné frekvenci napětí na mřížce. Lampa funguje v tomto případě jako generátor střídavého proudu s cizím buzením. Energie, přiváděná mřížce, je při tom minimální a způsobuje pouze variace napětí mřížky a tím i variace anodového proudu; energii střídavého proudu dodává anodová baterie. Této vlastnosti elektronových lamp lze užití ke konstrukci lampových generátorů netlumených oscilací s vlastním buzením pomocí tak zvaného zpětného spřažení, jež r. 1913 udal Meissner.

Mějme v anodovém kruhu lampy (obr. 14.) kondensátorový kruh C , S o malém útlumu. Nějakou poruchou, na př. při uzavření anodového kruhu, se kondensátorový kruh rozkmitá a počne vykonávat vlastní tlumené oscilace o frekvenci, jež se dá vypočítati pomocí Thomsonovy formule z kapacity a samoindukce kruhu. Oscilace kruhu by zvolna odumíraly. Tomu však lze za-

brániti, když na př. nárazy anodového proudu dodáme z anodové baterie při každém kmitu oscilujícímu systému onu část energie, jež se v něm mění v Jouleovo teplo; to se děje, když se anodový proud ve vhodné frekvenci a fázi periodicky mění. Provedení této myšlenky je zcela jednoduché: se samoindukcí S oscilujícího kruhu jest induktivně sprážena cívka S_1 , připojená



Obr. 14.

k mřížce. Procházejí-li tedy cívkou S elektrické oscilace, indukuje se v cívce S_1 elektromotorická síla, napětí na mřížce se mění periodicky a sice právě s frekvencí, rovnou frekvenci kruhu S, C . Variace mřížkového napětí způsobují variace anodového proudu, jimiž se původní oscilace zesilují, je-li cívka S_1 zaplata ve správném směru. Zesílené oscilace způsobují opět značnější variace mřížkového napětí a ty opět zvětšení variací anodového proudu a tím konečně i amplitud oscilací v kruhu S, C . Zvětšování amplitudy, způsobované zpětným sprážením

samoindukce kruhu s cívkou mřížky, děje se tak dlouho, až nastane rovnováha, t. j. až se ono množství energie, jež se kruhu dodává z anodové baterie na př. za sekundu, právě rovná energii, proměněné za touž dobu v Jouleovo teplo (resp. energii vyzářené). Pak amplitudy oscilací zůstávají nezměněny, kondensátorový kruh kmitá netlumenými oscilacemi. Vzrůst amplitud oscilací až do rovnovážného stavu děje se úplně automaticky, podobně, jako vzniká proud v dynamoelektrickém stroji na př. seriovém: tu se indukuje velmi nepatrným remanentním magnetismem magnetů při rotaci v kotvě stroje velmi slabý proud. Ten prochází vinutím magnetů a zesiluje, je-li vinutí magnetů připojeno ke kotvě správným směrem, jich magnetismus. Sesílený magnetismus indukuje v kotvě intensivnější proud atd., až nastává rovnovážný stav. Při tom je ovšem třeba, aby bylo vinutí magnetů připojeno ke kotvě správným směrem; kdybychom je připojili opačným směrem, tu by proud, v kotvě indukovaný, remanentní magnetismus magnetů zvolna ničil, stroj by se nezbudil. Podobně je tomu u našeho lampového generátoru: také tu musí bít cívka S_1 připojena k mřížce správným směrem, totiž tak, aby variace anodového proudu se dály ve správné fázi, t. j. aby se jimi oscilujícímu systému ve vhodných momentech přiváděla energie; kdybychom ji připojili opačně, tu variace anodového proudu působí proti oscilacím kmitajícího systému, oscilace zvolna odumírají, systém se nerozkmitá netlumenými oscilacemi.

Abychom si učinili ještě jasnějšími fysikální pochody v lampovém generátoru, uijme ještě jednoho mechanického obrazu. V lampovém generátoru můžeme viděti úplnou obdobu parního stroje: žhounčí vlákno lampy jest kotlem, v němž se tvoří pára (elektrina), kmitající kruh jest úplné analogon setrvačnicku, který pomocí excentru (cívky S_1) ovládá šoupátko (mřížku), jež dle své polohy vpouští páru na jednu nebo na druhou stranu pístu. Tím se píst uvádí v pohyb a převádí svou energii zpět na setrvačnicku stejně, jako jest anodový proud ovládán variacemi napětí na mřížce a ve správné frekvenci a fázi dodává energii kmitajícímu kruhu.

Frekvence oscilací jest dána dle Thomsonovy formule konstantami kruhu a dá se snadno měniti od nejnižších frekvencí až k nejvyšším. Za jistých podmínek, jež musí býti splněny,

lze docílit, že oscilace jsou naprosto konstantní a stabilní. Na dobrý lampový generátor klademe mimo jiné tyto požadavky: vznik pouze jediné vlny bez svrchních harmonických, snadná změna vlnové délky v širokých mezích, velká účinnost generátoru a pod.

Vedle induktivního spřažení mezi kmitajícím kruhem a mřížkou, znázorněného na obr. 14., lze provésti zpětné spřažení ještě celou řadou jiných způsobů: kapacitivně, galvanicky resp. různými kombinacemi. Společným znakem všech těchto způsobů je ta okolnost, že se část energie přenáší z oscilujícího kruhu na mřížku a tam spotřebuje k zjednání potřebných variací anodového proudu.

Někdy je antena, jakožto oscilující systém, obsažena přímo v anodovém kruhu, jindy obsahuje anodový kruh zvláštní kondensátorový kruh, s nímž se teprve antena induktivně spřahuje (generátory s mezikruhem). Hlavní předností lampových generátorů jest absolutní konstantnost frekvence, její snadná změna a konstantnost amplitudy oscilací. Je tedy pochopitelné, že se dnes užívá na vysílacích stanicích lampových generátorů netlumených oscilací velmi mnoho.

Největší dosud konstruovaný lampový generátor je na 10 KW. Má 30 velkých lamp spojených vedle sebe; každá z nich je na efekt 500 wattů. V poslední době byly konstruovány lampy na ještě větší efekt (1500 wattů). Pro vnitrozemskou radiotelegrafickou službu poštovní osvědčily se v Německu velmi dobře stanice pro výkon 1 KW s dvěma lampami (každá na 500 wattů, spojenými paralelně. Při elektronových lampách pro velké efekty jest nutno užívati také vysokého anodového napětí, tak na př. lampy pro 500 wattů vyžadují napětí 3000 volt. Vzhledem k obtížím, jež jsou spojeny s výrobou stejnosměrného proudu o vysokém napětí, užívá se proto raději střídavého napětí, jež se ovšem napřed usměrní rtuťovým usměrňovačem.

9. *Přijímání netlumených vln pomocí heterodynu záchvěvovou metodou.* S přijímáním netlumených vln měla radiotelegrafie v dřívějších dobách velké obtíže. Abychom si tyto nesnáze dobře objasnili, vraťme se na moment k přijímání vln tlumených.

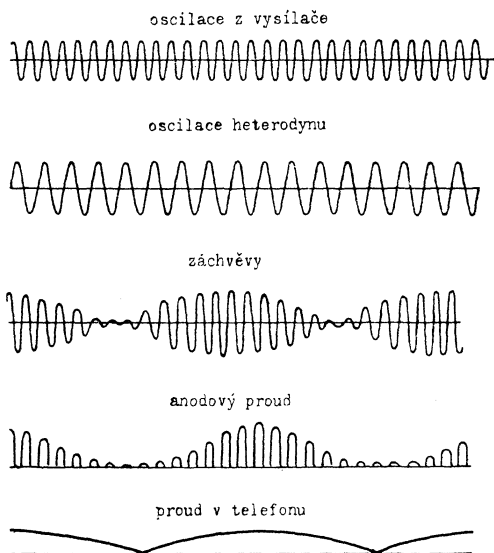
U tlumených vln, vyráběných na př. Wienovou metodou, přeskakují ve vysílači jiskry po celou dobu, pokud je vysílací klíč stisknut. Každá z jisker jest zdrojem celé skupiny tlumených vln, jež se šíří do prostoru. Příjmací antenou se tyto vlny zachytí a detektorem usměrní, takže skupin a vln, vzniklá z jediné jiskry, jeví se v telefonu jako jediný proudový náraz: v telefonu slyšíme tón výšky, dané frekvencí jisker ve vysílači, a to po delší nebo kratší dobu podle toho, jak dlouho byl telegrafní klíč stisknut. Body a čárky, z nichž se skládá Morseova abeceda, se dají dobře rozeznati a čísti.

Jinak je tomu u vln netlumených. Tam po celou dobu, po níž je telegrafní klíč stisknut, vysílá vysílací stanice do prostoru jediný, ničím nepřerušovaný sled vln se stálou amplitudou. Frekvence těchto oscilací jest příliš vysoká, než aby ji mohla sledovati hmotná membrána telefonu; usměrníme-li je detektorem, dostáváme v telefonu po celou dobu, kdy je klíč spojen, stejnosměrný proud, jímž se membrána telefonu k magnetům přitáhne a zůstane přitažena, telegrafovaná čárka nijak se neliší od telegrafovaného bodu, přijímání depeší není možné. Proto již Poulsen užil k přijímání netlumených vln aparátu, nazva ného „tikker“, kterým se spojitý sled netlumených vln na přijmací stanici periodicky přerušuje, čímž vzniká v telefonu řada proudových nárazů, jež pak slyšíme. Podle délky doby, v níž byl telegrafní klíč stisknut, trvá tento zvuk delší nebo kratší dobu. tím máme dánu možnost, rozeznati telegrafované body od čárek. Vedle toho, že tikker (nebo později užívaný smykač) nepracují dosti spolehlivě, jest jich užívání spojeno ještě s další nevýhodou: totiž tím, že se spojitý sled vln na přijmací stanici úmyslně přerušuje, nevyužívá se dopadající energie dostatečnou měrou.

Všem uvedeným nesnáším se naráz vyhneme, užíváme-li k přijímání netlumených vln záchvěvové metody, jež byla sice již dávno známa (Fessenden), nebylo však možno používatí jí tak dlouho, dokud nebyl znám generátor netlumených oscilací s absolutně neproměnnou frekvencí a amplitudou. Ten jsme získali teprve v lampovém generátoru.

Představme si, že na antenu přijmací stanice dopadají netlumené vlny (obr. 15., první řádka) na př. vlnové délky rovné 300 m, t. j. frekvence 1,000.000. Na přijmací stanici mějme

malý lampový generátor, zvaný heterodyn (obr. 16.); upravme si frekvenci oscilací heterodynu na př. na 999.000 (obr. 15., druhý řádek). V anteně, s níž je heterodyn spřažen, vzniknou proto interferencí obou vln záchvěvy (obr. 15., třetí řádek), a sice o frekvenci, dané rozdílem obou frekvencí, tedy v našem případě o frekvenci 10⁰⁰. Usměrníme-li tento proud na př. lampovým detektorem, má anodový proud tvar, daný 4. řádkou obr. 15. střední jeho hodnota, proud v telefonu, jest dán po-



Obr. 15.

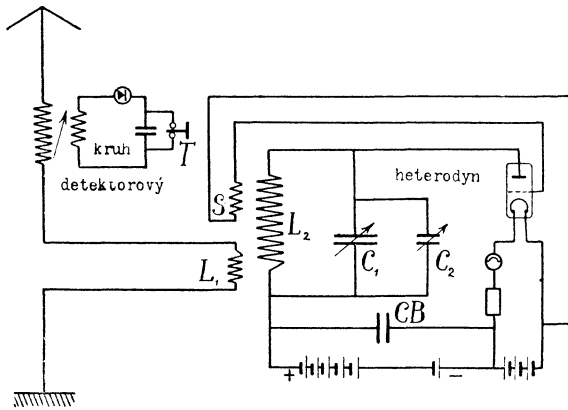
slední řádkou obr. 15. Ten způsobuje v telefonu po celou dobu, kdy na antenu dopadají netlumené vlny frekvence 1.000.000, tón; v našem případě je jeho kmitočet roven 1000.

Výšku tónu možno dle libosti měniti změnou frekvence oscilací heterodynu. Máme-li slyšeti v telefonu čistý tón, je třeba, aby záchvěvy jedné skupiny, odpovídající na př. bodu Morseovy alfabety, opakovaly se mnohokrát, vysokofrekvenční oscilace pak mnohemiliónkrát s naprostou pravidelností. Menší kolísání vlnové délky způsobuje kolísání výšky tónu, při velkých variacích frekvencí tón v telefonu vůbec zmizí. Jak neobyčejně

velké pravidelnosti je třeba, ukazuje jednoduchý počet; této enormní konstantnosti podařilo se dosáhnouti teprve pomocí lampových generátorů.

Při přijímání pomocí záchvěvové metody vyžítkuje se přijímaná energie úplně; naopak jsou maximální amplitudy záchvěvů rovny dvojnásobné hodnotě amplitudy dopadající vlny, tedy citlivost se ještě zvětší.

Další velkou předností této metody jest značné zvětšení selektivní schopnosti přijímací stanice. Dopadá-li totiž na přijímací antenu řada vln o vlnových délkách málo od sebe od-



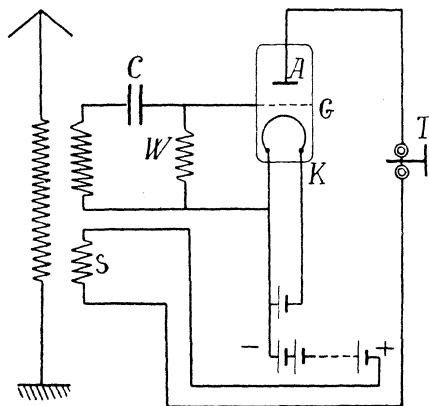
Obr. 16.

lišných, slyšíme z nich v telefonu pouze ty, jichž frekvence se liší od frekvence oscilací heterodynu méně než o 2000: lze totiž telefonem přijímati tón kmitočtu maximálně asi 2000. Lidské ucho jest nejcitlivější na kmitočet kolem 1400. Aby bylo možno naregulovati žádanou frekvenci dostatečně přesně, má heterodyn 2 paralelně spojené kondensátory, jeden pro hrubou, druhý pro jemnější regulaci.

10. *Audion se zpětným spřažením.* Jak jsme viděli, pracuje audion jako detektor ve spojení s jednolampovým nízkofrekvenčním zesilovačem. Zesilovací účinek audionu lze jak pro tlumené, tak pro netlumené vlny značnou měrou zvýšiti zpětným spřažením anodového kruhu s kruhem cívky (obr. 17.).

Při tomto sprážení přenášejí se variace anodového proudu cívkou S a antenou na mřížku a odtud se vracejí, zesíleny lampou, zpět do anodového kruhu. Naladí-li se přijímač přesně na frekvenci dopadající vlny, lze při zpětném sprážení audionu zvýšiti citlivost přijímací stanice mnohonásobně. Německá společnost pro bezdrátovou telegrafii Telefunken udává na př., že její přijímače se zpětným sprážením jsou 50 až 100-krát citlivější než nejlepší přijímače detektorové.

Při bližším prohlížení obr. 17. shledáme, že audion se zpětným sprážením jest současně generátorem netlumených oscilací

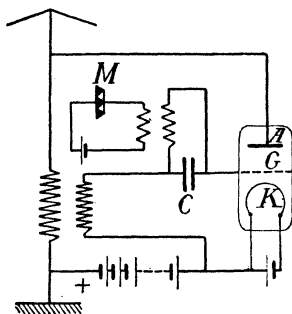


Obr. 17.

v přijímací anteně. Rozladíme-li ji tedy poněkud vůči dopadající vlně, vznikají interferencí dopadající vlny a vlny, vzniklé v audionu, záchvěvy, jež v telefonu slyšíme jako tón. Tím máme dánu možnost, přijímati záchvěvovou metodou netlumené vlny bez zvláštního heterodynu, prostě audionem se zpětným sprážením. Této zjednodušené metody lze beze všeho užití při přijímání vln krátkých. U vln delších narážíme na obtíže: mají-li totiž vzniknouti záchvěvy, je třeba, aby frekvence oscilací, vzniklých v audionu, byla poněkud odlišná od frekvence vlny dopadající — přijímací antenu nutno poněkud rozladiti vůči frekvenci dopadajícího záření. Rozladění musí býti takové, aby záchvěvy, vzniklé interferencí obou vln, měly frekvenci slyšitelných tónů. U krátkých vln stačí k tomu již velmi nepatrné rozladění anteny, za

to u delších vln musí býti rozladění poměrně značné. Pak jsme však daleko od resonance, amplituda oscilací, vyvolaných v antenně dopadající vlnou, jest daleko menší než při resonanci. Proto se u vln delších než 1000 metrů této zjednodušené metody neuzívá; naopak antenna se co možná přesně naladí na frekvenci dopadající vlny, sprážením mezi S a antenou se uvolní tak, aby se sice variace anodového proudu zpětným sprážením sesilovaly, ale audion sám nerozkmital. Zvláštní heterodyn dodává nám oscilace druhé frekvence.

11. *Radiotelefonie.* Postaráme-li se nějakým způsobem o to, aby amplitudy netlumených oscilací nebyly konstantní, nýbrž aby



Obr. 18.

se periodicky měnily, slyšíme i v přijímači na tlumené vlny tón. Jeho intenzita závisí, bez ohledu na hodnotu amplitudy netlumených oscilací, pouze na jejich variacích.

Na podobném principu jest založena radiotelefonie, na jejímž zdokonalení se nyní horečně pracuje: u vysílačů pro bezdrátovou telefonii mění se amplitudy netlumených oscilací lampového generátoru v taktu proudu v mikrofonu,

Existuje celá řada spojení, jimiž se tyto variace amplitudy netlumených oscilací dají způsobiti. Jedno je znázorněno na obr. 18.; u toho mění se napětí mřížky proudem mikrofonu M a tím způsobují variace anodového proudu, resp. variace amplitudy oscilací anteny v taktu mluvené řeči. Dá-li se mřížce negativní napětí, jest kruh mřížky bez proudu, spotřeba energie,

potřebná k vyvolání oněch variací napětí na mřížce, je minimální. mikrofonový transformátor pracuje na prázdko; k zjednání značných variací amplitudy netlumené vlny stačí obyčejný mikrofon. Jak již poznamenáno, existuje vedle tohoto ještě celá řada spojení; některé z nich mají odstraniti na př. zkreslení řeči a podobné nedostatky.

12. *Mnohonásobná telegrafie a telefonie podél vedení.* Vedle uvedených aplikací v radiotelegrafii užívá se nyní elektronových lamp i jinde velmi hojně; zmíním se aspoň několika slovy o užití elektronových lamp při mnohonásobné telegrafii a telefonii podél vedení. Při dnešním přetížení telegrafních a telefonních sítí, při nemožnosti, vybudovati dosti rychle spojení nová, a při nynějších horentních cenách jistě nepřekvapuje snaha, využití stávajících vedení v intensivnější míře, než se dalo dosud, t. j. použití jediného vedení na př. k několika současným telefonním rozhovorům. To se také podařilo. Při tom ovšem nelze užití stejnosměrného proudu jako u obyčejné telefonie, nýbrž proudů o vysoké frekvenci. Anž bych se chtěl pouštět do detailů, spokojím se s udáním principiální myšlenky, na níž je mnohonásobná telegrafie resp. telefonie založena: s jediným vedením, jehož se má užití, jest spřaženo několik lampových generátorů netlumených oscilací různých vlnových délek, na přijímací straně nachází se na témž vedení pro každou vlnovou délku jeden přijímač, na tuto vlnu naladěný. Generátor s příslušným přijímačem tvoří celek, jež lze upravití na př. pro telefonování; na jeho fungování nemají vlivu současně existující ostatní vlny na vedení, pokud ovšem je jejich frekvence dosti odlišná. Mnohonásobná telefonie, založená na tomto principu, jest zavedena v Německu prakticky na linkách mezi Berlínem a Hannovrem, Berlínem a Frankfurtem a konečně mezi Berlínem a Vratislaví. Dosud podařilo se umístiti bez vzájemného rušení na jediném vedení nejvýše 3 oboustranné rozhovory; ovšem pracuje se na tom, počet současných rozhovorů zvýšiti.

13. Užívání elektronových lamp není však omezeno pouze na obory čistě praktické; i do fysikálních měření začínají vnikati elektronové lampy měrou neustále hojnější.

Jakkoli hlavní objevy, týkající se elektronových lamp, staly se již před válkou, přece jen válkou bylo způsobeno netušeně rychlé praktické provedení a propracování těchto myšlenek, jež se ukázaly tak plodnými. Toť jedna ze světlých stránek světové války. Za války dál se vývoj elektronových lamp rapidní rychlostí přes to, že jednotliví pracovníci byli v různých nepřátelských státech a musili tedy pracovat naprosto odděleně, neznajíce navzájem výsledků svých prací. Dnes, jak se zdá, bude se vývoj dít klidnějším tempem, ale jistě není ani zdaleka ukončen.

V Praze, dne 3. června 1921.

Z hvězdářské ročenky na rok 1921,

již sestavil prof. Dr. B. Mašek.

Částečné zatmění měsíční dne X. 16. a 17., je u nás viditelné. Elementy zatmění v době konjunktce $22^h 37^m 37.8^s$ podle *Conn. des Temps*

rektascense \odot	$1^h 25^m 11.5^s$	rektascense \odot	$1^h 25^m 11.5^s$
hodinová změna $\Delta\alpha_1$	$2' 20''$	hodinová změna $\Delta\alpha_2$	$30' 46''$
deklinace \odot	$-8^{\circ} 57' 8''$	deklinace \odot	$8^{\circ} 28' 38''$
hodinová změna $\Delta\delta_1$	$55''$	hodin. změna $\Delta\delta_2$	$9' 1''$
vodorovná paral.		vodorovná paral.	
rovníková $\odot (p_1)$	$8.83''$	rovníková $\odot (p_2)$	$55' 53.1''$
poloměr $\odot (q_1)$	$16' 3.1''$	poloměr $\odot (q_2)$	$15' 12.9''$

Z těchto dat plyne*) pro zdánlivé poloměry polostínového a plnostínového kruhu

$$\left. \begin{matrix} \mu_1 \\ \mu_2 \end{matrix} \right\} = (p_1 + p_2 \pm r_1) 1.02 = \begin{cases} 73' 38'' \\ 40' 53'' \end{cases}$$

Doporučuje se sestrojiti z uvedených dat diagram a to v síti souřadnicové, v níž ve směru shora dolů nanáší se deklinace, ve směru od leva na pravo rektascense násobená kosinem deklinace Slunce (9°).

Kolem středu opíše se dva soustředné kruhy poloměry μ_1 a μ_2 (na př. v měřítku $1' = 2.5 \text{ mm}$) pro polostín a plný stín. Z rozdílu

*) *Mašek-Jeništa-Nachtikal*, Fysika pro vyšší reálky, II. díl, str. 154. Součinitel 1.02 vyplývá ze zkušeností.