

A rádió

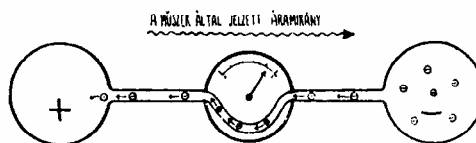
II. A rádiólámpa működése.

Az elektromos rezgések W. THOMSON (1853), az elektromágneses hullámok MAXWELL (1865) és HERTZ (1887) óta ismeretesek pontosabban, azonban a rádiót csak azóta sikerült ezek alapján mindennapi használatra alkalmassá tenni, mióta LIEBEN (1906) és LEE DE FOREST (1907) feltalálták az elektroncsövet, az úgynevezett rádiólámpát. Ennek a szerkezetével kell elsősorban megismerkednünk.

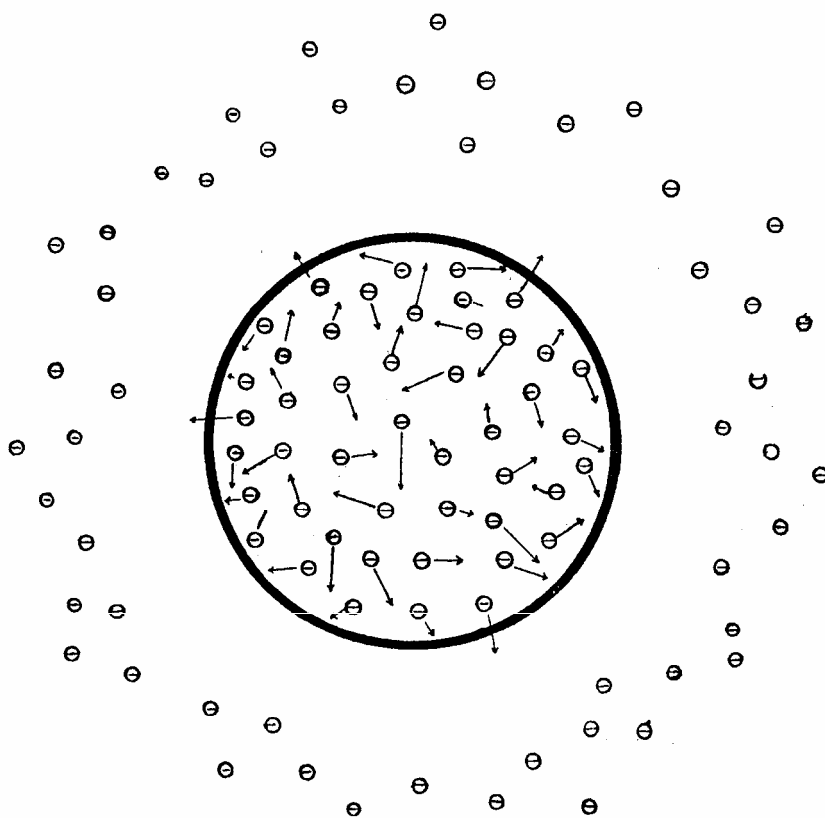
Az izzókatód. A mai felfogás szerint az elektromosság kicsiny, elemi részecskékből áll, az n . elektronokból. Az elektronok az elektromosság atomjai. Minden elektron egyforma, mindegyiknek $1,56 \cdot 10^{-19}$ coulombnyi negatív töltése van. Ha elektronok távoznak el egy testből, akkor az pozitív töltést mutat. Az

elektromos erőter hatása alatt az elektronok a pozitív töltésű testek felé haladnak, mozgásuk elektromos áramot jelent; mivel megszokás szerint a pozitív elektromosság mozgási irányát tekintik az áram irányának, ezért az elektronok vándorlási iránya ellentétes azzal az áramiránnyal, melyet a műszer jelez (1. ábra)

A fémek belsejében elektronok vannak, melyek szabadon, rendezetlenül mozognak ide-oda. Ha a fém hőmérséklete emelkedik, az elektronok gyorsabban mozognak és a

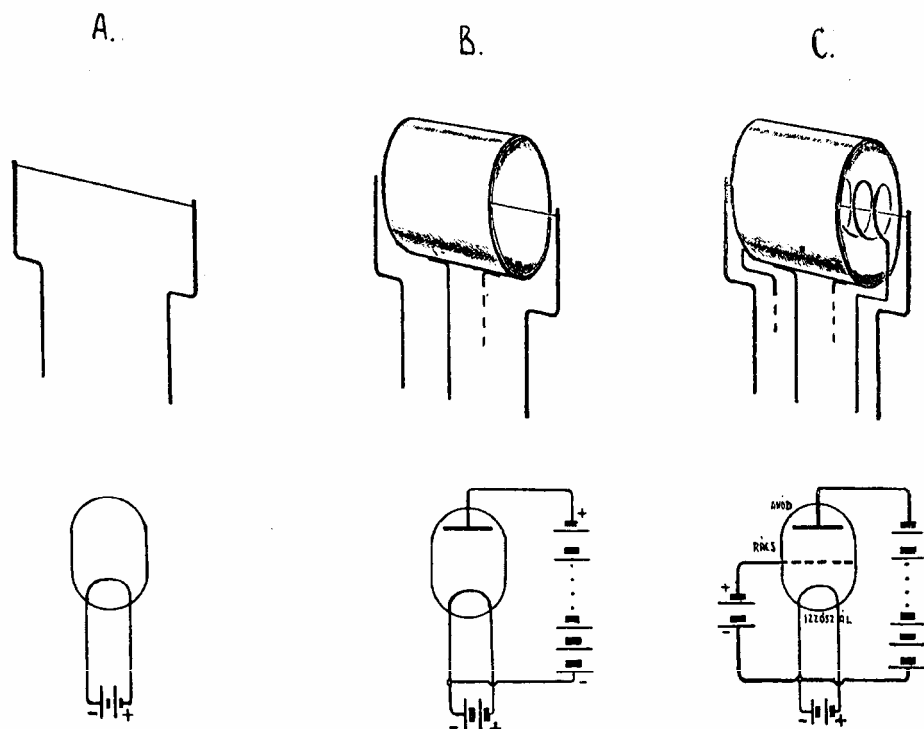


1. ábra. Az elektronok vándorlási iránya ellentétes azzal az áramiránnyal, melyet a műszer jelez.



2. ábra. A RICHARDSON-effektus. A felhevített fém belsejében az elektronok rendezetlen, gyors mozgást végeznek. A leggyorsabbaknak sikerül kijutni a szabadba.

leggyorsabban mozgó elektronok kirepülnek a szabadba (2. ábra). Ez a híres Richardson-féle effektus. A felhevített fémből kirepülő elektronok felhőszerűen töltik be a mellette lévő teret. A Richardson-effektust mindig az elérhető legnagyobb vákuumban hozzák létre, hogy a levegő ionizációja ne zavarja a jelenségeket. A rádiólámpák lényeges alkatrésze az izzószál vagy fonál, ez egy felhevített drót, melyből elektronok repülnek ki. Az izzószál két tartódrót között van kifeszítve, hevítése elektromos árammal történik, ezért az izzószál két végétől drótok vezetnek ki az üvegekörte falán keresztül, a lámpafoglalaton lévő dugókhöz; a vázlatos jelölési módot a 3. ábra A-rajza mutatja. Legtöbbször két egymásután kapcsolt akkumulátor áramával hevítik az izzószálát, újabban azonban már olyan rádiólámpákat is használnak, melyeknek izzószálát a városi váltóáram hevíti. Ebben az esetben gondoskodni kell arról, hogy a városi áram lüktetése ellenére is változatlan maradjon a szál hőmérséklete; vagy közvetve hevítik a szálát, vagy pedig rövid és vastag fonalat használnak, ami által az izzó fém lassan melegszik és lassan hűl le, tehát nem követi hőmérséklete az áramingadozásokat. A fűtőáram szabályozására szolgál a fűtőellenállás.

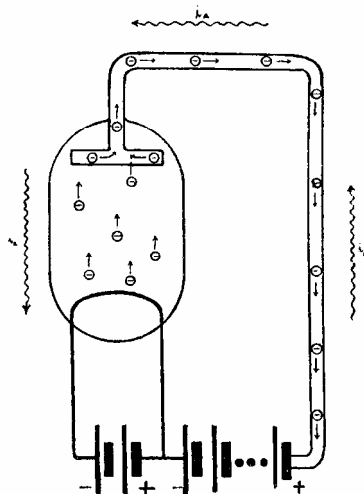


3. ábra. A rádiólámpa szerkezete és vázlatos rajza. C jelzésű alsó rajz mutatja a rádiólámpa szokásos vázlatos rajzát; fűtő-, rács- és anódeleppel együtt. Az anódelepnél a pontok fel nem rajzolt cellákat jelentenek.

Az izzószál anyaga az évek folyamán nem maradt ugyanaz. Eleinte tiszta wolfrámból készítették a szálát, később azután WEHNELT találmánya alapján kalciumoxiddal vagy báriumoxiddal bevont wolfrámot használtak, mert ennek az elektronemissziója nagyobb. A Wehnelt-féle oxidkatódokon kívül használnak tóriummal ötvözött wolfrámot is, de az ilyen szálak gyártása ma már háttérbe szorult. A modern rádiólámpák izzószála vagy oxidkatód, vagy fémbáriummal bevont wolfrám, mert bebizonyosodott, hogy a báriumoxiddal vagy színbáriummal bevont szálak elektronkibocsátása egyforma. Tisztán wolfrámból álló szálát ma csak az adóállomások nagy elektroncsöveiben használnak. A gyárilpar arra törekszik, hogy olyan izzószálát állítson elő, amelynek emissziója nagy, élettartama hosszú, amelynek a fűtéséhez azonban kevés energia szükséges. A következő táblázat megmutatja, hogy különböző anyagú izzószálak esetén 1 kalória melegmennyiség kb. hány darab elektron kilépését vonja maga után:

wolfrám tisztán	$3 \cdot 10^{16}$
thóriumos wolfrám	$50 \cdot 10^{16}$
Kalciumoxid	$100 \cdot 10^{16}$
bárium vagy báriumoxid	$200 \cdot 10^{16}$

Az anód és a rács. Az izzószálból kilépő elektronok felhő alakjában helyezkednek el a szál körül. A rádiólámpában az izzókatódon kívül még hideg elektródok is vannak, az anód és a rács. Az anód vékonyfalú fémhenger, amely körülveszi az izzószálat, s külön kivezető drótja van (3. ábra, B). Ha az anódhoz egy akkumulátortelep pozitív sarkát kapcsoljuk, amely telepnek negatív sarka az izzószállal áll kapcsolatban, akkor az anódnak a pozitív töltése vonzza a szál közelében a légüres térben lévő elektronokat és ezek az elektronok rárepülnek



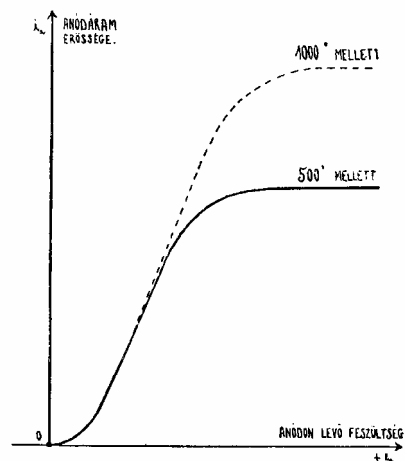
4. ábra. Az anódáram útja. A kis nyilak mutatják a negatív töltésű elektronok haladási irányát. A nagy hullámos nyíl mutatja a pozitív áramirányt.

az anódra. Mivel most az elektronfelhő megritkul, újabb elektronok lépnek ki a szálból, melyek csakhamar szintén rárepülnek az anódra, az anódról azután a külső drótvezetéken keresztül eljutnak a telep pozitív sarkához. Az elektronoknak ezt a vándorlását a 4. ábra tünteti fel. (Nem lényeges, hogy az anódtelap negatív sarkát a szál melyik végéhez vezetjük.) Ezek a vándorló elektronok elektromos áramot jelentenek, amelynek ugyanaz a hatása, mintha pozitív töltés haladna a telep pozitív sarkától az anódhoz és tovább a lámpán keresztül az izzószálig. (A pozitív áramirányt a 4. ábrában a hullámos nyíl mutatja.) Ennek az áramnak a neve anódáram (rövidítve i_a).

Ha az anódon lévő feszültség, az úgynevezett anódfeszültség (e_a) nulla, vagyis, ha az anódnak a szállhoz képest nincs pozitív feszültsége, akkor alig jut elektron az anódra, az anódáram nulla. Amint azonban az anódon lévő feszültség mindig nagyobb pozitív értékeket vesz fel, az anódáram is növekszik, mert több elektron hagyja el a felhőt. Az anódfeszültség növelésével azonban nem lehet az anódáramot akármeddig, minden határon túl növelni, mert az izzószál csak bizonyos számú elektront tud kibocsátani magából; ha az anódfeszültséget még nagyobbítjuk, az anódáram nem növekszik tovább. Ez a maximális erősségű anódáram a telítési áram. (Az anódáram függését az anódfeszültségtől az 5. ábra 500°-hoz tartozó görbéje tünteti fel.) Abban az esetben, ha magasabb hőmérsékletre hevítjük fel az izzószálat, a telítési áram is erősebb lesz (az 5. ábra 1000°-hoz tartozó szaggatott görbéjénél), de megrövidül a lámpa élettartama. A modern vevőkészüléknél használt rádió lámpák telítési áramerőssége 5 és 50 mA között van (1 mA = 0,001 A), a leadóállomások nagy lámpáinál azonban sokkal nagyobb.

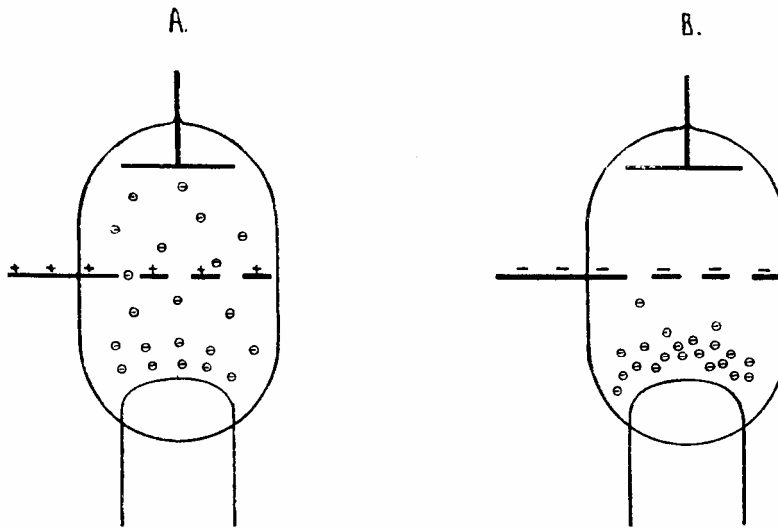
az anódra. Mivel most az elektronfelhő megritkul, újabb elektronok lépnek ki a szálból, melyek csakhamar szintén rárepülnek az anódra, az anódról azután a külső drótvezetéken keresztül eljutnak a telep pozitív sarkához. Az elektronoknak ezt a vándorlását a 4. ábra tünteti fel. (Nem lényeges, hogy az anódtelap negatív sarkát a szál melyik végéhez vezetjük.) Ezek a vándorló elektronok elektromos áramot jelentenek, amelynek ugyanaz a hatása, mintha pozitív töltés haladna a telep pozitív sarkától az anódhoz és tovább a lámpán keresztül az izzószálig. (A pozitív áramirányt a 4. ábrában a hullámos nyíl mutatja.) Ennek az áramnak a neve anódáram (rövidítve i_a).

Ha az anódon lévő feszültség, az úgynevezett anódfeszültség (e_a) nulla, vagyis, ha az anódnak a szállhoz képest nincs pozitív feszültsége, akkor alig jut elektron az anódra, az anódáram nulla. Amint azonban az anódon lévő feszültség mindig nagyobb pozitív értékeket vesz fel, az anódáram is növekszik, mert több elektron hagyja el a felhőt. Az anódfeszültség növelésével azonban nem lehet az anódáramot akármeddig, minden határon túl növelni, mert az izzószál csak bizonyos számú elektront tud kibocsátani magából; ha az anódfeszültséget még nagyobbítjuk, az anódáram nem növekszik tovább. Ez a maximális erősségű anódáram a telítési áram. (Az anódáram függését az anódfeszültségtől az 5. ábra 500°-hoz tartozó görbéje tünteti fel.) Abban az esetben, ha magasabb hőmérsékletre hevítjük fel az izzószálat, a telítési áram is erősebb lesz (az 5. ábra 1000°-hoz tartozó szaggatott görbéjénél), de megrövidül a lámpa élettartama. A modern vevőkészüléknél használt rádió lámpák telítési áramerőssége 5 és 50 mA között van (1 mA = 0,001 A), a leadóállomások nagy lámpáinál azonban sokkal nagyobb.



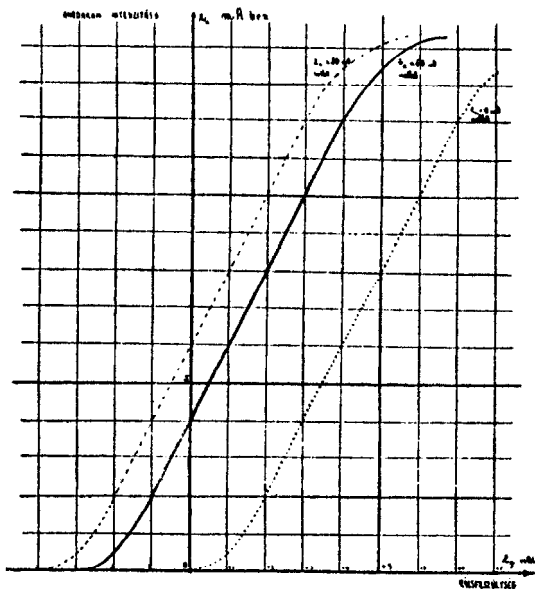
5. ábra. Az anódfeszültség növelése alkalmával az anódáram is nagyobb lesz, végül eléri a telítési áramerősség értékét.

Az izzószállal és anóddal ellátott levegőmentes üvegcörtét még a ráccsal kell felszerelnünk és készen van a gyakorlati célokra oly jól használható rádiólámpa, más néven elektroncső. A rács hideg elektród, közönséges formájában egy drótspirális, mely az izzószál



6. ábra. A. Pozitív feszültségű rác elősegíti az elektronok mozgását, az anódáram növekszik; B. Negatív feszültségű rác akadályozza az elektronok mozgását, az anódáram csökken.

és anód között foglal helyet. A rácstról egy drót vezet ki, mely a foglalat negyedik dugójánál végződik. (A rádiólámpa szokásos vázlatos ábrázolási módját a 3. ábra C-nél lévő alsó rajza mutatja.) A további megfontolásainknál tegyük fel, hogy az izzószál hőmérséklete változatlanul marad és hogy az anód feszültsége is állandó (pl. 60 volt). Ebben az esetben az anódáram is egy állandó értéket vesz fel (példánkban 4 mA-t). A rácnak különböző feszültségeket tudunk adni olyan galvánteleppel, melynek az egyik sarka az izzószálhoz,

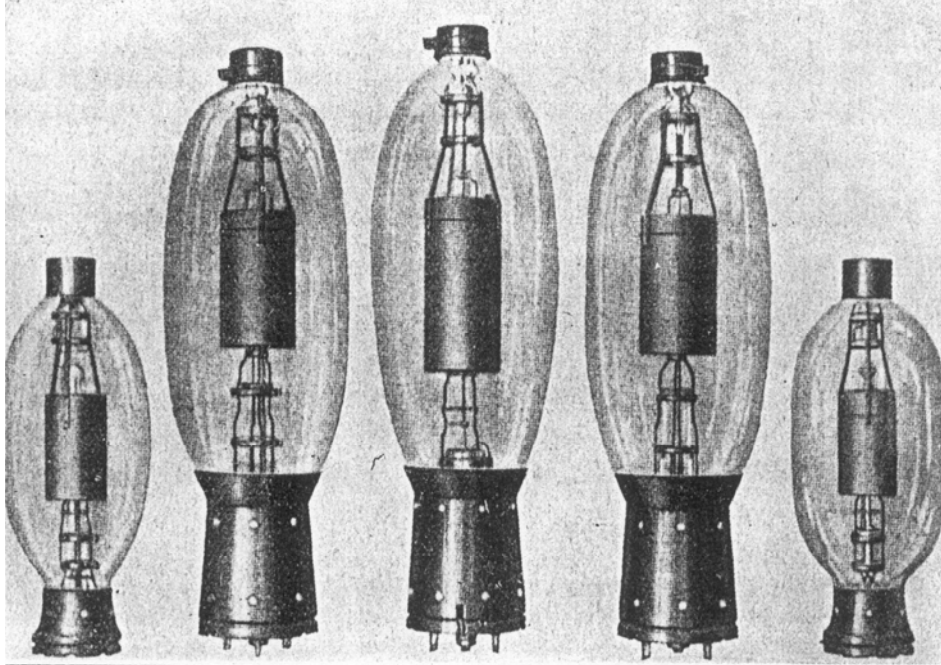


7. ábra. A karakterisztika feltünteti az anódáramnak a rácfszültségtől való függését. A felrajzolt karakterisztikák 0, 60 és 80 volt anódfeszültségekhez tartoznak.

másik sarka a rácshoz van kapcsolva (3. ábra, C). Ha a rác feszültsége 0, akkor jelenléte semmi változást sem okoz, az anódáram marad változatlanul 4 mA. Ha a rácot pozitív feszültségre töltjük (6. ábra, A), akkor az anódon kívül a rác is vonzza a szálból kibocsátott elektronokat, az elektronfelhőből több elektron indul el, ezek gyorsabban mozognak, végeredményben tehát az anódáram erősebb lesz, pl. +1 volt rácfszültségnél 4 mA helyett 6 mA. A rácfszültséget még pozitívabbá téve, az anódáram méginkább emelkedik, +2 volt rácfszültségnél 8 mA-re és így tovább.¹ Végül az anódáram eléri a telítési értéket és nem növekszik tovább. Ha a rácot negatív feszültségre töltjük (6. ábra, B), akkor a negatív töltésű rác taszítja az elektronokat, kevesebb elektron indul útnak és ezek is lassabban mozognak, aminek következtében az anódáram csökken, példánkban -1 volt rácfszültségnél 2 mA-re; még negatívabb rácfszültség után teljesen megszünteti az anódáramot. Tehát pozitív rác erősebb

anódáramot, negatív rác gyengébb anódáramot okoz. Az anódáramnak a rácfszültségtől való függését görbével is lehet ábrázolni (7. ábra, $e_a = 60$ volthoz tartozó görbe), ennek a

görbének karakterisztika a neve. A karakterisztika megmutatja állandó, változatlan anódfeszültség mellett az anódáram függését a rácsfeszültségtől. Magasabb anódfeszültségnél az egész karakterisztika eltolódik balfelé (pl. $e_a = 80$ volthoz tartozik a szaggatott karakterisztika). Tehát minden egyes anódfeszültséghez egy-egy külön karakterisztikát kell rajzolni. A karakterisztikáknak jellegzetes alakjuk van, középső részük szinte teljesen egyenes, alul és fenn pedig görbült részeik vannak.



8. ábra. Elektromos hullámokat keltő „adólámpák”. A valódi méretek nyolcszor ekkorák.

Az elektronoknak egy kis része rárepül a rácsra és a rácsáramot alkotja, ez rendszerint sokkal kisebb, mint az anódáram, nagysága a mA-nek csak töredéke. A rádiólámpa készítésekor az izzószálat, rácsot és anódot tartódróttal segítségével üveglábra erősítik, amelyet azután az üvegekörtébe forrasztanak bele. Ezután a fémalkatrészeket Foucault-féle örvényáramokkal kiizzítják, hogy a felületükön megkötött gázokat leadják, majd az elérhető legnagyobb mértékben kiszivattyúzzák a levegőt a körtéből. Erre a célra higanygőzös diffúziós szivattyút használnak, amellyel oly nagy mértékben sikerül a levegőt kiszivattyúzni, hogy eredeti mennyiségének kb. csak egymilliárdnyi része marad benn. Kiszivattyúzás után beforrasztják az üvegekörtét és foglalattal látják el. Az üveg belső falán lévő tükör elpárologtatott és lecsapódott magnéziumból áll és a vákuum megőrzésére szolgál. A rádiólámpa üzemeltetésénél a szál fűtésére való áramforráson kívül az anódfeszültséget szolgáltató anódtelepre és a rácsfeszültséget („előfeszültséget”) adó rácsbattériára is szükség van. Anódtelepnek régebben száraztelepeket vagy akkumulátorokat használtak, ma ezeket igen nagy mértékben kiszorították az anódkészülékek, melyek a városi váltakozó feszültséget egyirányúvá teszik és lüktetéseit teljesen kiegyenlítik. Rácsbatteria bizonyos esetekben nem is használnak, hanem a rácsot egyszerűen az izzószállal kapcsolják össze. Sokszor azonban elkerülhetetlenül szükséges nullától különböző rácsfeszültséget alkalmazni, ilyen esetekben ezt vagy száraztelepekkel hozzák létre, vagy az anódkészülék a rácsfeszültségek szolgáltatására is be van rendezve.

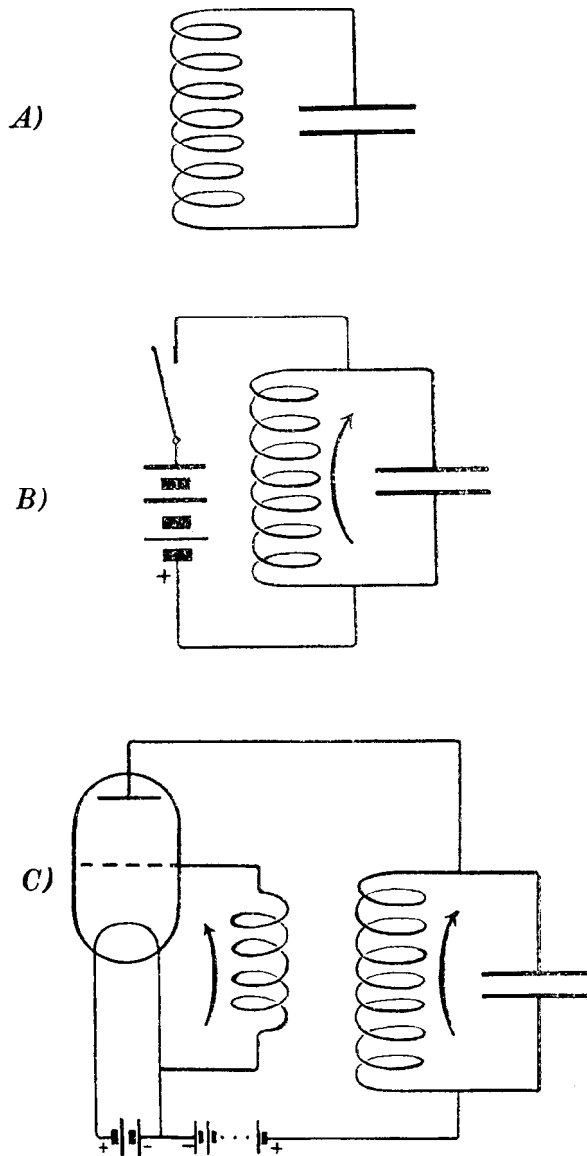
A rács kivezetése és a rácsbattéria egyik sarka, valamint az anód kivezetése és az anódtelep pozitív sarkai közé a rádiókészülékeknel ellenállásokat, önindukciós tekercseket, kondenzátorokat stb. kapcsolnak, melyeknek a szerepe és a lámpával való együttműködése a

rádióknak fontos és nehéz problémáit alkotják. Ezeknek a tárgyalása és ismertetése külön feladat.

A meredekség. A rácsfeszültség növelése az anódáramot is növeli, az összefüggést változatlan anódfeszültség mellett a karakterisztika ábrázolja (7. ábra). Az 1 volt rácsfeszültségnövelés által létrehozott anódáramnövekedés neve meredekség (jele S). A 7. ábra középső egyenes részénél 1 volt rácsfeszültségnövekedés (pl. 0-ról +1 voltra) 2 mA anódáramnövekedést okoz (4 mA-ról 6 mA-re), tehát a meredekség itt 2 mA/volt.

Az áthatás. Az anódáramot nemcsak a rácsfeszültség; hanem az anódfeszültség nagyobbításával is lehet növelni, azonban az anódfeszültség növelésének sokkal kisebb a hatása, mert az anód messzebb van az izzószáltól. A 7. ábra példájánál a rácsfeszültségnek 5 volttal való emelése (-1 voltról +4 voltra) az anódáramot 10 mA-rel növeli (2 mA-ról 12 mA-re). Az anódfeszültségnek ugyancsak 5 volttal való emelése (60 voltról 65 voltra) az anódáramot csak 0,5 mA-rel tudja növelni (4 mA-ról 4,5 mA-re). Azt a számot, mely megmondja, hogy az anódfeszültség változtatásának a hatása hány százaléka a rácsfeszültségváltoztatás hatásának, nevezik áthatásnak (németül Durchgriff, jele D). A 10 mA-nek a 0,5 mA 5%-ra, tehát a mi példánkban az áthatás 5%.

A belső ellenállás. Az anódfeszültség növelése az anódáram nagyobbodását vonja maga után (állandó rácsfeszültség mellett), éppen úgy, amint egy fémdrótban is erősebb áram megy át, ha a végein nagyobb feszültségekülönbség van. Itt felmerül az a kérdés, hogy hány ohmos ellenállással lehetne az elektroncsövet helyettesíteni. Fenti példánkban 5 volt anódfeszültségemelkedés 0,5 mA (vagyis 0,0005 A) anódáramnövekedést okozott. OHM törvénye szerint az ellenállás annyi, mint $5 : 0,0005$ ez pedig 10000 Ω . Tehát ez a rádiólámpa helyettesíthető volna egy 10000 Ω -os ellenállással, mert 10000 Ω -os ellenállásnál a feszültség 5 voltnyi emelkedése az áramerősségnek 0,5 mA-rel való emelkedését vonná maga után. Ennek



9. ábra. Csillapítatlan rezgések keltése rádiólámpa felhasználásával.

az ellenállásnak a neve a rádiólámpa belső ellenállása (jele R_i).

*Csillapítatlan rezgések keltése elektroncsövel.*² Az elektroncső egyik fontos szerepe a rezgéskeltés. (A 8. rajzban láthatók a rezgéskeltésre való ún. „adó-lámpák”.) Az elektromos rezgések megbeszélésekor láttuk, hogy a kondenzátorból és önindukciós tekercsből álló rezgőkör (9. ábra, A) elektromos egyensúlyának megzavarása alkalmával a körben rezgések keletkeznek és a tekercsben váltakozó irányú áram halad. Egyetlen megindító lökés hatására

csillapított rezgés keletkezik, mert minden ide-oda való rezgés alkalmával az energiának egy bizonyos hányada hővé alakul a veszteségek következtében és sugárzás útján távozik. Csillapítatlan rezgés előállításához az volna szükséges, hogy minden egyes rezgés alkalmával pótoljuk az energiaveszteséget. Elméletileg ez úgy volna elgondolható, hogy valahányszor a tekercsben az áram a nyíl által jelölt irányban halad, a kapcsolóval (9. ábra, B) bekapcsoljuk a galvánelemet, ami által ennek az árama is átmegy a tekercsen és az energiaveszteséget pótoljuk. Egy embernek állandóan a kapcsoló mellett kellene állania, hogy minden második félrezgésnél bekapcsolja az áramot. Természetesen ezt a valóságban nem lehet keresztülvinni, mert a rezgések oly gyorsak, hogy emberi kéz nem tudná őket követni. A. MEISSNER-nek és S. STRAUSS-nak támadt az a gondolata (1912- és 1913-ban), hogy ennek az áramnak a bekapcsolását magával a rezgőkörrel végeztessék el, hasonlóan a gőzgéphez, ahol szintén maga a gép végzi a tolattyúnak a mozgatását. A rezgőkör tekercse mellett egy másik tekercset helyeztek el, melynek egyik vége egy rádiólámpa rácshoz, másik vége az izzólámpához vezet (9. ábra, C). A két tekercs menetiránya ellentétes. (A tényleges kivitelnél a tekercsek nem úgy fekszenek egymás mellett, amint azt az ábra mutatja, hanem úgy, hogy tengelyeik egybeesnek, sőt a tekercsek esetleg egymásba is vannak tolva.) A rezgőkört a lámpa anódja és az anódtelep pozitív sarka közé kapcsolták. Ha a rezgőkör tekercsében az áram a nyíl által megjelölt irányban kezd elhaladni, akkor indukció következtében a rácshoz kapcsolt tekercsben egy áramlökés keletkezik, amelynek iránya az izzószáltól a rács felé mutat. (Az indukált áram iránya ellentétes, de a tekercs menetiránya is ellentétes.) Ez az áramlökés pozitívabbá teszi a rácsot, ami az anódáram növekedésével jár. Az anódáramnak azonban át kell menni a rezgőkör tekercsén, tehát a rádiólámpa útján létrejött áramlökés hozzáadódik a rezgőkör tekercsében haladó áramlökéshez. Ilyen módon az energiaveszteség pótlódik és a rezgőkörben változatlan amplitúdójú csillapítatlan rezgés keletkezik.

A rádióleadóállomásoknál csillapítatlan rezgések keltésére a visszacsatolási kapcsolást használják, természetesen nemcsak ezen legegyszerűbb formájában, hanem más alakban is. Pl. a rácshoz kapcsolt tekercs másik végét nem szokták egyszerűen az izzószállhoz vezetni, hanem rácsbatteria közbekapcsolása által a rácsnak állandó pozitív vagy negatív feszültséget, úgynevezett rácselőfeszültséget adnak. A keletkezett csillapítatlan rezgések amplitúdója nagyon sok körülménytől függ, melyek közül néhányat felsorolunk.

1. A rezgés amplitúdója függ a rádiólámpa sajátságaitól, tehát a meredekség, áthatás és belső ellenállás értékeitől.
2. A rezgés amplitúdója függ attól, hogy milyen közel vannak egymáshoz a rezgőkör tekercse és a rácshoz kapcsolt tekercs; szorosabb visszacsatolásnál rendszerint nagyobb a rezgési amplitúdó.
3. Magasabb anódfeszültségnél nagyobb amplitúdójú a rezgés, mert az anódfeszültség növelése növeli az anódáramot.
4. A rezgés amplitúdójára nagy befolyással van a rács előfeszültsége. Negatív előfeszültségnél nagyobb amplitúdójú rezgés szokott keletkezni.

(Folytatása következik.)

Dr. Vermes Miklós.

¹ Igaz, hogy amikor az elektron már a rács és a anód között halad akkor a rács pozitív feszültsége csökkenti a sebességét, de azért az átlagos sebesség nagyobb, mintha a rácsnak nem volna töltése.

² Ennek a problémának külön részletes ismertetése található HAMPEL LÁSZLÓ cikkében, a Termtud. Közlöny 1929. dec. 1. számának 706. oldalán.