

Narodna in univerzitetna knjižnica
v Ljubljani

94370_



94370

PROF. LEOP. ANDRÉE **RADIO**



ZALOŽILA JUGOSLOVANSKA KNJIGARNA V LJUBLJANI

RADIO
PROF. LEON ANDRÉE

PROF. LEOP. ANDRÉE

RADIO

OSNOVNI POJMI IZ RADIOTEHNIKE

214 SLIK

V LJUBLJANI 1927

ZALOŽILA JUGOSLOVANSKA KNJIGARNA
NATISNILA JUGOSLOVANSKA TISKARNA

94370 -



D3224/1950

Predgovor.

Pojem radio obsega vse, kar se nanaša na radiotehniko, tisti del moderne elektrotehnike, ki se bavi z brezžično telegrafijo in telefonijo. Govorimo o radio-literaturi, radio-aparatih, radio-potrebščinah, imamo radio-amaterje ter ustanavljamo radio-klube.

Radiofonija je tisto, kar je v angleščini „broadcasting“ ali nemški „Rundfunk“, ter pomenja dejstvo, da se brezžična telefonija ne porablja samo kot telefon za razgovor dveh oseb, pač pa slišijo tisoči in tisoči na svojih prejemnih aparatih govorico in melodije, ki jih posreduje oddajna postaja. Zato je radiofonija socialna naprava, ki je posvečena pouku in zabavi. V tej knjigi, ki se kratko imenuje „Radio“, obravnavam osnovne pojme iz radiotehnike, o čemer sem dve leti zaporedoma predaval v Ljubljanskem radio-klubu. Namenjena je zlasti začetnikom, ki se zanimajo za radio, pa še nimajo obširnejšega fizikalnega znanja. Če se hoče kdo uspešno baviti z radijem, mora poznati poleg specialne radiotehnike tudi nauk o splošni elektriki in o valovanju. Zato sem pričel s splošno elektriko, nadaljeval sem z nihanjem in valovanjem, končno sem pa obravnaval specialno radiotehniko, kolikor je potrebuje za razumevanje radio-pojavov začetnik. Osnovnih pojmov večinoma nisem utemeljeval z računi, temveč s poskusi in praktičnimi primeri, ker sem pač hotel ustreči začetniku.

S knjigo nameravam zbuditi zanimanje za radio, podati osnovne pojme iz radiotehnike, da radio-amater lahko zasleduje strokovno literaturo, popisati delovanje enostavnih aparatov ter razložiti, kako se sestavljajo. Knjiga ni pisana za take, ki bi se zanimali samo za to, kako se prejemni aparat nastavlja, marveč hoče bralca uvesti v

radiotehniko. Zastonj boš prebiral navodila za sestavljanje prejemnih aparatov, če ne poznaš osnovnih pojmov in bistva radiotehnike, ker golo kopiranje posameznih vezav je navadno le potrata dragocenega časa.

Delo je pisano kot uvod v radiotehniko, zato sem vse drugo, kakor nauk o elektriki, nihanje in valovanje, omenjal, kolikor je bilo potrebno za razumevanje glavnega problema, radiotehnike.

Trudil sem se, da bi pisal poljudno. Komur bi se zdela snov o splošnem Ohmovem zakonu (na straneh 101.—121.) pretežka, naj jo izpusti in jo predela na koncu, da se vživi v bistvo radiotehnike.

Navedel sem tudi nekaj obrazcev kot pregleden izraz fizikalnih dejstev. Menim, da jih bo razumel vsakdo, če se je le poglobil v vsebino.

Ta knjiga je pri nas ena prvih o radiju, zato mi je delala terminologija hude preglavice in ne domišljam si, da je vse povedano najlepše in najboljše.

Ko prične spomladi delovati domžalska oddajna postaja, si bo lahko vsak bralec tega dela, ki se je vanj zamislil, sam napravil svoj prejemni aparat ter poslušal koncerte domače postaje.

Ljubljana, v. septembru 1927.

Prof. Leop. Andrée.

Vsebina.

Predgovor, vsebina, viri.

Stran III—VII

I. Nauk o splošni elektriki.

1. Tvarina, elektrika, eter.

Stran 1

Pozitivna in negativna elektrika. — Molekula, atom, prvine in spojine. — Usroj atoma. — Elektroni, konduktor, izolator. — Svetlobni eter.

2. Električni tok, Ohmov zakon.

Stran 5

Elektrenina, potencial, kapaciteta. — Jakost in smer toka, napetost, upor. — Ohmov zakon. — Zaporedno, vzporedno vezanje uporov. — Istosmerni, izmenični in valovni tok. — Zvok, mikrofoni. — Toplotni učinki in efekt električnega toka.

3. Električno polje, kondenzator.

Stran 21

Električno polje (influenca), nivojne ploskve, silnice. — Enot kapacitete. — Kondenzatorji. — Računanje kapacitete. — Vezanje kondenzatorjev. — Tok in kondenzator.

4. Magnetno polje, indukcijska tuljava.

Stran 33

Polje jeklenih magnetov, silnice. — Tokovodnik, njegovo magnetno polje. — Elektromagnet odklon magnetne igle. — Slušalo. — Tokovodnik in magnet. — Indukcija, transformator, induktor. — Spojitve dveh krogov. — Samoindukcija, vrtinčasti toki, zemeljska indukcija. — Samoindukcijske enote. — Tok in samoindukcija. — Samoindukcijske tuljave, njih vezanje.

5. Proizvajanje električnega toka.

Stran 58

Magneto-električni in dinamo stroji. — Lastnosti izmeničnega toka: efektivna jakost in napetost, faza, efekt. — Etrovi valovi. — Termoelektrika. — Elektroliza, galvanski člen, akumulátor, usmerjevala izmeničnega toka.

II. Nauk o nihanju in valovanju.

Stran 80

Mehanična energija tvarine. — Nihanje stvarne ločke, pogoji nihanja, nihajna doba. — Spoeni nihali, resonanca. — Postopno trans-

verzalno in longitudinalno linearno valovanje. — Interferenca valov. Stojno valovanje. Odboj valov. — Interferenca zvočnih valov. Ultrapan.e tona.

III. Specialna radiotehnika.

1. Splošni Ohmov zakon, električni nihajni krog.

Stran 101

■ Tokovodnik s kapaciteto. Krožna frekvenca, kapacivni upor. — Tokovodnik s samoindukcijo. Induktivni upor, samoindukcijski kvocient. — Tokovodnik z zaporedno kapaciteto in samoindukcijo. Povprečni upor, resonanca, brezuporni krog. — Tokovodnik z vzporedno kapaciteto in samoindukcijo. Zapiralni krog. — Tokovodnik s kapaciteto, samoindukcijo in Ohmovim uporom. Skupni upor, ugaševanje. — Tokovodnik z zapiralnim krogom. — Ohmov zakon za izmenični tok. — Električni nihajni krog, samosvoja frekvenca. — Nihajni krog z iskri lom. — Spajanje dveh nihajnih krogov. Zbujanje nihajev s sunki. — Dušenje. Udušeni in neudušeni nihaji. — Osnovni in višji nihaji. Valovanje etra, dolžina, frekvenca valov.

2. Električno izžarivanje, antena.

Stran 129

Ojačenje tona glasbenih vilic. — Odpit nihajni krog. Elektromagnetno polje in valovi. — Antena. — Pojavi na linearni anteni. — Različne antene. — Glavno nihanje antene. Njeno skrajšanje in podaljšanje. — Efektivna višina antene. Jakost elektromagnetnega polja. Dušenje radi izžarivanja.

3. Proizvajanje visokofrekvenčnih nihajev, oddajna postaja.

Stran 143

Generator z brnjačem. — Iskrni generator, glasne iskre. Marconi-jeva oddajna postaja. — Iskrilo z ugašajočimi iskrami. — Teslov transformator in tok. Oddajna postaja s suvalnim krogom. — Popolna oddajna postaja z iskrami, njeno delovanje. — Strojni generator. — Generator in oddajna postaja z obločnim plamenom.

4. Prejemna postaja na detektor.

Stran 154

Elektromagnetno polje, prejemna antena, prejemni aparat. — Prejemna postaja v principu. — Detektor, njegova karakteristika, delovanje. — Modulacija. — Vezave aparatov z detektorjem. — Telefon, telefonski kondenzator. — Motnje, selektivnost aparata.

5. Osnovni pojmi elektronske cevke.

Stran 170

Ionizacija plinov. — Pridobivanje elektronov v katodnih in elektronskih cevkah. — Dvoelektrodna cevka, njena uporaba. — Trojelektrodna cevka, njena karakteristika, delovanje. — Podatki cevke, njena enačba.

6. Elektronska cevka kot ojačevalo. Stran 189

Pojem ojačevanja. — Nizkofrekvenčno ojačevalo z eno cevko, vhodni transformator. — Dvojno ojačevalo s transformatorjem, uporom, zadrgalno tuljavo. — Visokofrekvenčno ojačevalo z zapiralnim krogom.

7. Elektronska cevka kot detektor in avdion. Stran 199

Cevni detektor, njegovo delovanje. — Avdion in mreža. — Prejemni aparat z avdionom, njegovo delovanje.

8. Elektronska cevka kot oddajalo in zloževalo. Stran 204

Cevni generator, oddajna postaja s tujim vzbujanjem. — Reakcija. — Telegrafska oddajna postaja z reakcijo. — Modulacija, telefonska oddajna postaja. — Mikrofon. — Zloževalo, nihajni avdion. — Večcevní aparati.

Dodatek.

Pregled oddajnih postaj v Evropi in azijski Rusiji. Stran 227

Stvarno kazalo. Stran 235

Popravki. Stran 243

Viri.

Prof. Dr. L. Graetz, Die Elektrizität 1921.

Dr. Ing. Aug. Hund, Hochfrequenzmeßtechnik 1922.

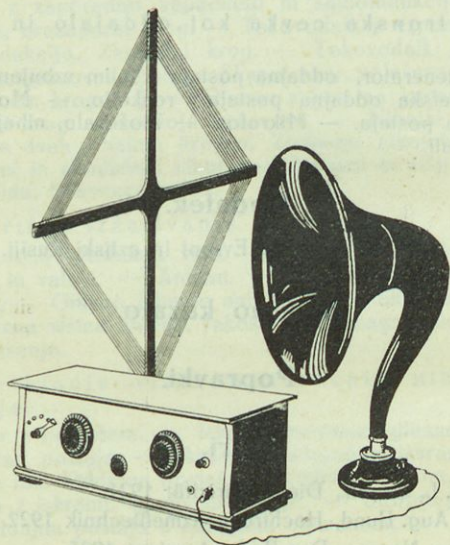
Dr. Eugen Nesper, Der Radio-Amateur 1925.

H. C. Riepka, Lehrkurs für Radio-Amateure 1925.

F. Weichart, Die phys. Grundlagen der Rundfunktechnik 1926.

Der Radio-Amateur 1923—1926. (Časopis.)

Funk 1926, 1927. (Časopis.)



I. Nauk o splošni elektriki.

1. Tvarina, elektrika, eter.

Vsako telo postane električno, če ga teremo, oziroma drgnemo s primernim telesom, in sicer tako električno kakor steklo, ki ga drgnemo z amalgamiranim usnjem, ali pa tako električno kakor ebonit, če ga teremo s kožuhovino. Na omejen način drgnjeno steklo postane pozitivno električno, ebonit pa negativno. Na steklu nastane pozitivna, na ebonitu pa negativna elektrika.

S poskusom lahko dokažemo, da se istoimensko električni telesi odbijata, nasprotnoimensko električni pa privlačujeta. Med električnimi telesi deluje privlačna ali odbojna sila, ki jo imenujemo elektrostatično silo.

Sprva so menili, da ima vsako telo že po naravi obe elektriki v obliki breztežne tekočine, imenovane „električni fluidum“. V neelektričnem telesu sta fluida v enakih množinah in enakomerno pomešana, da se izven telesa uničujeta v učinkih. (Symmrova dualistična hipoteza.) Telo je pozitivno električno, če smo mu s trenjem odvzeli nekaj negativne elektrike, in obratno. Oba fluida sta v telesu v neizčrpnih, a enakih množinah.

Danes mislimo o bistvu elektrike drugače in priznavamo posebno teorijo, po kateri je elektrika v tesni zvezi s tvarino vseh teles.

Po svojih čutih zaznavamo okoli sebe različna telesa, ki so trdna, kapljiva ali plinasta, kakor n. pr. žveplo, voda in zrak. Vsako telo je iz neke tvarine ali snovi.

Tvarina je deljiva, se da razdeliti v manjše dele. Najmanjši del tvarine, ki je za naše čute nezaznat, pa ima še vsa bistvena svojstva snovi in ga ni mogoče izpremeniti fizikalnim putem, se imenuje molekula tiste snovi. Tvarina obstaja torej iz molekul. Molekule so prav majhne; v 1 cm^3 plina je v normalnih razmerah (760 mm pritiska in 0°C) $27\cdot 2$ trilionov ($27\cdot 2\cdot 10^{18}$) molekul. — Vsako molekulo je mogoče razdeliti kemičnim putem v še manjše delce, ki se imenujejo atomi in so med seboj enaki ali pa različni. Atomov premer meri največ eno stotimiljonino (10^{-8}) mm . 5,000.000 atomov ima komaj debelino človeškega lasu.

V fiziki navadno izražamo števila kot potence števila 10, n. pr.:

$$10^3 = 1000, 10^6 = 1,000.000, 10^{-3} = \frac{1}{1000}, 10^{-6} = \frac{1}{1,000.000}$$

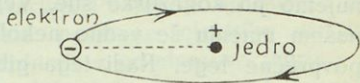
i. t. d. Potenčni eksponent je enak številu ničel.

Kemija pozna dosedaj 85 različnih snovi, pri katerih razpada molekula v enake atome. Te snovi se imenujejo prvine ali elementi, kakor so n. pr. žveplo, železo, živo srebro, vodik, kisik, dušik i. t. d. Atomi istega elementa so med seboj enaki, različnih elementov pa različni, zlasti v absolutni teži. — Snovi, ki so sestavljene iz različnih elementov, imenujemo spojine; njih molekule razpadajo v različne atome.

Molekula je navadno sestavljena iz dveh, pa tudi več atomov. Tako ima molekula žvepla (S), nad 1000°C segreta, 2 atoma, pod 1000°C 4 atome, pri sobni temperaturi pa sestavlja najbrž 8 atomov eno molekulo žvepla. — Molekula vode (H_2O) obstoji iz 2 atomov vodika (H) in 1 atoma kisika (O). — Zrak je zmes kisika (21%) in dušika (79%).

Dolgo je imela kemija atome za najmanjše delce elementov. V novjšem času se uveljavlja naziranje, da ima atom vsake prvine nekako jedro, ki ga obkrožuje (kakor luna zemljo) eden ali več majhnih delcev, lun. Teža atomovega jedra, število in način gibanja malih lun so značilni za fisti element.

Slika 1. kaže ustroj vodikovega atoma. Premer celega atoma meri po prejšnjem 10^{-8} mm, jedro je veliko manjše in nekoliko večja je krožeča luna. Ako si po Graetzu v mislih povečamo atom do velikosti naše zemlje, je njegovo jedro tako veliko kakor majhna žoga in luna ima velikost večje stavbe.



Sl. 1. Nevtralni atom vodika.

V atomu je torej prav malo snovi, največ je praznega prostora.

Luna obkrožuje z velikansko hitrostjo svoje jedro. Iz tega sledi, da mora biti sila, ki veže luno na jedro in ji brani, da se ne oddalji od njega, zelo velika.

Dokazano je, da so krožeče lune različnih elementov med seboj vse enake in so najmanjši delci posebne snovi, ki jo imenujemo elektriko. Iz česa so atomova jedra, nam dosedaj ni nič znanega. Električna je torej sestavni del vseh prvin, je nekaka prasnica. Po Helmholtzu imenujemo najmanjše delce elektrike elektrone. Krožeče lune v atomih so torej elektroni. — Vsak tvari atom ima svoje jedro, čigar snov nam je še neznana, in določeno število elektronov, ki v enem ali več tirih urno obkrožujejo atomovo jedro. Tako uči moderna elektronska teorija.

Vsak atom nam predstavlja v majhnem cel svet s svojim solncem in krožečimi planeti. Kakor so v našem osolnčju planeti vezani na svoje solnce po težnosti, tako so v atomu elektroni vezani na svoje jedro po posebni sili, ki jo moremo sedaj natančneje določiti. Elektroni so kot najmanjši delci iste snovi, elektrike, med seboj vsi enaki. Če jih imamo v zmislu prejšnjega naziranja o elektriki za negativno električne, mora biti atomovo jedro pozitivno električno. Elektroni so torej vezani na svoje jedro po elektrostatičnih privlačnih silah, ki so precej velike, ker krožijo elektroni z veliko hitrostjo okoli svojega jedra. Sila, ki bi iztrgala elektron iz atoma ali pa vrnila atomu nov elektron, bi morala biti prav velika.

Atomi se združujejo v molekule in molekule v telo. Posebne sile zabranjujejo, da ne razpade telo zopet v manjše dele; imenujemo jih kohezijske sile. Vendar pa so atomi in molekule po našem mnenju še vedno nekoliko gibljive in nihajo okoli svoje povprečne lege. Radi tega gibanja sklepamo dalje, da morajo biti med posameznimi atomi in molekulami večji prostorni presledki.

Nekatera telesa, zlasti kovine, imajo v omenjenih presledkih elektrone, ki ne pripadajo nobenemu atomu in so popolnoma prosto gibljivi; imenujemo jih proste elektrone. Če se prično prosti elektroni iz kateregakoli vzroka gibati v eno smer, govorimo o električnem toku. Telo, ki ima mnogo prostih elektronov, se imenuje dober prevodnik elektrike ali konduktor; slab prevodnik elektrike ali izolator pa je ono telo, ki nima nobenih prostih elektronov.

Mislimo, da ima izolator poleg vezanih elektronov še elektrone, ki so deloma vezani, ker se ne morejo od atoma oddaljiti, imajo pa včasih v njem posebno lego, zato se morajo gibati z večjim ali manjšim trenjem le v njem.

Moderna fizika uči, da je precej podobnega med pojavi svetlobe, elektrike in magnetizma; vsi ti pojavi se vrše v istem sredstvu. O prostoru, v katerem nastanejo električni pojavi, ne da bi bili v njem dobri prevodniki elektrike, pravimo, da je napolnjen z etrom. Etra mogoče v resnici niti ni, obstaja pa v naši domišljiji, da moremo pojasniti nekatere pojave, ki bi bili za nas sicer nerazumljivi. Eter si predstavljamo kot neskončno fino, breztežno in zelo prožno snov. Mislimo si ga povsod v svetovnem prostoru in v vsakem telesu. Po etru prehaja solčna svetloba skozi sicer prazen svetovni prostor na našo zemljo in zato navadno govorimo o svetlobnem etru. V etru se širijo valovi brezžične telegrafije in telefonije. Vsi svetlobni, električni in magnetni pojavi se vrše v etru. Elektron posreduje med telesom in etrom, ki ga obdaja.

2. Električni tok, Ohmov zakon.

Elektronska teorija uči, da obstoji elektrika iz negativnih elektronov, ki so istočasno del tvarine. Po tej teoriji imamo le prosto negativno elektriko, proste pozitivne elektrike ni; ta elektrika je vezana vedno na snov, in sicer na atomovo jedro. — Za elektron se rabi tudi izraz „električni elementarni kvant“. Več elektronov ali elementarnih kvantov tvori množino elektrike ali, kakor pravimo krajše, elektrenino E . $6 \cdot 37 \cdot 10^{18}$ elektronov dá enoto elektrenine, ki jo imenujemo 1 coulomb (izgovori kulón! 1 C).

Če prenesemo večje število elektronov na izoliran konduktor, pravimo, da smo ga naelektrili. Naelektreni konduktor se zopet lahko razelektri in postane neelektričen. Kakor vsako telo, ima tudi zemlja elektrone. Izračunali so, da znaša elektrenina naše zemlje $43 \cdot 10^4$ coulombov. Naelektreni konduktor ima elektrone le na svojem površju, ker se odbijajo v njem elektroni kolikor mogoče daleč. Zbero se na površju, ki ga pa ne morejo zapustiti, ker jih ovira pri tem dober izolator, obdajajoč zrak. Ako ima telo na svojem površju več elektronov kakor zemlja na enaki ploskvi, je negativno električno, ako ima prav toliko elektronov, je neelektrično, če pa ima manj elektronov, je pozitivno električno. Pozitivno električno telo ima premalo elektronov, negativno jih ima preveč.

Ker nimamo čuta za električne pojave, rabimo posebno pripravo, s katero ugotavljamo, ali je telo električno ali ne. Tako napravo imenujemo elektroskop. Listni elektroskop je v bistvu tanka kovinska palica, ki je izolirano pritrjena v grlu steklenice. Na spodnjem koncu nosi palica dva lahka listka iz aluminija, na zgornjem pa kovinsko ploščo ali kroglico, ki se imenuje zbiralo. Če se zbirala dotaknemo z električnim telesom, postaneta listka istoimensko električna in se razmakneta. Čim bolj se listka oddaljita s prostima koncema, tem bolj je telo električno, tem višji je njegov potencial P , kakor pravimo. — Električni potencial je sličen pojav kakor temperatura

telesa. Če dovajamo telesu toploto, se zviša njegova temperatura, če pa mu dovajamo elektrenino, se zviša njegov potencial.

Na površju naelektrenega konduktorja se porazdeli elektrenina tako, da ima telo povsod isti potencial, sicer bi se morala gibati elektrenina z mest višjega potenciala k mestom nižjega toliko časa, da bi nastalo ravnotežje. — Če je potencial konduktorja velik, se konduktor sam od sebe razelektri. To se prav lahko zgodi, če ima konduktor ostre robe ali konice.

V steklenico moremo naliti določeno množino vode, na izoliran konduktor pa se more nanesti poljubna elektrenina. Telo ima zmožnost, sprejemati elektrenino; pravimo, da ima električno kapaciteto K . Električnemu slučaju se bolj približamo, če nadomestimo steklenico s popolnoma zaprto gumijevo posodo; čim več vode vtisnemo v njo, tem bolj se posoda raztegne. Slično moremo gumijev obroč pri avtomobilu več ali manj napihniti. Čim več zraka je v njem, tem večja je njegova napetost. Obroč počí, če ga preveč napihnemo. Na konduktor moremo nanašati vedno več elektrenine in njegov potencial neprestano raste, dokler končno ne preskoči električna iskra na bližnji konduktor. Iskra preskoči tem kasneje, čim večja je površina konduktorja. Kapaciteta je torej največ odvisna od površine in oblike konduktorja.

Čim večjo kapaciteto ima telo, tem večjo elektrenino moramo nanj nanesti, da dobi to telo določen električni potencial. Telo določene kapacitete dobi tem večji potencial, čim več elektrenine smo nanj nanесли. Med elektrenino, potencialom in kapaciteto telesa je naslednja odvisnost:

$$(1) \quad \boxed{E = PK.}$$

Kapaciteta konduktorja je nekaj konstantnega

$$\left(K = \frac{E_1}{P_1} = \frac{E_2}{P_2} = \dots \right)$$

in je odvisna, če je telo dovolj oddaljeno od drugih teles, le od njegove površine in oblike.

Ako se razločujeta potenciala dveh naelektrenih konduktorjev in če ju provodno spojimo, nastane v spojni žici električni tok, in sicer toliko časa, da se potenciala izenačita. Če konduktorjema neprestano dovajamo elektriko z influenčnega kolovrata, imamo v spojni žici (leseni palici) trajen tok, dokler kolovrat vrüimo. — Na influenčnem kolovratu proizvajamo s trenjem in ojačevanjem več elektrenine kakor z drgnjenjem steklene ali ebonitne palice.

Pri električnem toku je važna njegova jakost I ; elektrenina, ki steče v eni sekundi skoz vsak prerez spojne žice, se imenuje jakost toka. V žici ali tokovodniku imamo povsod isto jakost, sicer bi se tok nekje zaježil. Enota jakosti toka se imenuje 1 amper (1 A). Če steče vsako sekundo skoz prerez žice 1 coulomb, ima tok jakost 1 ampera. 1 amper = 1 coulomb v 1 sek.

Da moremo večje ali manjše enote kratko imenovati, rabimo tele znake:

$$\begin{array}{ll} M = \text{Mega} = 10^6 \times, & m = \text{mili} = 10^{-3} \times, \\ K = \text{Kilo} = 10^3 \times, & \mu = \text{mikro} = 10^{-6} \times. \end{array}$$

$$\text{N. pr. } 1 \text{ mA} = 1 \text{ miliamper} = \frac{1}{1000} \text{ A},$$

$$1 \mu\text{C} = 1 \text{ mikrocoulomb} = \frac{1}{1,000.000} \text{ C}.$$

V starejši elektrotehniki so označevali smer toka od pozitivnega pola skoz provodno žico k negativnemu polu (konduktorju). To se ne ujema z elektronsko teorijo, kajti elektroni so vsi negativni in teko od negativnega pola (veliko elektronov!) k pozitivnemu (malo elektronov!). Iz navade pa označujemo smer toka še vedno na starejši način, čeprav vemo, da je v resnici smer nasprotna.

Jakost toka v žici, ki veže dva konduktorja različnih potencialov, je odvisna od razlike njihovih potencialov in snovi spojne žice. Razliko potencialov kratko imenujemo električno napetost V .

Različne snovi propuščajo pri isti napetosti različno jake toke, kakršen je že njihov električni upor U . Tako ima železo skoro sedemkrat večji upor od bakra; manganin (zlitina bakra, niklja in mangana) in nikelin (zlitina bakra, cinka, niklja in železa) imata celo petindvajsetkrat večji upor kakor baker in zato jih rabimo kot upore v reostatih. Med vsemi snovmi provaja tok najboljše srebro. Skoro vse kovine so dobri prevodniki električnega toka. Slabše provaja oglje in še slabše različne tekočine. Enota upora je upor živosrebrne nitke, ki ima prerez 1 mm^2 in je dolga $106,3 \text{ cm}$, in sicer pri 0°C ; imenuje se 1 ohm (1Ω).

Reostat je naprava, s katero moremo električni tok po potrebi ojačiti ali oslabiti, ne da bi ga bilo treba pri tem prekiniti. (Pomikalni, ročni, čepovni in žarnični reostat.) Pri merjenju rabimo normalne upore v obliki čepovnih reostatov. Slika 2. kaže, kako rišemo izpremenljiv upor simbolično.

V radiotehniki rabimo netilni (žarilni) upor, s katerim izpreminjamo netilni tok, da nitka primerno žari, ne preveč ne premalo. Rabimo tudi zelo velike upore $10.000 \Omega - 10 \text{ M}\Omega$, za kar nam služijo silitne palčice (iz silicijevega karbida).

Da se ne izpremeni ta upor radi vlažnosti, je silit zaprt v brezračni cevki. Uvedeni so že tudi izpremenljivi visokoohmski upori, napolnjeni najbrž z glicerinom.

Poskusi kažejo, da je upor prevodnika premo sorazmeren njegovemu specifičnemu uporu k in dolžini prevodnika l (v m) in obratno sorazmeren njegovemu prerezu q (v mm^2):

(2)

$$U = k \frac{l}{q}$$

Specifični upor prevodnika je oni upor, ki ga ima prevodnik v obliki žice z dolžino 1 m in prerezom 1 mm^2 pri 0°C .

Specifični upor je konstanta, ki je pri stalni temperaturi odvisna le od snovi provodnika.

V naslednji tabeli navajamo specifične upore nekaterih snovi, ki se največ rabijo :

aluminij	0·03—0·04,	volfram	0·055,
baker	0·0175,	zlato	0·023,
bron	0·018—0·056,	železo	0·1—0·15,
cink	0·06,	živo srebro	0·95,
kositer	0·1—0·15,	manganin	0·41—0·46,
med	0·07—0·09,	nikelin	0·41—0·46,
nikelj	0·08—0·13,	konstantan	0·47—0·49,
platin	0·09—0·14,	grafit	13,
srebro	0·016,	plinsko oglje	50.
svinec	0·2,		

Naslednja računska primera kažeta, kako se računa upor provodnika po enačbi (2).

Primer. Kolik je upor tuljave, ki ima 100 *m* bakrene žice z debelino 0·3 *mm*?

$$U = k \frac{l}{q} = \frac{0·0175 \cdot 100 \cdot 4}{0·3 \cdot 0·3 \pi}.$$

$$2r = 0·3 \text{ mm}, r = \frac{0·3}{2}, q = r^2 \pi, \pi \doteq 3·14159 \doteq \frac{22}{7}.$$

(Znak $\doteq$ pomenja: približno enak.)

$$U = \frac{0·0175 \cdot 100 \cdot 4 \cdot 7}{0·3 \cdot 0·3 \cdot 22} \doteq \underline{24 \Omega}.$$

Primer. Koliko *m* nikelinske žice z debelino 0·1 *mm* da upor 1000 Ω ?

$$U = k \frac{l}{q}; 1000 = \frac{0·42 l \cdot 4 \cdot 7}{0·1 \cdot 0·1 \cdot 22}; l = \underline{18·7 \text{ m}}.$$

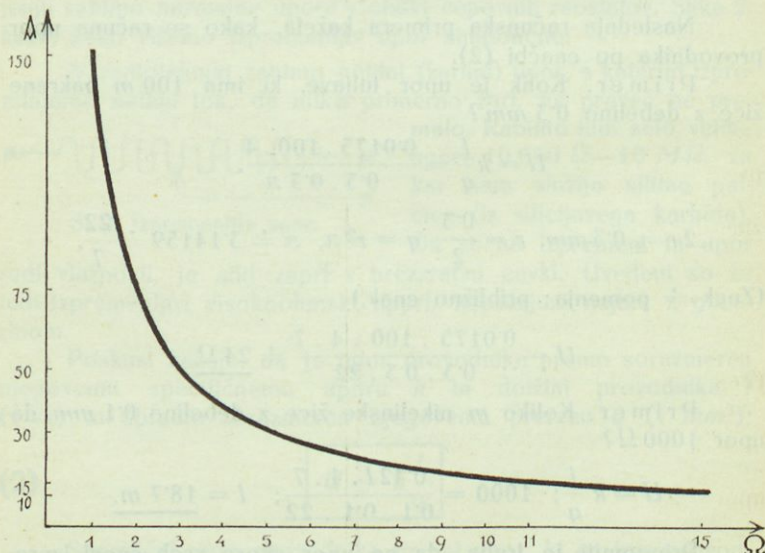
Pripomniti je treba, da se upor skoro vseh snovi izpreminja s temperaturo. Kovinam raste s temperaturo njih upor,

ogljui in tekočinam pa pojema. Manganinu in nikelinu se upor s temperaturo prav malo izpreminja, zato se rabita v reostatih. Železu se upor s temperaturo precej izpremeni, zaradi tega izdelujejo iz železa netilne upore (avtolimite), ki samodelno regulirajo jakost toka.

Skoz provodnik stalnega upora teče tem jačji tok, čim večja je napetost na njegovih koncih. Pri stalni napetosti je jakost toka tem večja, čim manjši je upor provodnika.

$$(3) \quad I = \frac{V}{U}; \text{ jakost} = \frac{\text{napetost}}{\text{upor}}$$

V tej enačbi je izražen Ohmov zakon, ki velja za isto-smerne toke.



Sl. 3. Jakost in upor pri isti napetosti.

Iz enote za jakost toka in upor provodnika izpeljemo enoto za električno napetost. Za enoto napetosti imamo ono napetost, ki propuša skozi upor 1Ω jakost $1 A$, in jo imenujemo 1 volt ($1 V$).

V največ slučajih je napetost konstantna in tedaj je jakost električnega toka odvisna le od upora, in sicer je obratno sorazmerna upor, kajti večji upor propuša slabši tok. Na sliki 3. smo nanegli na vodoravno os različne upore, na navpično os pa jakosti, ki odgovarjajo omenjenim uporom pri stalni napetosti $150 V$. Narisana krivulja je hiperbola. S slike spoznamo, da dobimo pri majhnem uporju veliko jakost, nad $150 A$, kar odgovarja kratkemu stiku. Na omrežni tok, kakor nam ga daje elektrarna, ne smemo nikdar skleniti aparata z majhnim uporom, sicer se nam radi nastalega jaknega toka aparat pokvari in utegne nastati ogenj.

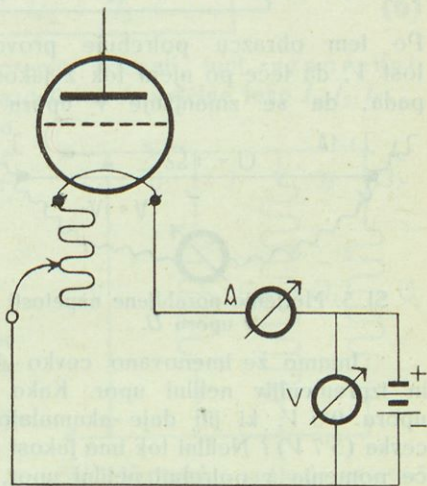
Kako važen je Ohmov zakon, spoznamo iz naslednjih primerov.

Kako jak je netilni tok, ki ga potrebuje Philipsova elektronska cevka A 409 na sliki 4., če rabimo štirivoltni akumulator in ima ves katodni krog (tokovodnik) 67Ω upora?

Po Ohmovem zakonu dobimo:

$$I = \frac{V}{U} = \frac{4}{67} \doteq 0.06 A.$$

Amperometer A , sklenjen v tokovodniku, kaže $0.06 A$ ali $60 mA$, voltmeter V pa $4 V$. Voltmeter sklenemo vzporedno z akumulatorjem.



Sl. 4. Merjenje jakosti in napetosti netilnega toka.

4 V. Voltmeter sklenemo vzporedno z akumulatorjem.

Ohmovemu zakonu moremo dati tudi naslednjo obliko:

$$(4) \quad U = \frac{V}{I}; \text{ upor} = \frac{\text{napetost}}{\text{jakost}}.$$

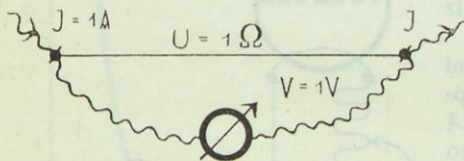
Po tem obrazcu računamo upor provodnika. Če vemo, da potrebuje Philipsova elektronska cevka A 409 pri 3,7 V napetosti netilni tok 0,06 A, najdemo po obrazcu (4) upor nitke:

$$U = \frac{V}{I} = \frac{3,7}{0,06} = 62 \, \Omega.$$

Tretja oblika Ohmovega zakona se glasi:

$$(5) \quad V = IU; \text{ napetost} = \text{jakost} \times \text{upor}.$$

Po tem obrazcu potrebuje provodnik z uporom U napetost V , da teče po njem tok z jakostjo I . Pravimo, da napetost pada, da se zmanjšuje v uporu U za $V = IU$, in toliko je tudi razlika potencialov na koncih provodnika, sicer bi tok ne tek. Če teče po uporu $1 \, \Omega$ tok z jakostjo $1 \, A$, se zmanjša v uporu napetost za $1 \, V$. (Slika 5.)



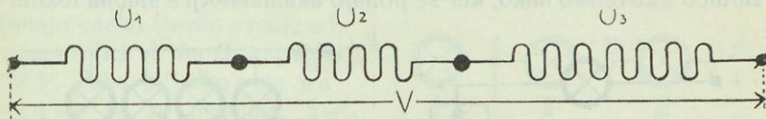
Sl. 5. Merjenje porabljene napetosti v uporu U .

Imamo že imenovano cevko A 409, štirivoltni akumulator in izpremenljiv netilni upor. Kako dosežemo, da se uniči v uporu 0,3 V, ki jih daje akumulator več, kakor jih potrebuje cevka (3,7 V)? Netilni tok ima jakost 0,06 A, torej je $0,3 = 0,06x$, če pomenja x potrebni netilni upor, in dobimo:

$$x = \frac{0,3}{0,06} = \frac{30}{6} = 5 \, \Omega.$$

Navedeni primeri kažejo, da se neprestano rabi Ohmov zakon, kadar imamo istosmerni tok.

Ohmov zakon je veljaven tudi za sestavljen provodnik. Ako spojimo več uporov zaporedno (slika 6.), da teče tok



Sl. 6. Zaporedno spajanje uporov.

skoz vse, tedaj je skupni upor U_s enak vsoti vseh delnih uporov a vsak upor pa porabi le delno napetost skupne napetosti V . Pri zaporednem spajanju uporov velja:

$$\boxed{U_s = U_1 + U_2 + U_3 + \dots} \quad (6)$$

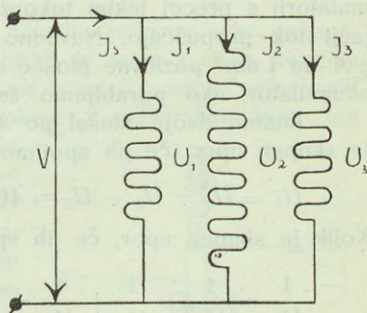
Posamezne upore moremo sklepati tudi vzporedno (slika 7.). V tem slučaju se razdeli tok I_s v delne toke $I_1, I_2, I_3, \dots$, na vseh uporih pa obstaja ista napetost V . Delne toke izračunamo po Ohmovem zakonu:

$$I_1 = \frac{V}{U_1}, I_2 = \frac{V}{U_2}, I_3 = \frac{V}{U_3}.$$

Če zaznamujemo skupen upor U_s , dobimo za skupen tok

$$I_s = I_1 + I_2 + I_3 + \dots \text{ in}$$

$$I_s = \frac{V}{U_s} = \frac{V}{U_1} + \frac{V}{U_2} + \frac{V}{U_3} + \dots$$

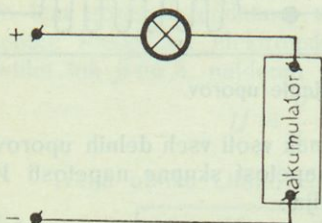


Sl. 7. Vzporedno spajanje uporov.

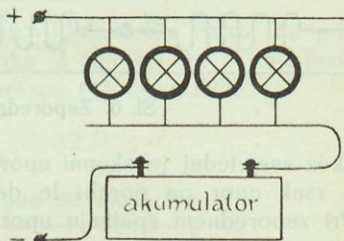
Za vzporedno spajanje uporov velja torej:

$$\boxed{\frac{1}{U_s} = \frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \frac{1}{U_3} + \dots} \quad (7)$$

Na sličen način spajamo žarnične upore pri polnjenju akumulatorjev. Anodne akumulatorje polnimo, da vklemeo pred nje žarnico s kovinsko nitko, ker se polnijo akumulatorji s slabim tokom



Sl. 8. Polnjenje anodnih akumulatorjev.



Sl. 9. Polnjenje katodnih akumulatorjev.

(slika 8.). Katodne akumulatorje polnimo za žarnicami z ogljeno nitko, ki so vzporedno spojene (slika 9.), ker se polnijo akumulatorji s precej jakim tokom; čim več žarnic sklenemo, tem jačji tok propuščajo. Navadno se računa pri polnilnem toku $\frac{1}{2} A$ na $1 dm^2$ pozitivne plošče akumulatorja. Najceneje polnimo akumulator, ako porabljamo žarnice istočasno za razsvetljavo.

Imamo dvoje slušal po 4000Ω in eno za 2000Ω . Kolik je skupen upor, če jih spojimo zaporedno?

$$U_s = U_1 + U_2 + U_3 = 4000 + 4000 + 2000 = 10.000 \Omega.$$

Kolik je skupen upor, če jih spojimo vzporedno?

$$\frac{1}{U_s} = \frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \frac{1}{U_3} = \frac{1}{4000} + \frac{1}{4000} + \frac{1}{2000} = \frac{1}{1000};$$

$$U_s = 1000 \Omega.$$

Skupen upor se je pri vzporednem spajanju precej zmanjšal.

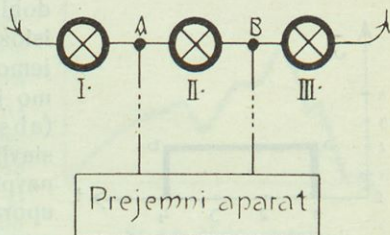
Nadaljnja praktična uporaba razdvojenega tokovodnika je prava, s katero odvezemamo omrežnemu istosmernemu toku anodni tok. Tako si prihranimo posebno anodno baterijo, ki je najdražji

del prejemnega aparata. Na sliki 10. so I, II. in III. zaporedno staknjene žarnice z ogljeno nitko. Ako ima omrežje napetost 150 V in so žarnice enake (imajo enako število sveč), odvajamo pri A in B napetost 50 V. Taka priklopna naprava še ni popolna, ker slišimo v slušalu preglasno strojni ton; izpopolnili jo bomo kasneje.

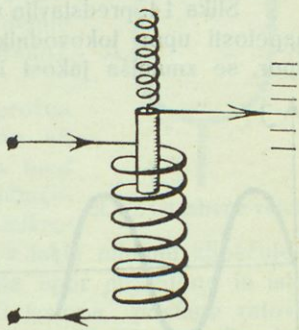
Kake toke razločujemo in kako jih rišemo?

Tok imenujemo isto- smeren, ako ne izpreminja svoje smeri in jakosti. Tok je izmeničen, če neprestano in v enakih presledkih izpreminja svojo smer. Popuščajoči ali valovni tok se imenuje tok, ki teče sicer v isto smer, a izpreminja neprestano svojo jakost.

Tokovodna tuljava poteguje železno jedro v sebe, ako je jedro obešeno na prožni žični špirali in sega z enim koncem deloma v tuljavo. S tem pojavom se bomo še natančneje bavili. Tuljava potegne jedro tem globokeje v sebe, čim jačji tok jo obkrožuje. Lahko kazalce, ki je pritrjeno na jedro, se pomakne pri tem ob empirično (s poskusom) določeni skali navzdol in določi jakost toka v tuljavi. To je princip amperometra z železnim jedrom (slika 11.). Kazalce nadomestimo s pisalnim klinčkom, ki sega do enakomerno krožečega bobniča, prevlečenega s papirjem. Klinček riše pri tem po papirju črto. Ko razvijemo papir v ravnino, kaže narisana črta, kakšen tok teče v tuljavi.

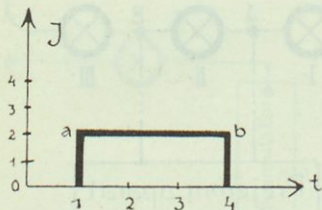


Sl. 10. Priklopni aparat na omrežje.



Sl. 11. Princip amperometra z železnim jedrom.

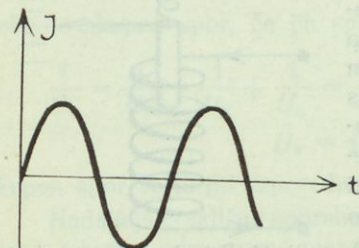
Če sklenemo koncem prve sekunde istosmerni tok z jakostjo 2 A in ga po četrti sekundi zopet prekinemo, zariše klinček črto $1-a-b-4$; če zravnamo papir, ki smo ga odvili od bobniča, dobimo sliko 12., ki nam predstavlja istosmerni tok. Nastalo sliko imenujemo karakteristiko toka. Rišemo jo, če nanašamo na vodoravno (abscisno) os enake daljice, ki predstavljajo trajanje toka v sekundah, na navpično (ordinatno) os pa jakost uporabljenega toka v amperih. Vodoravna os se imenuje v našem slučaju časovna os, navpična pa os ja-



Sl. 12. Istosmerni tok.

kosti toka. Karakteristika istosmernega toka je vzporedna s časovno osjo. Če povemo splošno, je karakteristika (krivka, krivulja) slika dogodka, ki se vrši v času. (Karakteristika temperature za mrzlico bolnega človeka; na časovno os se nanaša čas [zjutraj, opoldne, zvečer], na navpično os pa odmerjena temperatura.) — Slika 13. predstavlja izmenični tok, ki počasi izpreminja svojo smer. Izmenični tok rabi napetost, ki tudi neprestano izpreminja svojo smer. Nastala kriva črta se imenuje sinusova krivulja.

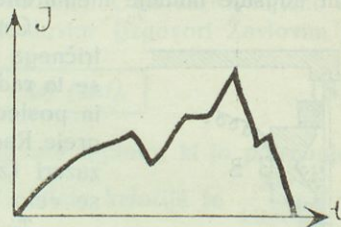
Slika 14. predstavlja valovni tok, ki nastane, ako se pri stalni napetosti upor tokovodnika neprestano izpreminja. Če naraste upor, se zmanjša jakost in obratno. — Take upore rabimo v tehniki v obliki mikrofонов. Mikrofon je akustična naprava. Omenimo najvažnejše iz akustike!



Sl. 13. Izmenični tok.

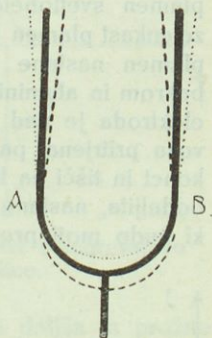
Zvok se imenuje vse, kar slišimo. Da nastane zvok, moramo imeti telo, ki se trese, takozvano zvočilo, posredovalno sredstvo, zvokovod, ki je za nas navadno zrak, in zdravo uho.

Kot zvočilo omenjamo glasbene vilice, ki jih bomo še večkrat rabili. Te so zavita prožna jeklena palica z ročajem, ki je navadno pritrjena na resonančni skrinjici. Če udarimo po enem roglju, se približujeta roglja drug drugemu in zopet oddaljujeta; konca roglja nihata najjače (nihalni vrh!), koleno pa se giblje navzgor in navzdol in prav tako se giblje tudi ročaj. Točki *A* in *B* v kolenu mirujeta in tvorita vozla. Pravimo, da valujejo vilice stojno. Pri tem se zrak okoli vilic neprestano zgoščuje in razredčuje. Te zgoščine in razredčine zraka se razširjajo s hitrostjo 340 m na sekundo na vse strani in zadenejo naše uho, kjer povzročajo zaznavanje zvoka. Tako zaznava naše uho človeški glas, ton glasbila in različne ro-pote, šume, poke i.t.d. O zraku pravimo, da valuje postopno, in sicer longitudinalno, t. j., posamezni delci nihajo v smeri valovnega razširjanja. V glasbenih vilicah nihajo posamezne točke transverzalno, pravokotno na palico. Ako deluje zvok na prožno ploščo, opno (membrano), niha ta kakor zrak.



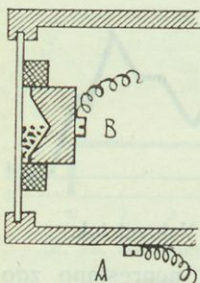
Sl. 14. Valovni tok.

Bistveni deli mikrofona so: prožna ogljena membrana, ogljen valj z eno ali več zarezi in ogljena zrnca, ki so med tema deloma. Ogljen valj obdaja klobučevina (slika 16.). Ako govorimo proti mikrofону, opna niha in ogljena zrnca se v taktu nihanja zgoščujejo in zopet rahljajo. Pri tem se izpreminja upor mikrofona in istosmerni tok, ki pri *A* vstopa in pri *B* izstopa, postane valovni tok. Istosmerni tok je nosilec valovnega toka (sl. 17.). Karakte-



Sl. 15. Glasbene vilice.

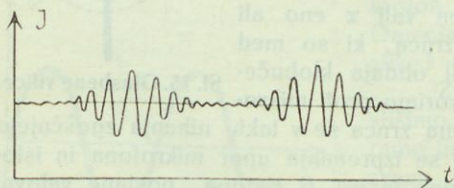
ristika valovnega toka odgovarja krivki zvočnega valovanja. Obroč iz klobučevine preprečuje, da ne izpadajo ogljena zrnca, in udušuje nihanje membrane, da ne zveni.



Sl. 16. Mikrofon.

Omenimo toplotne učinke električnega toka! Če kroži tok po tokovodniku, se ta radi svojega upora prehodu toka upira in posledica tega je, da se tokovodnik segreje. Radi električnega toka tokovodnik lahko zažari (žarnica), pri dovolj jakem toku pa se celo stali (varovalo).

Tu sem spada tudi električna obločna luč. Ako gre primerno jak tok skoz ogljeni ali kovinski palici, ki se prvotno dotikata, zažarita konici. Če palici nekoliko razmaknemo, nastane med njenima konicama svetel obločni plamen, ki sveti v karakteristični barvi kovine. Pri železnih palicah (elektrodah) ima plamen svetlobelo barvo in se iskri; bakreni elektrodi dasta zelenkast plamen (strelovod v obliki rogov za jake toke). Obločni plamen nastane tudi med različnima elektrodama, n. pr. med bakrom in aluminijem. Ta pojav imamo pri cestni železnici. Ena elektroda je nad vozom napeta bakrena žica, druga je na strehi voza pritrjena palica iz aluminija, ki jo močno pero dviga pokonci in tišči na bakreno žico. Ako se palica in žica le nekoliko oddaljita, nastane med njima obločni plamen in močno iskrenje, ki hudo moti prejemanje radiokonzertov v mestih.



Sl. 17. Mikrofonov valovni tok.

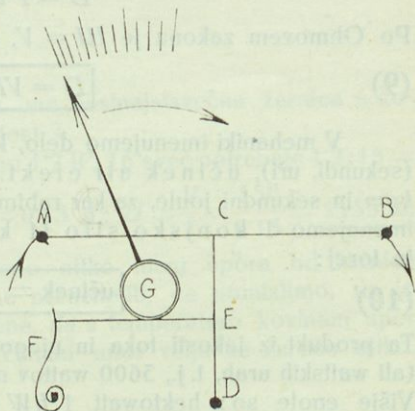
Segrevanje tokovodnika po električnem toku si razlagamo s trenjem prostih elektronov pri njih gibanju ob tvarnih atomih. Nastala toplota je tem večja, čim večji upor ima tokovodnik in čim jačji tok se

po njem pretaka. Kakor kaže poskus, raste toplota s kvadratom jakosti uporabljenega toka in je razen tega tudi odvisna od časa, v katerem kroži tok po tokovodniku. Čas zaznamujemo s t . Nastala toplota je izražena z Joulovim (izgovori Žavlovim!) zakonom.

$$\boxed{\text{Toplota} = 0,24 I^2 U t \text{ (kal).}} \quad (8)$$

S „kal“ zaznamujemo malo kalorijo, ono toploto, ki jo potrebuje 1 g vode, da se segreje za 1°C . Mala kalorija je $\frac{1}{1000}$ Kal velike kalorije.

Toplotni učinek električnega toka se porablja za merjenje jakosti toka v merskem aparatu s segrevajočo se žico. Princip tega aparata kaže slika 18. Med A in B je napeta zelo drobna ($0,03 \text{ mm}$) kovinska nitka, navadno iz platiniridija, ki jo segrevamo z istosmernim ali izmeničnim tokom. Slabo gibanje središča nitke C se poveča z nitko CD, posebno pa še z nitko EF, ki je ovita okoli kolesca G s kazalcem in pritrjena na prožnem peresu F. Žica postane radi toka daljša in prožno



Sl. 18. Amperometer s segrevajočo se žico.

pero jo potegne navzdol in zavrti pri tem kazalec v zmislu prištavljenе puščice. Kazalec se giblje ob empirično določeni skali in kaže jakost uporabljenega toka v amperih. Skala ima neenake dele, ker raste nastala toplota s kvadratom jakosti toka. S tem amperometrom moremo meriti jakost istosmernih in izmeničnih tokov, kajti oba toka segrevata in podaljšujeta žico.

Toploto moremo proizvajati z delom. Nakovalo in kladivo se segrejeta, če tolčemo po nakovalu s kladivom. Enota dela je kilogrammeter (*kgm*), delo, ki ga opravimo, ko dvignemo 1 *kg* 1 *m* visoko. Delo, ki je približno enako $\frac{1}{10}$ *kgm*, torej delo, ki ga opravimo, če dvignemo 10 *dkg* 1 *m* visoko, imenujemo 1 joule. V zgoraj omenjenem Joulovem zakonu je nastala toplota izražena v malih kalorijah. Če izrazimo toploto z enakovrednim (ekvivalentnim) delom, in sicer v joulih, dobi Joulov zakon naslednjo obliko:

$$D = I^2 U t.$$

Po Ohmovem zakonu je $IU = V$, zato smemo pisati:

(9)

$$D = V I t.$$

V mehaniki imenujemo delo, ki ga opravimo v časovni enoti (sekundi, uri), učinek ali efekt. Enota učinka sta sekundni *kgm* in sekundni joule, za kar rabimo izraz watt (*W*). 75 *sekkgm* imenujemo 1 konjsko silo (1 k. s.) Učinek električnega toka je torej:

(10)

$$\text{učinek} = V \cdot I \cdot t.$$

Ta produkt iz jakosti toka in njegove napetosti se meri v wattih (ali wattskih urah, t. j., 3600 wattov na sekundo ali 1 watt na uro). Višje enote so: hektowatt 1 *hW* = 100 *W*, kilowatt 1 *kW* = 1000 *W*, hektowattska ura 1 *hWu* = 100 *Wur* in kilowattska ura 1 *kWu* = 1000 *Wur*. Enota učinka (efekta) = 1 *V* · 1 *A* = 1 watt = 1 *W*.

Že večkrat omenjena Philipsova elektronska cevka A 409 potrebuje $E = 3.7 \cdot 0.06 = 0.222$ *W*.

V navadi so žarnice z 10, 16, 25, 32, 50 i. t. d. normalnimi svečami. Normalna sveča (1 n. s.) je parafinova sveča, ki ima premer 20 *mm* in gori s 50 *mm* visokim plamenom. Iz števila sveč, s katerimi svetí žarnica, je mogoče izračunati njen upor. Žarnica z ogljeno nitko potrebuje 3.5 *W* na svečo, žarnica s

kovinsko nitko le 1'2 W. Polwattne žarnice so napolnjene z in-diferentnim plinom, ki ne pospešuje gorenja in tudi sam ne gori, n. pr. z dušikom, neonom ali argonom, in potrebujejo le pri več svečah (nad 100) en polwatt na svečo, pri nižjem številu sveč pa se ne razločujejo v porabi toka od navadnih žarnic s kovinskimi nitkami.

Primer. Koliko upora ima šestnajstsvečna žarnica z ogljeno nitko pri 150 V napetosti?

Za eno svečo potrebujemo 3'5 W, 16 sveč potrebuje $3'5 \cdot 16 = 56$ W = 150 I. $I = \frac{56}{150} = 0'37$ A; po Ohmovem zakonu je

$$U = \frac{V}{I} = \frac{150}{0'37} = \underline{406 \Omega}.$$

Primer. Koliko upora ima šestnajstsvečna žarnica s kovinsko nitko pri 150 V napetosti?

Za eno svečo potrebujemo 1'2 W, 16 sveč potrebuje $1'2 \cdot 16 = 19'2$ W = 150 I. $I = \frac{19'2}{150} = 0'13$ A; $U = \frac{V}{I} = \frac{150}{0'13} = \underline{1153 \Omega}.$

Da ima žarnica z ogljeno nitko manj upora od žarnice s kovinsko nitko, nas ne sme presenetiti, če pomislimo, da je kovinska nitka daljša od ogljene, da s temperaturo kovinam upor raste, oglju pa pojema. Izračunani upor velja za žarečo nitko.

3. Električno polje, kondenzator.

Izolirano kovinsko kroglo naelektrimo negativno. Čim več elektronov smo zbrali na krogli, tem težje je prenesti nanjo še večje število elektronov, ker so elektroni istoimensko električni in se odbijajo. Odbojna sila odbija vse elektrone, od katerekoli strani se bližajo krogli. Če jih le prenesemo na kroglo, moramo premagati odbojno silo, opraviti torej neko delo. To delo ni izgubljeno. Ko se krogla razelektri, opravi enako veliko delo, n. pr. predre papir, steklo, vžge plin i. t. d. V prostoru okoli na-

elektrene, izolirane krogles se torej zbuja neka sila, ki odbija v tem prostoru elektrone, in sicer tem jače, čim bliže krogles so elektroni. Ves prostor, v katerem se čuti odbojna sila, se imenuje električno polje naelektrenega telesa.

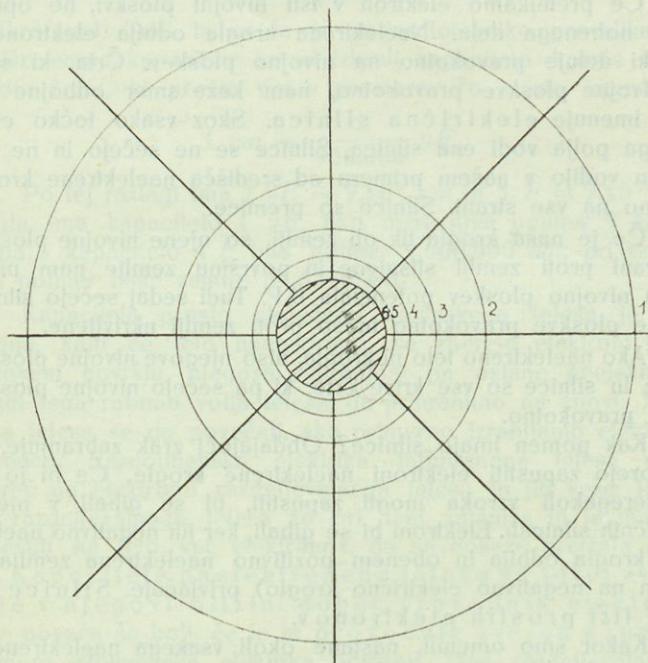
V svojem polju vpliva naelektreno telo na električna in neelektrična telesa. Istoimensko električna telesa naelektreno telo odbija, raznoimensko električna pa privlačuje. Telesa se prično v omenjenem zmyslu gibati, če so prosto gibljiva. Telesi se privlačujeta in končno dotakneta, odbijata pa se do skrajnih mej električnega polja. Pri dotiku se nasprotni elektrenini nevtralizirata. — Vsako neelektrično kovinsko telo postane električno, če ga zadostno približamo naelektrenemu telesu. Na bližnjem koncu postane telo raznoimensko električno, na oddaljenem pa istoimensko, kakor je naelektreno telo. Raznoimenska elektrika je pri tem pojavu vezana, se ne da odvesti, istoimenska pa odvodna, ker se istoimenski elektriki odbijata. Če odvedemo istoimensko elektriko s tem, da se telesa dotaknemo z roko, in ga odstranimo iz bližine (polja) naelektrenega telesa, ostane telo raznoimensko električno. Ta pojav se imenuje električna influenca. Telesu, ki je povzročilo influenco, pravimo razdeleževalno telo, telo pa, ki je postalo električno po influenci, imenujemo influirano.

Če nanesimo na izolirano kovinsko kroglo s polmerom r elektrenino E , dobi krogla potencial P , ki je odvisen od njene kapacitete K . $E = PK$ in $P = \frac{E}{K}$. Račun dokazuje, da je kapaciteta krogle enaka njenemu polmeru $K = r$, tako da je potencial krogle

$$(11) \quad P = \frac{E}{r}.$$

Ploskev, v kateri leže točke enakega potenciala, se imenuje nivojna ploskev. Površina naelektrene krogle je torej nivojna ploskev. Potential merimo v voltih kakor napetost, ki je enaka razliki potencialov v dveh točkah električnega polja.

Polje naelektrene izolirane krogle lahko narišemo. Skoz vsako točko električnega polja gre nivojna ploskev, ki je določena po enačbi $\frac{E}{r} = P$, kjer pomenja E elektrenino, r razdaljo



Sl. 19. Električno polje naelektrene krogle.

točke od središča in P potencial krogle v tisti točki. Nivojnih ploskev je brez števila veliko; v našem primeru so nivojne ploskve istosrediščne krogle.

Recimo, da ima krogla polmer r , ki meri 1 cm , in smo jo naelektrili s toliko elektrenino E , da je dobila potencial 6 V ,

potem ima kroglja v razdaljah 1, 1'2, 1'5, 2, 3, 6 *cm* potenci-
ale 6, 5, 4, 3, 2, 1 *V* in šele v neskončni razdalji je njen po-
tencial 0. Slika 19. kaže, da leže nivojne ploskve, v katerih
raste potencial za 1 *V*, vedno bolj skupaj proti skupnemu središču.

Če premikamo elektron v isti nivojni ploskvi, ne oprav-
ljamo nobenega dela. Naelektrena kroglja odbija elektrone s
silo, ki deluje pravokotno na nivojno ploskev. Črta, ki seče
vse nivojne ploskve pravokotno, nam kaže smer odbojne sile
in se imenuje električna silnica. Skoz vsako točko elek-
tričnega polja vodi ena silnica. Silnice se ne sečejo in ne kri-
žajo in vodijo v našem primeru od središča naelektrene krogle
radialno na vse strani. Silnice so premice.

Če je naša kroglja tik ob zemlji, so njene nivojne ploskve
na strani proti zemlji stisnjene in površina zemlje nam pred-
stavlja nivojno ploskev potenciala 0 *V*. Tudi sedaj sečejo silnice
nivojne ploskve pravokotno in so proti zemlji ukrivljene.

Ako naelektreno telo ni kroglja, niso njegove nivojne ploskve
krogle in silnice so vse krive črte, ki pa sečejo nivojne ploskve
vedno pravokotno.

Kak pomen imajo silnice? Obdajajoči zrak zabranjuje, da
ne morejo zapustiti elektroni naelektrene krogle. Če bi jo pa
iz kateregakoli vzroka mogli zapustiti, bi se gibali v njenih
električnih silnicah. Elektroni bi se gibali, ker jih negativno naelek-
trena kroglja odbija in obenem pozitivno naelektrena zemlja (z
ozirom na negativno električno krogljo) privlačuje. Silnice so
torej tiri prostih elektronov.

Kakor smo omenili, nastane okoli vsakega naelektrenega
telesa električno polje, kjer se pojavljajo električni učinki. Razno-
imensko električni telesi se privlačujeta, istoimensko električni
pa odbijata, neelektrično kovinsko telo pa postane v električnem
polju električno. Ti učinki v daljavo so mogoči, ker obdaja vsa
telesa svetlobni eter, ki posreduje med njimi. Po etrovem po-
sredovanju nastane električno polje.

Po obrazcu $K = \frac{E}{P}$ ima telo enoto kapacitete, če

dobi potencial 1 volta, ko ga naelektrimo z 1 coulombom. Ta enota se imenuje 1 farad (1 F) in je zelo

velika, zato uporabljamo $\frac{1}{1,000.000} F = 1 \mu F$ in jo imenujemo

1 mikrofarađ. Tudi ta enota je za radiotehniko prevelika. Za manjšo enoto kapacitete so si izbrali kapaciteto krogle s polmerom 1 cm , ki prosto visi v prostoru. To enoto imenujemo

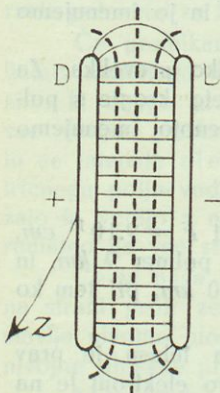
$$1 \text{ cm} = \frac{1}{900.000} \mu F.$$

Po tej razlagi ima 1 $\mu F = 9.10^5 \text{ cm}$ in 1 $F = 9.10^{11} \text{ cm}$. Krogla ima kapaciteto 1 μF , ako meri njen polmer 9 km , in krogla s kapaciteto 1 F ima polmer 9,000.000 km , pri tem ko meri polmer naše zemlje le 6370 km .

Kapaciteta prosto stoječega kovinskega telesa je prav majhna, kajti če telo naelektrimo, se zberejo elektroni le na njegovem površju, njegova notranjost pa ostane neelektrična. Zaradi tega rabimo votla telesa, da prihranimo na snovi. Kapaciteta telesa se da povečati, ako primerno izrabljamo električno influenco. Raznoimenska elektrika influiranega telesa vpliva namreč na elektrone razdeljevalnega telesa in jih veže. Potencial razdeljevalnega telesa se pri tem zmanjša in je mogoče namestiti na telo več elektronov, da se doseže prejšnja napetost. Kapaciteta naelektrenega telesa se torej zveča, če je v njegovi bližini dober provodnik elektrike, in se poveča še bolj, če je ta provodnik zvezan z zemljo, da more istoimenska elektrika odtekati. Med razdeljevalnim in influiranim telesom je navadno zrak. Če nadomestimo zrak s kakim drugim izolatorjem (n. pr. ebonitom, steklom ali sljudo), se kapaciteta razdeljevalnega telesa še bolj zveča.

Slika 20. kaže v prerezu električno polje dveh kovinskih plošč, ki stojita blizu skupaj in imata različna potenciala. Plošča L je izolirana, plošča D pa zvezana z zemljo, med obema pa je zrak. Silnice so izvlečene, nivojne ploskve pa črtkane. Med

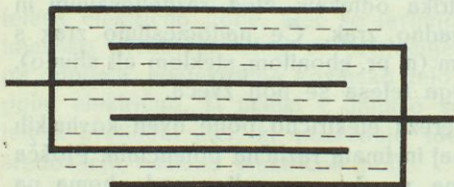
ploščama teko silnice vzporedno. Tako električno polje imenujemo homogeno. Zrak zabranjuje, da se potenciala ne moreta izenačiti. Na plošči L se zbere več elektronov, da se doseže določena napetost, če je v njeni bližini plošča D , kakor pa, če je ni. Pripravo, ki obstaja iz dveh ali tudi več blizu stojećih plošč, ločenih po izolatorju, imenujemo kondenzator (zgoščevalo elektrike). Opisani aparat je ploščni kondenzator.



Sl. 20. Električno polje ploščnega kondenzatorja.

Slična naprava je listni kondenzator (sl. 21.), ki ga porabljamo v iskrnih induktorjih. Med sosednjima listoma stanijola leži parafiniran papir, da se lista nikjer ne dotikata.

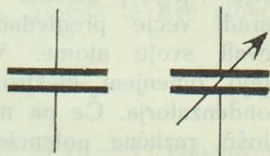
V radiotehniki rabimo stalne in izpremenljive kondenzatorje. Simbolično jih rišemo, kakor kaže slika 22. Stalen kondenzator je sestavljen kakor listni, je pa veliko manjši in pripravnejši; za izolator služi navadno sljuda. Izpremenljiv kondenzator ima več stalnih, negibljivih plošč (stator), ki so v dobri (kovinski) zvezi med seboj. Med nje je mogoče zavrteti bolj ali manj gibljive plošče (rotor), ki so tudi med seboj zvezane, in s tem se da izpreminjati kapaciteta kondenzatorja. Gumb na rotorju je izoliran in nosi obenem skalo, ki nam kaže, za



Sl. 21. Listni kondenzator.

koliko stopinj smo rotor zavrteli. Ne da bi bilo treba tok prekiniti, moremo kapaciteto izpreminjati. Pri kondenzatorjih z natančno nastavo (regulacijo) se kapaciteta polagoma izpreminja. Poleg rotor-

jevih plošč ima tak kondenzator navadno še eno gibljivo ploščo, ki jo lahko samo vrtimo. Ko so gibljive plošče popolnoma med negibljivimi, ima kondenzator največjo kapaciteto, najmanjšo pa ima tedaj, kadar je rotor izven statorja. Prvotno so bile vse plošče izpremenljivega ali vrtilnega kondenzatorja polkrogi, sedaj pa izdelujejo ledične kondenzatorje, kjer imajo gibljive plošče obliko na pol prerezane ledice. Še ožjo obliko imajo gibljive plošče pri frekvenčnih kondenzatorjih. Le pri polkrožnih gibljivih ploščah se izpreminja kapaciteta kondenzatorja sorazmerno z vrtenjem rotorja, kar pa ni vedno ugodno.

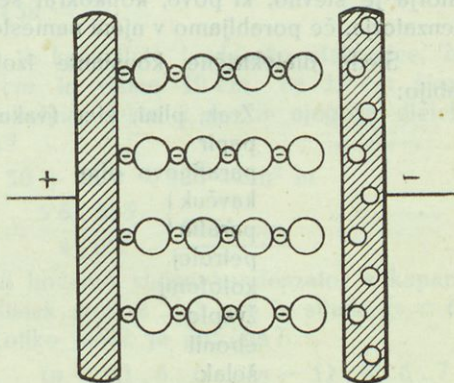


Sl. 22. Stalen in izpremenljiv kondenzator.

Kapaciteta kondenzatorja se že izpremeni, če se mu približamo z roko. Tako povečanje kapacitete preprečujemo, če vdelamo kondenzator v kovinsko posodo in jo zvežemo z zemljo, ali če zvežemo rotor z zemljo.

Pri enostavnih kondenzatorjih moremo njih kapaciteto izračunati. Gotovo je kapaciteta tem večja, čim večje so plošče kondenzatorja in čim bližje so med seboj. Kapaciteta pa je odvisna tudi od izolatorja (dielektrika), ki je med ploščami. Ako porabljamo namesto zraka sljudo, se poveča kapaciteta kondenzatorja sedemkrat, pri steklu petkrat, parafinu, olju dvakrat i. t. d.

Ta pojav nam pojasnjujejo s svojim gibanjem deloma vezani elektroni, ki so v izo-



Sl. 23. Dielektrična polarizacija.

latorju, kakor smo že omenili. Slika 23. nam predstavlja ploščni kondenzator, čigar plošči imata različna potenciala, kroglice med ploščama pa tvarne atome uporabljenega izolatorja. Njegovi deloma vezani elektroni se gibljejo le v atomu, zaradi večje preglednosti pa jih rišemo, kakor bi obkroževali svoje atome. V nenapolnjenem kondenzatorju zavzemajo omenjeni elektroni najrazličnejše lege med ploščama kondenzatorja. Če pa napolnimo kondenzator in dobimo njegovi plošči različna potenciala, se razvrste na atome vezani elektroni, kakor kaže slika, ker jih negativno naelektrena plošča odbija in pozitivno naelektrena privlačuje. Na zunaj delujejo le elektroni, ki pripadajo atomom na mejnih ploskvah izolatorja, v njegovi notranjosti pa so elektroni vezani. Učinek dielektrika je torej isti, kakor da smo zmanjšali razdaljo med ploščama. Ta vpliv električnega polja na dielektrikum imenujemo električno polarizacijo. Ker nimajo vsa dielektrika enakega števila deloma vezanih elektronov, ki se gibljejo z različnim trenjem v atomih, je kapaciteta kondenzatorja odvisna od njegovega dielektrika. Pravimo, da imajo različna dielektrika različne dielektrične konstante ϵ . Dielektrična konstanta izolatorja je število, ki pove, kolikokrat se poveča kapaciteta kondenzatorja, če porablamo v njem namesto zraka omenjeni izolator.

Slede dielektrične konstante izolatorjev, ki se navadno rabijo:

Zrak, plini, eter (vakuum)	1,
papir	1·8—2·6,
parafinovo olje	2—2·5,
kavčuk }	
parafin /	2·1—2·2,
petrolej	2,
kolofonij	2·5,
žveplo	2—4,
ebonit	2·5—3·5,
šelak	2·7—3·7,
porcelan	4—6,

steklo	5—8,
sljuda	5—8,
voda (destilirana)	80.

Kapaciteto stalnega kondenzatorja, ki ima le dve plošči, računamo po obrazcu:

$$K = \frac{\varepsilon F}{4 \pi d} \quad (12)$$

Kondenzator, ki ima n plošč, smemo šteti za $(n - 1)$ enostavnih kondenzatorjev po obrazcu (12), kajti skrajni plošči delujeta le na notranji strani, vse ostale plošče pa na obeh. Največjo kapaciteto vrtilnega kondenzatorja nam nudi torej naslednji obrazec:

$$K = \frac{\varepsilon (n - 1) F}{4 \pi d} \quad (13)$$

Če ima plošča kondenzatorja $F \text{ cm}^2$ ploščine in meri razdalja med stalnima, ozir. med stalno in gibljivo ploščo, $d \text{ cm}$, izračunamo kapaciteto K v cm ; n pomenja število stalnih in gibljivih plošč in π je razmerje med obodom in premerom kroga (Ludolfovo število) ter je $\pi \doteq 3.14159 \doteq \frac{22}{7}$.

Primer 1. Kolika je kapaciteta leydenske steklenice, če znaša njen premer 10 cm in višina 40 cm , če 10 cm širok rob ni obložen ter je debelina stekla 2 mm in njegova dielektrična konstanta $\varepsilon = 5.6$?

$$F = 10 \pi \cdot 30 + 25 \pi = 325 \pi \text{ cm}^2 \text{ in}$$

$$K = \frac{\varepsilon F}{4 \pi d} = \frac{5.6 \cdot 325}{4 \cdot 0.2} = \underline{\underline{2275 \text{ cm}}}.$$

Primer 2. Narediti hočemo stalen kondenzator s kapaciteto 500 cm ; stanijolni listek meri $2 \times 3 \text{ cm}^2$ in sljuda ($\varepsilon = 6$) ima debelino 0.2 mm . Koliko plošč je potreba?

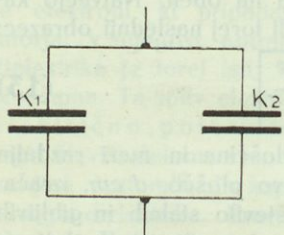
$$K = \frac{\varepsilon (n - 1) F}{4 \pi d}; 500 = \frac{(n - 1) \cdot 6 \cdot 6}{4 \pi \cdot 0.02} = \frac{(n - 1) \cdot 6 \cdot 6 \cdot 7}{4 \cdot 22 \cdot 0.02};$$

$$n = \frac{500}{144} + 1 \doteq 5.$$

Primer 3. Vrtilni kondenzator ima 18 polkrožnih plošč s premerom 10 cm in plošče so po 1 mm narazen. Kolika je največja kapaciteta kondenzatorja?

$$K = \frac{(n-1) \cdot F}{4 \pi d} = \frac{17 \cdot 25 \pi}{2 \cdot 4 \pi \cdot 0.1} = \underline{530 \text{ cm.}}$$

Več kondenzatorjev spajamo kakor upore vzporedno ali zaporedno. Ker je kapaciteta odvisna od površine plošč, se pri vzporednem spajanju kondenzatorjev (slika 24.) njih kapacitete seštejejo, kajti tako spojeni kondenzatorji sestavljajo en kondenzator z večjimi ploščami.



Sl. 24. Kondenzatorja vzporedno.

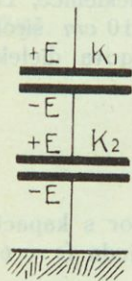
$$(14) \quad K_s = K_1 + K_2 + \dots$$

Pri tej vezavi je na vseh kondenzatorjih ista napetost.

Kondenzatorja na sliki 25. sta spojena zaporedno. V tem slučaju se skupna napetost $P = P_1 + P_2$ porazdeli na posamezna kondenzatorja, in sicer dobi kondenzator tem manjši potencial, čim večja je njegova kapaciteta, oba kondenzatorja pa dobita enako elektrenino E , tako da je

$$P_1 = \frac{E}{K_1} \text{ in } P_2 = \frac{E}{K_2}.$$

Če imamo namreč na zgornji plošči kondenzatorja K_1 elektrenino $+E$, nastane po influenci na drugi plošči tega kondenzatorja $-E$, istoimenska elektrenina $+E$ pa se odbija na zgornjo ploščo drugega kondenzatorja K_2 . Po influenci zopet nastane na drugi plošči $-E$, elektrenina $+E$ pa odhaja v



Sl. 25.
Kondenzatorja zaporedno.

zemljo. — Kondenzator, na katerem nastane napetost P , če ga naelektrimo z elektrenino E , lahko zaporedno zvezana kondenzatorja nadomešča in njegovo kapaciteto zaznamujemo s K_s . Zanj velja

$$P = \frac{E}{K_s} = P_1 + P_2 = \frac{E}{K_1} + \frac{E}{K_2} \text{ ali}$$

$$\boxed{\frac{1}{K_s} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \dots} \quad (15)$$

Primer. Če sta kondenzatorja $K_1 = 300 \text{ cm}$ in $K_2 = 500 \text{ cm}$ vzporedno zvezana, daša skupno kapaciteto $K = 300 + 500 = 800 \text{ cm}$, zaporedno zvezana pa daša kapaciteto :

$$\frac{1}{K'} = \frac{1}{300} + \frac{1}{500} = \frac{8}{1500}; K' = 187 \text{ cm};$$

skupna kapaciteta je torej manjša od kapacitete najmanjšega kondenzatorja.

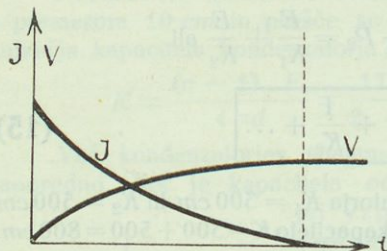
Enaka kondenzatorja $K_1 = K_2$ daša vzporedno zvezana še enkrat večjo kapaciteto $K = 2K_1$, zaporedno zvezana pa polovico kapacitete enega kondenzatorja $K' = \frac{K_1}{2}$.

Kondenzatorje spajamo vzporedno, da dosežemo večjo kapaciteto, kakor jo imajo posamezni kondenzatorji. Ker pa je pri tej vezavi na vseh kondenzatorjih ista napetost, ne sme biti ta napetost prevelika, da jo more vsak posamezen kondenzator vzdržati.

Kondenzatorjev ne spajamo zaporedno, da bi dosegli manjšo kapaciteto, kakor jo imajo posamezni kondenzatorji, marveč največ zato, da smemo dati kondenzatorjem napetost, ki bi je en sam kondenzator ne vzdržal.

Kondenzator ne propušča istosmernega toka, ki napolni le eno njegovo ploščo z elektroni, drugo ploščo pa zapusti enako število elektronov. Spočetka je polnilni tok velik in napetost majhna, potem pa tok urno pojema, napetost pa raste

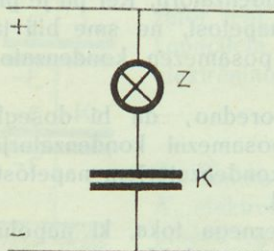
in doseže svojo največjo vrednost V , ko je jakost polnilnega toka $\emptyset$; tedaj je kondenzator napolnjen (slika 26.). Nadaljnji istosmerni tok je prekinjen (blokirano). V tokovodnikih



Sl. 26. Tok in napetost pri kondenzatorju.

imamo večkrat stalne kondenzatorje, da nam prekinjajo istosmerni tok. To lastnost kondenzatorja porabljamo, da preskušamo, če kondenzator ne propušča toka, če se njegovi plošči ne dotikata. Na omrežju istosmernega toka (slika 27.) sklenemo zaporedno žarnico Z in kondenzator K ; žarnica ne sveti, če je kondenzator dober.

Pri izmeničnem toku se plošči kondenzatorja naelektrujeta pozitivno in negativno, kakor izpreminja tok svojo smer. Prvi polnilni tok se izpreminja v izpraznjevalnega, ta zopet v polnilnega i. t. d. Izmenični tok teče torej nemoteno skozi kondenzator, le njegova napetost se nekoliko zakasni za tokom, kajti najprej teče polnilni tok in potem šele doseže napetost v kondenzatorju svojo največjo vrednost. Kondenzator moremo primerjati naslednji mehanični pripravi

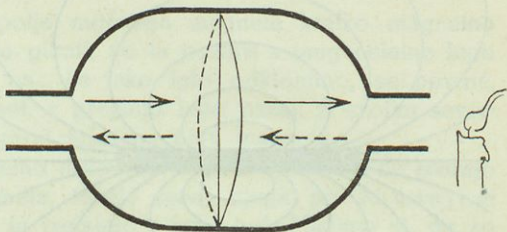


Sl. 27. Preskušanje kondenzatorja.

(slika 28.). Steklена cev je v sredi razširjena in predeljena z opno v dva dela. V prvem delu cevi zgoščujemo in razredčujemo zrak v enakih presledkih; membrana prične nihati in zgoščuje ter razredčuje zrak tudi v drugem delu cevi, ne da bi prišlo pri tem kaj zraka iz prvega dela v drugi del. Plamen sveče plapolja.

Izmenični tok povzročuje premikanje deloma vezanih elektronov v dielektriku kondenzatorja. Radi dielek-

trične polarizacije nastane v izolatorju premikalni tok, ki se upira izmeničnemu toku. Tega upora ne smemo šteti za upor v Ohmovem zmislu, ker ga izmenični tok obide; upor je le navidezen. Sicer pa se kondenzator izmeničnemu toku tem manj upira, čim hitreje izpreminja tok svojo smer in čim večja je kapaciteta kondenzatorja. To pokaže omenjena mehanična priprava. Čim hitreje zgoščujemo in razredčujemo zrak v cevi in čim večja je opna, tem živahneje plapolata plamen sveče.



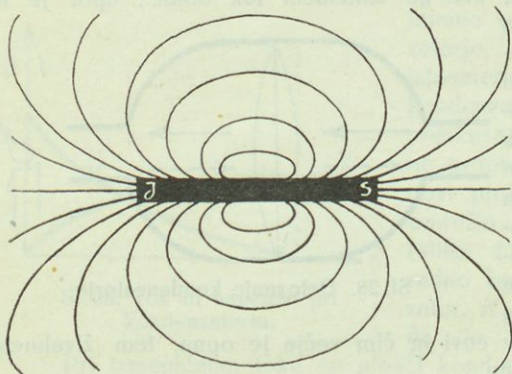
Sl. 28. Delovanje kondenzatorja.

4. Magnetno polje, indukcijska tuljava.

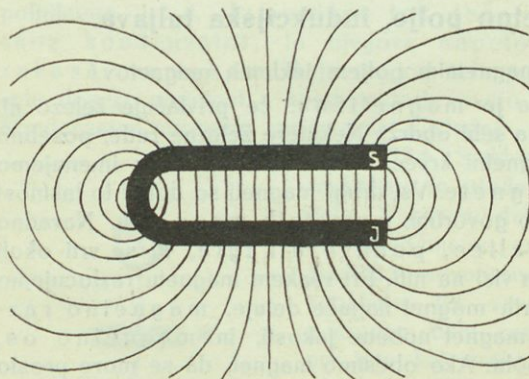
Pričnimo z magnetnim poljem jeklenih magnetov!

Jeklena palica je magnetična, če privlačuje železo ali jeklo in ga potem na sebi obdrži. Nekatere železne rude, posebno magnetovec in magnetni kršec, imajo tako lastnost; imenujemo jih prirodne magnet. Vsi drugi magneti so dobili to lastnost umetnim putem, zato govorimo o umetnih magnetih. Navadno jim damo obliko palice, podkve ali igle, ki se vrti okoli vertikalne osi ali pa visi na niti. Pri vsakem magnetu razločujemo dva pola, v katerih magnet najjače deluje, magnetno razmejo, kjer nima magnet nobene jakosti, in magnetno os, premico skozi oba pola. Ako obesimo magnet, da se more prosto gibati v vodoravni ravnini, kaže z enim polom približno proti severu naše zemlje, z drugim pa proti jugu. Prvi se imenuje severni, drugi pa južni pol magnet. — Istoimenska pola se odbijata, raznoimenska pa privlačujeta.

Prostor okoli magneta, kjer deluje magnet na železo, jeklo ali drug magnet, se imenuje njegovo magnetno po-



Sl. 29. Magnetno polje paličastega magneta.



Sl. 30. Magnetno polje podkvaslega magneta.

lje. To polje se da dokazati, če pokrijemo magnet s papirjem in ga posipljemo z železnimi opilki, ki se razvrste v posebne črte, imenovane magnetne silnice. Slika 29. kaže magnetno polje paličastega in slika 30. polje podkvaslega magneta. Silnice so deloma ravne, večinoma pa krive črte. Med krakoma podkvaslega magneta teko silnice deloma vzporedno; tam je magnetno polje homogeno.

Kakega pomena so silnice?

Nad vodo v široki in globoki posodi obesimo dolg paličast magnet vodoravno. Skoz ploščo iz

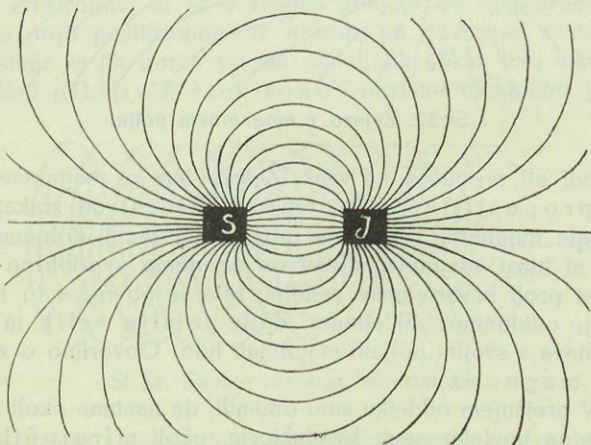
plute vtaknemo dolgo omagneteno iglo tako, da igla plava na vodi in moli svoj severni pol iz nje. Ker je igla dolga, deluje

magnet na njen južni pol prav slabo; v magnetnem polju imamo skoraj prost severni pol. Če postavimo iglo k severnemu polu magneta in jo izpustimo, se giblje po silnici k južnemu polu.

Če obesimo v polje močnega magneta kratko magnetno iglo, ki se more prosto gibati, se ta postavi v tangencialno lego na silnico skozi svojo os; če tako iglo odklonimo, se povrne, ker vpliva nanjo magnet, v prejšnjo lego nazaj. S svojim severnim polom kaže igla proti južnemu polu magneta.

Silnicam pripisujemo določeno smer. Pravimo, da izvirajo v severnem polu magneta, tečejo zunaj njega po zunanem magnetnem polju in izginjajo v južni pol. Mislimo si, da so silnice sklenjene krive črte, ki se v magnetu, v njegovem notranjem polju, vračajo od južnega pola k severnemu. One se ne sečejo in ne križajo; skozi vsako točko magnetnega polja vodi ena sama silnica.

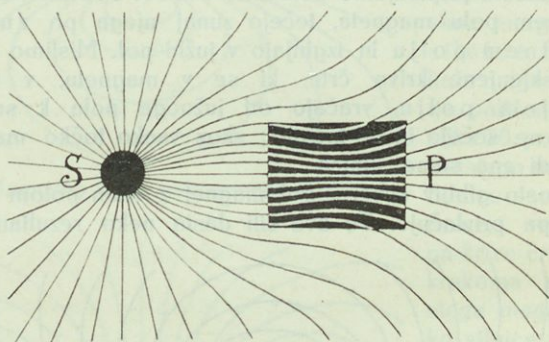
Prosto gibljiv severni pol magnet z enim polom odbija, z drugim pa privlačuje. Te dve sili dasta neko rezultanto, ki jo



Sl. 31. Silnice med različnima poloma.

imenujemo magnetno silo. Zaradi magnetne sile se pol giblje po silnici. — Magnetni sili, s katerima deluje magnet na posamezna pola kratke magnetne igle, sta enaki in nasprotni, zato se igla v magnetnem polju ne giblje. Magnetna sila deluje tangencialno na silnico in se izpreminja od točke do točke. — Iz gostote silnic sklepamo na jakost magnetne sile.

Slika 31. kaže silnice med dvema različnima poloma in slika 32., kako potekajo silnice, če je blizu pola kos mehkega železa. Železo zgosti silnice in jih potegne v sebe, ker jih



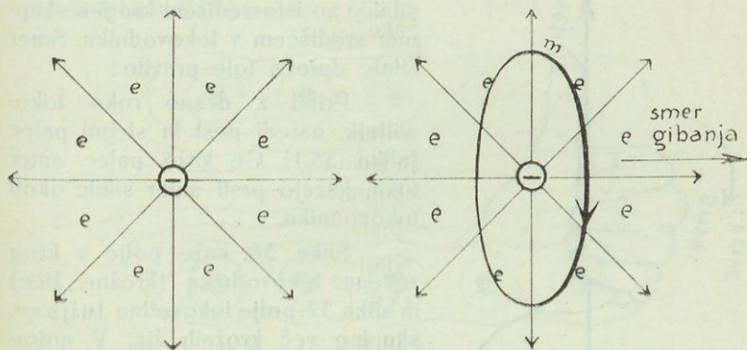
Sl. 32. Železo v magnetnem polju.

bolj vodi ali propušča ko zrak. Železo ima za magnetne silnice večjo propustljivost (permeabiliteto) od zraka.

Igla magnetnica zavzame povsod na zemlji določeno lego, četudi ni blizu magneta, njena os se ujema s približno smerjo od juga proti severu naše zemlje; igla se povrne v to lego, če jo iz nje odklonimo. Sklepamo, da je zemlja velik magnet, ki uravnava s svojim poljem magnetno iglo. Govorimo o zemeljskem magnetizmu.

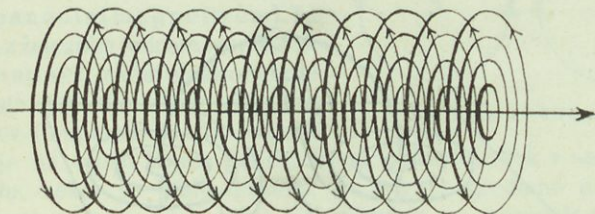
V prejšnjem oddelku smo omenili, da nastane okoli vsakega izoliranega naelektrenega konduktorja, okoli mirujočih elektronov, po posredovanju etra električno polje, da je vsak elektron

začetek električnih silnic e , ki vežejo posamezna električna telesa. Električno polje je pojav mirujočih elektronov. Silnice so tiri



Sl. 33. Elektron in eter.

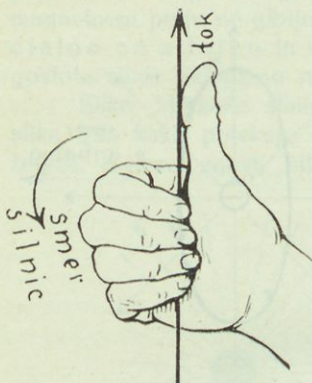
prostih elektronov, ki se v resnici gibljejo od negativnega konduktorja proti pozitivnemu. Iz navade pa govorimo o nasprotni smeri silnic in jih bomo v vseh nadaljnjih slikah tudi tako risali. Tudi okoli gibljivih elektronov nastane električno polje in



Sl. 34. Silnice ravnega tokovodnika.

še neko drugo polje m , ker vsak gibljiv elektron močno vznemirja obdajajoči eter (slika 33.).

Omenjeno polje okoli tokovodnika lahko narišemo s silnicami in dokažemo z železnimi opilki. Slika 34. kaže perspektivno polje ravnega tokovodnika; silnice so istosrediščni krogi s skupnim središčem v tokovodniku. Smer silnic določa tole pravilo:

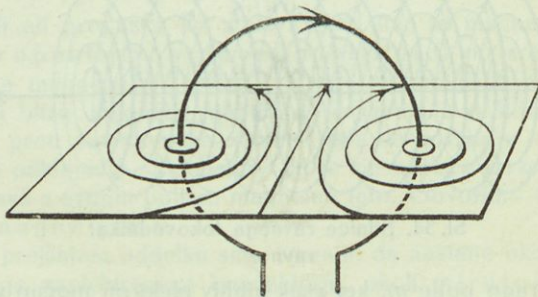


Sl. 35. Določevanje smeri silnic.

Primi z desno roko tokovodnik, naredi pest in stegni palec (slika 35.)! Če kaže palec smer toka, kažejo prsti smer silnic okoli tokovodnika.

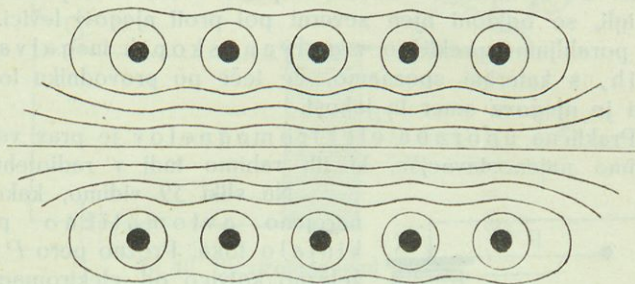
Slika 36. kaže polje v krog zvitega tokovodnika (krožne žice) in slika 37. polje tokovodne tuljave, skupine več krožnih žic. V notranjosti tuljave teko silnice skoraj vzporedno, tvorijo torej homogeno polje.

Med poljem tokovodnika in magnetu ni posebnega razločka. Magnet deluje na železo, jeklo in drug magnet v svojem magnetnem polju. Železo postane začasno magnetično, dokler je v bližini močnega magnetu, jeklo pa trajno (magnetna influenza).



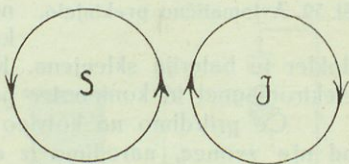
Sl. 36. Silnice krožnega tokovodnika.

Gibljev magnet zavzame v magnetnem polju drugega magneta določeno lego. Ako moremo dokazati, da ima tokovodnik v svoji okolici enake učinke, smemo trditi, da nastane okoli njega magnetno polje.



Sl. 37. Polje tokovodne tuljave.

Če vtaknemo železo ali jeklo v tokovodno tuljavo, se oba omagnetita. Jeklo postane pri tem trajno magnetično. Tako izdelujemo umetne magnete iz jekla. Železo postane začasno magnetično, dokler teče po tuljavi tok. Trše železo "obdrži" še nekaj magnetizma, če tok tudi preneha (remanentni magnetizem). Tuljava z železnim jedrom tvori elektromagnet. Jakost elektromagneta raste z jakostjo toka in s številom ovojev (amperski ovojji). Severni pol je na onem koncu palice, ki ga obkrožuje tok v nasprotnem zmislu, kakor se giblje kazalec na uri, če gledamo na magnet v smeri njegove osi. Južni pol nastane na nasprotnem koncu palice; tok jo obkrožuje v smeri, kakor se premika kazalec na uri (slika 38.). Navadno se izdelujejo podkvasti elektromagneti.



Sl. 38. Pola elektromagneta.

V tokovodnikovi bližini se igla magnetnica odkloni, če nima tokovodnik pravokotne smeri na njeno os. Magnetnica se

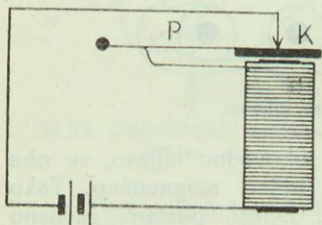
skuša postaviti pravokotno na tokovodnikovo smer, torej tangencialno na njegove silnice, pa se ji to le deloma posreči, ker deluje nanjo še vedno zemeljski magnetizem. Odklon igle moremo določiti vnaprej z Amperovim plavaškim pravilom. Če si mislimo človeka, ki plava s tokom in je obrnjen proti igli, se odkloni njen severni pol proti njegovi levici. Ta pojav porabljammo praktično v galvanoskopih in galvanometrih, s katerimi spoznamo, če teče po provodniku tok in kakšna je njegova smer in jakost.

Praktična uporaba elektromagnetov je prav velika. Omenimo najenostavnejše, ki jih rabimo tudi v radiotehniki!

Na sliki 39. vidimo, kako je narejeno avtomatično prekinjalo toka. Prožno pero *P* tišči železno kotvico od elektromagneta stran proti konici *K*; električni tok je sklenjen in elektromagnet potegne kotvico nase. Brž ko se odmakne kotvica od konice, se tok prekine, elektromagnetizem preneha in prožno pero potisne kotvico zopet na konico. Opisani pojav se ponavlja, dokler je baterija sklenjena. Kotvica udarja pri tem glasno na elektromagnet in konico ter povzroča neko ropotanje.

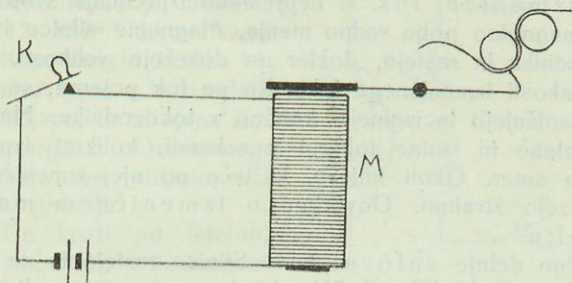
Če pritrdimo na kotvico kladvece in je v primerni razdalji od nje zvonec, naredimo iz opisanega prekinjala električni zvonec. — Če sta pri prekinjalu pero in kotvica prav kratka, se tok prekinja velikokrat, tisočkrat ali še večkrat na sekundo. Pri tem ne nastane več ropotanje kakor prej, marveč neko brnenje, neki ton določene višine. Opisana naprava se rabi velikokrat v radiotehniki in se imenuje brnjač.

Nadalje omenimo Morsejev telegraf (slika 40.)! Če sklenemo na oddajni postaji ključ *K*, teče tok po ovojih elektromagneta *M* na prejemni postaji. Elektromagnetu nasproti visi na eni ročici dvokončnega vzvoda kotvica iz mehkega železa, ki nosi na drugi



Sl. 39. Avtomatično prekinjalo.

ročici pisalni klinček ali v barvo namočeno kolesce. Ko potegne elektromagnet kotvico nase, se pritiska klinček na papirnat trak, ki ga vleče kolesje enakomerno med dvema valjema. V papir

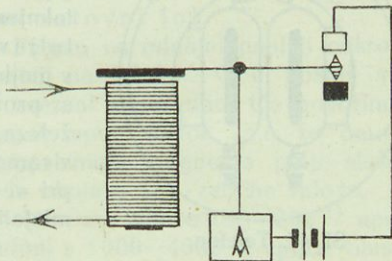


Sl. 40. Elektromagnetni brzojav.

vtiskuje klinček pike ali črtice, kakor pač ključ sklence baterijo za krajšo ali daljšo dobo. Iz pik in črtic je sestavljena telegrafska abeceda.

Če sklenemo namesto pisalnega stroja brnjač in pritiskamo na ključ kakor prej, proizvaja brnjač tone daljše ali krajše dobe, ki jih slišimo. Tako prejemanje po posluhu je običajno v radiotelegrafiji.

Slično se porablja elektromagnet pri relais-ju (izgovori relê! — slika 41.), ki se vklene, kadar je tok iz oddaljene postaje (linijski tok) preslab, da bi zadostno omagnetil elektromagnet pisalnega stroja. Relais more biti tako občutljiv, da



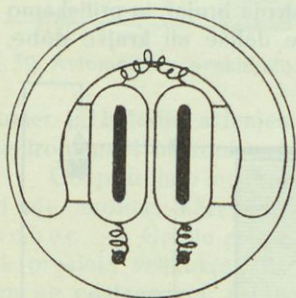
Sl. 41. Relais.

deluje pri skrajno slabem linijskem toku. Ko pritegne elektromagnet kotvico relais-ja, se sklence s tem lokalna baterija, ki oskrbuje pisalni stroj A.

Dosedaj smo govorili o magnetnem polju tokovodnika, po katerem teče istosmerni tok. Njegovo magnetno polje traja dotlej ko tok in se ne izpreminja. Če pa teče po tokovodniku izmenični tok, ki neprestano izpreminja svojo smer, se tudi magnetno polje vedno menja. Magnetne silnice izhajajo iz tokovodnika in rastejo, dokler ne dosežejo velikosti, ki odgovarja jakosti izmeničnega toka. Ko pa tok pcjema, se silnice zopet zmanjšujejo in izginejo končno v tokovodniku. Magnetno polje nastane in izgine tolikrat v sekundi, kolikrat izpremeni tok svojo smer. Okoli tuljave, ki teče po njej izmenični tok, je torej zelo živahno. Govorimo o izmeničnem magnetnem polju.

Slično deluje valovni tok. Silnice rastejo in se zmanjšujejo, kakor se izpreminja jakost toka, magnetno polje pa ne izgine popolnoma.

Praktično porabljam o magnetno polje v telefonu ali slušalu. Slika 42. kaže moderen telefon, kakor se sedaj rabi.



Sl. 42. Telefon.

Na vsakem roglju močnega podkvastega magneta je pritrjena kotvica iz mehkega železa, ki je magnetična, in na vsako kotvico je natak njena žična tuljava (telefonska tuljava). Tako opremljen magnet je v majhni cinkasti dozi, ki je pokrita s prožno membrano iz mehkega železa. Razdalja med opno in kotvicama je prav majhna in se da pri večjih telefonih nekoliko izpreminjati.

Če kroži po telefonskih tuljavah istosmerni tok, se ojači ali pa oslabi magnetno polje, kakor je že smer toka. Pri sklenjenem toku membrana miruje, pri sklepanju in prekinjanju pa jo magnet priteguje in odbija. Če držimo telefon na ušesu, slišimo kлокotanje membrane. V radiotehniki se rabi dvojen

telefon kot slušalo. Telefon pritrdimo na glavo, da imamo roke proste. V dvojnem slušalu sta posamezna telefona zvezana zaporedno (upor je velik) ali pa vzporedno (upor je majhen.) Slika 43. kaže, kako rišemo simbolično slušalo, in slika 44., kako preiskujemo tokovodnik, n. pr. tuljavo, če ni njena žica kje pretrgana. Omenjenega klokočanja ne slišimo, če žica ne provaja.

Če kroži po telefonu izmenični tok, se magnetno polje v telefonu neprestano ojačuje in oslabljuje. Pri vsakem ojačenju se membrana

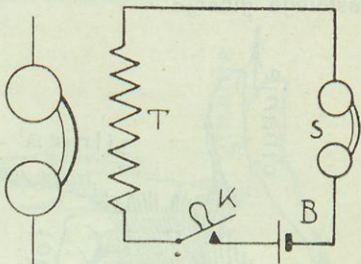
pritegne, pri oslabljenju pa izpusti, da naredi toliko nihajev, kolikrat izpremeni izmenični tok svojo smer na sekundo. Ker preveč nihajev naše uho ne zaznava in jim tudi membrana radi svoje vztrajnosti ne more slediti, zato lahko rabimo v telefoniji le izmenične toke, ki razmeroma počasi izpreminjajo svojo smer.

Slično deluje v telefonu valovni tok.

V žični telefoniji imamo na oddajni postaji mikrofona in baterijo, na prejemni postaji pa telefon. Obe postaji veže žica in omenjeni aparati so zvezani zaporedno. Če govorimo v mikrofona, se izpreminja njegov upor, kakor smo že omenili. V žici kroži valovni tok, ki izpreminja magnetno polje slušala, da niha njegova membrana in zbuja s tem zvočne valove.

V žični telefoniji imajo telefonske tuljave $100-200 \Omega$ upora, v radiofoniji pa se rabijo telefoni s $1000-4000 \Omega$ upora. Slušalo z debelejšo membrano in lijakom se uporablja kot zvočnik.

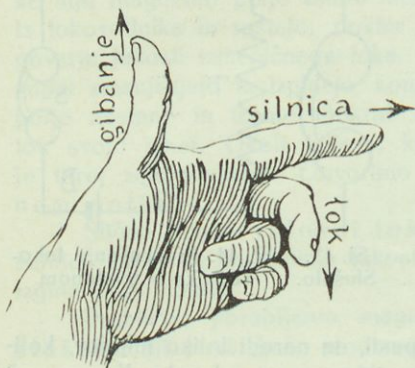
Slika 46. kaže, da deluje magnet na tokovodnik v svojem polju slično, kakor delujeta med seboj dva magneta. Magnet privlačuje ali odbija tokovodnik, kakor je pač smer njegovega toka. Gibanje tokovodnika določimo vnaprej po pra-



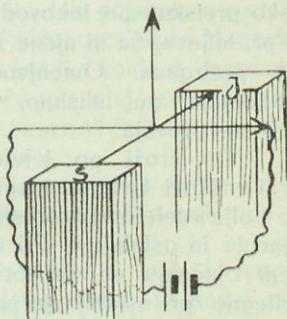
Sl. 43.
Slušalo.

Sl. 44. Preskušanje tokovodnika s telefonom.

vilu leve roke (slika 45.). Če držimo prve tri prste leve roke tako, da tvorijo med seboj prave kote, položimo kazalec v smer magnetnih silnic in sredinec v smer toka, pokaže palec smer nastalega gibanja.

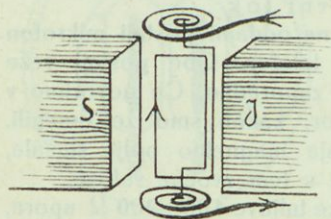


Sl. 45. Pravilo leve roke.



Sl. 46. Magnet in tokovodnik.

Praktična poraba navedenega delovanja magneta na tokovodnik je galvanometer z vrtljivo tuljavo (slika 47.). Med



Sl. 47. Galvanometer z vrtljivo tuljavo.

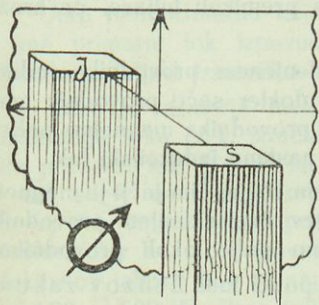
daljnja praktična poraba je električni motor, o katerem bomo kasneje govorili.

Sem spada tudi tokovodna tuljava, ki vleče železno cevko, obešeno na prožni špirali, tem globokeje v sebe, čim jačji tok

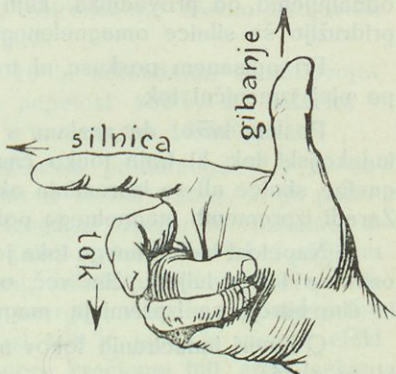
poloma podkvastega magneta leži žični okvir z več ovoji, ki ga dve prožni špirali spajata s privijali. Kadar teče po ovojih tok, se okvir zavrti, špirali ga pa vlečeta nazaj; okvir zavzame lego, ki jo kaže kazalec na lestvici. S primernimi upori se da opisani galvanometer izpremeniti v voltmeter ali amperometer. — Na-

kroži po tuljavi. Opisani aparat je merska priprava z mehkim železom, ki smo jo že omenili na strani 15.

Zelo važno je, da moremo na sliki 46. označeni poskus obrniti. Ravno bakreno žico spojimo z galvanoskopom in jo po sliki 48.



Sl. 48. Provodnik in magnet.



Sl. 49. Pravilo desne roke.

naglo dvignemo izmed polov močnega magneta. Igla na galvanoskopu se odkloni. Ko potisnemo žico naglo med pola, kaže galvanoskop tok nasprotne smeri, ki traja le en trenutek. Če pomikamo v magnetnem polju sklenjen provodnik tako, da seče magnetne silnice, nastane v njem vedno trenuten tok; imenujemo ga indukcijski tok, opisani pojav pa se imenuje indukcija. Učinek je večji, če pomikamo v magnetnem polju žični okvir. Tudi sedaj se da določiti smer indukcijskega toka po pravilu desne roke (slika 49.) že naprej. Če držimo prve tri prste desne roke tako, da tvorijo med seboj prave kote, položimo kazalec v smer magnetnih silnic in palec v smer premikanja žice, nam sredinec pokaže smer nastalega indukcijskega toka.

Indukcijske toke dobimo v sklenjenem provodniku tudi s tem, da mu približujemo in zopet oddaljujemo močan jeklen magnet tako, da seče provodnik magnetne silnice. Trenutna toka, ki nastane pri bližanju in oddaljevanju magneta, imata nasprotni smeri.

Opisani pojav se nič ne izpremeni, če nadomestimo jeklen magnet s tuljavo, v kateri kroži istosmerni tok, kajti okoli tuljave nastane tudi magnetno polje. Najjačje induksijske toke pa dobimo, če približujemo sklenjenemu provodniku elektromagnet in ga zopet oddaljujemo od provodnika, kajti silnicam tokovodne tuljave se pridružijo še silnice omagnetenega železa.

Pri opisanem poskusu ni treba premikati tuljave, če kroži po njej izmenični tok.

Poskus kaže, da nastane v sklenjenem provodniku vedno induksijski tok, ki traja toliko časa, dokler seče provodnik magnetne silnice ali se izpreminja okoli provodnika magnetno polje. Zaradi izprememb magnetnega polja nastane induksijski tok.

Napetost induciranege toka je tem večja, čim jačji je magnet, oziroma tok v tuljavi, čim več ovojev ima sklenjen provodnik in čim hitreje se izpreminja magnetno polje okoli provodnika.

O smeri induciranih tokov nas pouči tudi Lenzov zakon, ki se glasi:

Inducirani toki imajo vedno tako smer, da ovirajo postopanje, ki so zaradi njega nastali.

Praktična poraba indukcije je transformator. Enostaven transformator ima dve tuljavi različnih dimenzij, tako da moremo eno vtakniti v drugo. Na notranjo tuljavo je navita v nekaj ovojih debela bakrena žica, širša tuljava pa ima veliko ovojev iz prav drobne bakrene žice. Če teče po notranji tuljavi izmenični tok, nastane po indukciji tudi v širši tuljavi enak tok. Tok, ki ga hočemo s transformatorjem pretvoriti, se kratko imenuje primarni tok, in tuljavo, ki kroži po njej primarni tok, imenujemo primarno tuljavo. Po transformatorju pretvorjeni tok se imenuje sekundarni tok in kroži po sekundarni tuljavi. Primarni tok povzroča okoli svoje tuljave izmenično magnetno polje. Če imata obe tuljavi transformatorja tako medsebojno lego, da sečejo vse silnice primarne tuljave sekundarno, potem je razmerje med napetostma primarnega in sekundarnega toka enako razmerju ovojev primarne in sekundarne tuljave:

$$\boxed{\frac{V_p}{V_s} = \frac{n_p}{n_s}}, \quad (16)$$

če kratko zaznamujemo z V_p napetost primarnega, z V_s napetost sekundarnega toka in z n_p , oziroma n_s , število ovojev na primarni, oziroma sekundarni tuljavi.

Ako ima primarna tuljava 10 in sekundarna 1000 ovojev in ima primarni tok izmenično napetost 100 V, se inducira v sekundarni tuljavi izmenični tok z napetostjo 10.000 V.

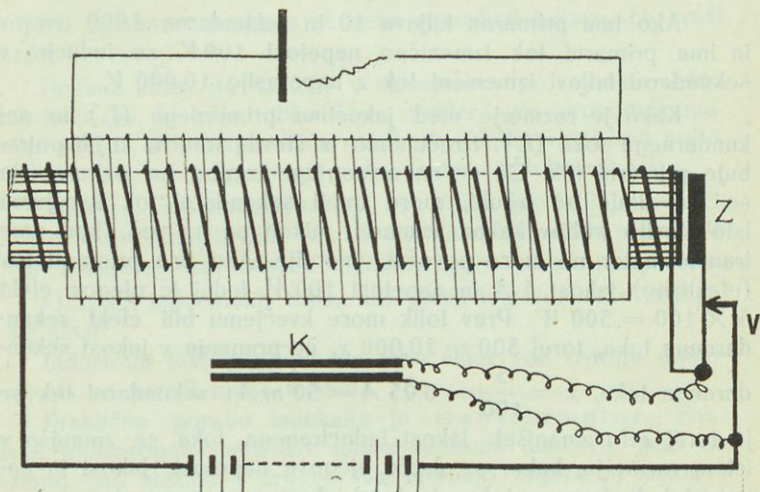
Kako je razmerje med jakostma primarnega (I_p) in sekundarnega toka (I_s), izračunamo iz števila wattov, ki jih potrebuje primarni tok. Če se na neizogibne izgube ne oziramo in se nič silnic ne izgubi, more imeti sekundarni tok kvečjemu isto število wattov kakor primarni, nikoli pa ne več, ker nam transformator ne more povečati energije. Ako ima primarni tok (efektivno) jakost 5 A in napetost 100 V, tedaj je njegov efekt $5 \times 100 = 500 \text{ W}$. Prav tolik more kvečjemu biti efekt sekundarnega toka, torej $500 = 10.000 x$, če pomenja x jakost sekundarnega toka. $x = \frac{5}{100} = 0.05 \text{ A} = 50 \text{ mA}$; sekundarni tok se

je torej zelo zmanjšal. Jakost inducirane toka se zmanjša v istem razmerju, kakor se zveča njegova napetost. Jakost in napetost inducirane toka sta torej obratno sorazmerni:

$$\boxed{\frac{I_p}{I_s} = \frac{n_s}{n_p}}. \quad (17)$$

V opisanem transformatorju smo izpremenili primeroma jak izmenični tok z nizko napetostjo v slabši tok z zelo veliko napetostjo ker ima sekundarna tuljava veliko več ovojev od primarne (transformiranje navzgor). Če pa bi imela sekundarna tuljava manj ovojev od primarne, bi imel inducirani tok večjo jakost, a manjšo napetost od primarnega toka (transformiranje navzdol).

Na opisani način moremo transformirati le izmenični tok, ki povzroča v svoji okolici izmenično magnetno polje. — Istosmernega toka ne moremo tako lahko pretvarjati, ker je njegovo magnetno polje stalno. V sekundarni tuljavi se inducirajo trajni toki, če v primarni tuljavi istosmerni tok urno sklepamo in prekinjamo, kar se doseže z iskrnim induktorjem (slika 50.).

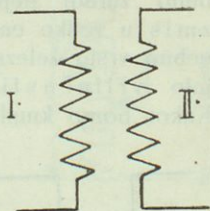


Sl. 50. Iskrni induktor.

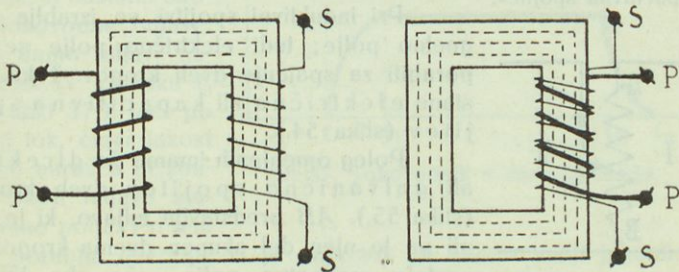
Zaporedno so zvezani baterija, avtomatično prekinjalo $V-Z$ in primarna tuljava z železnim jedrom. Sekundarna tuljava objema primarno in njena pola vodita do električnega ventila; en pol je zvezan s konico in drug pol s ploščo, ker iskre lažje preskačujejo s konice na ploščo kakor pa obratno. Navadno je vijak V zvezan z enim polom in železna kotvica Z z drugim polom večjega listnega kondenzatorja K . S tem se doseže, da ne nastanejo na prekinjenem mestu predolge iskre, ki podaljšujejo primarni tok in ovirajo njegovo prekinjenje. Primarni tok se hitreje prekinja, kakor pa sklepa (tudi zaradi samoindukcije),

zato prevladuje induksijski tok, ki nastane ob prekinjanju, in imata pola sekundarne tuljave vedno isto polariteto. Napetost sekundarnega toka je odvisna od razmerja med številoma ovojov primarne in sekundarne tuljave in od hitrosti, ki se z njo prekinja in sklepa primarni tok. Čim hitreje deluje prekinjalo, tem boljši je učinek induktorja.

V transformatorju se prenaša električna energija iz primarnega kroga v sekundarni krog po indukciji s pomočjo nastalega magnetnega polja. Pravimo, da sta kroga spojena med seboj, in govorimo o spojitvi obeh krogov; tako spojitev imenujemo magnetno ali induktivno (slika 51.). Spojitev je ohlapna, če sta kroga precej narazen in imata prav malo skupnih silnic. Spojitev je tesna, če sta kroga blizu skupaj. Prav tesna postane spojitev, če vtaknemo v primarno tuljavo železno jedro, ker nastane tedaj dvojno magnetno polje, ki veže oba kroga, namreč polje tokovodnika in omagnetenega železa. Tako nastane transformator z železnim jedrom; tak transformator je iskarni induktor. Izmenični tok z majhno frekvenco, z majhnim številom nihajev v sekundi se da s takim transformatorjem dobro pretvarjati.



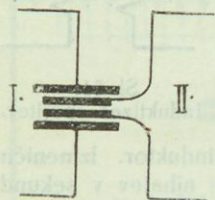
Sl. 51.
Induktivna spojitev.



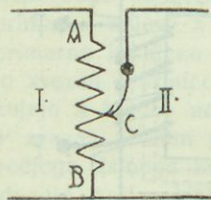
Sl. 52. in 53. Transformatorja z železnim okvirom.

Železno jedro v transformatorjih ima največkrat obliko okvira, ki vodi magnetne silnice, da se ne razpršujejo. Na eno stranico okvira je navita primarna tuljava, sekundarna pa na nasprotno (slika 52.). Še tesnejšo spojitvev dobimo, če navijemo sekundarno tuljavo na primarno in sta obe tuljavi na isti stranici okvira (slika 53.). Govorimo o transformatorju z železnim okvirom ali o železno sklenjenem transformatorju.

Slaba stran transformatorja z železnim jedrom je, da izgubimo zaradi neprestanega magnetenja v nasprotnem zmislu veliko energije. To napako popravimo, če rabimo posebno vrsto železa, silicijevo železo. V masivnem železu nastajajo vrtninčasti toki, ki pomenjajo tudi izgubo energije. Kakor bomo kmalu slišali, zmanjšujemo te toke, če ne porablamo masivnega železa, marveč železno pločevino, ki iz nje sestavimo okvir; posamezni deli pločevine so med seboj izolirani. Pri visoki frekvenci izmeničnega toka pa nam železno jedro v transformatorju več škoduje kot koristi, ker železo ne reagira tako hitro na izmenični tok. Te toke pretvarjamo s transformatorji brez železnega jedra. Kot primer takega transformatorja bomo omenili Teslov transformator.



Sl. 54.
Kapacitivna spojitvev.



Sl. 55.
Galvanična spojitvev.

Pri induktivni spojitvi se izrablja magnetno polje; tudi električno polje se da porabiti za spajanje dveh krogov. Tako nastane električna ali kapacitivna spojitvev (slika 54.).

Poleg omenjenih imamo še direktno ali galvanično spojitvev dveh krogov (slika 55.). AB predstavlja tuljavo, ki je vsa ali pa le njen del skupen dvema krogoma; nastalo magnetno polje veže oba kroga. Spojitev je tesna, če zvežemo C z A , in

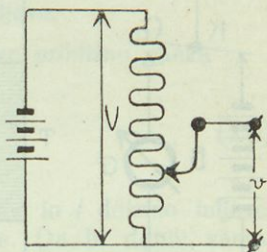
ohlapna, če se približuje C točki B . — Če nadomestimo tuljavo AB z Ohmovim uporom, imata točki $B-C$ manjšo razliko v napetosti od točk $B-A$, med katerima je vsa napetost primarnega kroga. Z izpreminjanjem lege točke C odvezujemo skupni napetosti manjši del, ki povzroča slabši tok v sekundarnem krogu. S tem potenciometrom lahko napetost brez presledka in skoka izpreminjamo (slika 56.). Tudi stična plošča je nekak potenciometer.

Nadaljevali bomo z indukcijo.

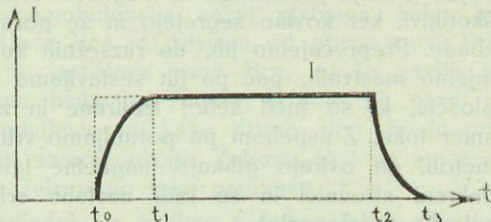
Pri tokovodni tuljavi inducira vsak ovoj v sosednjih ovojih trenutni tok, ako se v tokovodniku izvrši z jakostjo toka kaka izprememba. Ta pojav se imenuje samoindukcija in v lastnem tokovodniku induciranim tokom pravimo ekstratoki. Po Lenzovem pravilu je pri nastanku prvotnega toka ekstratok nasproten, pri prekinjanju pa istosmeren s prvotnim tokom. — Samoindukcija se zbudi tudi v ravnem tokovodniku, je pa slaba.

Ta pojav nam pojasnjuje magnetno polje, ki nastane okoli tokovodne tuljave. Ko damo tuljavi napetost (v trenutku t_0 po sliki 57.), teče po njej tok, čigar jakost urno narašča in zbujaja okoli tuljave magnetno polje. Pri tem

se porablja energija, ki jo daje tok na škodo svoji jakosti. Ko zraste magnetno polje (t_0), doseže jakost toka svojo največjo vrednost in jo tudi obdrži, ker se potem magnetno polje



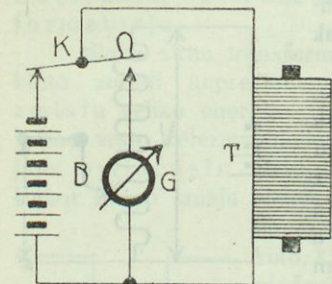
Sl. 56. Potenciometer.



Sl. 57. Tokovodnik s samoindukcijo.

nič več ne izpreminja. Če vzamemo (t_2) tuljavi napetost, preneha s tokom tudi magnetno polje, čigar silnice zginjajo in inducirajo pri tem v tuljavi ekstratok.

Slika 58. kaže, kako dokazujemo ekstratoke. Zaporedno zvežemo baterijo B , telegrafski ključ K in tuljavo T , ki ima železno jedro; G pomenja galvanometer. Ko potisnemo vzvod ključa urno navzdol, se baterija izloči, pri tem pa pokaže igla na galvanometru, ki je sedaj vzporedno sklenjen s tuljavo, s svojim odklonom močan induksijski tok.



Sl. 58. Dokazovanje ekstratokov.

Lenzovem pravilu imajo ti toki tako smer, da skušajo ovirati medsebojno gibanje prevodnika in magneta. Vrtinčasti toki so navadno škodljivi, ker kovino segrejejo in se porabi del energije, da se zbude. Preprečujemo jih, da razsežnih kovinskih delov ne izdelujemo masivnih, pač pa jih sestavljamo iz posameznih žic ali ploščic, ki so med seboj izolirane in zložene pravokotno na smer toka. Z uspehom pa porabljamo vrtinčaste toke v galvanometrih, da ovirajo gibanje magnetne igle, ki niha v razsežni bakreni stročnici in se radi nastalih vrtinčastih tokov hitreje ustavlja (udrževanje).

Tudi zemeljsko magnetno polje inducira toke v sklenjenem prevodniku, ki seče njegove silnice; zato govorimo o zemeljski indukciji.

Ker je samoindukcija v radiotehniki poleg kapacitete najvažnejši pojem, se moramo z njo obširneje baviti, kakor smo to storili dosedaj. — V ravnem tokovodniku se zbuja ekstratoka.

toki z majhno napetostjo, v tokovodnih tuljavah pa more biti napetost ekstratokov precej velika in je tem večja, čim več ovojev ima tuljava in čim bližje so ti ovoji. Pri isti tuljavi je napetost ekstratokov premo sorazmerna s hitrostjo, s katero se izpreminja jakost prvotnega toka.

Kvocient iz napetosti ekstratoka in hitrosti, s katero se jakost toka v tuljavi izpreminja, imenujemo samoindukcijski kvocient ali samoindukcijo (L) tuljave.

V splošnem je samoindukcija tuljave približno enaka

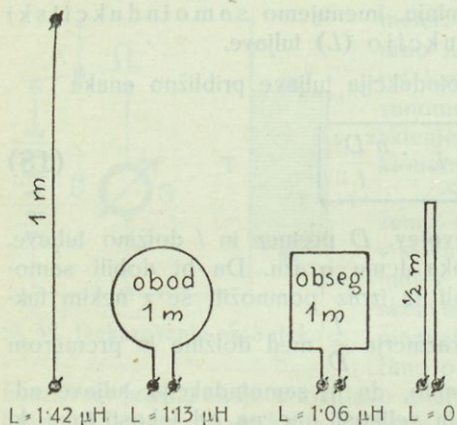
$$L = \frac{n^2 D^2}{l}, \quad (18)$$

kjer pomenja n število ovojev, D premer in l dolžino tuljave. Samoindukcija pa ni enaka temu izrazu. Da bi dobili samoindukcijo tuljave, bi morali ta izraz pomnožiti še z nekim faktorjem, ki je odvisen od razmerja $\frac{l}{D}$ med dolžino in premerom tuljave. Iz obrazca spoznamo, da je samoindukcija tuljave odvisna le od njene oblike in velikosti, ne pa od jakosti toka, ki kroži po njej, torej je samoindukcija nekaj stalnega, kakor je n. pr. upor pri žicah. Upor žice je odvisen od njene snovi. Pri samoindukciji pa se ne upošteva snov žice, ki je navita v tuljavo, pač pa je važna izolacija. Tuljave, ki smo jih navili z bakreno, medeno, aluminijasto ali kako drugo žico, imajo pri enakih dimenzijah enake samoindukcije. Železne žice ne smemo naviti v tuljavo, ker se železo po toku omagnetni.

Za merjenje samoindukcije rabimo posebne enote. Enoto samoindukcije ima ona tuljava, v kateri nastane ekstratok z napetostjo 1 V, kadar se izpremeni jakost toka v sekundi za 1 A; imenujemo jo 1 Henry (1 H). Ker je ta enota v radiotehniki prevelika, so uvedli manjše enote. "

1 H = 1000 mH = 1,000.000 μ H = 10^9 cm in 1 μ H = 1000 cm.

Samoindukcijo in njeno enoto (1 H) bomo natanko določili kasneje. Da dobimo priličen pojem o samoindukciji tuljav, navajamo naslednja primera. Tuljava z eno vrsto ovojev, ki je 8 cm široka, 5 cm dolga in ima 42 ovojev, ima samoindukcijo 130.000 cm. Če je sicer enaka tuljava 16 cm široka, je njena samoindukcija



Sl. 59. Enostavne samoindukcije.

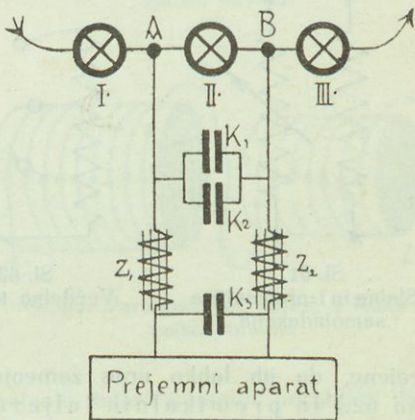
370.000 cm. Nadaljnje primere kaže slika 59., kjer imamo tokovodnike različne oblike, a enake dolžine (1 m). — Zadnja slika kaže, kako se preprečuje samoindukcija v tuljavah. Žico je treba naviti bifilarno (dvojno), da ima prvotni tok v sosednjih ovojih nasprotni smeri in se nastala ekstratoka medsebojno uničujeta, ker sta nasprotna in sta tudi nastali magnetni polji nasprotni. Tako navijamo stalne upore v reostatih.

Dosedaj smo obravnavali pojave samoindukcije pri istosmernem toku. Spoznali smo, da se tok pri sklepanju zaradi samoindukcije nekoliko zakasnjuje, pri prekinjanju pa podaljša, a pri sklenjenem toku se samoindukcija ne pojavlja, ker je nastalo magnetno polje stalno. — Vse bolj živahno deluje samoindukcija pri izmeničnem toku, ki urno izpreminja svojo smer, in čigar magnetno polje neprestano raste in zopet izginja. Samoindukcija se trajno pojavlja in ovira izmenični tok, da se njegova jakost ne izpreminja istočasno z napetostjo, marveč nekoliko kasneje. Radi samoindukcije se jakost izmeničnega toka zakasni za svojo napetostjo. Samoindukcijska tuljava učin-

kuje nasprotno od kondenzatorja, kajti radi kondenzatorja prehiteva izmenični tok svojo napetost.

Istosmerni tok prekinjamo s kondenzatorjem. Kako pa prekinjamo izmenični tok? Samoindukcijska tuljava ovira izmenični tok, in sicer tem bolj, čim večja je njena samoindukcija in čim večjo frekvenco ima tok. Ta induktivni upor, kakor ga imenujemo, ne segreva tokovodnika in je le navidezen. Če vtaknemo v tuljavo, ki ima sicer malo Ohmovega upora, železno jedro, se njena samoindukcija še poveča, kajti neprestano v nasprotnem zmislu omagneteno železo inducira s svojim poljem tudi toke v tuljavi, ki ovirajo prvotni tok. Taka tuljava ne propušča izmeničnega toka, istosmernemu pa se upira le s svojim Ohmovim uporom. Imenujemo jo zadrževalno tuljavo.

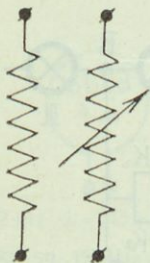
Na strani 15. omejenjeno priklopno napravo, s katero odvezamo istosmernemu omrežju anodni tok, lahko sedaj izpopolnimo (slika 60.). Različne motnje toka, ki nastanejo radi konstrukcije stroja, smemo imeti za izmenični tok nizke frekvence. Vzporredno zvezana kondenzatorja K_1 in K_2 sklepata ta tok kratko, če imata zadosti veliko kapaciteto, istosmernega toka pa ne propuščata. Ravno nasprotno delujeta zadrževalni tuljavi Z_1 in Z_2 , ki propuščata nekoliko oslavljen istosmerni tok, ne pa izmeničnega. K_3 sklepa anodni krog. Vsa naprava deluje kakor nekako sito, vendar pa propušča večje motnje, ki jih povzročajo cestna železnica in stroji, ki se iskrijo.



Sl. 60. Priklopni aparat na omrežje.

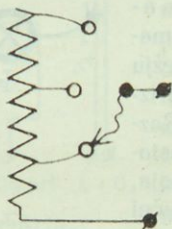
nekoliko oslavljen istosmerni tok, ne pa izmeničnega. K_3 sklepa anodni krog. Vsa naprava deluje kakor nekako sito, vendar pa propušča večje motnje, ki jih povzročajo cestna železnica in stroji, ki se iskrijo.

Samoindukcija tuljave je največ odvisna od števila njenih ovojev in raste po obrazcu (18) s kvadratom tega števila. Zato ima tuljava z 20 ovoji večjo samoindukcijo kakor dve enaki tuljavi, ki imata po 10 ovojev. Slika 61. kaže, kako simbolično rišemo samoindukcijske tuljave. Razločujemo stalne in izpremenljive tuljave. Tudi samoindukcija tuljave se da izpreminjati, ne da bi bilo treba pri tem prekiniti tok. V radiotehniki se rabijo tuljave najrazličnejših oblik, kakor valjaste, satovne, ploščnate, Ledion-tuljave in prosto stoječe tuljave, pri katerih je dušenje prav majhno, zlasti, ker niso navite na poseben predmet, kakor n. pr. ploščnate tuljave na lepenko. Vse navedene tuljave so stalne in tako pri-



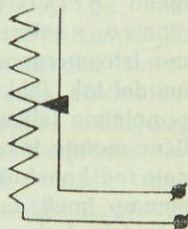
Sl. 61.

Stalna in izpremenljiva
samoindukcija.



Sl. 62.

Večdelna tuljava.



Sl. 63.

Premikalna tuljava.

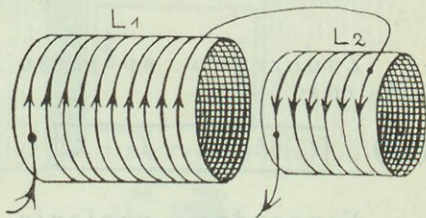
rejene, da jih lahko urno zamenjamo. Pri večdelnih (slika 62.) in premikalnih tuljavah (slika 63.) se izpreminja samoindukcija skokoma. Trajno in enakomerno izpreminjamo samoindukcijo v različnih variometrih, ki obstoje iz dveh ali tudi treh zaporedno ali vzporedno vezanih tuljav, katerih medsebojna razdalja se da izpreminjati. Rabijo se tudi variometri, pri katerih se ena tuljava vrti v drugi. Dve provodno zvezani tuljavi daleč narazen ali dve tuljavi, katerih osi stojita pravokotno druga na drugi, delujeta kot posamezni tuljavi. Dve blizu

stoječi zvezani tuljavi z vzporednima osema delujeta kot ena tuljava. Najenostavnejši variometer obstaja iz dveh valjastih tuljav, pri katerih vtikamo ožjo v širšo. (Sliki 64. in 65.) Samoindukcijo posameznih tuljav zaznamujemo z L_1 in L_2 . Če sta tuljavi v nasprotnem zmislu naviti, se izpreminja v variometru samoindukcija od 0 do $L_1 + L_2$, kakor daleč sta tuljavi pač narazen. Največjo samoindukcijo dobimo, če objema širša tuljava ožjo in sta tuljavi v istem zmislu naviti, ker se tudi medsebojno inducirata.

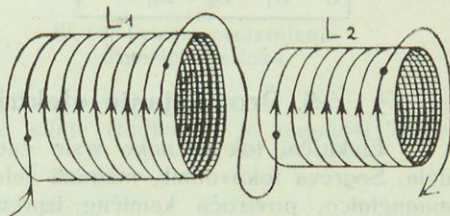
Dve tuljavi, ki nista provodno zvezani, sta med seboj spojeni. Če teče po eni izmenični tok, nastane okoli nje magnetno polje, ki inducira tudi v drugi tuljavi tok. Če sta tuljavi blizu skupaj, je spojitev tesna, sicer pa ohlapna. Za spajanje tuljav smemo porabljati tudi variometer.

Več tuljav lahko provodno zvežemo in določimo skupno samoindukcijo, če tuljave s svojim magnetnim poljem ne vplivajo druga na drugo.

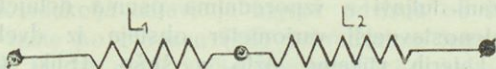
Pri spojenih tuljavah dobimo slične obrazce za končno samoindukcijo kakor pri spojenih Ohmovih uporih, saj niso tuljave nič drugega ko nekaki upori.



Sl. 64. Variometer iz tuljav, v nasprotnem zmislu navitih.



Sl. 65. Variometer iz tuljav, v istem zmislu navitih.



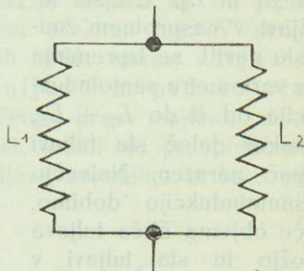
Sl. 66. Samoindukcijski tuljavi zaporedno.

Zaporedno spajanje
(slika 66.):

$$(19) \quad L = L_1 + L_2 + L_3 + \dots$$

Vzporedno spajanje
(slika 67.):

$$(20) \quad \frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots$$



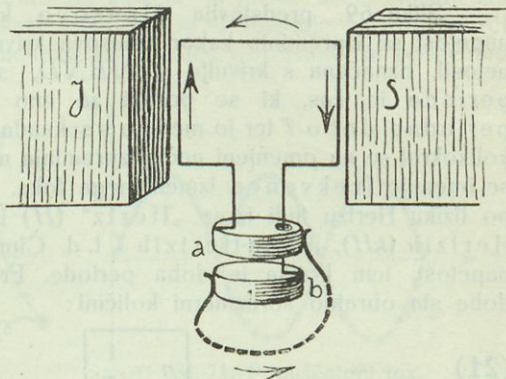
Sl. 67. Samoindukcijski tuljavi vzporedno.

5. Proizvajanje električnega toka.

Električni tok je neke vrste energija in opravlja različna dela. Segreva tokovodnik, magneti železo in jeklo, odklanja iglo magnetnico, povzroča kemične izpremembe v tekočini, ki ga provaja i. t. d. Električna energija se da pretvoriti v toplotno, magnetno, mehanično in kemično energijo. Pridobivamo jo lahko le iz kake druge energije, kajti energije ne moremo proizvajati, temveč le izpreminjati eno v drugo. — V električno energijo se pretvarja kemična v galvanskih členih, toplotna v termalnih členih, a mehanično energijo pretvarjamo z indukcijo v za to pripravnih strojih v električno energijo.

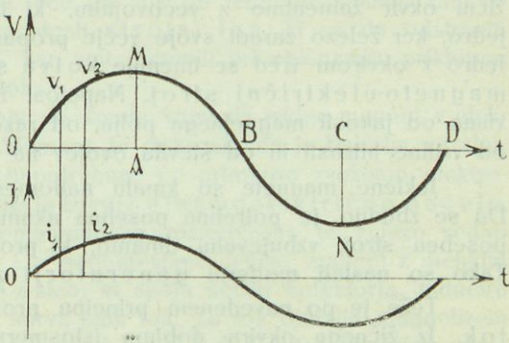
Pričnimo z zadnjim primerom! V homogenem magnetnem polju močnega jeklenega magneta se vrti žični okvir (slika 68.). Konca okvirjeve žice sta provodno spojena z dvema kovinskima obročema *a* in *b*, ki se vrtita z okvirom vred okoli skupne osi

in sta medsebojno ter od osi izolirana. Vsakega obroča se na obodu tišči kovinsko pero, ki se imenuje ščetka. Ščetki sta po zunanjem vodičju zvezani med seboj. Ako se vrti okvir v zmislu narisane puščice, seče magnetne silnice in v njem se inducirajo toki, ki se jim da smer določiti po pravilu desne roke. Napetost induciranih tokov se neprestano izpreminja (slika 69.). Ko stoji okvir pravokotno na silnicah, je napetost v njem 0 (točka 0), ker se giblje okvir v smeri magnetnih silnic in jih ne seče. Ko se zavrti za 90° , seče največ silnic (točka A) in napetost doseže v pozitivnem zmyslu največjo vrednost AM. Pri 180° ne seče okvir nobenih silnic; v točki B je napetost 0. Pri nadaljnjem vrtenju se izpreminja smer silnic z ozirom na okvir; napetost raste v nasprotnem zmyslu in doseže pri 270° največjo negativno vrednost CN. Pri 360° je napetost



Sl. 68. Princip proizvodjanja izmeničnega toka.

in sta medsebojno ter od osi izolirana. Vsakega obroča se na obodu tišči kovinsko pero, ki se imenuje ščetka. Ščetki sta po zunanjem vodičju zvezani med seboj. Ako se vrti okvir v zmislu narisane puščice, seče magnetne silnice in v njem se inducirajo toki, ki se jim da smer določiti po pravilu desne roke. Napetost induciranih tokov se neprestano izpreminja (slika 69.). Ko stoji okvir pravokotno na silnicah, je napetost v njem 0 (točka 0), ker se giblje okvir v smeri magnetnih silnic in jih ne seče. Ko se zavrti za 90° , seče največ silnic (točka A) in napetost doseže v pozitivnem zmyslu največjo vrednost AM. Pri 180° ne seče okvir nobenih silnic; v točki B je napetost 0. Pri nadaljnjem vrtenju se izpreminja smer silnic z ozirom na okvir; napetost raste v nasprotnem zmyslu in doseže pri 270° največjo negativno vrednost CN. Pri 360° je napetost



Sl. 69. Izmenična napetost in jakost.

zopet 0. Če vrtimo okvir enakomerno in zdržema, se napetost neprestano in enakomerno (periodično) izpreminja; taka napetost se imenuje izmenična napetost.

Slika 69. predstavlja sinusovo krivuljo. Izmenična napetost se izpreminja kakor sinusova krivulja. Izprememba napetosti, označena s krivuljo *OMBND*, se imenuje nihaj ali perioda in čas, ki se porabi za eno periodo, imenujemo periodno dobo *T* ter jo merimo s sekundami. Število *n*, ki pove, kolikokrat se na omenjeni način izpreminja napetost v eni sekundi, se imenuje frekvenca izmeničnega toka. Za frekvenco se rabi po fiziku Hertzu tudi izraz „Hertz“ (*H*) in govorimo o kilo-Hertzih (*kH*), miria-Hertzih i. t. d. Čim hitreje se izpreminja napetost, tem krajša je doba periode. Frekvenca in periodna doba sta obratno sorazmerni količini:

(21)

$$n = \frac{1}{T}$$

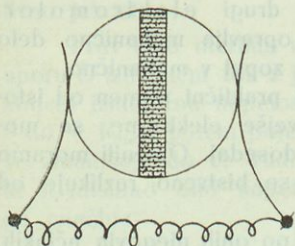
Če sta odvodni ščetki med seboj spojeni, povzroča izmenična napetost v zunanjem provodilju izmenični tok, ki ima tudi obliko sinusove krivulje (slika 69.).

Učinek magnetnega polja je mnogo večji, če enoovojni žični okvir zamenimo z večovojnim, ki ima v sredi železno jedro, ker železo zaradi svoje večje propustljivosti zbira silnice. Jedro z okvirom vred se imenuje kotva stroja. Tako je nastal magneto-električni stroj. Napetost nastalega toka je odvisna od jakosti magnetnega polja, od razdalje kotve od polov, od vrtilne hitrosti in od števila ovojev na kotvi.

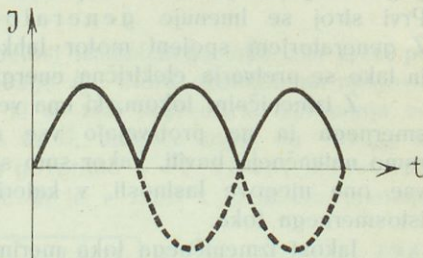
Jeklene magnetne so kmalu nadomestili z elektromagneti. Da se zbudijo, je potrebna posebna akumulatorska baterija ali poseben stroj, vzbujevalni dinamo, ki proizvaja istosmerni tok. Tako so nastali moderni generatorji za izmenični tok.

Teže je po navedenem principu proizvajati istosmerni tok. Iz žičnega okvira dobimo istosmerni tok, če zvežemo njegova konca s kovinskima segmentoma plošče, ki je po sredi

izolirana in se vrti z okvirom med ščetkama (komutator, slika 70.). Ščetki se morata tako postaviti, da zamenjata segmenta, ko stoji okvir pravokotno na silnicah in jih ne seče. Nastali tok ima obliko, kakor jo kaže slika 71., in se imenuje popuščajóči tok ali usmerjeni izmenični tok. Ta tok izboljšamo in povečamo



Sl. 70. Komutator.



Sl. 71. Popuščajóči tok.

njegovo napetost, če vrtimo v magnetnem polju več okvirov, ki imajo v sredi železno jedro in tvorijo kotvo stroja. Na kotvi je kolektor, t. j., izoliran valj, ki ima na svojem plašču toliko med seboj izoliranih, kovinskih listov (lamel), kolikor koncev imajo žični okviri. Če teče tak tok po telefonu, slišimo radi izprememb v njegovi napetosti strojni ton, ki se da odstraniti z zadržalnim krogom, kar smo omenili pri opisovanju priklopne naprave na omrežni tok.

Tudi v tem stroju so kmalu zamenili jeklen magnet z elektromagnetom in W. Siemens je dokazal, da je baterija za zbujanje elektromagneta nepotrebna, če primerno zvežemo elektromagnet s kotvo. Siemens je izrekel dinamo električno načelo, ki se glasi: Radi remanentnega magnetizma je železo vedno nekoliko magnetično. Če nadomestimo jeklen magnet z mehkim železom in ga ovijemo z žico, ki spaja ščetki kolektorja, inducira železo v ovojih kotve sprva slab tok. Ta tok ojačuje magnetizem železa in inducira v ovojih jačji tok i. t. d. Pri takem stroju sprva ni magneta v navadnem pomenu besede in mehanično delo

(vrtenje kotve) se pretvarja skoraj vse v električno energijo. Tak stroj se imenuje dinamostroj.

Če spojimo dva dinamostroja in vrti kotvo enega stroja mehanična sila (vodna turbina, parni stroj, plinski motor), se proizvaja v prvem stroju električni tok, ki obkrožuje kotvo drugega stroja in jo vrti v nasprotnem zmislu (Lenzovo pravilo). Prvi stroj se imenuje generator, drugi elektromotor. Z generatorjem spojeni motor lahko opravlja mehanično delo in tako se pretvarja električna energija zopet v mehanično.

Z izmeničnim tokom, ki ima večji praktični pomen od istosmernega in ga proizvajajo vse novejšje elektrarne, se moramo natančneje baviti, kakor smo se dosedaj. Omeniti moramo vse one njegove lastnosti, v katerih se bistveno razlikuje od istosmernega toka.

Jakost izmeničnega toka merimo po onih njegovih učinkih, ki niso odvisni od neprestanega izpreminjanja njegove smeri. Med drugimi imajo toplotni učinki to lastnost, kajti tokovodnik se segreje, če teče v njem tok v eni ali drugi smeri. Izmenični tok, ki ima trenutno jakost I , proizvaja v tokovodniku z uporom U po Joulovem zakonu toploto I^2U . Njegova jakost pa se izpreminja od 0 do največje pozitivne vrednosti ($+I_{max}$) in pojema zopet do 0, potem pa narašča v negativni smeri, doseže največjo negativno vrednost ($-I_{max}$) in se zmanjšuje zopet do 0. V dobi ene periode T nastane po toku določena množina toplote, določeno število kalorij.

V istem upor U povzroča istosmerni tok z jakostjo I_1 v enakem času enako množino toplote. Njegova jakost je mera za jakost izmeničnega toka. Imenujemo jo efektivno jakost izmeničnega toka in jo zaznamujemo z I_{ef} .

Kakor se da matematično dokazati, je

$$(22) \quad I_{ef} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2} \sqrt{2} \cdot I_{max} \doteq 0.707 I_{max} \quad \text{in obratno}$$

$$(23) \quad I_{max} = \sqrt{2} \cdot I_{ef} \doteq 1.414 I_{ef}$$

Efektivna vrednost izmeničnega toka, ki ima največjo jakost 1 A, znaša $0{,}707 \dots A$ in največja jakost toka, čigar efektivna jakost znaša 1 A, meri $1{,}414 \dots A$.

Merjenje efektivne jakosti je enostavno. Amperometer s segrevajočo se žico, ki je prirejen za istosmerni tok in po katerem kroži izmenični tok, nam kaže njegovo efektivno jakost.

Prav tako merimo napetost izmeničnega toka. Da kroži po uporu U izmenični tok z jakostjo I_{ef} , mora obstajati na njegovih koncih izmenična napetost, ki se tudi neprestano izpreminja od 0 do $+V_{max}$, potem pojema do 0, narašča zopet do $-V_{max}$ in se zmanjšuje do 0. Tudi tu govorimo o efektivni napetosti in si mislimo ono napetost, ki je v zvezi z efektivno jakostjo po enačbi:

$$\boxed{V_{ef} = I_{ef} \cdot U.} \quad (24)$$

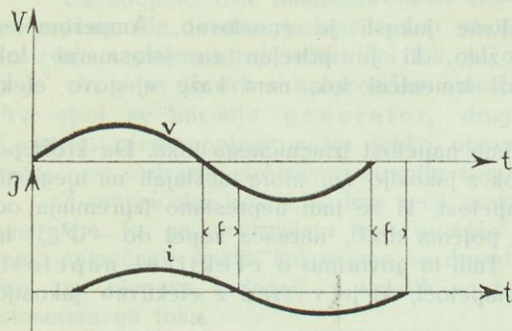
S primernim uporom se da amperometer s segrevajočo se žico tako prirediti, da kaže efektivne napetosti direktno.

Če naraste po sliki 69. napetost v generatorju za izmenični tok od 0 do vrednosti v_1 dobi istočasno v zunanjem prevodilcu upora U tok vrednost $i_1 = \frac{v_1}{U}$, kajti hitrost toka v žicah je izredno velika in znaša v sekundi več 1000 km. Če raste napetost dalje do vrednosti v_2 , dobi tok vrednost $i_2 = \frac{v_2}{U}$. Izmenična jakost doseže torej v istem času svoje največje pozitivne in negativne vrednosti kot izmenična napetost. Pravimo, da sta jakost in napetost istofazni ali v fazi. V nasprotnem slučaju obstaja med njima fazna razlika.

Dokazali se da, da sta jakost in napetost istofazni, ako ima tokovodnik le Ohmov upor, pa nobene kapacitete in samoindukcije.

Dosedaj smo obravnavali že dva primera, ko pri izmeničnem toku jakost in napetost nista bili istofazni.

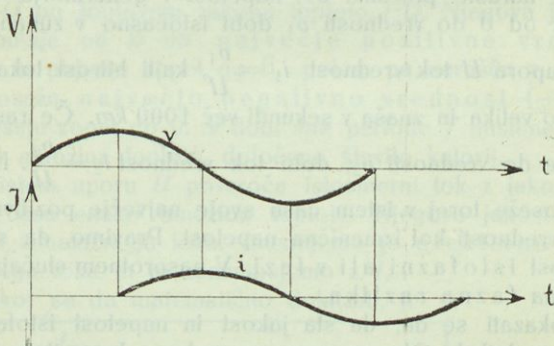
1. Ako teče izmenični tok po tokovodniku s samoindukcijsko tuljavo, se tok vedno zakasni za svojo napetostjo. Med



Sl. 72. Fazna razlika med napetostjo in jakostjo.

njegovo napetostjo in jakostjo obstaja fazna razlika f (slika 72.). V skrajnem slučaju doseže ta razlika vrednost $\frac{1}{4}$ periodne dobe T ali 90° (slika 73.), in sicer tedaj, kadar nima tokovodnik nobenega Ohmovega upora, kakor nam izpričujejo poskusi.

2. Izmenični tok prehiteva svojo napetost, če teče po tokovodniku s kapaciteto. Med njegovo jakostjo in napetostjo obstaja



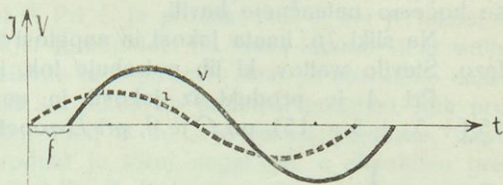
Sl. 73. Največja fazna razlika med napetostjo in jakostjo.

fazna razlika f (slika 74.), ki doseže največjo vrednost 90° , če nima tokovodnik nobenega Ohmovega upora. Ta primer

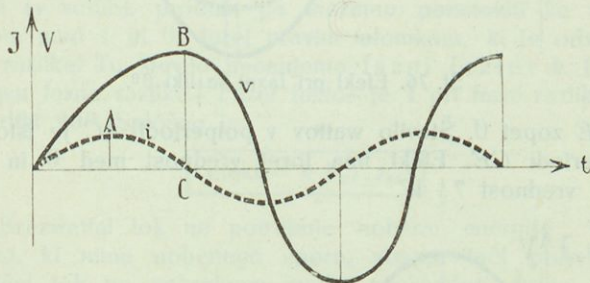
vidimo na sliki 75., ako se ne oziramo na prvi del slike, kajti spočetka raste ta jakost in napetost, a jakost le do točke A, potem pa pada in je v točki C 0; napetost pa raste ves ta čas do točke B, potem se šele zmanjšuje.

Tudi učinek ali efekt, delo v eni sekundi, se računa pri izmeničnem toku drugače kakor pri istosmernem, kjer do-

bimo v wattih izražen efekt, če pomnožimo njegovo jakost v amperih z napetostjo v voltih. Ta produkt ima pri izmeničnem toku v vsakem trenutku drugo vrednost, ker se na-



Sl. 74. Fazna razlika med jakostjo in napetostjo.



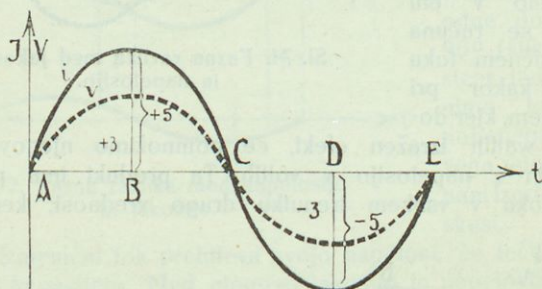
Sl. 75. Največja fazna razlika med jakostjo in napetostjo.

petost in jakost toka periodično menjujeta. Zato pravimo, da je povprečni efekt izmeničnega toka v tokovodniku enak aritmetični sredini iz vseh efektov, ki jih ima tok v eni polperiodi. — Ako ne obstaja med jakostjo in napetostjo toka nobena fazna razlika, ako nima tokovodnik nobene samoindukcije in kapacitete, tedaj je povprečni efekt enak produktu iz odmerjene

efektivne jakosti in efektivne napetosti. Če pa obstaja med jakostjo in napetostjo fazna razlika, je efekt toka vedno manjši od omejenega produkta. S primeroma, ko znaša fazna razlika 0° in 90° , se hočemo natančneje baviti.

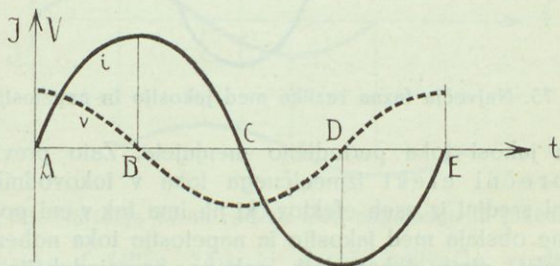
Na sliki 76. imata jakost in napetost izmeničnega toka isto fazo. Število wattov, ki jih potrebuje tok, izračunamo takole:

Pri A je produkt iz jakosti in napetosti 0 , pri B je $15 (+3 \cdot +5 = 15)$, pri C je 0 , pri D zopet $15 (-3 \cdot -5 = 15)$



Sl. 76. Efekt pri fazni razliki 0° .

in pri E zopet 0 . Število wattov v polperiodi AC je isto kakor v polperiodi CE . Efekt ima torej vrednost med 0 in 15 W , recimo, vrednost $7\frac{1}{2}\text{ W}$.



Sl. 77. Efekt pri fazni razliki 90° .

Popolnoma drugačen primer imamo na sliki 77., kjer imata jakost in napetost fazno razliko 90° . Tu je pri A jakost $\emptyset$ in napetost 2, produkt torej $\emptyset$; pri B je jakost 4 in napetost $\emptyset$, torej je produkt zopet $\emptyset$. Pri C je produkt tudi $\emptyset$, ker je jakost $\emptyset$, in prav tako pri D , kjer je napetost $\emptyset$. Vmes imamo sicer watte, imajo pa menjaje pozitivne in negativne, sicer pa absolutno enake vrednosti. Med A in B sta jakost in napetost pozitivni, njih produkt je tudi pozitiven. Med B in C je jakost pozitivna, napetost pa negativna, produkt je torej negativen, a absolutno prav tako velik, kakor med A in B . Iz tega se spozna, da je celoten efekt takega toka $\emptyset$. Tak tok nima nobene energije, nima nobenih wattov in se zato imenuje brez wattni tok.

Pri izmeničnem toku, kjer ima fazna razlika med jakostjo in napetostjo vrednost med 0° in 90° , je efekt odvisen od fazne razlike. Število wattov, ki jih ima tak tok, je enako produktu iz njegove efektivne jakosti (v amperih) in efektivne napetosti (v voltih), produkt pa moramo pomnožiti še z nekim številom med 1 in $\emptyset$, torej pravim ulomkom, ki je odvisen od fazne razlike. To število imenujemo fazni faktor k . (Enak je kosinusu fazne razlike.) Fazni faktor je 1 pri fazni razliki $\emptyset$ in $\emptyset$ pri razliki 90° . Splošno je

$$\boxed{\text{efekt} = k V_{ef} \cdot I_{ef}.} \quad (25)$$

Brez wattni tok ne potrebuje nobene energije. V tokovodniku, ki nima nobenega upora, utegne teči poljubno jak izmenični tok po enkratnem sunku neskončno dolgo. Če pa je njegov upor majhen, je mogoče z majhno energijo vzdrževati precej jak tok.

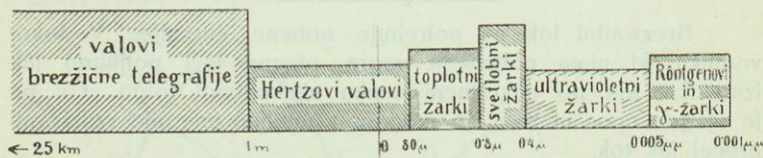
Dosedaj smo se bavili z enostavnim ali enofaznim izmeničnim tokom. Razločujemo pa tudi mnogofazne toke, ki delujejo sicer istočasno, a z različno fazo. Trofazni tok, ali kakor ga tudi imenujemo, vrtilni tok, obstaja iz treh istočasno delujočih izmeničnih tokov, ki imajo fazno razliko po 120° .

Pri tej priliki navajamo razdelitev frekvenc v etru:

Nizka frekvenca:	{ izmenični tok za železnice . . . 17, izmenični tok za razsvetljavo . . . 50, izmenični tok za telefonijo . . . 100—10.000,
Srednja frekvenca:	{ izmenični tok za večkratno telefonijo 20.000—50.000,
Visoka frekvenca:	{ brezžična telegrafija 50.000—50.000.000, največje radiofrekvence do 10^{12} , toplotni žarki 10^{12} — $4 \cdot 10^{14}$, svetlobni žarki $4 \cdot 10^{14}$ — $8 \cdot 10^{14}$, ultravioletni žarki $8 \cdot 10^{14}$ — $3 \cdot 10^{16}$, Röntgenovi in γ -žarki $3 \cdot 10^{16}$ — 10^{21} .

Iz te razpredelnice spoznamo, kako različne frekvence imajo etrovi valovi in kako raznovrstne fizikalne pojave predstavljajo.

Etrovi valovi se razširjajo z enako hitrostjo ko svetloba ($c = 300.000 \text{ km/sek}$) in napravljajo po prejšnjem razmotrivanju n period v eni sekundi. Iz teh dveh podatkov lahko izračunamo dolžino etrovih valov λ . Sicer se bomo s tem še bavili, vendar pa podajamo že sedaj razdelitev etrovih valov po njihovih dolžinah (slika 78.). To razdelitev (skalo) je naredil Lebedew in so jo



Sl. 78. Lebedew-ova skala etrovih valov.

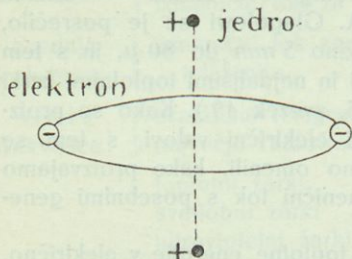
sčasoma izpopolnili. Čim večja je frekvenca, tem manjša je valovna dolžina. Pri teh valovih rabimo nižje enote od mm in razdelimo 1 mm v 1000μ in 1μ v $1000 \mu\mu$, kjer pomenja μ mikron in $\mu\mu$ milimikron.

Pred kratkim je imela ta skala še vrzeli med Hertzovimi valovi in toplotnimi žarki ter med ultravioletnimi in Röntgenovimi žarki. V poslednjem času pa so merili ultravioletne žarke s tako veliko frekvenco, da meje na Röntgenove žarke. — Učenki moskavskega fizika Arkadiewa A. Glagolewi se je posrečilo, proizvajati električne valove z dolžino 5 mm do $80\text{ }\mu$, in s tem je presledek med Hertzovimi valovi in najdaljšimi toplotnimi žarki tudi sklenjen (Radio-Amateur 1925, zvezek 49.). Kako se proizvajajo in zaznavajo različno dolgi električni valovi, s tem se bomo bavili kasneje. Dosedaj smo omenili, kako proizvajamo zelo dolge električne valove, izmenični tok s posebnimi generatorji.

Nadaljujemo s pretvarjanjem toplotne energije v električno. Vsak tokovodnik se segreje, če teče po njem tok. Važno je, da se da ta pojav tudi obrniti. Če sestavimo provodnik iz dveh različnih kovin ali iz dveh delov ene in iste kovine, ki pa nimata povsod enakih fizikalnih svojstev, in eno spojišče segrevamo ali hladimo, nastane v sklenjenem provodniku tok. Imenujemo ga termški tok, ker ga zbuja s toploto. Pri nekaterih dvojicah kovin je ta pojav posebno izrazit. Najbolje sta se obnesla bismut in antimon, ki jih spojimo v okvir in naredimo termški člen. V sredi okvira je magnetna igla. Če eno spojišče okvira nekoliko segrejemo (ali shladimo), se igla odkloni, ker nastane v okviru tok. Napetost termškega člena ni velika. Večjo napetost da termška baterija.

Pridemo do kemičnih učinkov električnega toka. Električna obstaja iz negativnih elektronov, ki so istočasno del tvarine. Radi tega je mogoče pri kemičnih izpremembah pridobivati iz tvarine elektrone, pretvarjati kemično energijo v električno. Vsak tvorni atom ima pozitivno jedro, ki veže toliko elektronov, da je nasičeno. Tak atom se imenuje nevtralni atom, ker ne deluje kemično posebno živahno. Elektroni obkrožujejo svoje jedro z veliko hitrostjo. Nevtralni atom prav lahko izgubi kak zunanji elektron in atom ni več nasičen; imenuje se pozitivni ion. Ako se nasičenemu atomu pridruži iz kateregakoli

vzroka še en elektron, nastane negativni ion. Če se srečata dva iona z različno polariteto, kar se pri vsakem kemičnem spajanju velikokrat dogaja, se vežeta po zunanjih elektronih in dasta molekulo tiste snovi. Nevtralni vodik ima obliko, kakor jo vidimo na sliki 79.; nastopa v molekulah in je neaktiven. Vodik v atomih, kakor ga kaže 1. slika, je prav zmožen reakcije, ker šele nastaja.



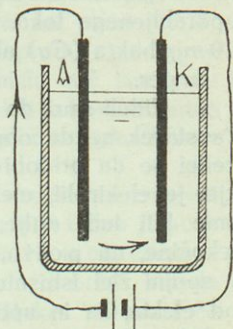
Sl. 79. Molekula neaktivnega vodika.

V vsaki molekuli so vezani atomi električno. Ta vez je zelo močna, uničiti jo more le velika fizikalčna ali kemična energija, ki se pri tem pretvarja v kako

drugo energijo, n. pr. v toploto, kakor pri gorenju premoga (spajanju ogljika s kisikom). Sila, ki hoče razdrobiti molekulo v atome, mora biti prav velika. — Dokazano pa je, da razpade marsikatera snov sama od sebe vsaj deloma v ione, če jo raztopimo v vodi ali drugod. V vsaki raztopini, ki provaja električni tok, so pozitivni in negativni ioni; nevtralni atomi ne provajajo toka. Čim več ionov ima raztopina, tem bolje provaja; število ionov narašča s koncentracijo do neke meje. Če je koncentracija še večja, provodnost zopet pojava.

Navedeno lastnost imajo razredčene kisline in vodne raztopine različnih baz in soli. Vse kisline so vodikove spojine, kjer more vodik nadomestiti kaka kovina. V žvepleni kislini H_2SO_4 lahko nadomestimo vodik H_2 z bakrom Cu in dobimo $CuSO_4$, modro galico, ki je sol omenjene kisline. Kisline se spoznajo, ker pordečujejo modro lakmusovo tinkturo in imajo kisel okus. Povsem drugih lastnosti je n. pr. kalijev hidroksid (kalijev lug) KOH , ki nastane, če vržemo košček kalija v vodo: $2 H_2O + 2 K = 2 KOH + H_2$. Okusa je lugastega in pomodri rdečo lakmusovo tinkturo. Vse spojine te vrste imenujemo baze.

Kemično čista voda ne provaja električnega toka. Če raztopimo v taki vodi kako sol ali ji prilijemo nekaj kapljic žveplene kisline, nastanejo v njej pozitivni in negativni ioni, ki provajajo tok. V dobrem prevodniku se gibljejo prosti elektroni, v raztopini se gibljejo ioni, to so elektroni, ki so vezani na tvarino. Če vtaknemo v imenovano raztopino dve kovini, imenovani elektrodi, ki sta zvezani s poloma baterije, se gibljejo pozitivni ioni k negativni elektrodi, katodi *K*, kjer tok zapušča tekočino, in negativni ioni se zbirajo na anodi *A*, na oni elektrodi, kjer tok vstopa v raztopino. Na elektrodah se tekočina razkraja. Ta pojav se imenuje elektroliza, razkrajanje snovi z električnim tokom. Raztopina, ki provaja tok in se pri tem razkraja, se imenuje elektrolit. Razkrajanje se vrši v elektrolitični celici (slika 80.).



Sl. 80. Elektrolitična celica.

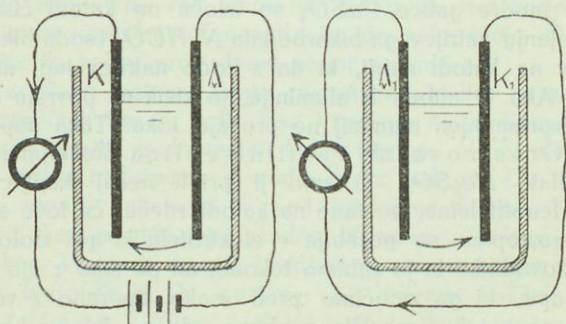
Ker so ioni deli snovi, in se na elektrodah nevtralizirajo, se ne zbirajo tam samo elektroni, marveč tudi snov. Tako se razkraja razredčena žveplena kislina v vodik in kisik. Pri razkrajanju raztopine modre galice CuSO_4 se izloča na katodi čist baker. Pri razkrajanju natrijevega bikarbonata NaHCO_3 (soda bikarbona) se izloča na katodi natrij, ki da z vodo natrijev lug, na anodi pa kisik. Ako je anoda iz aluminija, jo kisik na površju oksidira in tako izpremenjen aluminij ne provaja toka. Taka naprava se imenuje Graetzova ali ventilna celica. Raztopina natrijevega sulfata Na_2SO_4 , ki smo ji prilili nekaj kapljic raztopljenega fenolftaleina, postane na katodi rdeča, če teče skoz njo tok. Ta raztopina se porablja v elektrotehniki pri določevanju polov tokovodnika in jo rabimo tekočo, ali pa smo z njo napojili filtrirni papir, ki ga zmočimo pred vsako uporabo z vodo.

Pri vseh teh poskusih opazujemo, da se izloča kovina ali vodik vedno na katodi. Če je katoda pri tem čista, se je kovina

tesno prime in jo prevleče (galvanostegija). Ako smo katodo pomazali z grafitom, se da izločena kovina od nje odlučiti in ima njeno obliko (galvanoplastika). Pridobivanje čistih kovin (bakra, srebra, zlata, niklja i.t.d.) elektrolitičnim potem se imenuje metalurgija.

Zakone elektrolize je našel Faraday. Omenjamo le prvega, ki se glasi: Množina razkrojine je premo sorazmerna jakosti uporabljenega toka. Tok ima jakost 1 A , če izloča v eni minuti 20 mg bakra (Cu) ali 67 mg srebra (Ag). Tako si predstavljamo 1 amper.

Videli smo, da se da elektrolit razkrajati z električnim tokom. Ta stavek se da obrniti. S kemičnim spajanjem v elektrolitični celici se da pridobivati električni tok. Če vtaknemo v posodo, kjer je elektrolit, elektrodi iz različnih kovin, ena elektroda sme biti tudi oglje, nastane na koncih elektrod, ki molita iz tekočine, na polih, vedno ista potencialna razlika, ki povzroča v spojni žici istosmerni tok. Napetost nastalega toka je odvisna od elektrolita in uporabljenih elektrod. V spojni žici nastane tok radi kemičnih izprememb v posodi: kemična energija se pretvarja v električno. Opisano napravo imenujemo galvanski člen ali element.



Sl. 81. Galvanska polarizacija.

Če teče tok po razkrojni posodi, napolnjeni z razredčeno žvepleno kislino, in sta elektrodi enaki (n. pr. ogljeni, slika 81.), se v zaporedno sklenjenem galvanometru kazalec odkloni in kaže smer toka. Tok teče po kislini in jo razkraja; na elektrodi K se nabira vodik, na elektrodi A pa kisik v obliki mehurčkov. Če čez nekaj časa baterijo B odstranimo in konca provodnih žic zvežemo, nastane tok nasprotno smeri, ki pa kmalu preneha, kajti ta tok razkraja tudi tekočino in izloča na elektrodi A_1 kisik, na elektrodi K_1 pa vodik, torej nasprotno od prej. Snovno enaki elektrodi nista v električnem zmislu več enaki, če sta prevlečeni s plastjo vodika in kisika. Nastali tok se imenuje polarizacijski tok in preneha, ko so plinove plasti nevtralizirane.

Najstarejši je Voltov člen, kjer visita v razredčeni žvepleni kislini cinek (Zn) in baker (Cu). Cinek je negativni in baker je pozitivni pol elementa. Po spojni žici teče tok od bakra proti cinku, v posodi pa od cinka proti bakru. Cinek je anoda in baker katoda za tok, ki teče skoz tekočino in jo razkraja. Baker se prevleče s plastjo vodika in zato oslabi v kratkem času člen popolnoma. Med cinkom in bakrom teče glavni tok, med bakrom, na katerem se nabira vodik, in cinkom pa teče v nasprotni smeri polarizacijski tok, ki prvotno slabi glavni tok, končno ga pa uniči; Voltov člen ni stanovit. Galvanska polarizacija je v Voltovem členu škodljiva.

Da dobimo stanovit tok, je treba člen tako sestaviti, da se ne nabira vodik na njegovem pozitivnem polu. Tako so nastali različni stanovitni členi. Omenjamo tele:

Daniellov člen: cinek v razredčeni žvepleni kislini, baker v koncentrirani raztopini modre galice (diafragma),

Grenetov člen: cinek in oglje v raztopini kalijevega bikromata in žveplene kisline,

Leclanchejev člen: cinek in oglje v salmijakovi raztopini. Oglje je obdano od vrečice, napolnjene z zmesjo oglja in rjavega manganovca, ki oksidira vodik.

Suhi člen je Leclanchejev element. Oglje in cinek sta v snovi, ki je zelo luknjičava in prepojena s salmijakovo raztopino (žolco). Posoda je zalita s smolo. Element je toliko časa poraben, dokler tekočina ne izhlapi.

Žepna baterija ima tri zaporedno sklenjene suhe elemente. Napetost na njenih polih znaša 4,5 V, če je baterija nova. Iz teh baterij sestavljamo anodne baterije, ki se izrabijo in jih je treba z novimi nadomestiti.

Daniellov člen ima napetost nekaj nad 1 V. Tako si predstavljamo enoto napetosti.

Bolj pomembni od opisanih elementov so za lastnike radioaparatorov akumulatorji, ki jih rabijo za katodno in tudi anodno baterijo. V stanovitnih členih preprečujemo polarizacijski tok, ker je škodljiv. Polarizacijo kovinskih elektrod pa moremo uspešno porabljati za pridobivanje električnega toka. V ta namen prirejena naprava se imenuje akumulator in se razlikuje od navadnega člana v tem, da ga je treba prej napolniti, preden dobimo iz njega tok. Zato imenujemo akumulatorje tudi sekundarne člene, vsi drugi elementi pa so primarni členi.

Prehod med galvanskimi členi in akumulatorji tvori kupronov člen. Tri plošče, dve stranski iz cinka in srednja bakrena z bakrovim oksidom (CuO), so obešene tako, da vise navpično v raztopini natrijevega luga ($NaOH$). Bakrena plošča je približno 1 cm debela in je narejena iz bakrovih opilkov, ki so stisnjeni okoli bakrenega omrežja in prevlečeni z bakrom galvanoplastičnim potem. Luknjičavost bakrene plošče se s tem močno poveča. Plošča se sama od sebe prevleče na zraku ali toplem prostoru z bakrovim oksidom, pa ne samo na površju, marveč tudi globoko v notranjosti. Čista bakrena plošča je živo mesnate barve, oksidirana pa počrni. Bakrena plošča je pozitivni pol; amalgamirani plošči iz cinka sta spojeni med seboj in sta negativni pol elementa. V sklenjenem členu nastanejo kemične izpremembe, ki reducirajo ploščo v čist baker. Ko se to zgodi, je člen izčrpan in bakreno ploščo moramo znova oksidirati.

Notranji upor kupronovega elementa je odvisen od velikosti plošč in znaša $0.06-0.007 \Omega$; člen da precej jak tok, njegova napetost znaša $0.8 V$. Element se izčrpa po $40-400$ amperskih urah (stran 76.), kar je odvisno od njegovih plošč. Ta element ali baterija iz teh elementov se s pridom porablja v vseh onih slučajih, ki rabijo dalj časa popolnoma stanovitni in precej jak tok, n. pr. za razsvetljavo, za galvanoplastiko, za polnjenje majhnih akumulatorjev, zlasti pa kot katodna baterija, posebno v krajih, kjer je polnjenje akumulatorjev hudo otežkočeno. Element da tok s stanovitno napetostjo in jakostjo.

Pri svinčevem akumulatorju visita dve svinčeni plošči v razredčeni žvepleni kislini. Mrežasti plošči sta namazani s svinčevimi oksidi (navadno z menigom Pb_3O_4). Če teče skoz posodo tok, se plošči formirata, t. j., radi elektrolize se tvori na katodi prav zrahljan in gobast svinec, na anodi pa svinčev superoksid (PbO_2). Če zvežemo tako prirejeni plošči s spojno žico, se akumulator izpraznjuje in v žici teče tok. Pozitivni pol je plošča, prevlečena s svinčevim superoksidom, plošča iz čistega svinca pa je negativni pol akumulatorja. Pozitivna plošča je rjava, negativna pa siva. Pri praznjenju (uporabi) akumulatorja nastane na anodi in na katodi svinčev sulfat, in sicer

na negativnem polu: $Pb + SO_4 = PbSO_4$,

na pozitivnem polu: $PbO_2 + H_2 + H_2SO_4 = PbSO_4 + 2 H_2O$.

Kisline je vedno manj v tekočini. Ko se pretvori ves svinčev superoksid na anodi v sulfat, preneha polarizacijski tok.

Če zvežemo, preden se akumulator popolnoma izprazni, njegov pozitivni pol s pozitivnim in njegov negativni pol z negativnim polom polnilne baterije, se akumulator zopet polni. Pri tem nastanejo tele kemične izpremembe:

na katodi: $PbSO_4 + H_2 = Pb + H_2SO_4$,

na anodi: $PbSO_4 + SO_4 + 2 H_2O = PbO_2 + 2 H_2SO_4$.

Anoda se zopet prevleče s svinčevim superoksidom, katoda se pa reducira v čist svinec in v tekočini je vedno več kisline.

Polnjenje zasledujemo lahko z denzimetrom, s pripravo, s katero merimo tekočinam gostoto. Ko je akumulator napolnjen, kaže denzimeter 1'18—1'2 gostote ali, v Baumé-jevih stopinjah izraženo, 21⁰—25⁰.

Napetost napolnjenega akumulatorja znaša okroglo 2 V. Ko mu odvzemamo tok, ostane napetost precej dolgo na tej vrednosti, potem pa urno pojema. Akumulatorja ne smemo nikdar izprazniti pod 1'8 V, ako ga nočemo pokvariti. Akumulator je napolnjen, če znaša njegova napetost, merjena med polnjenjem, 2'65—2'7 V.

Z akumulatorjem je treba previdno ravnati, ker je njegov upor majhen. Srednje velik akumulator ima notranji upor 0'02 Ω . Če sklenemo njegova pola brez znatnega zunanega upora s kratko žico, nastane v njej tako jak tok, da se mora akumulator popolnoma pokvariti.

Elektrenina, ki jo odda akumulator v obliki toka, ko se izpraznjuje, se imenuje njegova kapaciteta; izražamo jo v amperskih urah (*Ah*). Tako daje n. pr. akumulator s kapaciteto 30 *Ah* 10 ur tok 3 A, more pa dajati tudi 15 ur po 2 A ali 30 ur po 1 A in tudi 5 ur po 6 A, če ta jakost akumulatorju ne škoduje. Prav toliko energije se porabi, ko se akumulator polni, natančneje še celo nekaj več (10—20 %), ker nastaneta v akumulatorju dve izpremembi, namreč električna energija se pretvarja v kemično in končno kemična v električno. Pri vsaki taki izpremembi pa se pretvori nekaj električne energije v toplotno.

Kapaciteta svinčevega akumulatorja je odvisna od jakosti uporabljenega toka. Pri navedeni kapaciteti akumulatorja se navadno računa za izpraznjenje 10 ur. Če daje akumulator jačji tok, ne dosežemo števila naznačenih ur, nasprotno pa ima akumulator večjo kapaciteto, kakor je naznačeno, če nam daje slabši tok.

Največji napaki svinčevega akumulatorja sta, da je pretežak, da ga je treba, četudi se ne rabi, v daljših presledkih polniti.

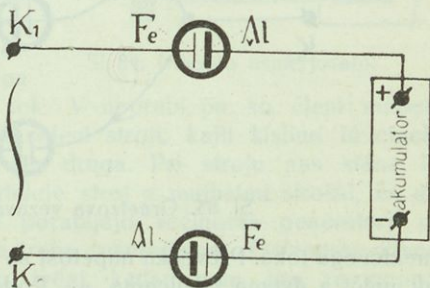
Manj občutljiv proti poškodbam je Edisonov akumulator. Ena njegova elektroda je iz niklja, druga železna, in sta v 21 % kalijevem lugu (KOH). Nikelj je pozitiven pol, ki ga pri

polnjenju tok oksidira, pri praznjenju (uporabi) pa zopet reducira. Tekočina se nič ne izpreminja, treba jè je prav malo; akumulator ima primeroma majhno težo. Napetost napolnjenega akumulatorja znaša 1'25 V; njegov notranji upor je majhen. — Edisonov akumulator se spozna po tem, da ima železno posodico, ki je kalijev lug ne razjeda. Ta akumulator ima to napako, da njegova napetost ne ostane dolgo stalna, marveč se kmalu zmanjša, kakor pri primarnih elementih.

Akumulatorje polnimo z omrežnim istosmernim tokom ali z baterijo kupronovih elementov. Tudi izmenični in vrtilni tok lahko porabljamo v to svrhu, a tak tok je treba prej usmeriti s napravo, ki se imenuje usmerjevalo.

Graetzovo elektrolitično usmerjevalo obstaja iz dveh ventilnih celic (slika 82.). Pozitivni pol akumulatorske

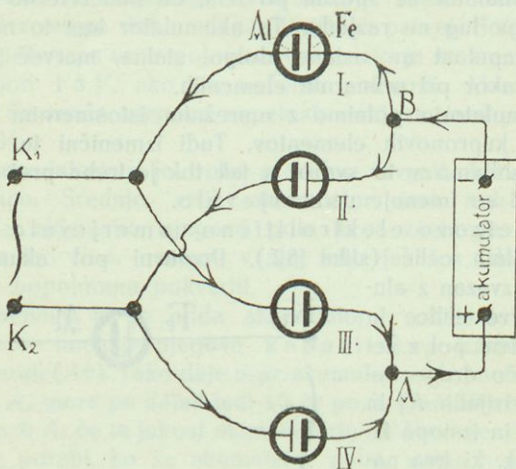
baterije je zvezan z aluminijem prve celice in njen negativni pol z železno ploščo druge celice. Na privijalih K_1 in K_2 vstopa in izstopa izmenični tok, ki ima navadno večjo napetost, kakor jo potrebujemo pri polnjenju akumulatorjev. Zato vklenemo pred napravo transformator (polnilni transformator), ki primerno pretvori napetost toka. Namesto transformatorja lahko rabimo tudi dve žarnici z ogljeno nitko, ki uničita preveliko napetost. Pri tem usmerjevalu se polovica toka uniči. Obe njegovi polovici izrabljamo pri Graetzovi vezavi, ki je zato bolj priporočljiva (slika 83.). Pozitivne polovice izmeničnega toka, ki vstopa pri K_1 , propušča nemoteno III. celica, toda I. celica jih ne provaja, ker ima aluminij za anodo. Prav zato jih tudi IV. celica ne propušča. Od točke A



Sl. 82. Usmerjevalo z dvema celicama.

vezi, ki je zato bolj priporočljiva (slika 83.). Pozitivne polovice izmeničnega toka, ki vstopa pri K_1 , propušča nemoteno III. celica, toda I. celica jih ne provaja, ker ima aluminij za anodo. Prav zato jih tudi IV. celica ne propušča. Od točke A

jim je prosta pot le skozi akumulatorsko baterijo, od B dalje pa jih vodi II. celica k drugemu polu K_2 izmeničnega toka. Pozitivne polovice toka, ki vstopa pri K_2 , narede pot K_2 —IV— A —baterija— B —I— K_1 . Tako se uporabljata obe polovici iz-



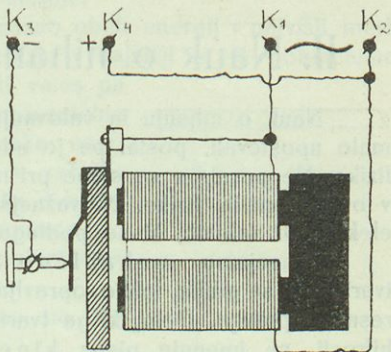
Sl. 83. Graetzova vezava štirih celic.

meničnega toka. Prevelika napetost se zmanjša s transformatorjem ali uniči z dvema žarnicama. — Podobno usmerjamo tudi vrtilni tok, kjer potrebujemo 6 Graetzovih celic.

Na popolnoma drugem principu deluje nihhalno usmerjevalo, ki je enostavno avtomatično prekinjalo (slika 84.). Naprava propušča n. pr. pozitivne polovice izmeničnega toka, ne pa negativnih, ker je tedaj tok prekinjen. Pri K_3 in K_4 odveden tok je „razkosan istosmerni tok“, kajti usmerjevalo ne propušča trajnega toka, marveč tokove sunke, ki se hitro vrste in imajo vsi isto smer. Na sliki se prvotni izmenični tok razcepi v dve veji: v eni je elektromagnet, v drugi pa akumulator (pri K_3 in K_4). Druga veja je sklenjena

le tedaj, če ima magnetna kotvica na sliki označeno lego. Če jo magnet privlačuje, se kotvica oddaljuje od vijaka in prekinja tok skoz akumulator. Kotvica neprestano niha in prekinja ter sklepa tok; njeno število nihajev se ujema s frekvenco izmeničnega toka. Kotvica je popoln magnet. Elektromagnet jo privlačuje ali pa odbija, kakršen je pač nasproti kotvici pol elektromagneta, ki ga izmenični tok vzbuja. Tudi tukaj se prevelika napetost zmanjšuje tako ko zgoraj.

Galvanski členi in akumulatorji dajo stalen in popolnoma istosmeren tok, dinamostroji in generatorji pa valovni, oziroma izmenični tok. V uporabi pa so členi mnogo bolj neekonomični kakor omenjeni stroji, kajti kislina in cinek, ki se izrabljata v členih, sta draga. Pri stroju nas stane le prvotna naprava, sicer pa deluje stroj z majhnimi stroški, če ga goni vodna sila. Sedaj se porabljajo večinoma generatorji za izmenični tok, ki ga, če je treba, usmerjamo. Galvanske člene in akumulatorje rabimo le tedaj, kadar nam gre za popolnoma stalen in istosmeren tok, kakor n. pr. v telefoniji in pri merjenju.



Sl. 84. Nihalno usmerjevalo.

II. Nauk o nihanju in valovanju.

Nauk o nihanju in valovanju so v fiziki še nedavno prav malo upoštevali, postal pa je eden najvažnejših delov moderne fizike. Ne porablja se samo pri mehaničnih pojavih, temveč tudi v ostalih delih fizike. Najvažnejša pa je njegova uporaba pri električnih valovih, ki so podlaga moderne radiotehnike.

Omenjamo mehanično energijo tvarine. Vsaka tvarina, ki se giblje, lahko opravlja delo, ni pa potrebno, da ga v resnici opravlja. Delo, ki ga tvarina lahko opravlja radi svoje hitrosti, se imenuje njena kinetična energija. Izstreljena krogla n. pr. prebije desko, tekoča voda goni mlinska kolesa, veter žene jadrnice. — Tudi mirujoča tvarina more opravljati delo, če je v prisiljenem položaju. Ko preneha to stanje, opravlja delo tvarina. Govorimo o potencialni energiji tvarine. Ko dvigamo opeko na streho, opravljamo delo, ki ni izgubljeno. Enako delo opravi opeka radi svoje hitrosti, ko pade s strehe, a poriniti jo moramo čez rob strehe. Navito pero v uri goni kolesa, a uro je treba pognati.

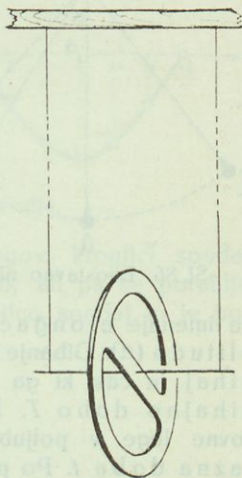
Na strehi ima opeka potencialno energijo, če pada na tla, pa dobi kinetično energijo. Potentialna energija se torej pretvarja v kinetično in tudi obratno, kar pokažemo z Maxwellovim nihalom, ki ga predstavlja slika 85. Na dveh enako dolgih mehkih vrvicah visi os težjega kolesca, ki ima večino snovi na svojem obodu. Navijemo vrvice na os, kolikor se da; kolesce ima najvišjo lego in največjo potencialno energijo. Ko ga spustimo, prične padati, in sicer vedno hitreje, ter ima v najnižji legi največjo hitrost in zato tudi največjo kinetično energijo. Tedaj pa se pričneta radi vztrajnosti kolesca vrvice zopet navijati in kolesce se dvigne skoro do iste višine, iz katere smo

ga prej izpustili. Giblje se pri dviganju sprva urno, potem pa vedno počasneje in se ustavi za hip v najvišji točki i. t. d. Opisani pojav se ponavlja, dokler trenje, upor sredstva in druge ovire ne izrabijo vse energije.

Kolesce nima nikdar istočasno obeh energij v najvišji meri, marveč vedno le eno, le kinetično v najnižji in le potencialno v najvišji legi. V poljubni točki vmes pa ima nekaj kinetične in nekaj potencialne energije in je vsota obeh enaka energiji, ki smo jo dali kolescu v začetku gibanja. Zato priznavamo zakon o konstanti energije. Gibanje kolesca nastane s pretvarjanjem njegove potencialne energije v kinetično in obratno.

Podobno gibanje nastane na naslednji način:

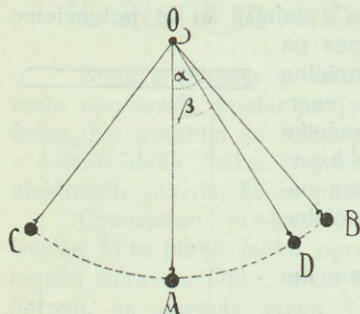
En konec dolge prožne žične špirale pritrdimo, na drugi konec pa obesimo majhno utež. Špirala je prožna, ker jo lahko raztegnemo in se skrči na prvotno dolžino, ko prenehamo z nategovanjem. Če potegnemo utež iz mirovne lege, kjer sta prožna sila špirale in teža uteži v ravnotežju, in jo zopet izpustimo, se giblje utež v vertikalni daljici navzgor in navzdol ter dosega enake razdalje nad mirovno lego in pod njo. Pravimo, da utež niha okoli te lege. Na napeti špirali ima utež potencialno energijo. Ko jo izpustimo, se utež dviga in špirala se krajša. Utež se giblje pospeševano in ima v mirovni legi največjo hitrost navzgor. Potencialna energija se je pretvorila v kinetično. Radi vztrajnosti se giblje utež čez mirovno lego navzgor in njeno gibanje je pojemalno; špirala se krči in dobiva potencialno energijo i. t. d. Utež niha, v špirali pa nastane posebno gibanje, ki ga bomo kmalu opisali.



Sl. 85. Maxwellovo nihalo.

Kot nadaljnji primer nihanja omenjamo, kako vrli cerkovnik v posodici na žici žerjavico, da jo razpihne. Če stojimo v ravnini vrtenja, vidimo, da niha žerjavica v svetli daljici.

Enostavno nihalo je kroglica, obešena na niti (slika 86.). Kroglica niha v loku. Na nihalu hočemo pojasniti



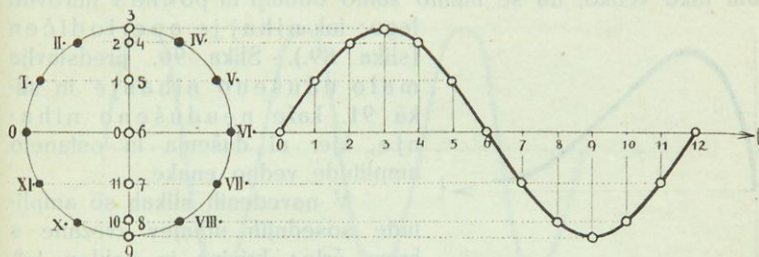
Sl. 86. Enostavno nihalo.

osnovne pojme nihanja. Če dvignemo kroglico A tako, da ostane nit napeta in oklepa z vertikalno smerjo kot α , ter jo v točki B izpustimo, se giblje kroglica pospeševano od B proti A, na nasprotni strani pa pojemalno do enako visoko ležeče točke C. OA se imenuje dolžina l nihala. Kot β , ki ga oklepa nit v poljubni legi z vertikalnico, ali lok AD, za katerega se je kroglica oddaljila od mirovne lege,

se imenuje elongacija. Največjo elongacijo imenujemo amplitudo (a). Gibanje od ene skrajne lege v isto nazaj se imenuje nihaj in čas, ki ga potrebuje kroglica za en nihaj, imenujemo nihajno dobo T . Doba, ki poteče, da pride kroglica iz mirovne lege v poljubno točko (D) svojega tira, se imenuje fazna doba t . Po preteku enkratne ali večkratne nihajne dobe je kroglica v isti fazi nihanja, t. j., kroglica ima isto elongacijo in isto hitrost po velikosti in smeri. Nihanje je periodično gibanje.

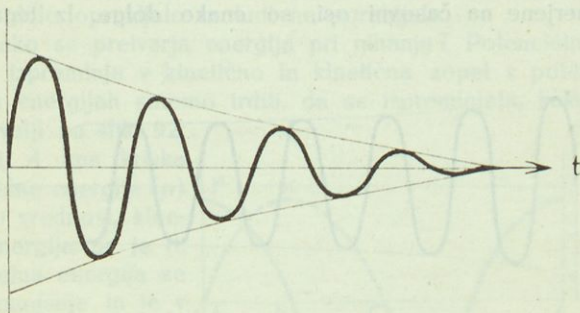
Pri cerkovnikovem primeru kroži posodica v resnici v krogu, nam pa se zdi, če smo v ravnini kroga, da niha žerjavica v vertikalnem premeru, kajti žerjavico projiciramo nehoti na premer kroga (slika 87.). Posameznim točkam na obodu kroga odgovarjajo točke na vertikalnem premeru. Natančno sliko tega gibanja dobimo, če nanesemo na vodoravno premico fazne dobe t kot abscise in pripadajoče elongacije kot ordinate. Nastalo krivo črto imenujemo sinusovo krivuljo, kakor smo jo tuptam že

imenovali. Tako smo raztegnili nihanje v sinusovo krivuljo, kar je pregledneje. — V karton naredimo ozko zarezo in ga položimo pravokotno na abscisno os. Če potegnemo sliko izpod kartona, vidimo v zarezi zopet nihanje točke.



Sl. 87. Nihanje in sinusova krivulja.

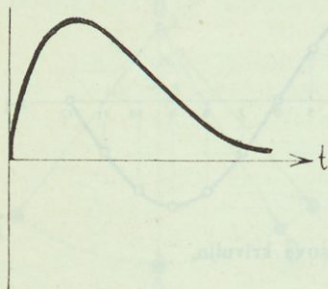
Nihalo nariše nihaje, če je na njegovi kroglici spodaj pritrjen čopič, ki smo ga pomočili v barvo, ali pa se porablja namesto kroglice majhna posodica z luknjico spodaj in je po-



Sl. 88. Močno udušeno nihanje.

sodica napolnjena z drobnim peskom. Ko nihalo niha, potezamo pod njim enakomerno in pravokotno na smer nihanja papir in po njem nariše čopič ali nasiplje pesek nihajne krivulje. Ampli-

tude zaporednih nihajev se zaradi različnih ovir (trenja na obešalu, trenja ob zrak, i. t. d.) zmanjšujejo. Ovire uduše nihaje, povzročajo njih dušenje. Po sliki 88. se po štirih nihajih nihalo umiri; pravimo, da je nihanje močno udušeno. Dušenje utegne biti tako veliko, da se nihalo samo oddalji in povrne v mirovno

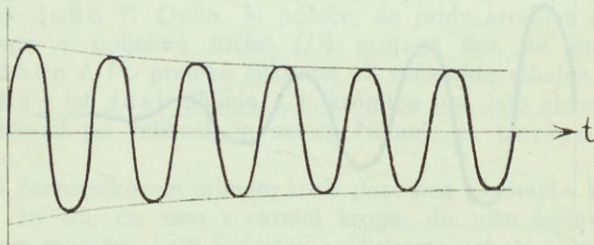


Sl. 89. Aperiodični nihaj.

lego; tak nihaj je aperiodičen (slika 89.). Slika 90. predstavlja malo udušeno nihanje in slika 91. kaže neudušeno nihanje, kjer ni dušenja in ostanejo amplitude vedno enake.

V navedenih slikah so amplitude sosednjih nihajev zvezane s krivo črto; krivina in naklon teh krivk proti časovni osi sta mera za dušenje pri nihanju. Imenujemo jih krivke dušenja. S slik spoznamo še drugo važno lastnost vsakega nihanja. Razdalje med zaporednimi prehodi skozi mirovno

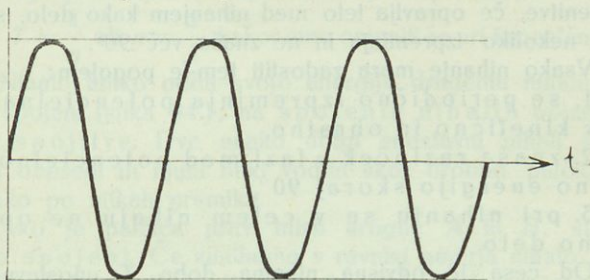
lego, merjene na časovni osi, so enako dolge. Iz tega sledi,



Sl. 90. Malo udušeno nihanje.

da je T nihajna doba pri vsakem nihanju stalna in ni odvisna od amplitude in dušenja. Veliki in majhni nihaji imajo enako nihajno dobo.

Delo, ki smo ga opravili, da smo pri enostavnem nihalu kroglico dvignili, ni izgubljeno. Radi tega dela dobi nihalo energijo, ki se neprestano izpreminja iz potencialne v kinetično in obratno. Nihanje bi trajalo večno, če bi ne bilo nobenega

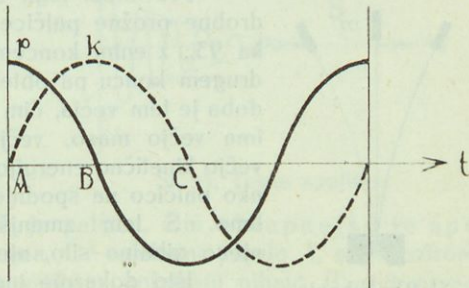


Sl. 91. Neudušeno nihanje.

dušenja, a radi dušenja se nihajna energija kmalu izrabi in nihanje preneha. Idealno nihanje bi bilo ono, ki bi bilo brez dušenja, a takega nihanja ni. Pri idealnem nihanju se ne bi nobeno delo opravljalo in tudi ne porabljalo.

Kako se pretvarja energija pri nihanju? Potencialna energija se izpreminja v kinetično in kinetična zopet v potencialno. O obeh energijah smemo trditi, da se izpreminjata, kakor sinusovi krivulji na sliki 92.

V točki A ima krivka potencialne energije (p) največjo vrednost, kinetična energija pa je 0 . Potencialna energija se nato zmanjšuje in je v točki B 0 , pri tem pa doseže kinetična energija (krivka k) svojo največjo vrednost. V točki C je doseгла potencialna



Sl. 92. Pretvarjanje energije pri nihanju.

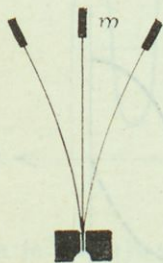
energija zopet svojo največjo vrednost, a na nasprotni strani, kinetična energija pa je zopet 0 i.t.d. Iz tega spoznamo, da sta pri nihanju, kjer ni nobenega dušenja, krivki potencialne in kinetične energije v fazi za 90° premaknjeni. Radi dušenja ali obremenitve, če opravlja telo med nihanjem kako delo, se fazna razlika nekoliko izpreminja in ne znaša več 90° .

Vsako nihanje mora zadostiti tem-le pogojem:

1. se periodično izpreminja potencialna energija v kinetično in obratno,
2. znaša razloček v fazi med potencialno in kinetično energijo skoraj 90° ,
3. pri nihanju se v celem nihaju ne opravlja nobeno delo.

Od česa je odvisna nihajna doba T enostavnega nihala? Ker nastane nihanje le radi tega, da se neprestano pretvarja potencialna energija (p) nihala v kinetično (k) in obratno, mora biti nihajna doba odvisna le od obeh energij. Matematično je dokazano, da se računa nihajna doba pri vsakem nihanju po naslednjem obrazcu:

$$(26) \quad T = 2 \pi \sqrt{\frac{k}{p}} = 2 \pi \sqrt{\frac{\text{vztrajnost (masa)}}{\text{gibalna sila}}}.$$



Sl. 93. Nihanje prožne palčice.

Pravilnost tega obrazca dokazuje nihanje drobne prožne palčice, ki je, kakor kaže slika 93., z enim koncem pritrjena v primažu, na drugem koncu pa obtežena z utežjo m . Nihajna doba je tem večja, čim večja je utež. Večja utež ima večjo maso, večjo vztrajnost in zato tudi večjo kinetično energijo. Nihajno dobo zvečamo, ako palčico na spodnjem koncu nekoliko zapilimo. S tem zmanjšamo prožnost palčice, njeno gibalno silo, njeno potencialno energijo.

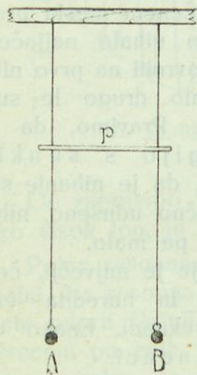
Isto dokazuje tudi nihanje napete strune. Drobna, močno napeta struna daje visok ton

ter hitro niha, debela in malo napeta pa daje nizek ton in niha počasi.

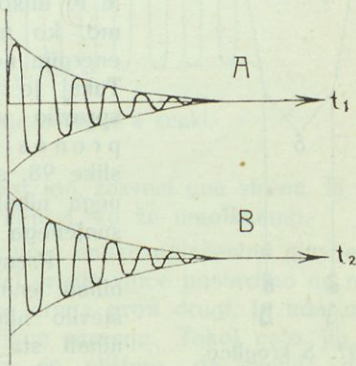
Pri nihanju je važno število nihajev n v eni sekundi. Čim večja je nihajna doba, tem manj nihajev naredi nihalo v sekundi. $T = \frac{1}{n}$ ali $n = \frac{1}{T}$, kakor smo omenili že pri izmeničnem toku.

Nihalo lahko odda svojo energijo drugemu nihalu, če sta nihali spojeni (slika 94.); na spojenih nihalih pojasnujemo bistvo spojitve. Dve enako dolgi enostavni nihali sta blizu skupaj obešeni in njuni nitki vodita skoz drobno palčico p , ki se lahko po nitkah premika.

Ako je palčica prav blizu kroglic A in B , sta nihali tesno spojeni. Če zanihamo v ravnini papirja nihalo A , mora nihati z njim tudi nihalo B . Slika 95. kaže tipičen primer nihanja pri tesno spojenih nihalih.

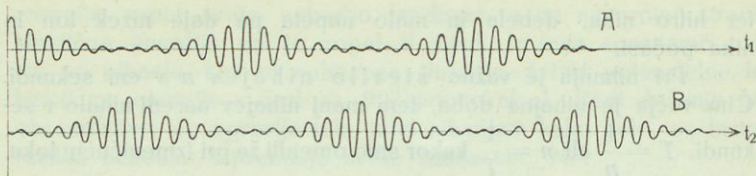


Sl. 94. Spojeni nihali.



Sl. 95. Tesna spojitvev.

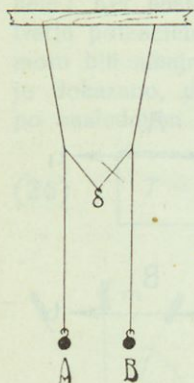
Čim bliže obešala je palčica, tem ohlapnejša je spojitvev med obema nihaloma. Če zanihamo nihalo A , sune, oziroma potegne to nihalo pri vsakem polnihaju nihalo B ; od prvega nihala prehaja energija na drugo. Prvo nihalo ima vedno manj



Sl. 96. Prenos energije pri ohlapni spojitvi.

energije in končno obstane (slika 96.). Nato deluje nihalo *B* na nihalo *A* i. t. d. Opisani pojav se ponavlja radi dušenja vedno šibkeje in končno preneha.

Naj spojimo nihali še tako ohlapno, vendar ne moremo doseči, da bi ostala energija na drugem nihalu; prej ali slej se povrne zopet na prvo.



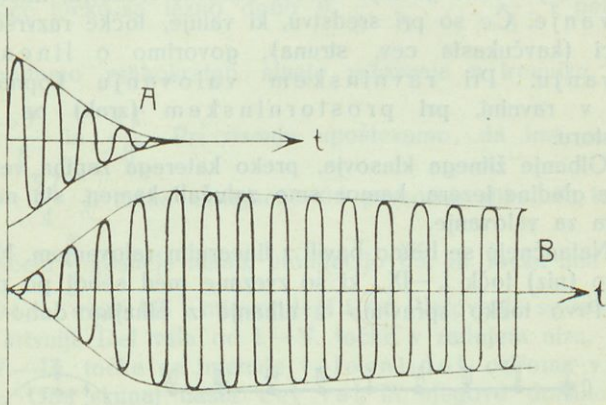
Sl. 97. S kroglico spojeni nihali.

Če zvežemo obe nihali z nitko, ki nosi v sredi majhno kroglico (slika 97.), in to nitko na označenem mestu prežgemo, ko niha drugo nihalo najjače, se energija ne more povrniti na prvo nihalo. Tukaj je prvo nihalo drugo le sunilo, spravilo v nihanje. Pravimo, da smo prenesli energijo s sunki. S slike 98. spoznamo, da je nihanje suvalnega nihala *A* močno udušeno, nihanje sunjenega nihala *B* pa malo.

Prenos energije je največji, če sta nihali enako dolgi in naredita enako število nihajev v sekundi. Enako dolgi nihali sta v resonanci.

Vsako nihalo ima posebno nihajno dobo in niha samosvoje ali lastne nihaje. Na niti visi težja kovinska krogla, v njo pihamo zdržema in je ne premikamo znatno. Če pa pihamo v njo v presledkih, v kakršnih more krogla po dolžini svoje niti nihati, jo kmalu spravimo v krepko, krogli lastno nihanje.

Kar smo tu omenili o nihanju dveh spojenih nihali, velja za vsaki dve telesi, ki lahko nihata. Spojitev med njima omogoča, da se prenaša energija od enega telesa na drugo. Prenos je najugodnejši, če sta telesi v resonanci, če je eno telo uglaseno na drugo.



Sl. 98. Prenašanje energije s sunki.

Če zapojemo v klavir čist ton, zazveni ona struna, ki daje enako visok ton, in zveni še naprej, ko že umolkujemo.

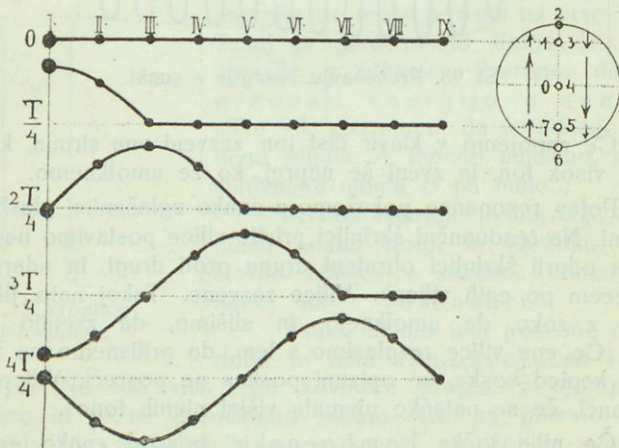
Pojav resonance pokažemo z enako uglasenimi glasbenimi vilicami. Na resonančni škrinjici privite vilice postavimo na mizo, da sta odprti škrinjici obrnjeni druga proti drugi, in udarimo s kladvecem po enih vilicah. Vilice zazvene. Takoj nato jih primemo z roko, da umolknejo, in slišimo, da zvenijo druge vilice. Če ene vilice razglasimo s tem, da pritismo na njihov roglj kepicco voska, se opisani poskus ne posreči. Vilice so v resonanci, če se natanko ujemata višini njunih tonov.

Če niha točka homogenško, povsod enako gostega in prožnega telesa, vpliva to gibanje tudi na sosednje točke,

kajti vse točke v telesu so spojene med seboj po prožnih silah. Če zaniha ena točka, zanihajo kmalu za njo sosednje, ki prenašajo to gibanje zopet na sosednje i.t.d. Radi vztrajnosti zaniha sosednja točka kasneje. Čim bolj je točka od izhodišča gibanja oddaljena, tem kasneje zaniha in tudi kasneje konča svoje nihanje. Tako gibanje telesa, oziroma sredstva, imenujemo valovanje. Če so pri sredstvu, ki valuje, točke razvrščene v premici (kavčukasta cev, struna), govorimo o linearnem valovanju. Pri ravninskem valovanju (opna) so točke v ravnini, pri prostorninskem (zrak) pa nihajo v prostoru.

Gibanje žitnega klasovja, preko katerega zapiha veter, in gibanje gladine jezera, kamor smo zalučali kamen, sta navadna primera za valovanje.

Natančneje se bomo bavili z linearnim valovanjem. Mislimo si vrsto (niz) točk I.—IX., ki so zvezane med seboj po prožnih silah. Prvo točko spravimo v nihanje z nihajno dobo T . Ta



Sl. 99. Linearno transverzhalno valovanje.

točka je izhodišče za nastalo valovanje, ki se razširja po nizu točk. Recimo, da prične nihati vsaka naslednja točka $\frac{T}{8}$ kasneje od točke pred njo. Iz cerkovnikovega primera vemo, da nastane nihanje iz kroženja. Na pomožni sliki so narisane elongacije nihajoče točke za fazno dobo $0, \frac{T}{8}, \frac{2T}{8}, \dots, \frac{8T}{8}$, v petih nizih pa podamo vsakokratno stanje valovanja v trenutku $0, \frac{2T}{8}, \frac{4T}{8}, \frac{6T}{8}$ in $\frac{8T}{8}$. Pri risanju upoštevamo, da ima n. pr. ob $\frac{6T}{8} = \frac{3T}{4}$ I. točka elongacijo $\overline{06}$ pomožne slike, II. točka, ki je prišla $\frac{T}{8}$ kasneje nihati, elongacijo $\overline{05}$, III. točka ima elongacijo $\overline{04}$ ter mora biti v mirovni legi i. t. d. Valovanje se vrši v sinusovi krivulji. Del vala od I.—V. točke v zadnjem nizu, oziroma od V.—IX. točke se imenuje valovni dol, oziroma valovni hrib. Oba skupaj dasta cel val in njegovo dolžino zaznamujemo z λ . Razdalja med dvema točkama, ki imata enako fazo, ki se enako gibljeta, se imenuje valovna dolžina. Za polovico valovne dolžine sta narazen točki, ki sta v nasprotni fazi gibanja. Valovanje se razširi za valovno dolžino, če je točka v izhodišču valovanja en nihaj pravkar končala; to se zgodi v času T . Valovna dolžina je torej tudi pot, za katero se razširi valovanje med enim nihajem one točke, ki je valovanje povzročila. Valovanje se razširja v izotropnem sredstvu, ki ima v vseh smereh enaka fizikalna svojstva, s stalno hitrostjo in je enakomerno gibanje. Če imenujemo pot, ki se zanjo valovanje v eni sekundi razširi, hitrost valovnega razširjanja c , velja obrazec:

$$\lambda = cT \text{ in } c = \frac{\lambda}{T}.$$

(27)

Če napravi točka v eni sekundi n nihajev ($n = \frac{1}{T}$), velja dalje

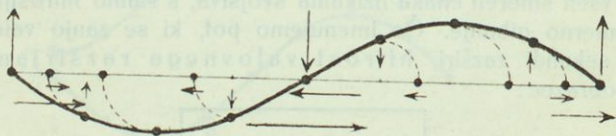
(28)

$$\lambda = \frac{c}{n} \text{ in } c = n\lambda.$$

Opisano valovanje se imenuje postopno transversalno (povprečno) valovanje. Valovanje je postopno, ker naredi vsaka točka v nizu cel nihaj, a tem kasneje, čim bolj je od izhodišča valovanja oddaljena. V istem trenutku so nihajne faze posameznih točk različne. Ker nihajo točke pravokotno na niz ali smer valovnega razširjanja, se imenuje valovanje transversalno. Sredstvo, ki valuje transversalno, izpreminja svojo obliko.

Po Newtonu je odvisna hitrost c valovnega razširjanja od napetosti E in gostote d sredstva; $c = \sqrt{\frac{E}{d}}$. Dolgo kavčukasto cev pritrdimo na enem koncu, prosti konec pa krepko in kratko zanihamo z roko. Po cevi se razširja transversalno valovanje. Če cev močnejše napnemo, se razširjajo po njej valovi hitreje. Če pa bi napolnili cev s peskom, bi zmanjšali v njej hitrost valovnega razširjanja.

Če nihajo posamezne točke v premicah, po katerih se valovanje razširja, nastane postopno longitudinalno (podolžno) valovanje. Žična špirala, ki smo jo omenili na strani 81., valuje longitudinalno, kadar niha utež, ker se tedaj približujejo in oddaljujejo njeni ovoji drug od drugega. V nizu devetih točk nastane longitudinalno valovanje iz transversalnega (slika 100.), če zavrtimo vsako elongacijo točke v istem zmislu



Sl. 100. Linearno longitudinalno valovanje.

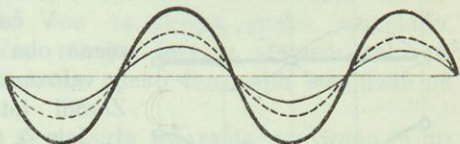
za 90° . Elongacije navzgor nanesemo na desno in one navzdol na levo. Pri longitudinalnem valovanju se točke med seboj približujejo in zopet oddaljujejo; nastanejo zgoščine in razredčine. Cel val obstaja iz zgoščine in naslednje razredčine. Sredstvo, ki valuje longitudinalno, izpreminja na vsakem mestu svojo gostoto.

Navedena pravila za transversalno valovanje veljajo tudi za longitudinalno.

Sestavljanje dveh ali več istočasnih valov v novo valovanje se imenuje interferenca valov.

Najenostavnejši primer je, da ležita sestavljajoči elongaciji v isti premici in je rezultanta enaka vsoti komponent, če imata elongaciji isto lego, sicer je pa enaka njuni razliki. V takem slučaju pravimo, da se valova superponirata.

Na sliki 101. interferirata transversalna valova, ki se razširjata v isto smer, imata enako valovno dolžino, različno amplitudo in sta v fazi. Sestavljeno valovanje je jačje.



Sl. 101. Ojačenje po interferenci dveh valov.



Sl. 102. Oslabljenje po interferenci dveh valov.

Na sliki 102. imata sestavljajoča transversalna valova isto smer, enako valovno dolžino, različno amplitudo in se razlikujeta v fazi za 180° . Sestavljeno valovanje je slabše.

Kar smo tu omenili o transversalnem valovanju, velja tudi za longitudinalno.

Posledica interference hriba s hribom (zgoščine z zgoščino) je ojačenje, hriba z dolom (zgoščine z razredčino) je oslabljenje vala ali celo uničenje, če sta amplitudi komponent enaki.

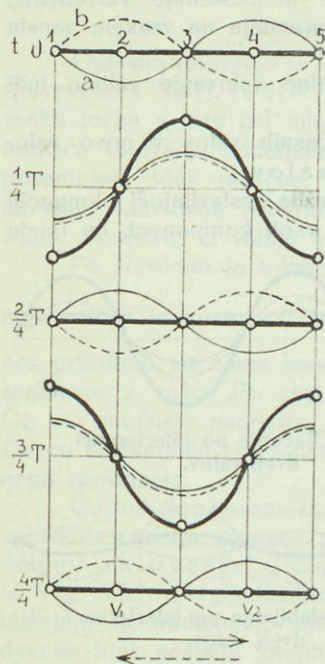
Drugi važen primer je interferenca dveh valov, ki imata enako valovno dolžino in enako amplitudo, a se razširjata po nizu točk v nasprotnih smereh. Na sliki 103. sta komponenti transverzalna vala a in b . Val a se razširja od leve na desno in val b nasprotno.

V času $t = 0$ se valova po interferenci uničujeta. Vsaka točka bi morala nihati z enako amplitudo v dveh nasprotnih smereh. Ker se taki dve gibanji uničujeta, miruje točka, kjer je. Vse točke niza so tedaj v mirovni legi.

V času $t = \frac{1}{4} T$ sta premaknjena oba valova v svoji smeri za $\frac{1}{4}$ valovne dolžine in sta v fazi. Zaradi interference se oddaljijo 1., 3. in 5. točka najbolj od mirovne lege, 2. in 4. točka pa sta v tej legi.

V času $t = \frac{2}{4} T$ sta premaknjena valova v svoji smeri za $\frac{1}{2}$ valovne dolžine in imata fazno razliko 180° . Radi interference se uničujeta in vse točke so zopet v mirovni legi.

V času $t = \frac{3}{4} T$ sta valova zopet v fazi. Zaradi interference se 1., 3. in 5. točka zopet najbolj oddaljijo od mirovne lege, a v nasprotno smer



Sl. 103. Stojno valovanje.

od prej, 2. in 4. točka pa sta v mirovni legi i. t. d.

2. in 4. točka, ki zaradi interference ne nihata, sta, kakor pravimo, v valovnih vozlih V_1 in V_2 . Vse druge točke so istočasno v mirovni legi in dosežejo istočasno svoje amplitude, ki so različno dolge. Tako valovanje se imenuje stojno valovanje. Točka (3.) v sredi med dvema zaporednima

vozloma ima največjo amplitudo in je v nihajnem vrhu stojnega vala. Nihajna doba stojnega vala je enaka nihajni dobi sestavlajočih postopnih valov. Njegova dolžina je enaka razdalji med dvema zaporednima vozloma, je torej enaka polovici dolžine sestavljajočega postopnega vala. Točke dveh zaporednih stojnih valov imajo istočasno nasprotni faze.

Če pretvorimo na 103. sliki komponenti v longitudinalno valovanje, kakor smo že enkrat naredili, nastane stojno longitudinalno valovanje, ki tudi ima na istih mestih vozla V_1 in V_2 . Poznamo torej stojno transverzalno in stojno longitudinalno valovanje. Pri prvem se med zaporednima vozloma izpreminja oblika, pri drugem pa gostota sredstva.

Pri postopnem valovanju, kjer se nič energije ne izgubi, dosežejo vse točke ena za drugo enako amplitudo, istočasno pa imajo različne nihajne faze, v stojnem valu pa imajo vse točke v istem trenutku enako fazo, njih amplitude pa so različne.

V neomejenem nizu se razširja valovanje neovirano in niz valuje postopno. Kaj se zgodi na drugem koncu omejenega niza, ki valuje, pokažemo na dveh primerih.

En konec dolge kavčukaste cevi smo pritrdili na nepremični kljukici. S prostim koncem mahajmo enakomerno navzgor in navzdol! Nastalo postopno transverzalno valovanje se razširja po celi cevi in se na kljukici popolnoma odbija. Vsa nihajna energija se povrača nazaj in povzroča novo postopno transverzalno valovanje v smeri proti prostemu koncu cevi. Prvotni in odbiti val imata enaki valovni dolžini, enaki amplitudi, pa nasprotni smeri in dasta po interferenci stojno transverzalno valovanje, ki ima na nepremični kljukici vozle.

Če pa privežemo konec kavčukaste cevi na tanko, mehko vrvico, ki jo pritrdimo na kljukico, in postopamo kakor prej, se nastalo postopno valovanje na drugem koncu cevi zopet odbija; vsa nihajna energija se povrača nazaj. Prvotni in odbiti val dasta po interferenci stojno transverzalno valovanje, ki ima na privezanem koncu cevi nihajni vrh.

Če privežemo konec kavčukaste cevi na debelo in dolgo vrvico in njen drugi konec pritrdimo na nepremično kljukico, potem se prvotni val na privezanem koncu cevi deloma odbija, deloma pa prehaja na vrvico. Nihajna energija se razdeli in se povrača le deloma. Odbiti val ima manjšo amplitudo od prvotnega. Če si v mislih razstavimo prvotni val v dva vala, od katerih ima eden toliko amplitudo kakor odbiti, potem da ta z odbitim stojno valovanje, preostaja pa še en val, ki povzroča postopno valovanje. Tukaj ne gredo vse točke istočasno skozi mirovno lego kakor pri čistem stojnem valovanju; nihajni vrhovi in vozli se gibljejo postopno.

Široki ovoj dolge žične špirale vise na enako dolgih vrvicah. Če primemo prvi ovoj z obema rokama in ga v smeri špirale enakomerno premikamo naprej in nazaj, valuje špirala postopno longitudinalno. Na prostem koncu se prvotni val popolnoma odbija in na špirali nastane stojno longitudinalno valovanje, ki ima na drugem koncu nihajni vrh. Če je ta konec špirale nepremično pritrjen, ima nastalo stojno valovanje tukaj svoj voz. Če prehaja naša špirala v drugo enako obešeno špiralo z ožjimi ali širšimi ovoji, se prvotni val na meji med obema špiralama deloma odbija, deloma pa prehaja na drugo špiralo, in prvotni in odbiti val ne dasta čistega stojnega valovanja.

Linearno valovanje se torej na meji dveh različnih nizov docela ali vsaj deloma vrača v niz, kjer je njegovo prvotno izhodišče. Ta pojav se imenuje odboj valov. Deloma prehaja valovanje v nov niz, kjer se razširja zdaj hitreje, zdaj zopet počasneje od valovanja v prvem nizu, kakor je pač drugi niz redkejši ali gostejši od prvega. Na meji dveh enako gostih nizov se valovanje ne odbija, marveč prehaja neovirano na drugi niz in se razširja v njem prav tako hitro ko v prvem.

Ravninsko in prostorninsko valovanje se razširja od izhodišča na vse strani v premicah, ki jih imenujemo valovne žarke. Valovni žarek valuje linearno, zadostuje torej, če poznamo natanko linearno valovanje, le pojave na meji dveh različno gostih sredstev moramo izpopolniti.

Vsaka ploskev, kjer imajo vse točke enako nihajno fazo, se imenuje valovna ploskev.

V homogenem sredstvu so valovne ploskve koncentrične krogle in njih skupno središče je izhodišče valovanja; njihovi polmeri so obenem valovni žarki.

Če je izhodišče zelo oddaljeno, smemo imeti del valovne ploskve za ravno ploskev. Tedaj govorimo o ravnih valovih, na katerih stoje žarki pravokotno.

Na površini vode se razširjajo valovi v valovnih črtah, ki so koncentrični krogi. Na vodnih valovih lahko opazamo, da so tem slabši, čim dalje so od izhodišča.

Če vpadejo ravni valovi poševno na mejo med dvema različnima sredstvoma, se tako odbijajo, da je kot, v katerem se odbijajo, enak kotu, v katerem vpadajo na mejno ploskev.

V tem primeru vstopijo valovi tudi v drugo sredstvo in ker navadno izpreminjajo pri tem svojo smer, nastane lom valov. Lom valov na meji dveh različnih sredstev je posledica neenakih hitrosti valov v teh sredstvih. Nekaj sličnega opazamo, ko korakajo vojaki v fronti poševno proti tisti meji, ki loči trda tla od mehkih; po mehkih tleh korakajo počasneje in fronta se zavrti.

Poleg mehaničnih valov razločujemo zvočne, svetlobne in električne valove. Pri zvočnih valovih valuje zrak, svetlobni in električni valovi pa se razširjajo v svetlobnem etru, ki valuje po našem naziranju transversalno.

Zvočne valove lahko proizvajamo, zato omenjamo nekaj pojavov pri zvočnih valovih, ki jih opazamo tudi pri svetlobnih in električnih valovih.

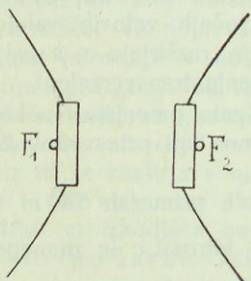
Hitrost zvoka je v zraku pri normalnih razmerah 340 m v sekundi. Po obrazcu $\lambda = \frac{c}{n}$ lahko iz znane hitrosti c in znanega števila nihajev n izračunamo dolžino nastalega vala v zraku. — Glasbila uglašamo z normalnimi glasbenimi vilicami, ki naredo

pri $15^{\circ}C$ v eni sekundi $n = 435$ dvojnih (celih) nihajev; njih ton se imenuje komorni ton $\bar{a}$. Njegova valovna dolžina znaša

$$\lambda = \frac{c}{n} = \frac{340}{435} = 68 : 87 \doteq \underline{0.78 \text{ m.}}$$

Proste glasbene vilice zvene tako slabo, da jih v daljavi nekaj metrov ne slišimo. Njih ton se sliši mnogo dalje, če zberemo in usmerimo nastale zvočne valove s tem, da držimo vilice pred livkasto razširjeno, precej dolgo cevjo; zvočni žarki se na njenih stenah tako odbijajo, da gredo iz cevi skoro vzporedno. Še bolj pa ojačimo ton prostih vilic, če jih prislonimo z ročajem na mizo ali kako škrinjico. Tedaj valuje z viličami tudi les škrinjice. — Podobno ojačujemo zvok, ki ga povzroča telefonska membrana, z lijakom na zvočniku. Pri novejših zvočnikih ni več lijaka, marveč povečujemo membrano z večjo ploščo, ki ima obliko plašča širokega in nizkega stožca. Membrana in plošča nihata skupaj in spravita več zraka v valovanje.

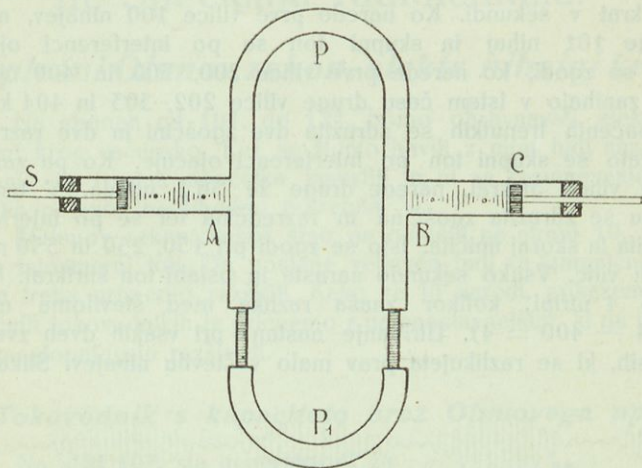
Interferenca valov je zelo važen pojav, zato posebej omenjamo interferenco zvočnih valov. Dva istočasna zvoka se utegneta ojačiti ali uničiti, čeprav slišimo vsak posamezen zvok. Če vrtimo zveneče glasbene vilice prav blizu ušesa, ne slišimo zvoka pri polnem vrtežu štirikrat. Iz rogljev vilic izhajata



Sl. 104. Ploskve tišin pri vilicah.

namreč dve interferenčni ploskvi (ploskvi tišin, slika 104.), ki ležita na plašču hiperboličnega valja, čigar goriščni črti sta v stranskih ploskvah rogljev in režeta ravnino papirja v točkah F_1 in F_2 . Te ploskve so geometrično mesto onih točk, kjer se uničujeta nasprotna zračna valova, povzročena po gibanju obeh rogljev. — Zvočna valova se uničujeta, kadar interferira zgoščina z enako jako razredčino. Dvoje istočasnih razredčin ali zgoščin pa zvok ojačuje.

Isti pojav pokažemo s Quincke-jevo interferenčno cevjo (slika 105.). Longitudinalni visoki toni steklene palice S vstopajo pri A v cev, pri kateri se lahko polovica podaljša kakor

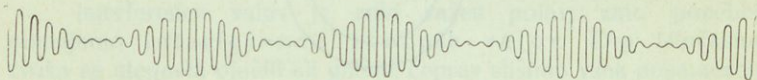


Sl. 105. Quincke-jeva interferenčna cev.

pri pozavni. Ton (val) se pri A razdvaja: en del gre po cevi P , drugi po cevi P_1 , oba pa se združita zopet pri B in dasta po interferenci nov val, ki povzroča, da valuje zrak v cevi C stojno. Dolžina stojnega vala se da izmeriti na nastalih prašnih slikah, če smo v obe cevi natresli nekoliko prahu iz plute, preden smo jih pritrdili na Quincke-jevo cev. Prašne slike pa ne nastanejo, ako smo podaljšali gibljivo polovico za toliko, da se združujeta pri B zgoščina in razredčina.

Če zveni istočasno dvoje enako uglasenih glasbenih vilic, je skupni ton jači od posameznega tona in njegova jakost se ne izpreminja. Če pa razglasimo ene vilice, ko pritismo na vsak njihov rogelj kepico voska, in udarimo po obeh vilicah,

slišimo ton, čigar jakost enakomerno narašča in zopet pojema. Ta pojav se imenuje utripanje in je posledica interference dveh tonov, ki imata skoraj enako višino. Kako nastane utripanje? Recimo, da zanihajo ene vilice 400krat, druge pa 404krat v sekundi. Ko naredo prve vilice 100 nihajev, naredo druge 101 nihaj in skupni ton se po interferenci ojačuje. Isto se zgodi, ko naredo prve vilice 200, 300 in 400 nihajev, ker zanihajo v istem času druge vilice 202, 303 in 404 krat. V naznačenih trenutkih se združita dve zgoščini in dve razredčini in zato se skupni ton po interferenci ojačuje. Ko pa zanihajo prve vilice 50krat, naredo druge že $50\frac{1}{2}$ nihaja. V tem trenutku se združita zgoščina in razredčina ter se po interferenci slabita in skoraj uničita. Isto se zgodi pri 150, 250 in 350 nihajih prvih vilic. Vsako sekundo naraste in oslabi ton štirikrat. Nastanejo 4 utripi, kolikor znaša razlika med številoma nihajev ($404 - 400 = 4$). Utripanje nastane pri vsakih dveh zvonečih telesih, ki se razlikujeta prav malo v številu nihajev. Slika 106.



Sl. 106. Utripanje.

kaže, kako interferirata dva valova, ki naredita v sekundi skoraj enako število nihajev. Radi enostavnosti rišemo longitudinalna valova kakor transverzalna. Amplituda narašča in zopet pojema, kar slišimo kot utripanje.

III. Specialna radiotehnika.

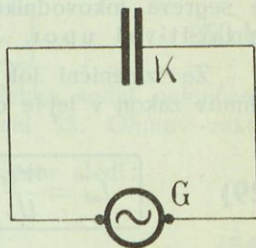
1. Splošni Ohmov zakon, elektr. nihajni krog.

Na straneh od 101. do 121. bomo obravnavali električni nihajni krog računsko. Ker se bomo bavili z njim tudi nazorno, se sme ta tvarina spočetka izpustiti in ni za razumevanje nadaljnjih pojavov neobhodno potrebna.

Ohmov zakon, kakor smo ga omenili na strani 10., velja le za istosmerni tok. Da postane veljaven tudi za izmenični tok, ga je treba primerno razširiti. Kako se to naredi, pokažemo na različnih tokovodnikih in pričnemo z najenostavnejšim, ki ga bomo potem stopnjevale razširjali.

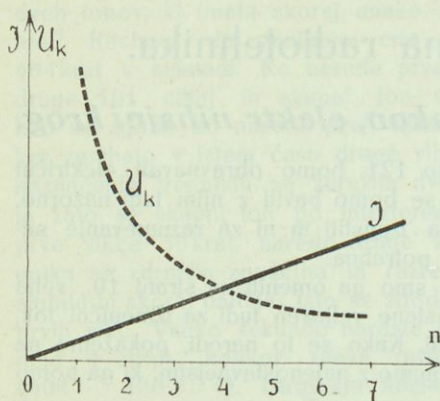
A. Tokovodnik s kapaciteto brez Ohmovega upora.

Na sliki 107. sta generator G za izmenični tok in kondenzator K zaporedno sklenjena in tokovodnik nima nobenega Ohmovega upora. Kondenzator ne propušča istosmernega toka, pač pa izmenični tok. Če je na njegovih ploščah izmenična napetost V_{ef} (glej stran 63.), povzroča ta napetost v tokovodniku izmenični tok I_{ef} , ki je tem jačji, čim večja je kapaciteta kondenzatorja. Če se izpreminja frekvenca izmeničnega toka, ki teče skozi kondenzator, opazamo, da je pri višji frekvenci jakost toka večja. To je le tako mogoče, da se s frekvenco navidezni upor kondenzatorja zmanjšuje (slika 108.).



Sl. 107. Tokovodnik s kondenzatorjem.

V opisanem tokovodniku je jakost toka premo sorazmerna izmenični napetosti, frekvenci toka in kapaciteti kondenzatorja.



Sl. 108. Kapacitivni upor in frekvenca toka.

ne segreva tokovodnika kakor Ohmov upor; imenujemo ga kapacitivni upor.

Za izmenični tok v tokovodniku s kondenzatorjem velja Ohmov zakon v tej-le obliki:

(29)

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{U_k}; \quad U_k = \frac{1}{\omega K} \text{ in } \omega = 2\pi n.$$

$$I_{ef} = V_{ef} \cdot 2\pi n K.$$

$2\pi n$ se imenuje krožna frekvenca, ki jo zaznamujemo z ω . To-rej je

$$I_{ef} = V_{ef} \cdot \omega K$$

in jakost dobimo v amperih, če je izražena napetost v voltih in kapaciteta v faradih.

Vrednost

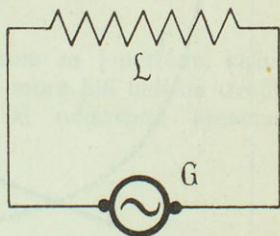
$$\frac{1}{\omega K} = U_k$$

je neke vrste upor, ki pa je le navidezen, ker

V takem tokovodniku nista jakost in napetost izmeničnega toka v fazi; tok prehiteva svojo napetost. Fazna razlika znaša 90° , če nima tokovodnik nobenega Ohmovega upora, sicer pa je ta razlika tem manjša od 90° , čim večji je Ohmov upor in čim manjša je kapaciteta.

B. Tokovodnik s samoindukcijo brez Ohmovoga upora (slika 109.).

Tokovodna tuljava se izmeničnemu toku ne upira samo radi svojega Ohmovega upora, marveč tudi radi svoje samoindukcije. Je pa velik razloček med samoindukcijskim in Ohmovim uporom, ker se tokovodnik radi samoindukcije ne segreje. Ta upor je le navidezen; imenujemo ga induktivni upor in zaznamujemo z U_l . Če upoštevamo ta upor in merimo efektivno jakost in napetost izmeničnega toka, velja tudi zanj Ohmov zakon:



Sl. 109. Tokovodnik s tuljavo.

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{U_l}. \quad (30 a)$$

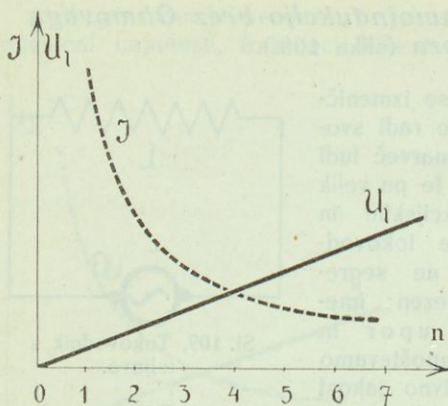
Induktivni upor je premo sorazmeren samoindukciji tuljave in raste s frekvenco izmeničnega toka (slika 110.):

$$U_l = \omega L = 2 \pi n L. \quad (30 b)$$

Samoindukcijski kvocient tuljave lahko sedaj natančneje označimo, kakor smo to storili na strani 53. Ohmov zakon pišemo v tej-le obliki: $I_{ef} = \frac{V_{ef}}{2 \pi n L}$, iz česar sledi:

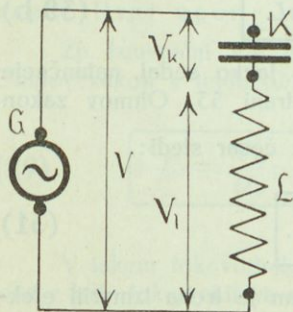
$$L = \frac{1}{2 \pi n} \cdot \frac{V_{ef}}{I_{ef}}. \quad (31)$$

Da določimo samoindukcijo tuljave, nam je treba izmeriti efektivno jakost in napetost izmeničnega toka, ki ga propušča tuljava pri določeni frekvenci. — Če je pri frekvenci $n = 50$ in efektivni napetosti 314 V efektivna jakost izmeničnega toka



Sl. 110. Frekvenca in induktivni upor.

benega Ohmovega upora. V resnici se ne da Ohmov upor tokovodnika nikdar popolnoma odstraniti, zato je fazna razlika manjša od 90° in ta upor povzroča dušenje izmeničnega toka v tokovodniku.



Sl. 111. Tokovodnik z zaporedno kapaciteto in samoindukcijo.

ravno 1 A, je samoindukcija tuljave

$$L = \frac{1}{2 \cdot 3 \cdot 14 \cdot 50} \cdot \frac{314}{1} = 1.$$

To vrednost smo imenovali 1 henry.

Samoindukcija povzroča, da nista jakost in napetost izmeničnega toka v omenjenem tokovodniku v fazi. Jakost zaostaja za svojo napetostjo in fazna razlika med njima znaša 90° , če nima tokovodnik no-

C. Tokovodnik s kapaciteto in samoindukcijo brez Ohmovega upora.

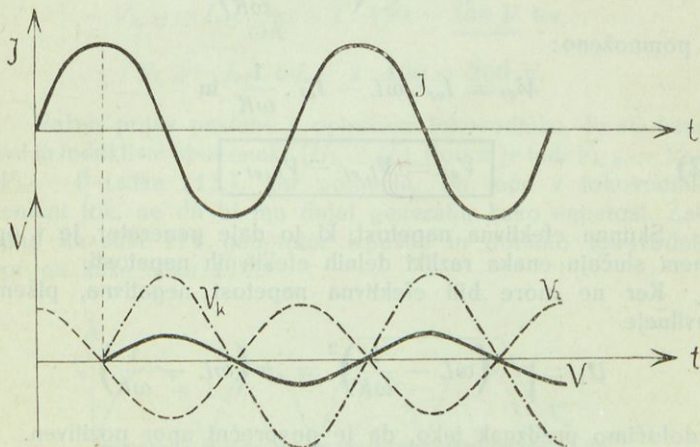
Zaporedno so zvezani generator G za izmenični tok, kondenzator s kapaciteto K in tuljava s samoindukcijo L (slika 111.). Omenjamo enostavni slučaj, ko nima tokovodnik nobenega Ohmovega upora. Generator proizvaja tok z jakostjo I_e , ki je v vseh delih tokovodnika enak. Radi tega toka mora biti na ploščah kondenzatorja

napetost V_k , ki odgovarja njegovemu kapacitivnemu upor U_k in je

$$V_{k, ef} = I_{ef} \cdot \frac{1}{\omega K}.$$

Ta napetost zaostaja za svojim tokom za $\frac{1}{4}$ periode, kakor je narisano na sliki 112. — Radi toka mora biti tudi na ovojih samoindukcijske tuljave napetost V_l , ki odgovarja njenemu induktivnemu upor U_l in je enaka:

$$V_{l, ef} = I_{ef} \cdot \omega L.$$



Sl. 112. Fazne razlike med tokom in delnima napetostma.

Ta napetost pa prehiteva tok radi samoindukcije za 90° , kar nam kaže tudi slika 112.

Delni napetosti V_k in V_l sta v vsaki točki časovne osi nasprotni; fazni razloček med njima znaša 180° . Trenutno skupno napetost dobimo, če odštejemo manjšo delno napetost od večje. Slika nam kaže, da so v izmeničnem tokovodniku delne napetosti lahko celo večje od skupne napetosti.

Efektivno vrednost skupne napetosti lahko izračunamo. Induktivni upor ωL in kapacitivni $\frac{1}{\omega K}$ dasta skupen upor U_1 , ki ga imenujemo povprečni upor. Ker delujeta ta dva upora ravno nasprotno, je povprečni upor enak njuni razliki:

$$U_1 = \omega L - \frac{1}{\omega K},$$

zato je

$$V_{ef} = I_{ef} \left(\omega L - \frac{1}{\omega K} \right)$$

ali pomnoženo:

$$V_{ef} = I_{ef} \cdot \omega L - I_{ef} \cdot \frac{1}{\omega K} \text{ in}$$

(32)

$$V_{ef} = V_{l, ef} - V_{k, ef}.$$

Skupna efektivna napetost, ki jo daje generator, je v opisanem slučaju enaka razliki delnih efektivnih napetosti.

Ker ne more biti efektivna napetost negativna, pišemo pravilneje

$$U_1 = \sqrt{\left(\omega L - \frac{1}{\omega K} \right)^2} = \pm \left(\omega L - \frac{1}{\omega K} \right)$$

in določimo predznak tako, da je povprečni upor pozitiven.

Ohmov zakon ima tedaj to-le obliko:

(33)

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{U_1} \text{ in } U_1 = \pm \left(\omega L - \frac{1}{\omega K} \right).$$

Primer. Generator daje izmenični tok s krožno frekvenco $\omega = 10^6$, kondenzator ima kapaciteto $K = 6000 \text{ cm} = \frac{6000}{9 \cdot 10^{11}} \text{ F}$ in tuljava samoindukcijo $L = 0.1 \text{ mH} = 10^{-4} \text{ H}$.

Potem je $U_k = \frac{1}{\omega K} = \frac{1}{10^6 \cdot \frac{6000}{9 \cdot 10^{11}}} = \frac{9 \cdot 10^{11}}{6 \cdot 10^9} = \underline{150 \Omega}$,

$U_l = \omega L = 10^6 \cdot 10^{-4} = \underline{100 \Omega}$ in povprečni upor je enak

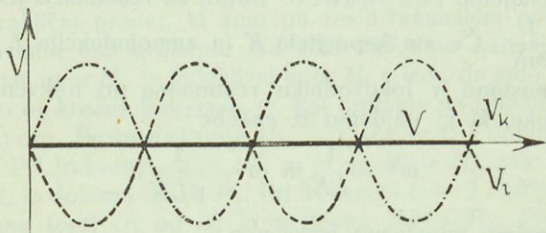
$U_1 = \pm \left(\omega L - \frac{1}{\omega K} \right) = \pm (100 - 150) = \underline{50 \Omega}$. — Če daje

generator efektivno napetost $V_{ef} = 100 V$, je $I_{ef} = \frac{100}{50} = 2 A$ in

$V_{k, ef} = I_{ef} \cdot \frac{1}{\omega K} = 2 \cdot 150 = \underline{300 V}$ ter

$V_{l, ef} = I_{ef} \cdot \omega L = 2 \cdot 100 = \underline{200 V}$.

Važen pojav nastane v opisanem tokovodniku, če sta kapacitivni in induktivni upor enaka ($U_k = U_l$). Potem je tudi $V_{k, ef} = V_{l, ef}$ in $V_{ef} = 0$ (slika 113.), kar pomenja, da teče v tokovodniku izmenični tok, ne da bi mu dajal generator kako napetost. Zato smemo na sliki 111. generator izpustiti in dobimo tokovodnik, kakor ga kaže slika 114.

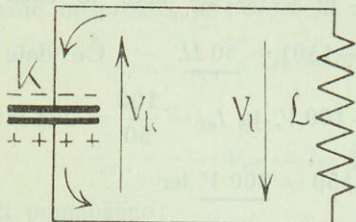


Sl. 113. Enaki delni napetosti.

Kako si pojasnujemo ta pojav? Recimo, da smo naelektrili kondenzator do neke napetosti; zgornja plošča je negativno električna in spodnja pozitivno. Radi napetosti na

ploščah kondenzatorja nastane tok skoz tuljavo L , ki ga ovira s svojo samoindukcijo, da ne dobi takoj svoje jakosti. Ko je napetost na kondenzatorju uničena, podaljšuje tuljava s svojo

samoindukcijo tok in zopet napolni kondenzator do prejšnje napetosti, a v nasprotni smeri. Kondenzator se nato razelektruje in nastane tok v nasprotni smeri, kakor prej. Opisani pojav se ponavlja neprestano, ker nima tokovodnik nobenega Ohmovega upora in ne porablja nobene energije; v tokovodniku teče izmenični tok enakih amplitud.



Sl. 114. Nienajni krog.

V takem slučaju govorimo navadno o nihanju elektrenine in imenujemo tak tokovodnik električni nienajni krog. Nastalo nihanje je neudušeno. Obširneje se bomo bavili z nienajnimi krogi kasneje.

Pojav, ko sta v tokovodniku kapacitivni in induktivni upor enaka, imenujemo resonanco. Pogoja za resonanco je $U_L = U_K$ ali $\omega L = \frac{1}{\omega K}$. Če sta kapaciteta K in samoindukcija L neizpremenljivi, nastane v tokovodniku resonanca pri frekvenci izmeničnega toka, ki jo najdemo iz enačbe:

$$\omega^2 = \frac{1}{LK} \text{ in } \omega = \frac{1}{\sqrt{LK}},$$

ali če vstavimo enostavno frekvenco:

(34)

$$n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LK}}.$$

V tej enačbi se mora izraziti kapaciteta v faradih in samoindukcija v henry-jih.

Primer. V opisanem tokovodniku je

$$\omega^2 = \frac{1}{10^{-4} \cdot \frac{6000}{9 \cdot 10^{11}}} = \frac{9 \cdot 10^{15}}{6 \cdot 10^3} = 1.5 \cdot 10^{12} \text{ ali } \omega = 1.23 \cdot 10^6 \text{ in } n = 196.000.$$

Pri tej frekvenci izmeničnega toka nastane resonanca.

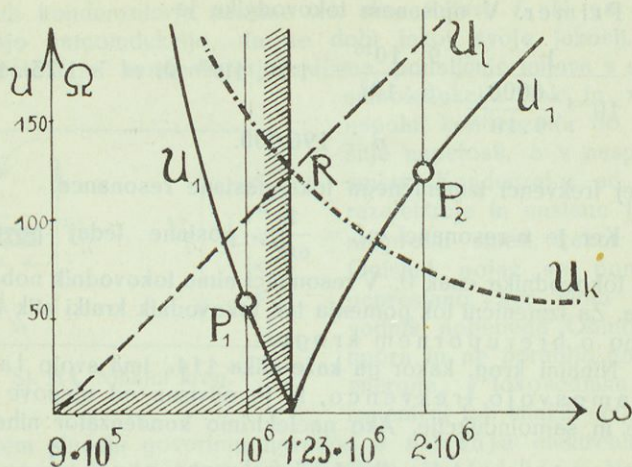
Ker je v resonanci $\omega L = \frac{1}{\omega K}$, postane tedaj povprečni upor tokovodnika enak $\emptyset$. V resonanci nima tokovodnik nobenega upora. Za izmenični tok pomenja tak tokovodnik kratki stik in govorimo o brezupornem krogu.

Nihajni krog, kakor ga kaže slika 114., ima svojo lastno ali samosvojo frekvenco, ki je odvisna od njegove kapacitete in samoindukcije. Ako naelektrimo kondenzator nihajnega kroga, nastane v njem nihanje s frekvenco $n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LK}}$. V re-

sonanci se ujema frekvenca tokovodnika s frekvenco izmeničnega toka, ki prihaja iz generatorja. Samosvojo frekvenco tokovodnika imenujemo tedaj tudi resonančno frekvenco.

Praktični primer, ki smo ga rešili računskim potem, lahko obravnavamo tudi grafično. Na sliki 115. smo narisali krivki za kapacitivni upor U_k in induktivni upor U_l s tem, da smo nanegli na abscisno os krožne frekvence ω , kot ordinate pa pripadajoče navidezne upore. Povprečni upor $U_1 = \pm (U_k - U_l)$ dobimo z odštevanjem. Pri frekvenci $\omega = 10^6$ n. pr. je $U_k > U_l$, zato odštejemo U_l od U_k in dobimo točko P_1 . Pri frekvenci $\omega = 2 \cdot 10^6$ je $U_l > U_k$, odštejemo torej U_k od U_l in najdemo točko P_2 . Presečišče R obeh krivk določuje resonančno frekvenco $\omega = 1.23 \cdot 10^6$, kjer je $U_k = U_l$ in je povprečni upor tokovodnika enak $\emptyset$.

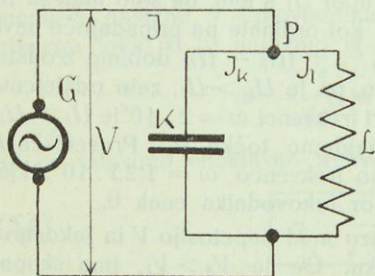
Na sliki 112. spoznamo fazo med napetostjo V in jakostjo I izmeničnega toka v tokovodniku. Če je $V_k > V_l$, ima skupna napetost V isto fazo kakor delna napetost V_k , če pa je $V_l > V_k$, se ujema napetost V v fazi z delno napetostjo V_l .



Sl. 115. Krivke uporov.

V resonanci je $V_k = V_l$ in nima skupna napetost nobene faze, ker je trajno enaka 0. Pri nižjih krožnih frekvencah, kakor je resonančna, je $V_k > V_l$ in $U_k > U_l$, prevladuje torej

kondenzator, zato zaostaja napetost za jakostjo za 90° . Nad resonančno frekvenco pa prehiteva napetost svojo jakost za 90° , pač zato, ker je tedaj $V_l > V_k$ in $U_l > U_k$ ter prevladuje tuljava s svojo samoindukcijo. Pri resonančni frekvenci se izpreminja faza napetosti za 180° ; pravimo, da nastane fazni skok.



Sl. 116. Tokovodnik z vzporedno kapaciteto in samoindukcijo.

V tokovodniku se lahko skleneta kondenzator in tuljava

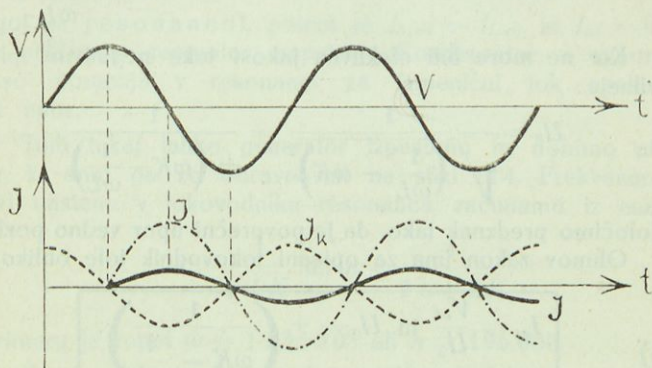
tudi vzporedno, kakor kaže slika 116. Obravnavamo zopet enostavni slučaj, ko nima tokovodnik nobenega Ohmovega upora. Generator proizvaja izmenično napetost V , ki je na kondenzatorju K in tuljavi L . Ta napetost propuša skoz kondenzator tok I_k , čigar jakost je določena po enačbi:

$$I_{k, ef} = \frac{V_{ef}}{U_k} = V_{ef} \cdot \omega K,$$

skoz tuljavo pa tok I_l po enačbi:

$$I_{l, ef} = \frac{V_{ef}}{U_l} = \frac{V_{ef}}{\omega L},$$

generator sam pa daje tok efektivne jakosti I_{ef} .



Sl. 117. Fazna razlika med napetostjo in delnima tokoma.

Skupni tok I se v točki P razdeli na delna toka I_k in I_l . K točki P priteka tako jak tok, kakor odteka skoz kondenzator in tuljavo, kajti sicer bi se moral tok nekje zaježiti.

V normalnih slučajih je skupni tok enak vsoti delnih tokov, v opisanem pa je to drugače, ker prehiteva I_k svojo napetost za 90° in se I_l zakasni za njo za prav toliko. Slika 117. kaže, da dobimo trenutno jakost toka I , če delna toka I_l in I_k v vsaki točki časovne

osi odštejemo. V tokovodniku za izmenični tok ulegnejo biti delni toki celo večji od skupnega toka.

Isto velja tudi za efektivne jakosti toka:

(35)

$$I_{ef} = I_{l, ef} - I_{k, ef}.$$

Če zaznamujemo skupni navidezni upor tokovodnika z U_2 , ki ga imenujemo tudi povprečni upor, dobimo

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{U_2} = I_{l, ef} - I_{k, ef} = \frac{V_{ef}}{\omega L} - V_{ef} \cdot \omega K \text{ ali}$$

$$\frac{1}{U_2} = \frac{1}{\omega L} - \omega K \text{ in } 1 = U_2 \left(\frac{1}{\omega L} - \omega K \right) \text{ ter } U_2 = \frac{1}{\frac{1}{\omega L} - \omega K}.$$

Ker ne more biti efektivna jakost toka negativna, pišemo pravilneje:

$$U_2 = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\omega L} - \omega K\right)^2}} = \frac{1}{\pm \left(\omega K - \frac{1}{\omega L}\right)}$$

in določimo predznak tako, da je povprečni upor vedno pozitiven.

Ohmov zakon ima za opisani tokovodnik tole obliko:

(36)

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{U_2} \text{ in } U_2 = \pm \left(\frac{1}{\omega K - \frac{1}{\omega L}} \right).$$

Primer. Generator daje izmenični tok s krožno frekvenco $\omega = 10^6$, kapaciteta kondenzatorja znaša $K = 6000 \text{ cm} = \frac{6000}{9 \cdot 10^{11}} \text{ F}$ in samindukcija $L = 0.1 \text{ mH} = 10^{-4} \text{ H}$.

Potem je $U_k = \frac{1}{\omega K} = \underline{150 \Omega}$ in $U_l = \omega L = \underline{100 \Omega}$. Če daje generator napetost $V_{ef} = 300 \text{ V}$, dobimo $I_{k, ef} = \underline{2 \text{ A}}$ in

$$I_{l, ef} = \underline{3 \text{ A}}. \text{ Nadalje je } U_2 = \pm \left(\frac{1}{\frac{1}{150} - \frac{1}{100}} \right) = \pm \frac{150 \cdot 100}{100 - 150} = \\ = \frac{150 \cdot 100}{50} = \underline{300 \Omega}. \text{ Torej je } I_{ef} = \frac{V_{ef}}{U_2} = \underline{1 \text{ A}}.$$

Ohmov zakon lahko pišemo v opisanem slučaju tudi tako:

$$I_{ef} = V_{ef} \cdot \left[\pm \left(\omega K - \frac{1}{\omega L} \right) \right].$$

Če je $\omega K - \frac{1}{\omega L} = 0$ ali $\frac{1}{\omega L} = \omega K$ in $\omega L = \frac{1}{\omega K}$ ali $U_l = U_k$ (pogoj za resonanco), potem je $I_{k, ef} = I_{l, ef}$ in $I_{ef} = 0$, čeprav proizvaja generator napetost. Kondenzator z vzporedno tuljavo pomenja v resonanci za izmenični tok neskončno velik upor.

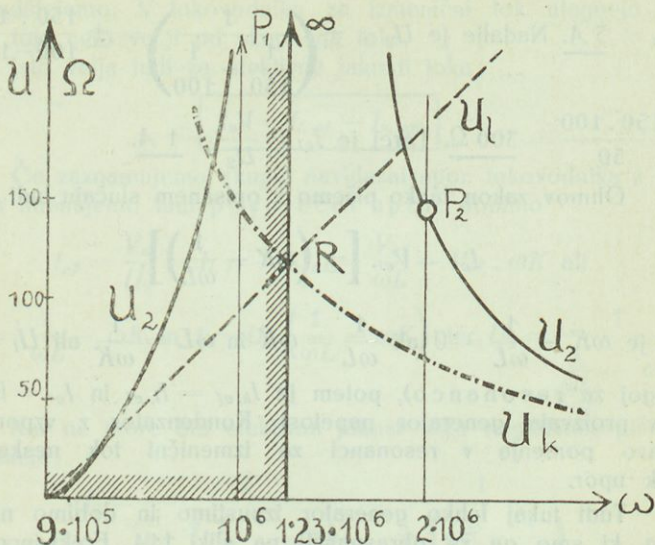
Tudi tukaj lahko generator izpustimo in dobimo nihajni krog, ki smo ga že obravnavali na sliki 114. Frekvenco, pri kateri nastane v tokovodniku resonanca, računamo iz enačbe:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LK}} \text{ ali } n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LK}}.$$

V primeru je zopet $\omega \doteq 1,23 \cdot 10^6$ ali $n \doteq 196.000$.

Če se ujemata frekvenci izmeničnega toka iz generatorja in samosvoja frekvenca tokovodnika, ne propušča tokovodnik izmeničnega toka, čeprav lahko teče v krogu prav jak tok. Tak tokovodnik imenujemo zapiralni krog.

Na sliki 118. sta risani krivki za kapacitivni in induktivni upor prav tako, kakor smo jih risali na sliki 115. Povprečni upor $U_2 = \pm \left(\frac{1}{\omega K - \frac{1}{\omega L}} \right)$ določamo z računom. Če je pri



Sl. 118. Krivke uporov.

krožni frekvenci $\omega = 10^6$, $U_k = 150 \Omega$ in $U_l = 100 \Omega$, je $U_2 = 300 \Omega$, ker odgovarja točki P_1 . Pri frekvenci $\omega = 2 \cdot 10^6$ je

$$U_k = 80 \Omega \text{ in } U_l = 180 \Omega; \text{ povprečni upor znaša } U_2 = \pm \frac{1}{\frac{1}{80} - \frac{1}{180}} = \frac{180 \cdot 80}{180 - 80} = 18 \cdot 8 = 144 \Omega. \text{ Tako smo določili točko } P_2 \text{ v}$$

krivki U_2 . Na sliki vidimo, da določuje presečišče R obeh krivk resonančno frekvenco $\omega = 1.23 \cdot 10^6$. Pri tej frekvenci je povprečni upor tokovodnika neskončno velik, kajti za to točko je

$$U_k = U_l = 120 \Omega \text{ in } U_2 = \frac{1}{\frac{1}{120} - \frac{1}{120}} = \frac{1}{0} = \infty. \text{ Krivka povpreč-$$

nega upora se pričinja v izhodišču O , ker je za to točko $U_k = \infty$ in $U_l = \emptyset$. Pri prav velikih frekvencah pa se ta krivka zopet približuje abscisni osi, ker je tedaj $U_k = \emptyset$ in $U_l = \infty$.

O fazni razliki med jakostjo I in napetostjo V izmeničnega toka v opisanem tokovodniku nas pouči slika 117. Skupna jakost ima isto fazo kakor delni tok I_l v tuljavi, če je $I_l > I_k$, če pa je $I_k > I_l$, potem ima I isto fazo ko I_k .

V resonanci je $I_k = I_l$ in jakost nima nobene faze, ker je trajno enaka $\emptyset$. Pred resonančno frekvenco je $U_k > U_l$ in $I_l > I_k$, prevladuje torej tok skoz tuljavo, zato zaostaja jakost za svojo napetostjo za 90° . Nad resonančno frekvenco pa prehiteva jakost svojo napetost za 90° , ker je tukaj $I_k > I_l$ ali $U_k < U_l$ in prevladuje tok skoz kondenzator. Pri resonančni frekvenci se izpreminja faza napetosti za 180° . Tudi tukaj nastane fazni skok.

Na podlagi slik 115. in 118. ponovimo kratko naša razmotrivanja!

Za $n = \emptyset$, t. j., za istosmerni tok je induktivni upor tuljave $\emptyset$, za $n = \infty$ pa je neskončno velik. Kapacitivni upor kondenzatorja je za $n = \emptyset$ neskončno velik, saj ne propušča istosmernega toka; za $n = \infty$ je ta upor enak $\emptyset$.

Ako sklenemo kondenzator in tuljavo zaporedno, je radi kondenzatorja pri $n = \emptyset$ in radi samoindukcije pri $n = \infty$ povprečni upor tokovodnika neskončno velik. Krivka upora prihaja iz neskončnosti in odhaja zopet v neskončnost, vmes pa nastane nekje resonanca, kjer je skupni upor enak $\emptyset$. Tokovodnik deluje v resonanci, kakor bi ne imel nobenega upora. Izmenični tok je po takem tokovodniku kratko sklenjen.

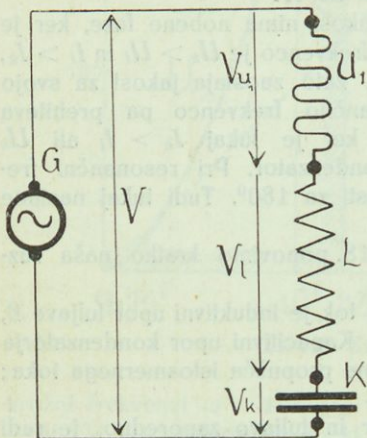
Če sklenemo kondenzator in tuljavo vzporedno, je radi kondenzatorja pri $n = \infty$ in radi samoindukcije pri $n = \emptyset$ povprečni upor tokovodnika enak $\emptyset$. Krivka skupnega upora se pričinja torej v izhodišču in se zopet približuje abscisni osi. Nekje vmes nastane resonanca, kjer je upor tokovodnika neskončno velik.

D. Tokovodnik s kapaciteto, samoindukcijo in Ohmovim uporom.

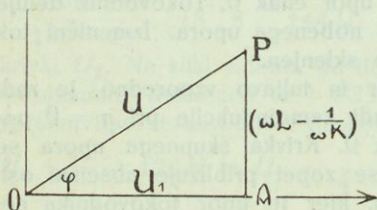
Vse, kar smo dosedaj o tokovodnikih omenili, je sama teorija, kajti tokovodnika brez Ohmovega upora ni, pač pa se temu idealnemu primeru lahko precej približamo, če sestavlja tokovodnik prav debela žica. Navadno pa ima tokovodnik toliko Ohmovega

upora, da ga moramo upoštevati poleg induktivnega in kapacitivnega upora.

Najprej bomo obravnavali tokovodnik z zaporedno sklenjenim Ohmovim uporom U_1 , tuljavo L in kondenzatorjem K (slika 119.). Po vsem tokovodniku teče isti tok s trenutno jakostjo I . Radi Ohmovega upora jakost ne zaostaja in ne prehiteva svoje napetosti ($V_{u_1, ef} = I_{ef} \cdot U_1$), radi kapacitivnega upora jo prehiteva ($V_{k, ef} = I_{ef} \cdot U_k$) in radi induktivnega zaostaja za njo ($V_{l, ef} = I_{ef} \cdot U_l$). Napetosti V_{u_1} , V_k in V_l se razločujejo med seboj. Če rišemo V_{u_1} na abscisni osi, moramo po sliki 112. nanesti V_k nad in V_l pod abscisno os. Med V_k in V_l znaša fazna razlika v vsakem trenutku 180° in zato manjšo od večje odštejemo, da dobimo njuno skupno napetost $V = V_k - V_l$. Napetosti V_{u_1} in V rišemo pravokotno eno



Sl. 119. Tokovodnik s kapaciteto, samoindukcijo in uporom.



Sl. 120. Sestavljanje uporov.

na drugo in tako tudi upora U_1 in povprečni upor, ki sta premo sorazmerna svojima napetostma. Da določimo skupni upor U tega tokovodnika, naneseemo v koordinatnem soredju na abscisni osi od O na desno upor U_1 v ohmih in v krajišču A pravokotno navzgor povprečni upor $\left(\omega L - \frac{1}{\omega K}\right)$. Daljica OP nam predstavlja potem skupni upor in jo računamo po Pitagorovem izreku iz trikotnika OAP (slika 120.).

Za opisani tokovodnik velja Ohmov zakon v tej-le obliki:

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{U} \text{ in } U = \sqrt{U_1^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega K}\right)^2}. \quad (37)$$

Če sta zaporedno zvezana le kondenzator K in upor U_1 , potem je $\omega L = 0$ in

$$U' = \sqrt{U_1^2 + \left(\frac{1}{\omega K}\right)^2},$$

če pa zvežemo zaporedno tuljavo L in upor U_1 brez kondenzatorja, moramo izpustiti člen $\frac{1}{\omega K} = 0$ in dobimo

$$U'' = \sqrt{U_1^2 + (\omega L)^2}.$$

Na sliki vidimo tudi fazni kot $\varphi = AOP$, ki ga izračunamo

$$\omega L - \frac{1}{\omega K}$$

po obrazcu $\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega K}}{U_1}$, ali ga pa natanko izmerimo na sliki.

Čim večji je povprečni upor od Ohmovega, tem večji je φ . Za $\omega L - \frac{1}{\omega K} = 0$ postane $\varphi = 0$ in pri $U_1 = 0$ je $\varphi = 90^\circ$.

Če smo kapaciteto K in samoindukcijo L tokovodnika tako izbrali, da se ujema njegova lastna frekvenca $n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LK}}$

s frekvenco generatorja (rezonanca), tedaj sta tudi tukaj delni napetosti na kondenzatorju in tuljavi V_k in V_l nasprotni in enaki $V_k = V_l$ ter se uničujeta, skupna napetost pa je enaka napetosti na Ohmovem upor $V = V_{u_1}$. V resonanci deluje tokovodnik, kakor bi imel le upor U_1 , ker je njegov povprečni upor $\omega L - \frac{1}{\omega K} = 0$. To pa je tudi najmanjši upor, ki ga more imeti tokovodnik, kajti izraz $\left(\omega L - \frac{1}{\omega K}\right)^2$ je vedno pozitiven. Skupni upor more biti torej le večji, nikdar pa ne manjši od tokovodnikovega Ohmovega upora.

Najjačji tok v tokovodniku $I_{ef} = \frac{V_{ef}}{U_1}$ dosežemo z resonanco,

ko se lastna frekvenca tokovodnika ujema s frekvenco generatorja. Tokovodnik uglašujemo na frekvenco generatorja, če z vrtilnim kondenzatorjem izpreminjamo njegovo kapaciteto. Na sliki 120. vidimo, da je v resonanci fazni kot $\varphi = 0$, kar pomenja, da tedaj izmenični tok ne prehiteva in ne zaostaja za svojo napetostjo.

Primer. Generator daje izmenično napetost $V = 0.1 \text{ V}$ s frekvenco $\omega = 10^6$, Ohmov upor tokovodnika $U_1 = 10 \Omega$, samoindukcija $L = 1 \text{ mH} = 10^{-3} \text{ H}$ in kapaciteta K je izpremenljiva. Kako se izpreminja skupni upor U tokovodnika, če vrtilno kondenzator?

$$\text{Iz obrazcev } U = \sqrt{U_1^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega K}\right)^2} \text{ in } I_{ef} = \frac{V_{ef}}{U} \text{ dobi-}$$

mo naslednje vrednosti:

$K = 0,$	$100 \text{ cm},$	$400 \text{ cm},$	$900 \text{ cm},$	$1600 \text{ cm},$
$U = \infty,$	$8 \cdot 10^3 \Omega,$	$1.25 \cdot 10^3 \Omega,$	$10 \Omega,$	$440 \Omega,$
$I = 0,$	$0.0125 \text{ mA},$	$0.08 \text{ mA},$	$10 \text{ mA},$	$0.22 \text{ mA}.$

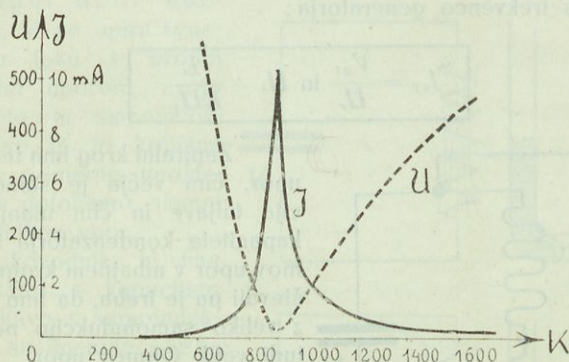
Pri 900 cm imamo resonanco, kjer je upor najmanjši in tok najjačji. Kapaciteto, pri kateri resonanca nastane, najdemo tudi po tem-le računu:

$$\omega L - \frac{1}{\omega K} = 0, \quad \omega^2 LK = 1, \quad K = \frac{1}{\omega^2 L} = \frac{1}{10^{12} \cdot 10^{-3}} = \frac{1}{10^9} F =$$

$$= \frac{9 \cdot 10^1}{10^9} \text{ cm} = \underline{900 \text{ cm}};$$

$$U = \sqrt{100} = \underline{10 \Omega} \text{ in } I_{ef} = \frac{0.1}{10} A = \frac{100}{10} \text{ mA} = \underline{10 \text{ mA}}.$$

Na sliki 121. sta narisani resonančni krivulji za upor U in jakost I .



Sl. 121. Resonančni krivulji.

Če računamo isti primer za večji Ohmov upor $U' = 25 (50) \Omega$, dobimo slabši tok $I' = 4 (2) \text{ mA}$. Ohmov upor povzroča dušenje in zmanjšuje jakost toka. Resonančna krivulja nihajnega kroga je tem ostrejša in ožja, čim manjše je dušenje v krogu. V takem tokovodniku je natančnost uglasjanja velika.

Izpregovoriti še moramo o tokovodniku, kjer sta kondenzator in tuljava z Ohmovim uporom vzporedno zvezana. Tokovodnik ima zapiralni krog (slika 122.).

Za skupni upor takega tokovodnika dobimo prav kompliciran obrazec, ki ga ne bomo izpeljavali. V resonanci nima

ta upor neskončno velike vrednosti, kakor jo ima v tokovodniku brez Ohmovega upora, pač pa vrednost, ki se da izraziti z naslednjim obrazcem:

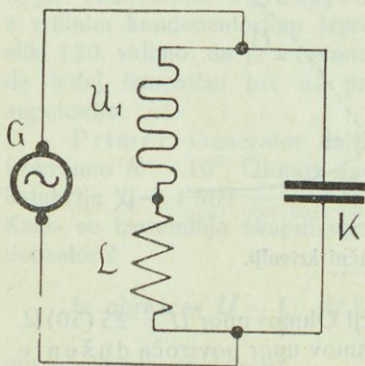
$$U_r = \sqrt{\frac{L}{K} \left(1 + \frac{L}{KU_1^2}\right)}.$$

Če je $\frac{L}{KU_1^2}$ zelo velik, lahko stavimo $1 + \frac{L}{KU_1^2} \doteq \frac{L}{KU_1^2}$ in $U_r \doteq \frac{L}{KU_1}$.

Ohmov zakon se glasi za omenjeni tokovodnik, če je v resonanci s frekvenco generatorja:

(38)

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{U_r} \text{ in } U_r \doteq \frac{L}{KU_1}.$$



Sl. 122. Zapiralni krog z uporom.

Zapiralni krog ima tem večji upor, čim večja je samoindukcija tuljave in čim manjša sta kapaciteta kondenzatorja in Ohmov upor v nihajnem krogu. Upoštevati pa je treba, da ima tuljava z veliko samoindukcijo navadno tudi velik Ohmov upor.

Fazni faktor ima v opisanem slučaju vrednost med 0^0 in 90^0 in je tem večji, čim večji je Ohmov upor zapiralnega kroga in čim manjši je njegov induktivni upor.

Po dosedanjih razmotirvanjih dosežemo v tokovodniku, kjer teče izmenični tok, največjo jakost, če sklenemo v njem kondenzator in tuljavo zaporedno in izenačimo lasno frekvenco tokovodnika s frekvenco izmeničnega toka. — Izmenični tok pa dobi prav majhno jakost, če sklenemo v njegovem tokovodniku

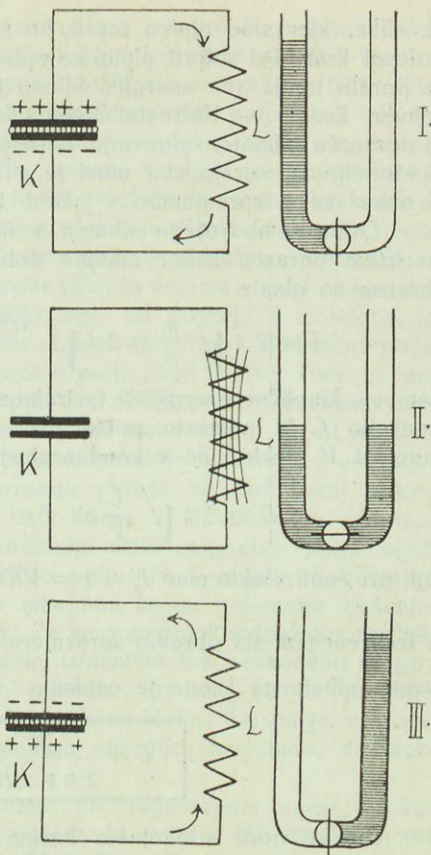
tuljavo in kondenzator vzporedno in se samosvoja frekvenca zapiralnega kroga ujema s frekvenco izmeničnega toka.】

Ohmov zakon za izmenični tok ima obliko

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{U}, \text{ kjer pomenja}$$

U skupni upor tokovodnika, ki se upira izmeničnemu toku s svojim Ohmovim uporom, svojo kapaciteto in samoindukcijo. Vse te tri količine moramo primerno upoštevati, ko določamo skupni tokovodnikov upor.

Tokovodnik, ki ima kondenzator s kapaciteto K in tuljavo s samoindukcijo L , se imenuje električni nihajni krog. Električne pojave v nihajnem krogu primerjamo z nihanjem tekočine v občujoči posodi, ki ima v kolenu pipico (slika 123.). Na I. sliki je vsa tekočina v levem kraku. Ko pipico odpremo, nastane gibanje, v levem kraku tekočina pada, v desnem se dviguje toliko časa, da stoji v obeh krakih enako visoko (II.). Tekočina pa ne ostane v tej legi, v kateri ima največjo kinetično energijo, marveč se giblje dalje, kakor kaže



Sl. 123. Mehanični primer električnega nihanja.

visoko (II.). Tekočina pa ne ostane v tej legi, v kateri ima največjo kinetično energijo, marveč se giblje dalje, kakor kaže

III. slika, kjer smo pipico zaprli, ko se je dvignila vsa tekočina v desni krak. Pri odprti pipici se opisani pojav ponavlja, dokler ne porabi trenje vse energije. Slično je gibanje elektrenine v nihajnem krogu. — Hidrostatičnemu pritisku dvignjene tekočine, ki povzroča gibanje, odgovarja napetost v kondenzatorju zbrane elektrenine in vztrajnostni masi je slična samoindukcija tuljave, ki ovira vsako izpremembo v jakosti toka.

Doba samosvojega nihanja v nihajnem krogu se določa po istem obrazcu kakor nihajna doba enostavnega nihala. Ta obrazec se glasi:

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{k}{p}} = 2 \pi \sqrt{\frac{\text{vztrajnostna masa}}{\text{gibalna sila}}}.$$

Namesto kinetične energije k (vztrajnostne mase) vstavimo samoindukcijo L in namesto potencialne energije p (gibalne sile) napetost V elektrenine v kondenzatorju in dobimo

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{L}{V}} \text{ ali } T = 2 \pi \sqrt{LK},$$

kajti pri enoti elektrenine $E = 1 = VK$ je $V = \frac{1}{K}$. Nihajna doba T

in frekvenca n sta obratno sorazmerni; $n = \frac{1}{T}$ in samosvoja frekvenca nihajnega kroga je enaka

$$n = \frac{1}{2 \pi \sqrt{LK}}.$$

Kaj se godi v nihajnem krogu, ki smo mu kondenzator na katerikoli način naelektrili? Recimo, da je njegova zgornja plošča pozitivno in spodnja negativno električna (I.). Med ploščama nastane električno polje, čigar silnice vodijo od zgoraj navzdol, in v izolatorju zavzamejo na pol vezani elektroni posebno lego (glej sliko 23.1). Radi potencialne razlike na kondenzatorjevih ploščah teče električni tok skozi tuljavo v narisani

smeri in zbuja okoli nje magnetno polje, ki polagoma narašča, ker ovira samoindukcija tuljave tok skoz njo. Pri tem se kondenzator izprazni in njegovi plošči sta neelektриčni (II.). Zato preneha tok v krogu in prestane tudi magnetno polje okoli tuljave, ki je bilo najjačje, ko je prenehala potencialna razlika na ploščah kondenzatorja. V tem trenutku nastane v tuljavi po samoindukciji ekstratok iste smeri, kakor je bil prvotni tok, in napolni kondenzator tako, da je sedaj spodnja plošča pozitivno in zgornja negativno električna. Med ploščama nastane električno polje, čigar silnice vodijo od spodaj navzgor (III.), in deloma vezani elektroni v izolatorju zavzamejo nasprotno lego od poprej. V izolatorju je nastal pomikalni tok deloma vezanih elektronov. Električno polje je najjačje, ko preneha magnetno polje okoli tuljave. Tudi pri tem nihanju ima električna energija dve obliki in bi neprestano prehajala iz tuljave na kondenzator in zopet nazaj, če bi ne bilo nobenih ovir, nobenega dušenja, ki porabijo končno vso energijo.

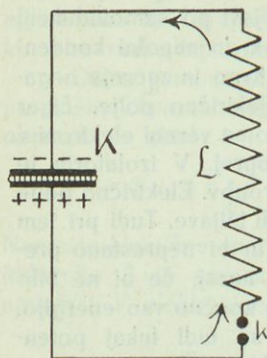
Kakor pri nihanju prožnega peresa se tudi tukaj potencialna energija periodično izpreminja v kinetično in obratno. Električnemu polju v kondenzatorju sledi magnetno polje okoli tuljave in temu zopet električno polje. Med obema poljema je fazni razloček 90° , če ni v nihajnem krogu nobenega dušenja.

V nihajnem krogu teče, če smo njegov kondenzator naelekttrili ter ni v njem nobenih ovir, izmenični tok neskončno dolgo; v krogu nastane električno nihanje. Pri tem se ne porablja nobena energija, ne opravlja nobeno delo. Če pa je v krogu majhno dušenje, lahko z majhno energijo dosežemo, da električno nihanje ne prestane.

Iz navedenega spoznamo, da odgovarjajo pojavi v tokovodniku omenjenim trem pogojem, ki morajo biti izpolnjeni pri vsakem nihanju (glej na strani 86.!). Opravičeno govorimo o električnem nihanju v tokovodniku, ki obstaja iz kondenzatorja in samoindukcijske tuljave, in ga imenujemo električni nihajni krog.

Nihajni krog, o katerem smo dosedaj razpravljali, imenujemo sklenjen nihajni krog. Slika 124. predstavlja nihajni krog z iskrilom (iskrodaljo) k . Tudi o tem

krogu pravimo, da je sklenjen, čeprav je v iskrilu prekinjen, kajti če ima elektrenina v kondenzatorju zadostno napetost, preskoči razdaljo k v obliki iskre, ki na mah sklene krog. To se zgodi, ker se zrak v iskrilu ionizira, kakor bomo slišali.



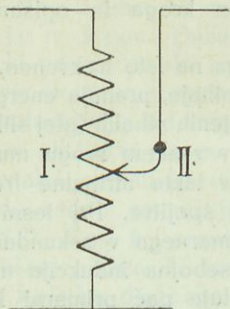
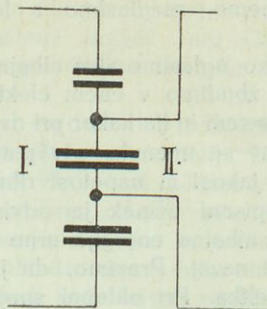
Sl. 124. Nihajni krog z iskrilom.

Enostaven nihajni krog z iskrilom je leydenska steklenica, ko se zunanje obloge tišči ena kroglica izpraznjevala, drugo kroglico pa približujemo zbiralu steklenice. Izpraznjevalo je izolirana kovinska kljuka, njena dela se dasta premikati in predstavljata majhno samo-indukcijo. Pri naelektreni steklenici preskoči med kroglicami v določeni razdalji električna iskra. Pravimo, da se je steklenica razelektrila, izpraznila. Po prvi iskri lahko dobimo še eno ali celo več električnih isker, ki dokazujejo, da je nastalo v tako prirejeni leydenski steklenici električno nihanje.

Dosedaj smo govorili o enem nihajnem krogu, spojitvi pa se dasta tudi dva kroga. Razločujemo različne vrste in različne stopnje spajanja.

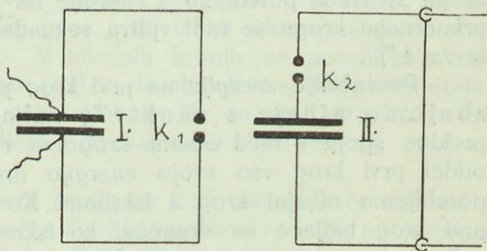
Pri spajanju prehaja nihajna energija iz prvega nihajnega kroga na drugi krog. O dveh krogih pravimo, da sta spojena, če je del silnic obema skupen. Število skupnih silnic določuje stopnjo spajanja. Spajanje je ohlapno, če imata oba kroga malo skupnih silnic, in tesno, če pripadajo skoro vse silnice obema krogoma. Silnice so lahko magnetne ali električne in tedaj govorimo o induktivni ali kapacitivni spojitvi, kakor smo že obširneje razpravljali na strani 49. Ob tej priliki smo omenili tudi galvanično spojitve, kjer sta oba kroga zvezana po Ohmovem upor. Omenjene tri spojitve popolnimo še z dvema novima.

Galvanično-induktivna spojitve (slika 125.) nastane iz čisto galvanične, če zamenimo Ohmov upor s samo-

Sl. 125. Galvanično-induk-
tivna spojitvev.Sl. 126. Galvanično-kapa-
cilivna spojitvev.

indukcijsko tuljavo. Pri galvanično-kapacitivni spojitvi (slika 126.) ima prvi krog tri zaporedno zvezane kondenzatorje in srednji kondenzator pripada obenem tudi drugemu krogu.

Kot primer induktivne spojitve dveh nihajnih krogov omenjamo resonanco dveh leydenskih steklenic (slika 127.). Oblogi ene steklenice zvežemo z daljšo žico in jo na enem mestu prekinemo z iskrilom k_1 . Enako opremimo drugo steklenico, pri

Sl. 127. Resonanca dveh leydenskih
steklenic.

kateri se da spojna žica podaljšati ali skrajšati. Tako nastaneta dva nihajna kroga, ki jih postavimo blizu skupaj. Če elektrimo steklenico prvega kroga z iskrnim induktorjem ali influenčnim strojem, se steklenica razelektruje v iskrilu k_1 . Ako je drugi krog uglašen na prvega, se istočasno tudi njegova steklenica razelektruje v iskrilu k_2 . Če spojno žico drugega kroga nekoliko

premahnemo, razglasimo s tem oba kroga in opisani pojav izostane.

Ako uglasimo dva nihajna kroga na isto frekvenco, ju spojimo in zbudimo v enem električne nihaje, prehaja energija med krogoma sem in tja kakor pri dveh spojenih nihalih (glej sliko 96.!). Ta pojav se imenuje utripanje; v vsakem krogu narašča in pojema jakost in napetost ritmično, v taktu utripalne frekvence.

Opisani učinek je odvisen od spojitve. Pri tesni spojitvi prehaja nihajna energija urno iz primarnega v sekundarni krog in zopet nazaj. Pravimo, da je medsebojna indukcija med krogoma velika. Pri ohlapni spojitvi deluje pač primarni krog na sekundarnega po indukciji, a drugi krog vpliva prav malo na prvega. O tem se prepričamo tudi tako-le:

V sekundarnem krogu nastane indukcijski tok le tedaj, če seče ta krog silnice primarnega kroga. Ako seče n. pr. od 100 silnic primarnega kroga sekundarni krog le 10 silnic, prehaja od energije prvega kroga le 10% na drugi krog. Iz drugega kroga se vrača potem 10% energije na prvi krog, t. j., energija primarnega kroga se radi vpliva sekundarnega kroga izpreminja le za 1%.

Povračanje energije na prvi krog preprečujemo s tem, da zbudimo nihaje s sunki. Ta način obstaja v tem, da se prekine spojitev med obema krogoma v onem trenutku, ko je oddal prvi krog vso svojo energijo drugemu. V tem primeru porabljamo nihajni krog z iskrilom. Ko iskra preskoči, vpliva prvi krog najjače na drugega, ko iskra preneha, pa ne more vplivati drugi krog na prvega, ker je prvi že prekinjen.

Iz navedenega spoznamo, da je pri tesni spojitvi dveh krogov prenos energije velik, pri ohlapni pa majhen. Tesna spojitev bi bila primernejša, če bi ne nastalo radi nje v vsakem posameznem krogu utripanje, ki preprečuje uglasjanje. Zato spajamo kroga vedno ohlapno, da dosežemo med njima boljšo resonanco in manjši prenos energije.

Poleg ohlapne spojitve mora biti v obeh nihajnih krogih tudi dušenje majhno, če hočemo en krog na drugega natanko

uglasiti. Vse izgube, ki zmanjšujejo nihajno energijo, povzročajo dušenje v krogu. Dušenje nastane največ radi Ohmovega upora, ki povzroča, da se pretvarja nihajna energija v toploto in nihanje polagoma preneha.

Razločujemo udušeno in neudušeno nihanje elektrenine v nihajnem krogu. Pri neudušenem nihanju imajo vsi nihaji enako amplitudo (glej sliko 91.!), pri udušenem pa se amplitude vedno zmanjšujejo in končno nihanje preneha (glej sliko 88.!). Čas, ko preneha nihanje v krogu, je mera za njegovo dušenje. Črta, ki spaja amplitude zaporednih nihajev, se imenuje krivka dušenja. Čim bolj je ta krivka nagnjena proti vodoravni osi, tem večje je dušenje v krogu. Ako je dušenje v krogu veliko, ne moremo nanj drugega kroga natanko uglasiti, ker preneha radi dušenja v prvem krogu nihanje prehitro. Zlasti je dušenje veliko v nihajnih krogih z iskrilom, kjer predstavlja iskra velik upor in porabi največ energije.

Visokofrekvenčni toki se razširjajo le v zgornji plasti provodnika (skinefekt), globlje v njegovo notranjost pa ne pridejo. Zato se zmanjša upor proti takim tokom, če damo provodniku večjo površino. V nihajnih krogih ne porabljamo masivne žice, pač pa žično vrstico, ki obstoji iz veliko posameznih, med seboj izoliranih, zelo drobnih žic (n. pr. $7 \times 7 \times 0.15$). Pri večjih energijah porabljajo v ta namen bakren trak ali bakreno cev.

Dušenje v nihajnem krogu se tudi zmanjša, če rabimo v kondenzatorjih in tuljavah najboljše izolatorje, da se prepreči odvajanje električnega toka. Notranji premeri tuljav ne smejo biti premajhni (ne pod 5 cm!), da ne nastanejo vrtilinčasti toki. Zato tudi ne sme biti v notranjosti tuljave nobene kovine. Da se ne poveča kapaciteta tuljav, vijemo njene ovoje le v eni legi.

Vsak nihajni krog, z iskrilom ali brez njega, ima samosvoje

nihanje s frekvenco $n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LK}}$ ali nihajno dobo $T = 2\pi\sqrt{LK}$,

kjer je izražena samoindukcija L v henry-jih in kapaciteta K

v faradih. Poleg te posebno izrazite lastne frekvence je mogočih še več frekvenc, pri katerih krog nekoliko zaniha. Vse te frekvence so z glavno frekvenco v celoštevilčnem razmerju. Pravimo, da nastajajo v krogu osnovni in višji nihaji.

V nihajnem krogu nihajo elektroni, se giblje elektrenina sem in tja. Gibljivi elektroni vplivajo na obdajajoči eter, ki tudi zaniha. V etru nastane postopno transversalno valovanje, ki se razširja s hitrostjo svetlobe c na vse strani in je

(39)

$$c = 300.000 \text{ km/sek} = 3.10^{10} \text{ cm/sek.}$$

Dolžino tega valovanja dobimo iz enačbe $\lambda = cT$, torej je $\lambda = 2\pi c \sqrt{LK}$, ali če izrazimo vse v cm , je

$$\lambda_{cm} = 3.10^{10} \cdot 2\pi \sqrt{\frac{L_{cm}}{10^9} \cdot \frac{K_{cm}}{9.10^{11}}} = 2\pi \sqrt{L_{cm} K_{cm}} \text{ in}$$

(40)

$$\lambda_m = \frac{2\pi}{100} \sqrt{L_{cm} K_{cm}}.$$

Po tem obrazcu dobimo valovno dolžino v metrih, če izrazimo kapaciteto in samoindukcijo L v cm .

Namesto valovne dolžine govorimo tudi o številu valov v eni sekundi, o valovni frekvenci n , ki jo izračunamo po enačbi

$$\lambda = cT = \frac{c}{n} \text{ in } n = \frac{c}{\lambda}.$$

Radi hitrejšega pregleda navajamo naslednjo tabelo:

λ v metrih	n	n	λ v metrih
1	300,000 000	100	3,000.000
10	30,000.000	1.000	300.000
100	3,000.000	10.000	30.000
1.000	300.000	100.000	3.000
10.000	30.000	1,000.000	300
100.000	3.000	10,000.000	30
1,000.000	300	100,000.000	3

Z izpreminjanjem samoindukcije L ali kapacitete K ali pa obeh lahko frekvenco samosvojega nihanja v krogu poljubno izpreminjamo. S tem izpreminjamo tudi dolžino postopnega vala v etru. Val je tem daljši, čim večja sta L in K . Kapaciteto izpreminjamo z vrtilnim kondenzatorjem, samoindukcijo pa v variometrih, premikalnih in večdelnih tuljavah.

Primer. Kolika je dolžina λ električnega vala, ki ga zbuja nihajni krog s samoindukcijo $L = 360000 \text{ cm}$ in kapaciteto $K = 900 \text{ cm}$? Tu dobimo:

$$\lambda_m = \frac{2\pi}{100} \sqrt{LK} = \frac{2\pi}{100} \sqrt{360000 \cdot 900} = \frac{2\pi}{100} \cdot 600 \cdot 30 = 360 \pi \doteq \underline{\underline{= 1130 \text{ m}}}.$$

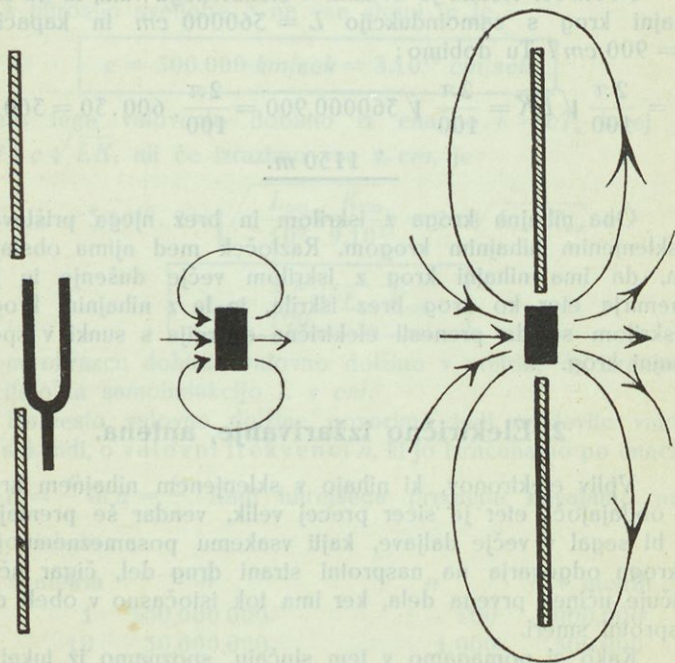
Oba nihajna kroga z iskrilom in brez njega prištevamo k sklenjenim nihajnim krogom. Razloček med njima obstaja v tem, da ima nihajni krog z iskrilom večje dušenje in jače vznemirja eter ko krog brez iskriča, in le z nihajnim krogom z iskrilom se da prenesti električna energija s sunki v spojen nihajni krog.

2. Električno izžarivanje, antena.

Vpliv elektronov, ki nihajo v sklenjenem nihajnem krogu, na obdajajoči eter je sicer precej velik, vendar še premajhen, da bi segal v večje daljave, kajti vsakemu posameznemu delu v krogu odgovarja na nasprotni strani drug del, čigar učinek uničuje učinek prvega dela, ker ima tok istočasno v obeh delih nasprotni smeri.

Kako si pomagamo v tem slučaju, spoznamo iz tukaj navedenega akustičnega primera. Ton glasbenih vilic je slab in se ne sliši daleč. V večjo lepenko naredimo tako široko in dolgo zarezo, kakor jo potrebuje rogelj vilic (slika 128.). Če udarimo po vilicah in jih držimo v zarezi pred lepenko, slišimo njihov ton po vsej sobi. Kako si to razlagamo?

Ko vilice zvène, nihata roglja urno drug proti drugemu in zopet narazen. Med njima se zrak zgoščuje in zopet razredčuje. Na srednji sliki je narisano, kako se giblje rogelj in zračni delci okoli njega. Ako porabljammo lepenko, oviramo z njo zračne delce, ki se umikajo roglju, da morajo narediti pot okoli lepenke. Z lepenko dosežemo, da se zrak okoli vilic močno vznemirja,

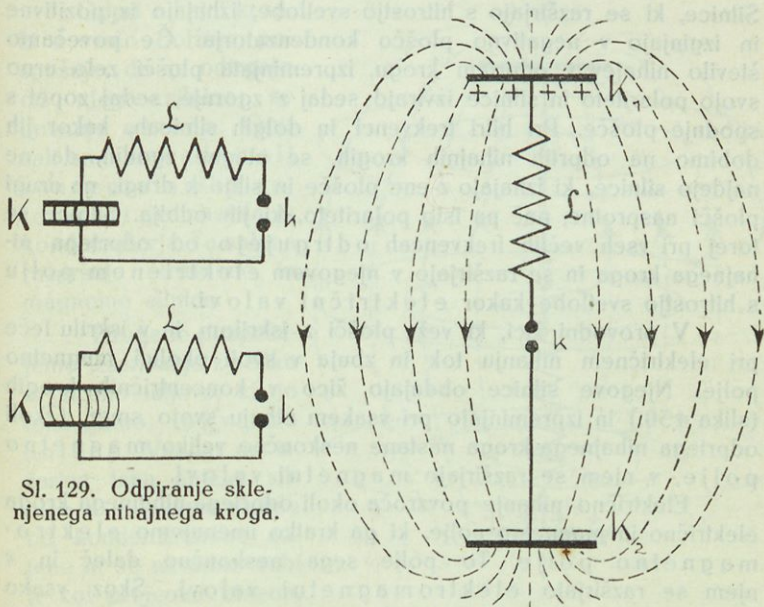


Sl. 128. Ojačevanje tona glasbenih vilic.

da so vilice z zrakom tesno spojene. Tako prirejene vilice se slišijo dalje in bolje izžarivajo akustične valove kakor proste vilice. Vilice pa potrebujejo pri tem precej energije in nihajo udu-

šeno; ne nihajo tako dolgo, kakor bi nihale proste vilice. Govorimo o dušenju, ki ga povzroča izžarivanje.

Iz tega primera spoznamo, da postane izžarivanje nihajnega kroga, vpliv na eter, posebno močno, če podaljšamo njegove silnice, zlasti še, če poskrbimo, da se silnice odtrgajo od nihajnega kroga. Električne silnice podaljšamo, če sklenjen nihajni krog raztegnemo v odprt krog. Kako se to zgodi, kaže slika 129.



Sl. 129. Odpiranje sklenjenega nihajnega kroga.

V nihajnem krogu, ki obstoji iz kondenzatorja K , samoindukcijske tuljave L in iskrila k , razmikamo plošči kondenzatorja vedno bolj, dokler ni krog premočrtno iztegnjen. Iz sklenjenega kroga nastane pri tem odprt nihajni krog. Če naelektrimo plošči kondenzatorja v odprtem krogu, n. pr. zgornjo pozitivno

in spodnjo negativno, nastanejo med njima precej dolge električne silnice, ki niso več ravne in med seboj vzporedne. Silnice vstopajo v obdajajoči prostor in se v njem sklepajo. Pri sklenjenem nihajnem krogu ni tega pojava. Imenujemo ga razpršbo silnic.

V odprtem nihajnem krogu preskoči pri določeni napetosti iskra v iskrilu in po njej zaniha elektrenina. Spodnja plošča se naelektri pozitivno, zgornja negativno in smer silnic se izpremeni. Silnice, ki se razširjajo s hitrostjo svetlobe, izhajajo iz pozitivne in izginjajo v negativno ploščo kondenzatorja. Če povečamo število nihajev v odprtem krogu, izpreminjata plošči zelo urno svojo polariteto in silnice izvirajo sedaj z zgornje, sedaj zopet s spodnje plošče. Pri hitri frekvenci in dolgih silnicah, kakor jih dobimo na odprtih nihajnih krogih, se utegne zgoditi, da ne najdejo silnice, ki izhajajo z ene plošče in silijo k drugi, na drugi plošči nasprotno, pač pa isto polariteto, ki jih odbija. Silnice se torej pri vseh večjih frekvencah odtrgujejo od odprtega nihajnega kroga in se razširjajo v njegovem električnem polju s hitrostjo svetlobe kakor električni valovi.

V provodni žici, ki veže plošči z iskrilom, in v iskrilu teče pri električnem nihanju tok in zbuja v svoji okolici magnetno polje. Njegove silnice obdajajo žico v koncentričnih krogih (slika 130.) in izpreminjajo pri vsakem nihaju svojo smer. Okoli odprtega nihajnega kroga nastane neskončno veliko magnetno polje, v njem se razširjajo magnetni valovi.

Električno nihanje povzroča okoli odprtega nihajnega kroga električno in magnetno polje, ki ga kratko imenujemo elektromagnetno polje. To polje sega neskončno daleč in v njem se razširjajo elektromagnetni valovi. Skoz vsako točko polja vodi električna silnica in pravokotno na njo magnetna.

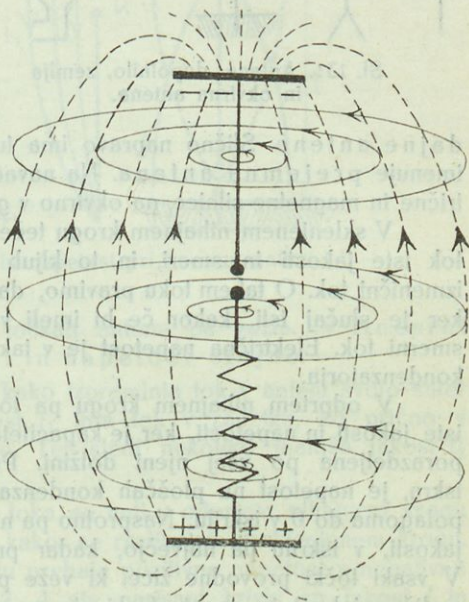
Primer. Recimo, da traja v odprtem nihajnem krogu nihaj 10^{-6} sekund in nastane pri vsakem razelektrenju 10 nihajev. Potem se izpremeni elektromagnetno polje okoli nihajnega kroga 10-krat v 10^{-5} sekundah in se razširi v tem času

3000 *m* daleč, vsak posamezni val pa 300 *m*. Nastane skupina 10 valov, ki se razširjajo s hitrostjo svetlobe. Ako se nihaji v krogu po $\frac{1}{100}$ sekunde ponove, nastane nova skupina valov, med-

tem pa se je razširila prva skupina že 300 *km* daleč. Če zade-nejo valovi na nihajne kroge, ki so uglaseni nanje, nastane tudi v njih električno nihanje. Na tem pojavu obstaja brez-žična telegrafija.

Odrprt nihajni krog, ki s svojo dolžino po-spešuje, da se odtrgajo od njega silnice, se imenuje antena. Opi-sali smo navadno ali kondenzatorsko an-teno, ki je nastala iz kondenzatorja. Ta antena razpršuje električne in magnetne silnice.

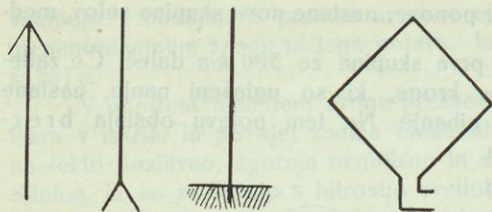
Drugače pospešu-jemo izžarivanje z veliko in široko tuljavo, ki jo imenujemo okviri-no anteno. Vendar pa iz-žari-ta taka antena sil-nice v splošnem slabše od kondenzatorske an-tene in se navadno rabi le kot prejemna antena.



Sl. 130. Elektromagnetno polje odprtega nihajnega kroga.

Kondenzatorska an-tena ima dve plošči. Ker se silnice le pri visoki anteni razpršujejo, smemo v primerni višini namesto razsež-nih plošč razpeti eno ali več med seboj izoliranih žic. Slično

žico razpne pod prvo kot nasprotno ploščo kondenzatorja in jo imenujemo dopolnilo antene (protiutež). Pokazalo



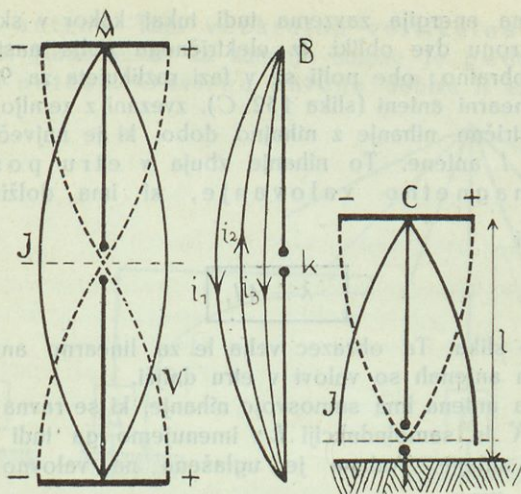
Sl. 131. Antena, dopolnilo, zemlja in okvirna antena.

pa se je, da nadomestuje dopolnilno anteno prav dobro zemlja, ki zadostno provaja elektromagnetne valove. Simbolično rišemo različne antene, kakor kaže slika 131.

Dosedaj smo obravnavali le oddajne antene. Slično napravo ima tudi prejemni aparat in se imenuje prejemna antena. Na navadno anteno delujejo električne in magnetne silnice, na okvirno v glavnem magnetne silnice.

V sklenjenem nihajnem krogu teče skoz vsak njegov prerez tok iste jakosti in smeri, in to kljub temu, da kroži v krogu izmenični tok. O takem toku pravimo, da je kvazi-stacionaren, ker je slučaj isti, kakor če bi imeli v krogu stacionaren istosmerni tok. Električna napetost je v takem krogu le na ploščah kondenzatorja.

V odprtem nihajnem krogu pa tok nima povsod in vedno iste jakosti in napetosti, ker je kapaciteta in samoindukcija antene porazdeljena po vsej njeni dolžini. Preden preskoči v iskrilu iskra, je napetost na ploščah kondenzatorja največja in pojema polagoma do 0 v iskrilu. Nasprotno pa nima tok v ploščah nobene jakosti, v iskrilu pa največjo, kadar preskakujejo v njem iskre. V vsaki točki provodne žice, ki veže ploščo z iskrilom, ima tok različno jakost in napetost, ki sta naznačeni s pravokotno razdaljo od žice (slika 132.). Kot najenostavnejši primer bomo obravnavali linearno anteno, pri kateri stoji žica vertikalno in ima iskrilo v sredi (slika 132. A). Napetost ima v skrajnih točkah linearne antene največjo vrednost in pravimo, da ima napetost tam nihajna vrhova, v iskrilu pa voz. Jakost ima v iskrilu



Sl. 132. Jakost in napetost pri linearni anteni.

niha najni vrh, v skrajnih točkah antene pa vzla. V linearni anteni niha ta jakost in napetost stojno.

Slika 132. B kaže, kako izpreminja tok v anteni svojo smer in jakost. Največjo jakost i_1 ima tok v začetku, ko prično v iskrilu preskakovati iskre. Tej sledi nekoliko manjša jakost i_2 v nasprotni smeri i. t. d.

Jakost in napetost toka se tudi v odprtem nihajnem krogu v fazi razlikujeta za 90° , kakor se razlikujeta v sklenjenem krogu. Pri prehodu toka v iskrilu prehaja pozitivna napetost v negativno in obratno. Na sliki 132. A sta narisani krivki za jakost I in napetost V . Poudariti pa je treba, da se obe krivki v fazi razlikujeta za 90° . Jakost ima vrednost I , kadar je napetost $\emptyset$, kadar pa je jakost $\emptyset$, ima napetost vrednost V . Obe krivki se polagoma zmanjšujeta. Slika 132. B kaže, kako se sčasoma zmanjšuje krivka za jakost.

Nihajna energija zavzema tudi tukaj kakor v sklenjenem nihajnem krogu dve obliki. Iz električnega polja nastane magnetno in obratno; obe polji se v fazi razlikujeta za 90° .

Na linearni anteni (slika 132. C), zvezani z zemljo, nastane stojno električno nihanje z nihajno dobo, ki je največ odvisna od dolžine l antene. To nihanje zbuja v etru postopno elektromagnetno valovanje, ki ima dolžino λ in je $\frac{\lambda}{4} \doteq l$ ali

(41)

$$\lambda \doteq 4l,$$

kakor kaže slika. Ta obrazec velja le za linearno anteno, pri vseh drugih antenah so valovi v etru daljši.

Vsaka antena ima samosvoje nihanje, ki se ravna po njeni kapaciteti K in samoindukciji L ; imenujemo ga tudi glavno nihanje antene. Antena je uglasena na valovno dolžino

$\lambda_m = \frac{2\pi}{100} \sqrt{LK}$. S posebnim kondenzatorjem in tuljavo je mogoče anteno skrajšati, oziroma podaljšati, da se da v določenih mejah uglasiti na poljubno valovno dolžino.

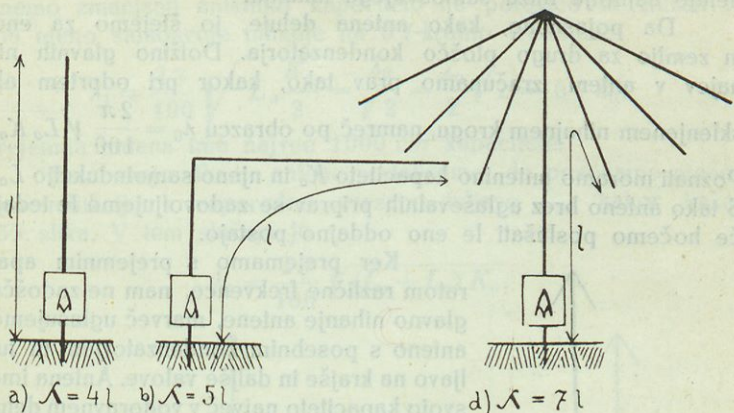
Glavno nihanje poljubne antene je odvisno največ od njenih dimenzij in oblike. Dolžino elektromagnetnega vala, ki je nanj antena uglasena, lahko precej natanko določimo s poskusom (slika 133.). V navadi so te-le enostavne antene:

- a) linearna ali enožična pokončna antena,
- b) L -antena,
- c) T -antena in
- d) zvezdna antena.

Pri vsaki anteni razločujemo antensko in odvodno žico. V antenski žici je v glavnem kapaciteta, v odvodni pa samoindukcija antene.

Razen navedenih anten so še v navadi dvojne ali trojne antene, ki jih razpenjamo, če je za enojno anteno premalo prostora. Iz istega vzroka se razpenja valjasta in obro-

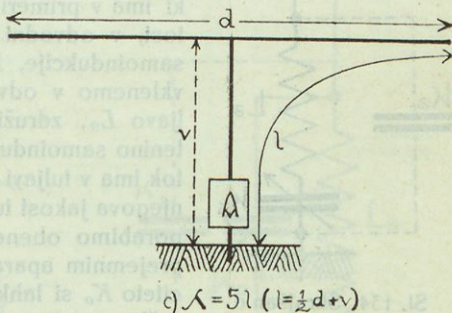
časta antena. Tudi večkratna vertikalna antena je mogoča. Nadomestilo za zunanjo anteno je podstrešna ali sobna antena. Okvirna antena dobiva iz elektromagnet-



nega polja prav malo energije, ki jo je treba v prejemnem aparatu zelo ojačiti. Ako zvežemo oba konca sobne antene s prejemnim aparatom, tedaj ni treba zveze z zemljo in iz sobne je nastala velika okvirna antena.

Dolžina antene, ki jo nameravamo razpeti, se določi na ta-le način:

Valovi, ki jih nočemo prejemati, naj imajo valovno dolžino 300 m. Tako dolgo mora biti tudi samosvoje nihanje antene. Če se odločimo za normalno T-anteno, potem mora biti njena

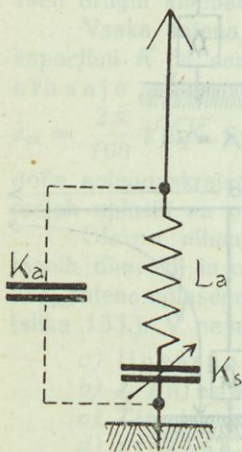


Sl. 133. Določevanje glavnega nihanja različnih anten.

dolžina $l = 60\text{ m}$; odvodno žico v naredimo 20 m visoko in anteno $d\ 80\text{ m}$ dolgo. Če hočemo prejemati daljše valove, se moramo odločiti za daljše glavno nihanje antene, kajti antena deluje najbolje blizu samosvojega nihanja.

Da pojasnimo, kako antena deluje, jo štejemo za eno in zemljo za drugo ploščo kondenzatorja. Dolžino glavnih nihajev v anteni izračunamo prav tako, kakor pri odprtem ali sklenjenem nihajnem krogu, namreč po obrazcu $\lambda_0 = \frac{2\pi}{100} \sqrt{L_a K_a}$.

Poznati moramo antenino kapaciteto K_a in njeno samoindukcijo L_a . S tako anteno brez uglasovalnih priprav se zadovoljujemo le tedaj, če hočemo poslušati le eno oddajno postajo.



Sl. 134. Skrajšan'e antene.

Ker prejemamo s prejemnim aparatom različne frekvence, nam ne zadošča glavno nihanje antene, marveč uglasujemo anteno s posebnim kondenzatorjem in tuljavo na krajše in daljše valove. Antena ima svojo kapaciteto največ v vodoravnem delu, ki ima v primeri z zemljo največjo napetost, v odvodni žici pa je večina njene samoindukcije, ki nikakor ni velika. Če vklenemo v odvodni žici blizu zemlje tuljavo L_a , združimo s tem skoro vso antenino samoindukcijo v eni točki in nastali tok ima v tuljavi največjo vrednost, ker ima njegova jakost tukaj nihajni vrh. Tuljavo L_a porabimo obenem, da spojimo anteno s prejemnim aparatom. Tudi antenino kapaciteto K_a si lahko mislimo združeno v eni točki, in sicer tako, kakor jo rišemo na naslednjih slikah, namreč vzporedno z

njeno samoindukcijo L_a , kajti v najsrajnejši točki ima antena največjo napetost, pri zemlji pa nobene.

Glavno nihanje antene se da s kondenzatorjem K_s skrajšati, če ga zvežemo zaporedno s samoindukcijsko tuljavo L_a med njo

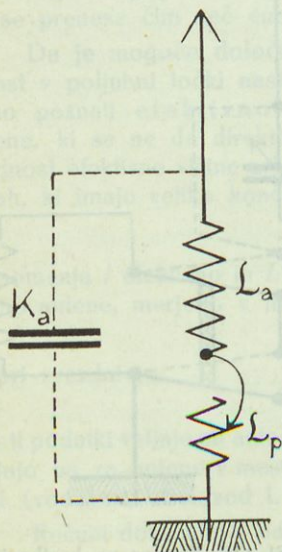
in zemljo, kakor je narisano na sliki 134., ali nad njo in anteno. Dodana kapaciteta K_s je z antenino kapaciteto K_a zaporedno zvezana; skupna kapaciteta K se s tem zmanjša. Z navedeno vezavo smemo zmanjšati antenino kapaciteto na polovico in znižati s tem njeno samosvoje nihanje na 0,7-kratno vrednost:

$$\lambda_1 = \frac{2\pi}{100} \sqrt{L_a \frac{K_a}{2}} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{2}} = \frac{\lambda_0}{2} \sqrt{2} \doteq 0,7 \lambda_0.$$

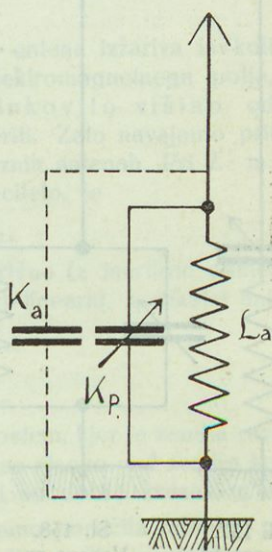
Prejemna antena ima največ 1000 cm kapacitete.

Samosvoje nihanje antene podaljšamo, da povečamo njeno samoindukcijo z zaporedno zvezano tuljavo L_p , kakor kaže 135. slika. V tem slučaju je

$$\lambda_2 = \frac{2\pi}{100} \sqrt{(L_a + L_p) K_a}.$$



Sl. 135. Podaljšanje antene z L_p .

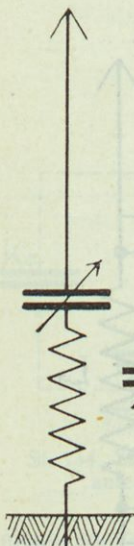


Sl. 136. Podaljšanje antene s K_p .

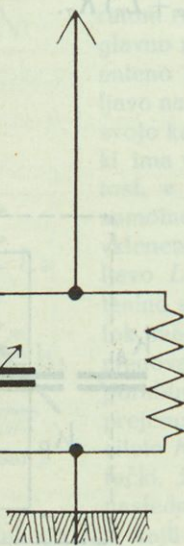
Lahko pa tudi povečamo antenino kapaciteto z vzporedno zvezanim kondenzatorjem K_p (slika 136.) in dobimo daljšo valovno dolžino :

$$\lambda_3 = \frac{2\pi}{100} \sqrt{(K_a + K_p) L_a}.$$

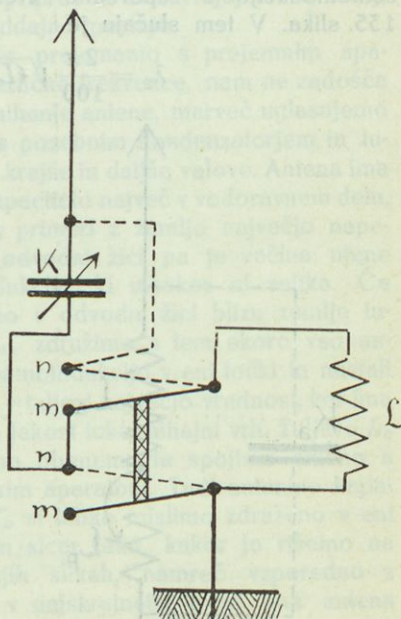
Da se vrši uglajanje enakomerno in brez skoka, rabimo samo-indukcijski variometer in vrtilni kondenzator (z natančno nastavo). Tako smemo glavno nihanje v anteni podaljšati do 6-kratne prvotne dolžine.



Sl. 137.
Vezava za
kratke valove.



Sl. 138.
Vezava za
dolge valove.



Sl. 139. Vezava za kratke in
dolge valove.

Slika 137. kaže anteno za kratke valove, na sliki 138. pa je narisana antena za dolge valove. Obe vezavi sta združeni na sliki 139., ki kaže, kako preidemo na mah od kratkih valov k dolgim.

Ker raste kapaciteta in samoindukcija antene z njeno dolžino, rabimo nizko anteno, kadar prejemamo kratke valove, kajti že pri linearni anteni je valovna dolžina, ki je na njo antena uglašena, enaka štirikratni njeni višini. Radi tega se vedno porablja pomanjševalni kondenzator. Prekratke antene bi dobivale iz elektromagnetnega polja tudi premalo energije. Nasprotno pa bi rabili za prejemanje dolgih valov dolgo anteno, če je ne bi podaljševali s tuljavo (podaljševalna tuljava) ali z vzporedno zvezanim kondenzatorjem. — Pri oddajnih antenah ne upoštevajo teh pripomočkov, marveč postavljajo zelo dolge antene, da se prenese čim več energije.

Da je mogoče določiti, kako antena izžariva in kolika je jakost v poljubni točki nastalega elektromagnetnega polja, moramo poznati efektivno ali učinkovito višino oddajne antene, ki se ne da direktno odmeriti. Zato navajamo približno vrednost efektivne višine pri posameznih antenah. Pri L - in T -antenah, ki imajo veliko končno kapaciteto, je

$$l_m \doteq L_m,$$

če pomenja l efektivno in L geometrično (z merilom odmerjeno) višino antene, merjeno v metrih. Pri linearni, vertikalni anteni je

$$l_m \doteq \frac{1}{2} L_m$$

in pri zvezdni je

$$l_m \doteq \frac{3}{4} L_m.$$

Vsi ti podatki veljajo za antene na prostem, kjer je zemlja ravna, ne veljajo pa za antene v mestih, kjer so visoko nad zemljo kovinski deli (vodovod, strelovod i. t. d.), ki so dobro zvezani z zemljo.

Računi dokazujejo, da prejemamo poročila oddajne postaje tem bolje, čim bližje smo ji (a_m), čim večja je efektivna višina oddajne antene (l_m), čim večja je jakost toka v anteni, merjena

v nihajnem vrhu (I_A), in frekvenca nihajev v anteni (n). Jakost P nastalega elektromagnetnega polja je enaka

(42)

$$P = \frac{k}{a} I l n.$$

Tu pomenja k konstanten faktor, ki nima za nas posebnega pomena in ga ne bomo določili. Produkt Il je značilen za vsako oddajno postajo. Merimo ga v „meteramperih“, ako računamo jakost I v amperih in efektivno višino l v metrih.

Čim večja je frekvenca, tem jače deluje oddajna postaja. Pri večji frekvenci so pa tudi ovire, ki jih mora premagovati elektromagnetno polje na svoji poti, večje. Frekvenco, ki deluje v vsakem posameznem slučaju najugodnejše, določamo s poskusom.

Vemo, da nastane v oddajni anteni dušenje U_i radi izžarivanja, kajti, da se zbudi elektromagnetno polje, se porabi precej nihajne energije. Računi dokazujejo, da je upor U_i odvisen od valovne dolžine in od efektivne višine antene:

(43)

$$U_i = 1600 \frac{l_m^2}{\lambda_m^2}.$$

Primer. V anteni z efektivno višino 10 m znaša pri 400 m valovne dolžine dušenje radi izžarivanja $1\ \Omega$, kajti

$$U_i = \frac{1600 \cdot 100}{400 \cdot 400} = 1\ \Omega.$$

Ako je jakost toka v nihajnem vrhu $I = 10\text{ A}$, tedaj izžariva antena $I^2 U_i = 100 \cdot 1 = 100\text{ W}$. Če znaša skupno dušenje v anteni $15\ \Omega$, niha v anteni $10^2 \cdot 15 = 1500\text{ W}$. 100 wattov se izžariva, 1400 wattov pa se porablja, da se premagujejo različni upori.

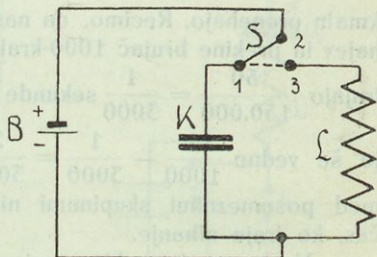
Odmeriti moremo le skupni upor, ne pa upora, ki je nastal radi izžarivanja in je koristen, pri tem ko pomenjajo vsi drugi upori izgubo na nihajni energiji. Zato se ne da prav natanko določiti, s koliko energijo kaka postaja oddaja. Večinoma se za-

dovoljujemo, da povemo, koliko wattov niha v anteni. V opisanem primeru pravimo, da oddaja postaja z $1{,}5 \text{ kW}$. Ta podatek pa ne pove veliko, ker je velik razloček, ali odpade od 1500 wattov v anteni na izžarivanje 100 ali 500 wattov.

3. Proizvajanje visokofrekvenčnih nihajev, oddajna postaja.

V radiotehniki se porabljajo nihaji, ki imajo zelo veliko frekvenco. Imenujemo jih visokofrekvenčne nihaje. Najkrajši nihaji, ki jih praktično rabimo, imajo dolžino približno 3 m in najdaljši 30 km . Kako proizvajamo tako visoke frekvence, spoznamo iz naslednjega enostavnega primera:

Nihajni krog $L-K$ sklenemo, kakor kaže 140. slika, s poloma baterije B in damo stikalo S lego 1—2; pri tem se kondenzator napolni in dobi neko napetost. Če postavimo nato stikalo v lego 1—3, je nihajni krog sklenjen in kondenzator se razelektruje v nihajih s frekvenco



Sl. 140. Principielno proizvajanje nihajev.

$$n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LK}}.$$

Če izpreminjamo kapaciteto K in samoindukcijo L , dobimo najrazličnejše frekvence. Nastali nihaji so udušeni in urno prenehajo.

Opisano napravo izboljšamo, ako uklenemo namesto enostavnega stikala avtomatično prekinjalo, ki sklene izpraznjeni kondenzator zopet z baterijo. Kot "prekinjalo" rabimo brnjač B_1 (slika 141.). Baterijski tok se po brnjaču urno sklepa in prekinja. V času, ko je tok prekinjen, se napolnjuje in izpraznjuje kondenzator v električnih nihajih in nastane cela skupina nihajev.

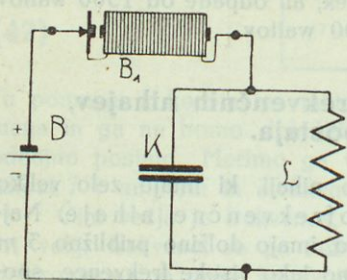
Primer. Tuljava ima samoindukcijo $L = 0.1 \text{ mH} = 10^{-4} \text{ H}$ in kondenzator kapaciteto $K = 0.01 \text{ } \mu\text{F} = 10^{-8} \text{ F}$. Potem je

$$\text{krožna frekvenca } \omega = \frac{1}{\sqrt{LK}} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{10^{-4} \cdot 10^{-8}}} = \frac{1}{10^{-6}} = 10^6 \text{ in}$$

$$\text{enostavna frekvenca } n = \frac{\omega}{2\pi} =$$

$$= \frac{10^6}{2\pi} \doteq 150.000.$$



Sl. 141. Generator z brnjačem.

niha vse sekundo, ker so nihaji radi upora v krogu udušeni in kmalu prenehajo. Recimo, da nastane pri vsaki izpraznitvi 50 nihajev in prekine brnjač 1000-krat na sekundo baterijski tok. Nihaji trajajo $\frac{50}{150.000} = \frac{1}{3000}$ sekunde in do naslednjega sklepa toka

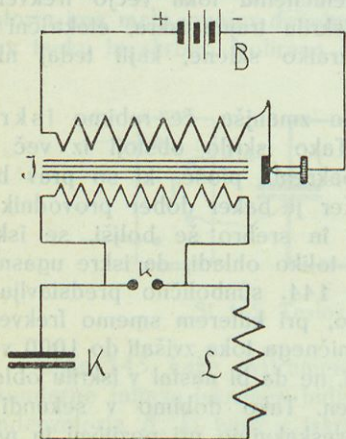
je še vedno $\frac{1}{1000} - \frac{1}{3000} = \frac{2}{3000} = \frac{1}{1500}$ sekunde. Presledek med posameznimi skupinami nihajev je še enkrat tolik ko oni čas, ko traja nihanje.

Vsako napravo, kjer nastanejo električni nihaji, kratko imenujemo visokofrekvenčni generator. Opisali smo generator z brnjačem, ki ga rabimo v valovomeru, napravi, s katero merimo dolžino elektromagnetnih valov.

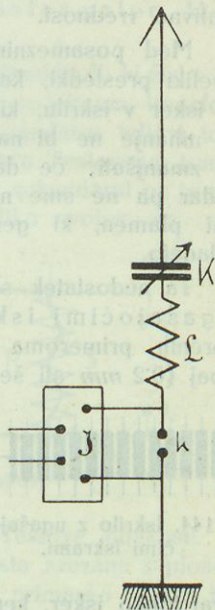
Več energije dobimo, če zamenimo brnjač z iskrnim induktorjem in zvežemo nihajni krog z njegovo sekundarno tuljavo, vmes pa vdelamo iskrilo k , kakor vidimo na sliki 142. Pri vsaki prekinitvi primarnega toka se napolni na sekundarni tuljavi kondenzator K in se pri zadostni napetosti izprazni z iskro v iskrilu. Nastane nihanje, čigar frekvenca se izpreminja s samoindukcijo in kapaciteto nihajnega kroga. Pri vsaki iskri nastane več nihajev in njih število je odvisno od krogovga

upora. Število isker se izpreminja s hitrostjo, s katero se prekinja primarni krog induktorja. Taka naprava se imenuje iskrni generator. Nastale iskre delajo velik ropot in jih imenujemo glasne iskre.

Iskrni generator je rabil Marconi pri svojih prvih poskusih. Marconijeva oddajna postaja (slika 143.) nastane iz



Sl. 142. Iskrni generator.



Sl. 143. Marconijeva oddajna postaja.

iskrnega generatorja, če porabljammo namesto sklenjenega nihajnega kroga odprt krog in ga opremimo s podaljševalno tuljavo L in zmanjševalnim kondenzatorjem K , da ga lahko uglasimo na poljubno frekvenco. Nastali nihaji so hudo udušeni, ker je iskrilo vdeleno v anteni.

Pri iskrnem generatorju ne slede iskre v enakih presledkih druga drugi. Če nadomestimo induktor z generatorjem za izmenični tok in povečamo napetost nastalega toka s posebnim transformatorjem, dosežemo, da je presledek med posameznimi iskrami vedno isti. V iskrilu iskra vedno preskoči, brž ko doseže napetost v sekundarni tuljavi transformatorja potrebno pozitivno ali negativno vrednost.

Med posameznimi skupinami nihajev obstajajo še vedno preveliki presledki, kajti nihajni krog je močno udušen prav radi isker v iskrilu, ki jih pa ne moremo pogrešati, ker brez njih nihanje ne bi nastalo. Omenjeni presledki se dajo nekoliko zmanjšati, če damo izmeničnemu toku večjo frekvenco. Vendar pa ne sme nastati v iskrilu trajna iskra, električni obločni plamen, ki generator kratko sklene, kajti tedaj nihaji izostanejo.

Ta nedostatek se nekoliko zmanjša, če rabimo iskrilo z ugašajočimi iskrami. Tako iskrilo obstoji iz več posrebranih, primeroma velikih bakrenih plošč, ki so prav blizu skupaj (0,2 mm ali še bolj). Ker je baker dober prevodnik to-



Sl. 144. Iskrilo z ugašajočimi iskrami.

plote in srebro še boljši, se iskrilo hitro toliko ohladi, da iskre ugasnejo.

Slika 144. simbolično predstavlja to iskrilo, pri katerem smemo frekvenco izmeničnega toka zvišati do 1000 v sekundi, ne da bi nastal v iskrilu obločni plamen. Tako dobimo v sekundi še

enkrat toliko isker, ker iskre preskakujejo pri pozitivni in negativni napetosti. Opisali smo generator z ugašajočimi iskrami.

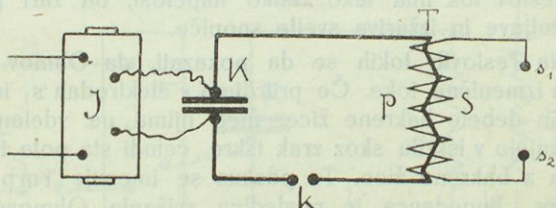
Primer. Recimo, da znaša frekvenca v nihajnem krogu $n = 150.000$, frekvenca generatorja 1000, torej frekvenca isker 2000; tedaj je presledek med dvema zaporednima iskrama

$\frac{1}{2000}$ sekunde. Če ima vsaka skupina 50 nihajev, potem trajajo

nihaji $\frac{50}{150.000} = \frac{1}{3000}$ sekunde in presledek med dvema zaporednima skupinama znaša še vedno $\frac{1}{2000} - \frac{1}{3000} = \frac{1}{6000}$ sekunde.

Kako se da opisani generator bolje porabiti kakor v Marconijevi vezavi, nas pouči Teslov transformator, ki nima železnega jedra.

Nikola Tesla, naš rojak in velik iznajditelj, ki živi v Ameriki, je porabil visokofrekvenčne toke v posebnem transformatorju kot primarne toke in je dobil v sekundarni tuljavi toke z izredno visoko napetostjo. Primarna tuljava Teslovega transformatorja ima malo ovojev debele žice, na sekundarni pa je navita prav tanka in skrbno izolirana žica v veliko ovojev.



Sl. 145. Teslov instrumentarij.

Slika 145. kaže instrumentarij za Teslove poskuse. Pola sekundarne tuljave iskrnega induktorja I sta zvezana s ploščama kondenzatorja K , ki tvori z iskrilom k in primarno tuljavo transformatorja T nihajni krog. Kondenzator se izpraznjuje in v iskrilu nastanejo prav glasne iskre. Visokofrekvenčni tok v primarni tuljavi P inducira v sekundarni tuljavi S izmenični tok, ki ima prav veliko napetost. Sekundarna tuljava ima posebni elektrodi s_1 in s_2 in med njima delamo poskuse s tem tokom, ki ga imenujemo Teslov tok.

Teslovi toki imajo napetost več stotisoč voltov, pa vendar ne škodujejo človeškemu telesu, pri tem ko toki z nizko frekvenco

in z nekaj sto volti napetosti usmrte človeka. Mislimo, da se razširjajo ti toki le na površju provodnika, v njegovo notranjost pa ne proderejo globoko (skinefekt). Pri srednje dobrem provodniku, kakor je človeško telo, pa sega njihov vpliv tudi globlje in telo se segreva. Teslovi toki se rabijo v medicini, zlasti pri masiranju, kar povzroča radi iskrenja v prejemnem aparatu močne motnje.

Če spojimo elektrodi s_1 in s_2 z dvema kovinskima ploščama, ki sta postavljeni druga proti drugi in dobro izolirani, nastane med njima močno električno polje. Steklена cev, kjer smo zrak razredčili, se zasveti v tem polju, četudi se ne dotika plošč. Nastalo svetlobo imenujemo Teslovo svetlobo. Tesla je menil, da bi se dala ta svetloba porabiti za razsvetljavo (razsvetljava bodočnosti).

Teslov tok ima tako veliko napetost, da žari pol sekundarne tuljave in izžariva svetle snopiče.

Na Teslovih tokih se da pokazati, da Ohmov zakon ne velja za izmenične toke. Če pritrdimo v elektrodah s_1 in s_2 konca daljše in debele bakrene žice, med njima pa vdělamo iskrilo, preskakujejo v iskrilu skoz zrak iskre, četudi sta pola tega iskrila zvezana z bakreno žico. Ta poskus se imenuje impedančni poskus. Impedanca je posledica zvišanja Ohmovega upora po samoindukciji.

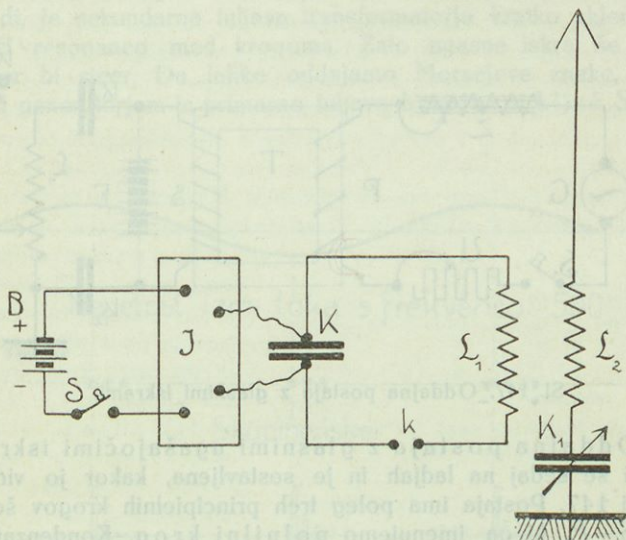
Tuljavi Teslovega transformatorja sta spojeni induktivno. En pol sekundarne tuljave podaljšamo z žico, drugi pa zvezemo z zemljo. Tako prirejena sekundarna tuljava je odprti nihajni krog. Prenos električne energije iz sklenjenega nihajnega kroga na odprti krog je posebno velik, ako sta oba kroga v resonanci. Slika 146. kaže, kako se sestavi iz Teslovega instrumentarija enostavna oddajna postaja z iskrami.

S to vezavo smo dosegli velik napredek, ker smo prenesli iskrilo, ki povzroča največ dušenja, iz antenskega v sklenjeni nihajni krog. Nihajna energija se prenaša s sunki iz sklenjenega na antenski krog. Zato imenujemo sklenjeni krog tudi suvalni krog.

Tako smo prišli do treh principielnih krogov, ki jih razločujemo v vsaki oddajni postaji z iskrami. Ti so:

1. strojni krog,
2. suvalni krog in
3. antenski krog.

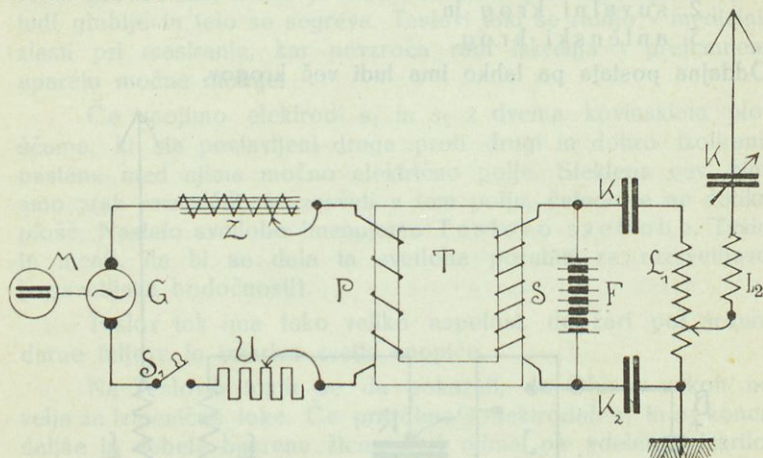
Oddajna postaja pa lahko ima tudi več krogov.



Sl. 146. Oddajna postaja iz Teslovega instrumentarija.

Da se zmanjša dušenje v antenskem krogu, je treba spojitev med suvalnim in antenskim krogom prekiniti, ko je vsa energija prešla v antenski krog. To se doseže z iskrilom z ugašajočimi iskrami. V anteni nastanejo malo udušeni nihaji, ki ne morejo vplivati na suvalni krog. Zato smemo kroga tesno spojit enega na drugega, da je prenos energije velik. Taka oddajna postaja se sliši v precejšnje daljave.

Opisano oddajno postajo imenujemo postajo z ugašajočimi ali tudi uglašenimi iskrami, kajti taka postaja izžariva znake, ki jih slišimo na prejemni postaji kot tone določene višine.

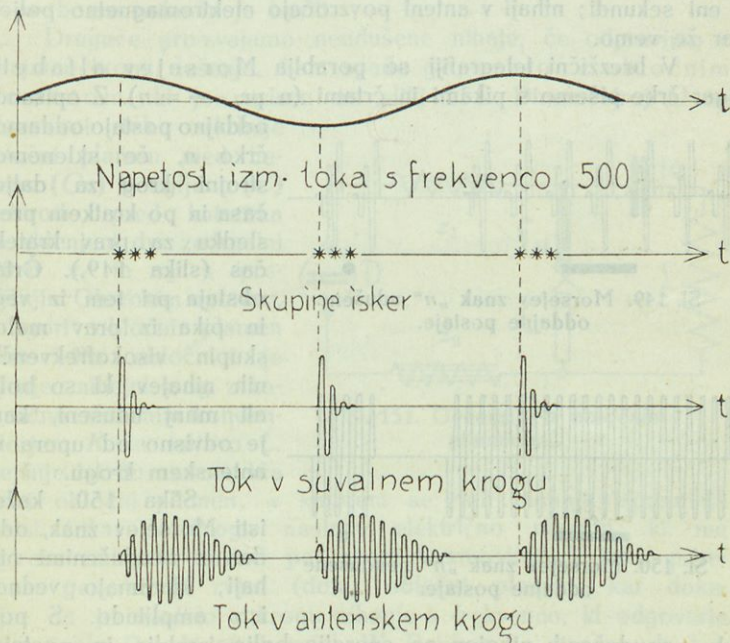


Sl. 147. Oddajna postaja z glasnimi iskrami.

Oddajna postaja z glasnimi ugašajočimi iskrami se rabi še sedaj na ladjah in je sestavljena, kakor jo vidimo na sliki 147. Postaja ima poleg treh principielnih krogov še en krog $S-F$, ki ga imenujemo polnilni krog. Kondenzatorja suvalnega kroga K_1 in K_2 se polnita s tokom, ki teče po sekundarni tuljavi S transformatorja T , čigar primarno tuljavo obkrožuje tok iz generatorja G . S transformatorjem dosežemo, da se vrste iskre v iskrilu F enakomerno in vedno pri isti napetosti toka. Generator vrti poseben motor M . Navadno ima izmenični tok iz generatorja frekvenco 500. Pred transformator vklepamo zadržalno tuljavo Z . Ko preskakujejo iskre v iskrilu, je sekundarna tuljava transformatorja kratko sklenjena in tok iz generatorja bi dobil radi tega brez zadržalne tuljave toliko napetost,

da bi v iskrilu nastale prav dolge iskre. Zadržalna tuljava preprečuje torej predolge iskre v iskrilu.

V splošnem ne daje transformator zadosti velike napetosti, da bi se tok v iskrilu sklenil. Če pa sta strojni in polnilni krog med seboj uglasena, kar se doseže z izpreminjanjem upora U in zadržalne tuljave Z , nastane radi resonance na sekundarni tuljavi dovolj napetosti, da preskoči iskra v iskrilu. Ko se to zgodi, je sekundarna tuljava transformatorja kratko sklenjena in uniči resonanco med krogoma. Zato ugasne iskra še hitreje, kakor bi sicer. Da lahko oddajamo Morsejeve znake, imamo med generatorjem in primarno tuljavo brzojavni ključ S_1 , ki pa

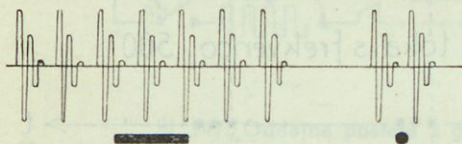


Sl. 148. Delovanje oddajne postaje.

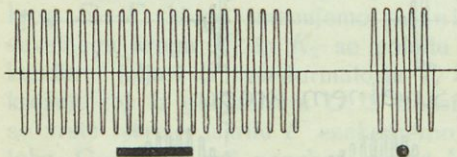
v resnici ni tako enostaven, kakor je narisano na sliki. Antena z zaporedno zvezano tuljavo L_2 in vrtilnim kondenzatorjem K je spojena direktno s tuljavo L_1 suvalnega kroga, ki je na spodnji strani dobro zvezan z zemljo, biti bi pa mogla tudi induktivno. Da se prenese kar največ energije, morata biti antenski in polnilni krog natanko uglašena na isto frekvenco.

Slika 148. kaže, kako deluje oddajna postaja. Pri največji pozitivni in negativni napetosti nastane v iskrilu cela skupina isker. Teh skupin je 1000 v sekundi in prav toliko skupin hudo udušenih nihajev nastane v suvalnem krogu. Ti nihaji oddajo svojo energijo antenskemu krogu, kjer nastane tudi 1000 skupin v eni sekundi; nihaji v anteni povzročajo elektromagnetno polje, kar že vemo.

V brezžični telegrafiji se porablja Morsejev alfabet, čigar črke pišemo s pikami in črtami (n. pr. —• = n). Z opisano



Sl. 149. Morsejev znak „n“ udušene oddajne postaje.



Sl. 150. Morsejev znak „n“ neudušene oddajne postaje.

oddajno postajo oddamo črko n, če sklenemo strojni krog za dalje časa in po kratkem presledku za prav kratek čas (slika 149.). Črta obstaja pri tem iz več in pika iz prav malo skupin visokofrekvenčnih nihajev, ki so bolj ali manj udušeni, kar je odvisno od upora v antenskem krogu.

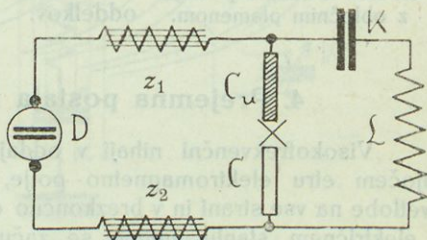
Slika 150. kaže isti Morsejev znak, oddan z neudušenimi nihaji, ki imajo vedno isto amplitudo. S po-

rabo neudušenih nihajev se energija bolje izrablja in postaja se javlja v večje daljave. Amplitude nihajev se ne zmanjšujejo,

ker se nihajnemu krogu pravočasno dovaja energija. Podobno so tudi nihaji nihala na stenski uri vedno enako dolgi, ker prožno pero sune nihalo pri vsakem polnihaju, da ne obstane.

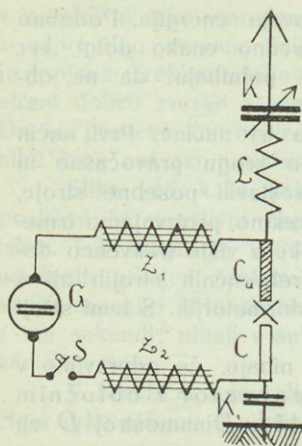
Neudušene nihaje proizvajamo na tri načine. Prvi način obstaja v tem, da dovajamo nihajnemu krogu pravočasno in trajno novo energijo. V ta namen so sestavili posebne stroje, strojne generatorje, s katerimi direktno proizvajamo izmenične toke s frekvenco 10—10.000. Toke z višjo frekvenco dobimo v posebno konstruiranih visokofrekvenčnih strojih ali s podvojenjem frekvence v posebnih transformatorjih. S temi stroji se ne bomo natančneje bavili.

Drugače proizvajamo neudušene nihaje, če odpravimo v nihajnem krogu dušenje. Sem spada generator z obločnim plamenom, ki je narisan na sliki 151. Dinamostroj D za istosmerni tok oskrbuje obločni plamen med bakreno (Cu) in ogljeno (C) elektrodo, pred katerima sta sklenjeni dve zadržalni tuljavi z_1 in z_2 s precejšnjim Ohmovim uporom, da gori obločni plamen mirno. Po obločnici je sklenjen nihajni krog z zaporedno zvezanim kondenzatorjem K in tuljavo L . Prejšnje iskrilo nadomešča



Sl. 151. Generator z obločnim plamenom.

sedaj obločni plamen, v katerem se radi nihanja izpreminja jakost toka. V krogu nastane električno nihanje, ki mu zapirata zadržalni tuljavi pot skozi dinamostroj. V tako prirejenem generatorju zveni (doni) obločni plamen, kar dokazuje, da je nastalo v krogu nihanje s frekvenco, ki odgovarja višini tona. Danski strokovnjak W. Poulsen je dognal, da frekvenco tega nihanja zelo povečamo ($n = 100.000$ in še več),



Sl. 152. Oddajna postaja z obločnim plamenom.

če gori obločni plamen v vodiku in je v magnetnem polju. Nihanje je ne-
 udušeno, ker se en del energije isto-
 smernega toka neprestano izpreminja
 v visokofrekvenčni tok. Prenašamo ga
 na antenski krog z Marconijevo ve-
 zavo, ker nihajni krog ne deluje s sunki
 kakor pri iskrach. Če na sliki 151. raz-
 klenemo sklenjeni nihajni krog v odprt
 antenski krog, dobimo oddajno po-
 stajo z obločnim plamenom
 (slika 152.).

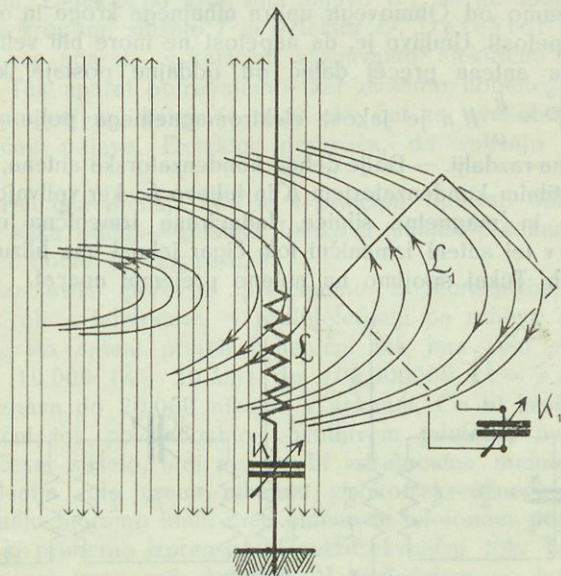
Neudušeno nihanje se proiz-
 vaja tudi v elektronskih cevkah. O
 cevni generatorjih izpregovo-
 rimo natančneje v enem naslednjih
 oddelkov.

4. Prejemna postaja na detektor.

Visokofrekvenčni nihaji v oddajni anteni zbujaajo v obda-
 jajočem etru elektromagnetno polje, ki se razširja s hitrostjo
 svetlobe na vse strani in v brezkončno daljavo. Vsaka izprememba
 v električnem stanju antene se začuti skoro trenutno v vsem
 elektromagnetnem polju.

Oddajna antena ima nalogo, da izžariva v svetovni prostor
 električno in magnetno energijo v obliki silnic, ki jih lovimo s
 prejemno anteno in dokazujemo s prejemnim aparatom.
 Lahko tudi rečemo, da tvorita oddajna in prejemna postaja nekaj
 transformator, čigar primarni krog predstavlja oddajno, se-
 kundarni pa prejemno postajo. Oba kroga sta zelo daleč narazen,
 zato sta spojena med seboj prav ohlapno in spojno sredstvo
 med obema je eter z nastalim elektromagnetnim poljem. Ker
 povzroča oddajna antena s svojim nihanjem elektromagnetno

polje, ki se izpreminja istočasno z njenimi nihaji in vpliva na prejemno anteno, mora tudi prejemni aparat nihati, da ga je mogoče uglasiti na frekvenco prejetih valov in doseči pri resonanci največji prenos električne energije.

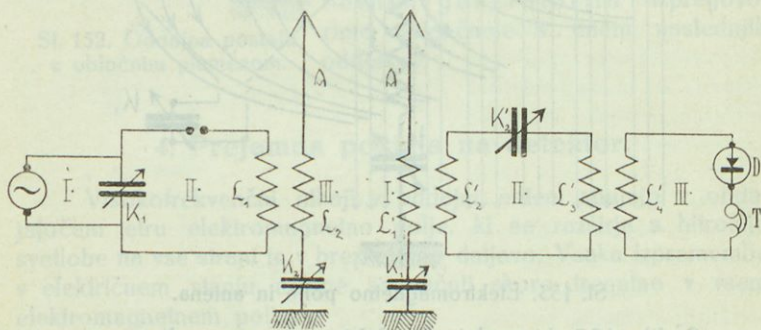


Sl. 153. Elektromagnetno polje in antena.

S slike 153., ki predstavlja elektromagnetno polje, spoznamo, da vplivajo na navadno anteno električne in magnetne silnice, na okvirno pa največ magnetne, a tudi te le tedaj, če jo sečejo in niso vzporedne z ravnino okvira. Z okvirno anteno utegnemo določiti smer, v kateri leži oddajna postaja ali biva tisti, ki nas moti pri prejemanju.

Okvirna tuljava L_1 in kondenzator K_1 tvorita nihajni krog, ki ima precej upora v tuljavi. V tem krogu inducirajo posebno magnetne silnice elektromagnetnega polja izmenično napetost.

Imamo torej enak primer kakor v tokovodniku, ki ga predstavlja slika 119., edino generator nadomešča v krogu inducirana izmenična napetost. Če je krog uglasen na frekvenco valov, ki ga zadenejo, nastane v njem najjačji izmenični tok, ki je odvisen samo od Ohmovega upora nihajnega kroga in od inducirane napetosti. Umljivo je, da napetost ne more biti velika, ako je okvirna antena precej daleč od oddajne postaje, kajti po obrazcu $P = \frac{k}{a} I n$ je jakost elektromagnetnega polja obratno sorazmerna razdalji. — Bolje deluje kondenzatorska antena, opremljena z vrtilnim kondenzatorjem K in tuljavo L , ker vplivajo na njo električne in magnetne silnice. Inducirana izmenična napetost povzroča v tej anteni izmenični tok, čigar jakost ima blizu zemlje nihajni vrh. Tukaj spojimo na anteno prejemni aparat.



Sl. 154. Oddajna in prejemna postaja.

Prejemna postaja se v principu ne razlikuje od oddajne, samo da so njeni posamezni deli manjši, ker imamo pri prejetju veliko manjšo energijo kakor pri oddajanju (slika 154.). Tudi prejemna postaja ima v principu tri dele, ki jih imenujemo:

1. antenski krog,
2. resonančni krog in
3. detektorski krog.

Z izpreminjanjem kapacitete se uglaša antenski krog na oddajno anteno. V njem nastane toliko skupin nihajev v sekundi kakor v oddajni anteni. Resonančni krog prevzema od antenskega električne nihaje in omogoča dobro resonanco pri uglašanju. Detektorski krog ima tuljavo L'_4 , ki ga spaja z resonančnim krogom, slušalo T in detektor D . Detektor je skupno ime za vse aparate, s katerimi zaznavamo električne nihaje in valove. Tak aparat potrebujemo, ker nimamo nobenega čuta za električne pojave, kakor je n. pr. oko čut za svetlobne in uho za zvočne pojave. Detektor povzroča, da vplivajo nihaji na telefon.

Prejemna postaja ima le v principu opisano obliko in je zrcalna slika oddajne postaje. Lahko ji manjka resonančni krog, o čemer bomo še razpravljali.

Brzobjavna poročila prejemamo z Morsejevim pisalnim strojem ali s telefonom, v radiotelefoniji pa rabimo slušalo in zvočnik. Po anteni prejeti izmenični tok ima zelo veliko frekvenco 10.000 ($\lambda = 30 \text{ km}$) do 100.000.000 ($\lambda = 3 \text{ m}$). Naše uho zaznava do 20.000 nihajev v sekundi. Če bi krožil visokofrekvenčni tok po zadostno občutljivem telefonu, ne bi naše uho ničesar slišalo, tudi ne, če bi vztrajnostna membrana telefona sledila zelo urnim nihajem visokofrekvenčnega toka. Pri prejetju moramo imeti med anteno in telefonom posebno napravo, ki primerno izpreminja visokofrekvenčni tok. To napravo smo zgoraj imenovali detektor. V naslednjem se bomo bavili le s prejetjem na slušalo in zvočnik.

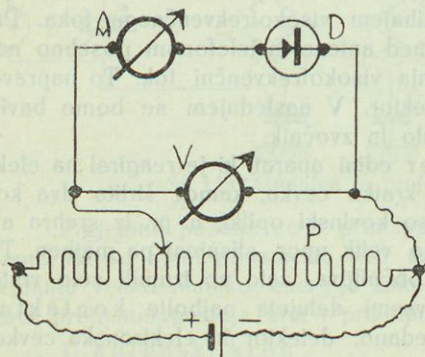
Dolgo je bil koherer edini aparat, ki je reagiral na električne valove. Koherer je kratka cevka, kamor štrlita dva kovinska batiča. Med njima so kovinski opilki, n. pr. iz srebra ali niklja. Zrahljani opilki imajo velik upor, stisnjeni pa majhen. Ta naprava ni bila posebno občutljiva, zato so izumili celo vrsto boljših detektorjev. Med vsemi delujeta najboljše kontaktni detektor ali, kratko povedano, detektor in elektronska cevka. Z detektorjevim prejemnim aparatom se bomo sedaj natančneje bavili.

Detektor je sestavljen iz dveh različnih snovi, ki ne provajata posebno dobro električnega toka in se ne dotikata popolnoma. Najnavadnejši so kristalni detektorji, kjer se tišči kristala kovinska konica ali pa drug kristal. Naslednje kombinacije se rabijo :

Zinkit (ZnO imenovan tudi perikon) — telur ali bakrov kršec,
 pirit (železni kršec) — zlato ali bron,
 svinčev sijajnik — grafit ali telur,
 karborund — med ali baker,
 silicij — zlato ali aluminij,
 bakrov kršec — aluminij,
 zinkit — jeklo ali oglje — in več drugih.

Prva kombinacija je posebno občutljiva, zadnja pa je važna, ker omogoča električno nihanje, kar je našel Rus Lossev.

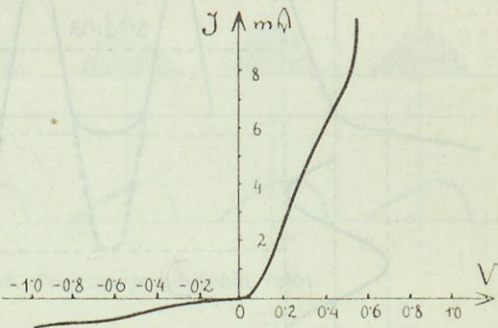
Delovanje detektorja spoznamo najlažje iz njegove karakteristike, črte, ki kaže, kako je odvisna jakost toka, ki ga detektor propušča, od njegove napetosti. Da dobimo karakteristiko piritovega detektorja, potrebujemo akumulator, potenciometer P s precej velikim uporom, voltmeter, ki kaže $\frac{1}{10} V$, detektor D in miliamperometer A . Te aparate sklenemo, kakor je



Sl. 155. Določevanje detektorjeve karakteristike.

narisano na sliki 155., ki obenem kaže, kako rišemo simbolično detektor. S potenciometrom izpreminjamo napetost na privijalih detektorja od -1 do $+1 V$. Z občutljivim amperometrom merimo tok, ki ga detektor propušča, in ga nanašamo po njegovi smeri v koordinatno soredje (slika 156.). Toke, ki odklanjajo kazalce amperometra na levo, rišemo nad abscisno os, one na

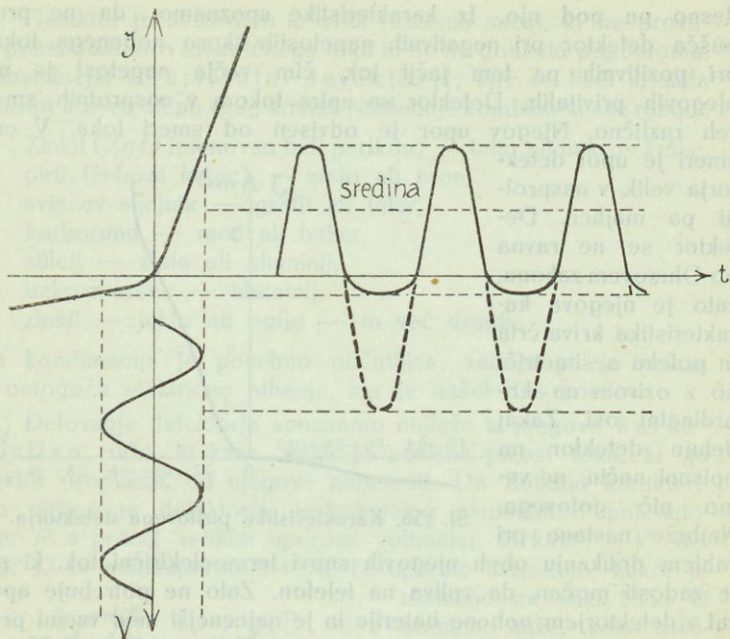
desno pa pod njo. Iz karakteristike spoznamo, da ne propuša detektor pri negativnih napetostih skoro nobenega toka, pri pozitivnih pa tem jačji tok, čim večja napetost je na njegovih privijalih. Detektor se upira tokom v nasprotnih smereh različno. Njegov upor je odvisen od smeri toka. V eni smeri je upor detektorja velik, v nasprotni pa majhen. Detektor se ne ravna po Ohmovem zakonu, zato je njegova karakteristika kriva črta in poteka nesimetrično z ozirom na koordinatni osi. Zakaj deluje detektor na opisani način, ne vemo nič gotovega. Najbrže nastane pri



Sl. 156. Karakteristika piritovega detektorja.

rahlem dotikanju obeh njegovih snovi termoelektrični tok, ki pa je zadosti močan, da vpliva na telefon. Zato ne potrebuje aparat z detektorjem nobene baterije in je najcenejši med vsemi prejemnimi aparati. Rabiti pa ga je mogoče le v bližini oddajne postaje, kakor bomo slišali.

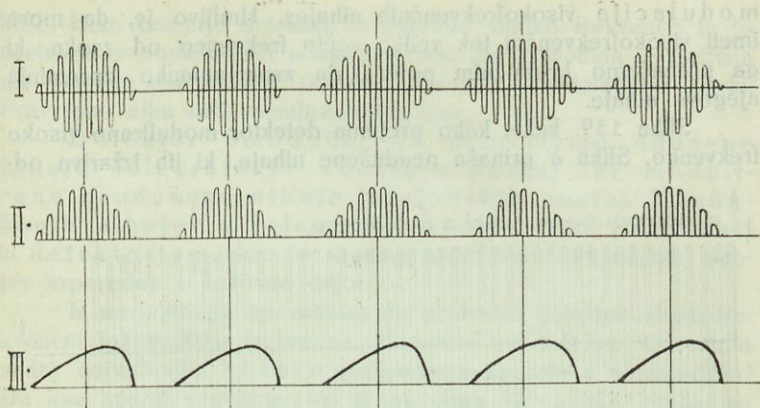
Detektor ima to lastnost, da propuša istosmerni tok skoro le v eni smeri, izmenični pa usmerja, ker propuša le njegove pozitivne polovice neprikrajšane, negativne polovice pa več ali manj skrajšane, kar je odvisno od detektorjeve karakteristike. Če deluje na detektor izmenična napetost, ki je narisana na 157. sliki pod abscisno osjo, tedaj teče tok v glavnem le v eni smeri; tok v nasprotni smeri detektor le deloma propuša. Neusmerjeni tok rišemo s črtkami. Sredina usmerjenega toka je zato pomaknjena navzgor in je vzporedna z abscisno osjo. Tako usmerjeni visokofrekvenčni tok potegne telefonsko membrano iz normalne lege in jo drži odklonjeno, dokler tok teče.



Sl. 157. Usmerjenje z detektorjem.

Če prejemamo z detektorjevim aparatom neudušene valove, slišimo v telefonu, kadar valovi nastajajo, nekak pok, kajti ojačeni magnetizem telefonskih tuljav pritegne membrano in jo, ko valovi prenehajo, zopet izpusti. Če oddaja postaja Morsejeve znake z neudušeniimi valovi, slišimo v telefonu nekako pokanje brez vsakega reda.

Prejemanje je enostavno, če deluje oddajna postaja z udušenimi valovi (slika 158.). Oddajna postaja pošilja valove, ki se vrste hitro in v enakih skupinah. I. vrsta na omenjeni sliki kaže nihaje v prejemni anteni, ki prvotno naraščajo, potem pa urno prenehajo. Detektor propušča le polnihaje iste smeri, kakor je



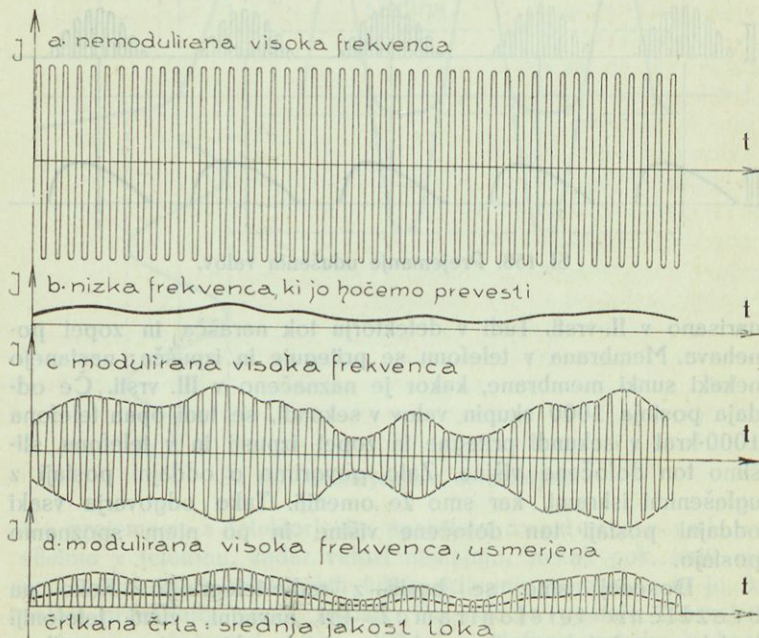
Sl. 158. Prejemanje udušenih valov.

marisano v II. vrsti. Tudi v detektorju tok narašča in zopet ponehava. Membrana v telefonu se priteguje in izpušča; nastanejo nekaki sunki membrane, kakor je naznačeno v III. vrsti. Če oddaja postaja 1000 skupin valov v sekundi, se tudi opna telefona 1000-krat v sekundi pritegne in zopet izpusti in v telefonu slišimo ton določene višine. Zato govorimo o oddajni postaji z uglasenimi iskrami, kar smo že omenili. Tako odgovarja vsaki oddajni postaji ton določene višine in po njem spoznamo postajo.

Dosedaj smo se bavili z radio-telegrafijo. Kako pa brezžično telefoniramo? Pri navadni, žični telefoniji je istosmerni tok nosilec valovnega toka, ki nastane v mikrofону, ker se radi govora, petja ali godbe izpreminja mikrofónov upor. Slično postopajo v oddajnih postajah za brezžično telefonijo, kjer rabijo namesto istosmernega toka visokofrekvenčni tok, torej neudušene nihaje, ki jih po mikrofónu izpreminjajo v oddajni anteni. Visokofrekvenčni tok je nosilec valovnega toka, nizkofrekvenčnega toka, ki ga povzroča zvok. To postopanje se imenuje

modulacija visokofrekvenčnih nihajev. Umljivo je, da mora imeti visokofrekvenčni tok veliko večjo frekvenco od zvoka, ki ga prenašamo brezžičnim putem, da zvok natanko izpreminja njegove nihaje.

Slika 159. kaže, kako prejema detektor modulirano visoko frekvenco. Slika *a* prinaša neudušene nihaje, ki jih izžariva od-



Sl. 159. Prejemanje modulirane visoke frekvence z detektorjem.

dajna antena. Na sliki *b* je narisana nizka frekvenca, akustično nihanje, ki ga hočemo prenesti, a le približno, ker niso upoštevani višji nihaji, ki dajo tonu barvo. Po mikrofону nastane modulirana visoka frekvenca, kakor je risana na sliki *c*. Slika *d*

kaže, kako usmerja detektor modulirano visoko frekvenco in jo pretvarja v popuščajóči istosmerni tok, čigar sredina je različna od časovne osi in sledi natanko akustični, modulacijski krivki. Prav tako niha tudi membrana telefona.

Detektor omogoča, da prejemamo udušene nihaje telegrafskih oddajnih postaj ter modulirane neudušene nihaje telefonskih postaj. Neudušenih nihajev v telegrafiji ne moremo prejemati z detektorjem, ker je sredina usmerjenih neudušenih nihajev vzporedna s časovno osjo.

Iz navedenega spoznamo, da pretvarja detektor visokofrekvenčni tok v nizko frekvenco, ki vpliva na telefon. Omenimo sedaj najvažnejše vezave prejemnega aparata z detektorjem! Da ima aparat v principu tri kroge, smo že omenili, vendar so mogoče najrazličnejše vezave, ki pa niso za vsak primer enako pripravne, radi česar se moramo z njimi obširneje baviti.

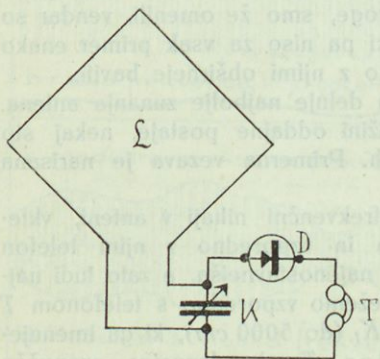
Pri aparatih z detektorjem deluje najboljše zunanja antena. Okvirna antena se rabi le v bližini oddajne postaje, nekaj sto metrov od nje, in v laboratorijih. Primerna vezava je narisana na sliki 160.

Ker se inducirajo visokofrekvenčni nihaji v anteni, vklenemo detektor v anteno in vzporedno z njim telefon (slika 161.). Ta vezava je sicer najenostavnejša, a zato tudi najneugodnejša. V vseh vezavah vežemo vzporedno s telefonom T precej velik stalen kondenzator K_1 (do 5000 cm), ki ga imenujemo telefonski kondenzator. Ta kondenzator propušča visokofrekvenčne nihaje, ki se jim telefon s svojima tuljavama radi samoindukcije hudo upira, usmerjeni modulacijski tok pa lahko gre skoz telefon, ker mu telefonski kondenzator s svojo majhno kapaciteto zapira pot.

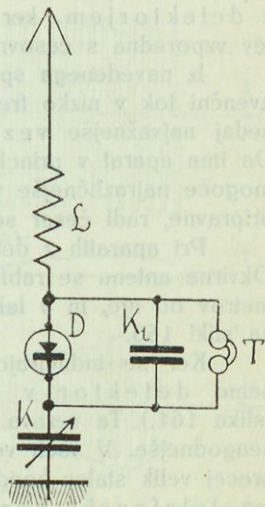
Amperski ovoji telefonskih tuljav se ravnaajo po uporú detektorja in dolžini valov, ki jih hočemo prejemati. Navadno navajamo, s kolikim uporom v ohmih se upirata tuljavi istosmernemu toku. Rabimo telefone, ki imajo 500, 1000, 2000, 4000 Ω in tudi več upora. Toliko znaša upor obeh tuljav. Njun upor

proti izmeničnemu toku je veliko večji in je merodajen za delovanje telefona. Ako imamo več telefonov z različnimi upori, si lahko izberemo v vsakem posameznem primeru najboljšega. Oni telefon deluje najbolje, ki ima prilično prav tako velik upor kakor detektor.

Vezava po sliki 161. ni ugodna, ker povečamo z detektorjem skupni upor antene. Vsak detektor ima približno



Sl. 160. Prejemni aparat z detektorjem in okvirno anteno.



Sl. 161. Detektor v anteni.

$2000\ \Omega$ upora, upor antene pa znaša največ $20\ \Omega$. Ako je detektor v anteni, se njen upor močno zveča, jakost induciranege toka pa zmanjša.

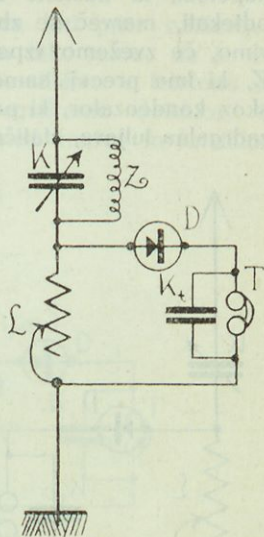
Pri tej vezavi ni mogoče antene natanko uglasiti na oddajno postajo, ker ima antena veliko upora in je resonančna krivulja nizka in široka.

Natančnost uglasjanja se tudi zmanjša, ker je antenski krog radi velikega upora detektorja aperiodičen in ne niha.

V radiotehniki je važno, da prejemni aparat lahko natanko uglasimo na oddajno postajo. S tem dosežemo, da sme delovati istočasno več oddajnih in prejemnih postaj, ne da bi ena drugo motila. Če se radi velikega dušenja in tesne spojitve prejemni aparat ne da natanko uglasiti, slišimo poleg koncerta, ki ga poslušamo, istočasno tudi druge oddajne postaje, čeprav ne tako glasno in razločno. Take močnje povzročajo postaje, ki oddajajo s približno enakimi dolžinami, oziroma frekvencami. V Evropi je sedaj nad 200 oddajnih postaj, ki izžarivajo različno dolge valove v intervalu od 200—600 m. (Glej dodatek!) Razlika v frekvencah med oddajnimi postajami sme znašati teoretično 20 kHz, da jih ločimo v prejemnem aparatu. Ko so nedavno razdelili frekvence na posamezne oddajne postaje v Evropi, so se praktično odločili za razliko 10 kHz in še vedno je dobilo več manjših postaj isto valovno dolžino. Če bi delovale vse te postaje z enako energijo, bi jih v prejemnem aparatu ne bilo mogoče ločiti. Aparat, ki loči oddajne postaje z majhno razliko v frekvenci, se imenuje selektiven.

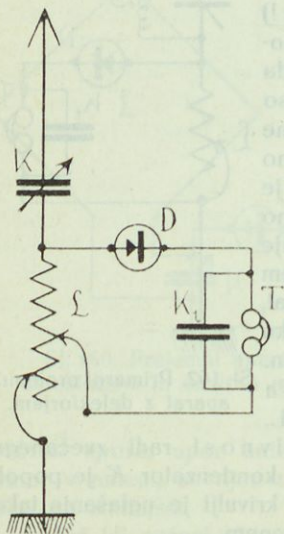
Če opazujemo s tega stališča vezavo, kakor jo predstavlja slika 161., takoj spoznamo, da je njena selektivnost radi zvečanega upora v anteni zelo majhna. Vrtilni kondenzator K je popolnoma odveč. Pri sploščeni resonančni krivulji je uglasjanje tako nenatanko, da slišimo več postaj obenem.

Na sliki 162. imamo vezavo aparata, ki nima omenjenih napak. Na ta način ne povečamo upora antene in prejemni

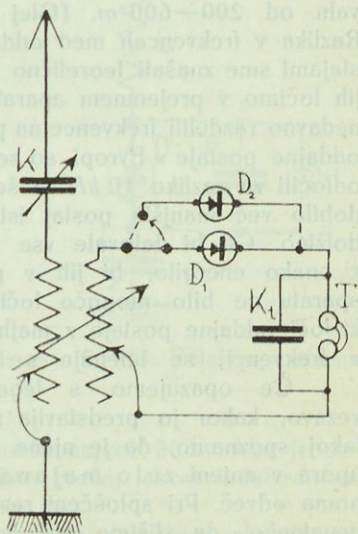


Sl. 162. Primarni prejemni aparat z detektorjem.

aparāt lahko natanko uglasimo na oddajno postajo. Tako nastane primarni prejemni aparat z direktno vezavo detektorskega kroga. Ker ima detektor velik upor, je njegov krog hudo udušen in ne more nihati. Ta krog je aperioidičen in radi tega ne potrebuje nobenega vrtilnega kondenzatorja. Opisana vezava se največ porablja, ker je pripravna in enostavna. Ima pa majhno napako. Antena ni direktno zvezana z zemljo in statična napetost, ki nastane na njej radi zračne elektrike, ne more odtekat, marveč se zbira na kondenzatorju. To napako popravimo, če zvežemo vzporedno s kondenzatorjem zadrgalno tuljavo Z , ki ima precej samoindukcije. Visokofrekvenčni nihaji gredo skozi kondenzator, ki pomenja zanje veliko manjši upor kakor pa zadrgalna tuljava, statična napetost pa odhaja po tuljavi v zemljo.



Sl. 163. Detektorski krog izpremenljiv.

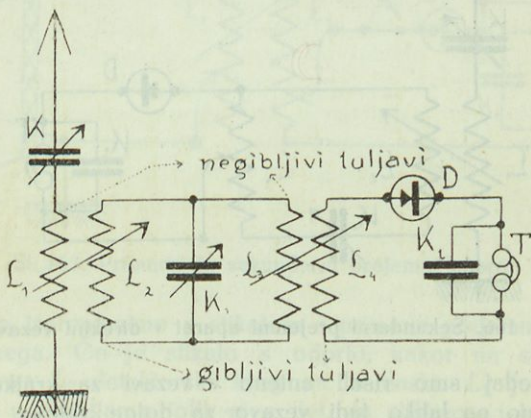


Sl. 164. Detektorski krog induktivno spojen.

Opisani prejemni aparat izboljšamo, če vežemo detektorski krog izpremenljivo na antenski krog, kakor je naznačeno s sliko 163. S tem se izpreminja spojitev obeh krogov. Ko sta kroga najugodnejše spojena, slišimo v telefonu najjačji zvok.

Detektorski krog lahko spojimo z antenskim krogom tudi induktivno (slika 164.). S tem dosežemo še ohlapnejšo spojitev obeh krogov, ki močno zveča selektivnost aparata, zlasti še, če je tudi dušenje v aparatu majhno.

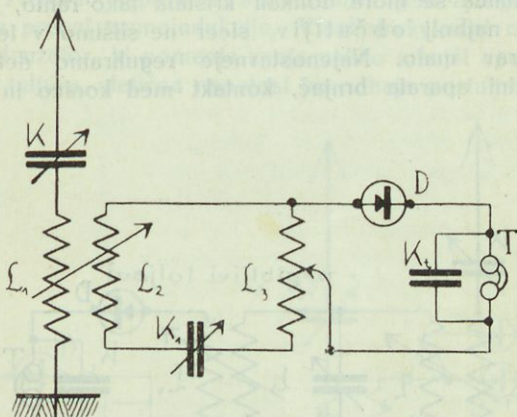
Detektor prejemnega aparata mora biti prav nastavljen, njegova konica se mora dotikati kristala tako rahlo, da je detektor kar najbolj občutljiv, sicer ne slišimo v telefonu nič ali pa prav malo. Najenostavneje reguliramo detektor, če brni v bližini aparata brnjač, kontakt med konico in kristalom



Sl. 165. Sekundarni prejemni aparat v induktivni vezavi.

pa izpreminjamo toliko časa, da slišimo v telefonu najjačje brnenje. Drugače reguliramo kontakt, če ima aparat dva vzporedno zvezana detektorja D_1 in D_2 (slika 164.). Detektor D_2 je stalno urejen in pokrit. Z njim poiščemo oddajno postajo, potem pa preidemo k detektorju D_1 , ki ga lahko reguliramo.

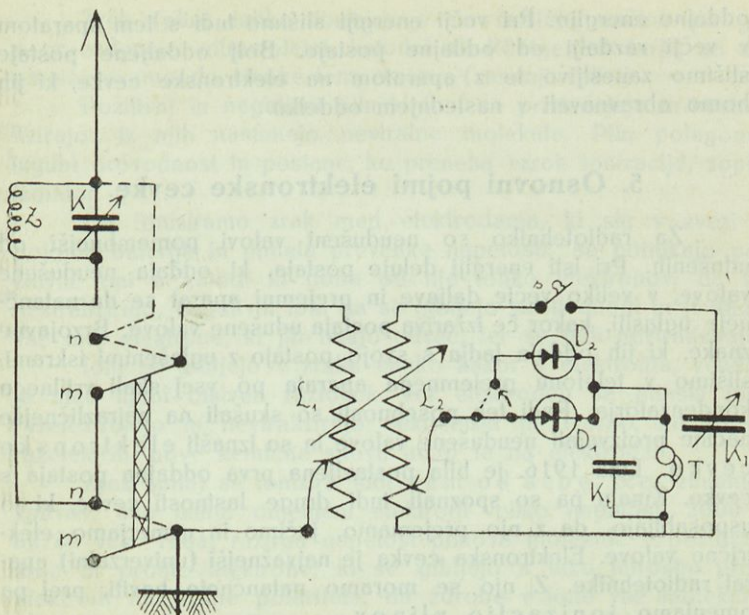
Dosedaj smo navajali samo primarne prejemne aparate. Selektivnost aparata pa se močno zveča, če porabljamo v njem vmesni uglasovalni krog, ki ga uglasamo na prejeti val. Vmesnih krogov more biti tudi več. Slika 165. kaže sekundarni prejemni aparat. Detektorski krog je induktivno spojen na vmesni krog. Ta dva kroga pa lahko spajamo tudi direktno, kakor vidimo na sliki 166. Sekundarni prejemni aparat deluje le pri ohlapni spojitvi krogov dobro. Če je več vmesnih krogov, je uglasanje aparata otežkočeno.



Sl. 166. Sekundarni prejemni aparat v direktni vezavi.

Dosedaj smo risali anteno v vezavi za kratke valove, uporabljamo pa lahko tudi vezavo za dolge valove. Taka antena deluje dobro le pri vmesnem krogu, kajti obstaja faktično iz dveh krogov in zato nastanejo v njej dvojni nihaji, ki jih lahko prepreči le vmesni krog.

Aparat, ki upošteva vse popravke, kar smo jih dosedaj omenili, ima obliko, kakor jo vidimo na sliki 167. V antenskem krogu vežemo tuljavo L_1 in kondenzator K vzporedno, kadar prejemamo dolge valove, in zaporedno pri kratkih valovih. Vrhu



Sl. 167. Primarni in sekundarni prejemni aparat.

tega lahko izpremenimo s stikalom s primarni prejemni aparat v sekundarnega. Če je stikalo s odprto, kakor na sliki, tedaj spaja tuljava L_2 detektorski krog na antenski. L_2 je večdelna tuljava in uporabljamo tolik njen del, da slišimo v telefonu najčisteje. Če pa sklenemo stikalo s , postane L_2 tuljava vmesnega kroga, s katerim je detektorski krog direktno spojen. Tako dobimo sekundarni prejemni aparat, ki se da natanko uglasti in je zelo selektiven. Najprej prejemamo oddajno postajo primarno, potem pa prehajamo na sekundarno prejemanje.

Z detektorjevim aparatom lahko prejemamo le bližnje oddajne postaje, oddaljene do 50 km, kar velja za normalno

oddajno energijo. Pri večji energiji slišimo tudi s tem aparatom v večji razdalji od oddajne postaje. Bolj oddaljene postaje slišimo zanesljivo le z aparatom na elektronske cevke, ki jih bomo obravnavali v naslednjem oddelku.

5. Osnovni pojmi elektronske cevke.

Za radiotehniko so neudušeni valovi pomembnejši od udušenih. Pri isti energiji deluje postaja, ki oddaja neudušene valove, v veliko večje daljave in prejemni aparat se da natančneje uglasiti, kakor če izžariva postaja udušene valove. Brzozjavne znake, ki jih oddaja ladja s svojo postajo z uglašeni iskrami, slišimo v telefonu prejemnega aparata po vsej skali vrtilnega kondenzatorja. Radi teh posebnosti so skušali na najrazličnejše načine proizvajati neudušene valove in so iznašli elektronsko cevko. Leta 1916. je bila postavljena prva oddajna postaja s cevko. Kmalu pa so spoznali tudi druge lastnosti cevke, ki jo usposablja, da z njo prejemamo, jačimo in usmerjamo električne valove. Elektronska cevka je najvažnejši (univerzalni) aparat radiotehnike. Z njo se moramo natančneje baviti, prej pa omenjamo ionizacijo plinov.

Električni tok tvorijo gibljivi elektroni. Gibljejo se prosti elektroni provodnikov in pri elektrolitičnih pojavih na snov navezani elektroni, ki smo jih imenovali ione. To teorijo moramo razširiti na pline, ki tudi provajajo v nekaterih primerih elektriko.

V splošnem smatramo pline pri normalnem pritisku (napetosti) za izolatorje. Ker pa se tudi dobro izoliran, naelektrjen konduktor v suhem zraku sčasoma razelektri, mora zrak vendar nekoliko, četudi slabo, provajati elektriko. Mislimo, da razpade zrak (plin) slično kakor elektrolitična snov v nekaterih primerih v pozitivne in negativne ione. Pozitivni ion ima manj, negativni pa več elektronov kakor nevtralni atom. Ionizirani zrak (plin) ni več izolator in provaja elektriko, seveda ne toliko, kakor elektrolitična snov, kjer nastane veliko več ionov kakor v zraku.

Zrak (plin) lahko ioniziramo na različne načine da ga n. pr. zadenejo ultravioletni, katodni ali Röntgenovi žarki, ali da ga segrevamo do visoke temperature (zunanji vplivi).

Pozitivni in negativni plinski ioni se privlačujejo in nevtralizirajo; iz njih nastanejo nevtralne molekule. Plin polagoma izgubi provodnost in postane, ko preneha vzrok ionizacije, zopet izolator.

Če ioniziramo zrak med elektrodama, ki sta v zvezi s poloma baterije in nimata prevelike napetosti, se pomikajo pozitivni ioni h katodi in dobe od nje toliko elektronov, da se nevtralizirajo, negativni ioni pa se gibljejo proti anodi in ji dajo vse one elektrone, ki jih imajo odveč, ter se tudi nevtralizirajo.

Ioni se gibljejo v zraku enako kakor v elektrolitu, vendar je med njimi bistven razloček. Na elektrodah se plinski ioni razelektrujejo in nevtralizirajo, tekočinski pa tvorijo, ko so se razelektrili, nove kemične snovi, in to le na elektrodah.

Zrak (plin) se ionizira tudi sam od sebe, brez zunanjih vplivov, ako imata omenjeni elektrodi veliko napetost, 2000 V ali še več. Tedaj raztrga napetost plinove molekule v pozitivne ione in proste elektrone, ki se gibljejo s tako hitrostjo proti elektrodi nasprotno polaritete, da zdobe v ione vse molekule, ob katere zadenejo. Ta pojav se imenuje ionizacija s sunki, ki vedno povzročajo nove ione. — Zlasti nastane ta ionizacija pri veliki napetosti, ko katoda direktno izžariva proste elektrone v obdajajoče sredstvo. Ionizacija plina se razširja z veliko hitrostjo v vsem električnem polju in povzroča, da plin provaja elektriko. Vsi plini so sicer izolatorji, radi ionov in prostih elektronov, ki se gibljejo po njih, pa postanejo provodniki elektrike. Ko preneha katoda izžarivati elektrone, se ioni nevtralizirajo in plin je zopet izolator.

Pri ionizaciji s sunki nastanejo vedno svetlobni pojavi. Če nista elektrodi predaleč narazen in imata veliko napetost, se razelektrujeta v električni iskri, ki ji sledi pok ali tresk, ker zrak med elektrodama zavaluje. Da skoči iskra 1 cm daleč, je potrebna napetost 30.000 V, pri večji razdalji pa še primeroma večja.

Namesto električne iskre nastane obločni plamen, če se pri opisanem pojavu elektrodi in zrak med njima zelo segrejejo. Žareča katoda izžariva elektrone, ki s sunki ionizirajo obdajajoči zrak, da provaja elektriko; plamen utegne biti precej dolg, preden ugasne. Ker imata elektrodi zelo visoko temperaturo (pri ogljenih elektrodah 3500°C), je zrak med njima močno ioniziran in potrebuje obločni plamen prav malo napetosti (do 65 V), da ne ugasne. V splošnem velja, da se razelektrujeta žareči elektrodi v obločnem plamenu, mrzli pa v električnih iskrh.

Ionizacijo opazujemo nadalje v razredčenem zraku (plinu). V ta namen rabimo stekleno cev, ki je napolnjena z razredčenim plinom. V njo vodita dve utaljeni platinski elektrodi in tema daje influenčni stroj ali iskrni induktor precej veliko istosmerno napetost. Tako cev imenujemo Geißlerjevo cevko. Pri poskusih rabimo celo vrsto cevi, v katerih je zrak različno razredčen.

V ceveh, kjer je pritisk zraka približno 50 mm in imata elektrodi precej veliko istosmerno napetost, zaznamo na njih modrikasto svetli točki. Pritisk zraka merimo v barometru z višino živosrebrne nitke, ki jo nosi zrak. Nerazredčeni zrak ima 760 mm pritiska in nosi prav tako visoko živosrebrno nitko. V cevi, kjer ima zrak 10 mm pritiska, vidimo med elektrodama violeten ozek žarek. Katoda je obdana z modrikastim sijajem, violetna svetloba pa se od anode razteza skoraj do katode in od nje jo loči ozek temen prostor. Čim redkejši je zrak, 3 do 1 mm , tem širši je žarek. Opazujemo, da je svetloba v žarku skladoma zložena, t. j., po vsej dolžini žarka se skoraj v enakih presledkih menjujejo svetli in temni skladi. Svetloba, ki jo izžariva v razredčenem zraku anoda, se imenuje pozitivna svetloba. Različni plini svetijo v posebnih, zanje značilnih barvah. Po teh barvah jih spoznamo in ločimo.

Na amperometru, ki ga vklenemo pred cev, zaznamo, da teče skoz njo tok, čigar jakost raste z razredčenostjo zraka v cevi. Redkejši zrak propušča jačji tok, pa le do neke meje, pri kateri so tudi svetlobni pojavi v cevi najlepši. Pri še redkejšem

zraku je svetlobni pojav medlejši in jakost toka manjša. Končno izgine vsa svetloba in cev ne provaja toka. Pri precejšnjem pritisku zraka v cevi se ioni ne morejo prosto gibati in nimajo posebne hitrosti, pri zelo majhnem pritisku pa je v cevi premalo ionov in tudi zrak je že preveč razredčen, da se zračni delci in ioni več ne zadevajo. Predstavljamo si namreč, da žari zrak (plin) v cevi radi omenjenih trkov.

Če izpreminja napetost na elektrodah svojo smer, potem zamenjata tudi anoda in katoda svoji mesti; izmenična napetost povzroča izmenični tok skozi cev.

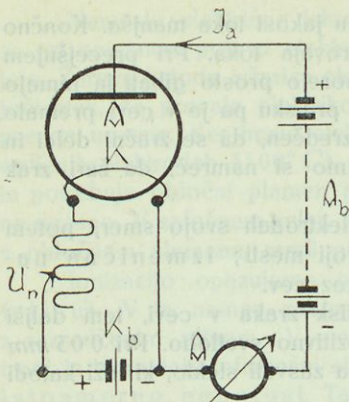
Čim manjši od 1 mm je pritisk zraka v cevi, tem daljši je temni prostor med katodo in pozitivno svetlobo. Pri $0,03\text{ mm}$ izgine pozitivna svetloba, obenem pa zasveti steklo, ki leži katodi nasproti, v zelenkasti barvi.

Katoda izžariva temne, očem nevidne, katodne žarke, ki se razširjajo premočrtno in delujejo fotografično. Tako prirejeno cevko imenujemo kratko katodno cevko. Zlasti je pomembno, da magnetne in električne sile odklanjajo katodne žarke z njihove poti, pri tem ko ne vplivajo na svetlobne žarke. Sodimo, da izžariva katoda čiste elektrone.

V katodnih žarkih imamo torej proste elektrone. Bolj enostavno pridobivamo v radiotehniki proste elektrone, če segrevamo katodo, da belo žari. Tako visoko temperaturo vzdrži le malo kovin, najboljše volfram, ki se tali pri 3540°C . Tudi torij je v ta namen poraben, četudi ga manj segrevamo, da žari rumeno. Največ elektronov pa izžarivajo nekateri oksidi, če jih segrevamo le toliko, da žare rdeče. Oksid je spojina prvine s kisikom.

Ižžarivanje elektronov je podobno izhlapevanju tekočine pri vrenju. Kakor izhaja pri vrenju iz tekočine para, tako izžariva ali emitira žareča kovina pri določeni temperaturi elektrone. Ta pojav se imenuje emisija elektronov.

Najprimerneje segrevamo kovinsko žico, ki jo kot katodo napeljemo skozi majhno katodno cevko, z električnim tokom, z netilnim tokom I_n , ki nam ga daje posebna netilna ali katodna baterija K_b . Žico imenujemo netilno nitko. Da



Sl. 168.

Dvoelektrodna elektronska cevka.

izpreminjamo jakost netilnega toka in segrevamo nitko do poljubne temperature pod njenim tališčem, je v netilnem krogu poseben izpremenljiv upor, netilni upor. Z oksidom (n. pr. kalcijevim oksidom), ki ga hočemo rabiti kot katodo, prevlečemo čisto kovinsko žico in jo vtalimo v cevko kakor prej. Kot anodo vdelamo v cevko precej veliko ploščico. Tako prirejena katodna cevka je simbolično narisana na sliki 168. Imenujemo jo dvoelektrodno elektronsko cevko ali diodo.

V katodni cevki je zrak razredčen do približno $0,03 \text{ mm}$ pritiska. Tako razredčenje nam v elektronski cevki ne zadostuje, ker hočemo preprečiti v njej vsako ionizacijo plina s sunki in delati le z elektroni, ki jih izžariva žareča nitka, kajti le izžarjeni elektroni provajajo tok. Zato moramo v cevki zrak zelo razredčiti, najmanj na 10^{-6} (milijonino) mm . Z modernimi razredčevalkami dosežemo precejšnjo praznino (vakuum), vendar je treba še posebnega postopanja, da postane praznina v cevki kar največja.

Anodna ploščica je navadno iz niklja in prav dobro uglajena (polirana). Vemo, da zgošča (okludira) vsako trdno telo na svojem površju zračno plast, ki jo lahko odstranimo le s segrevanjem in skrbnim čiščenjem. Tako se zgosti zračna plast zlasti na cevkini anodi. Da jo odstranimo, segrevamo anodo umetno, da žari. Preden pa vdelamo anodo v cevko, pritrdimo nanjo košček magnezija, ki pri žareči anodi izpari in se uleže na mrzlo steklo kot zrcalo. Magnezij namreč hlastno vsrkava zrak. Magnezijevo zrcalo z veliko površino vsrka torej vsaj deloma oni zrak, ki ga

nismo mogli odstraniti z razredčevalko. Cevka z zrcalom ima kar največjo praznino.

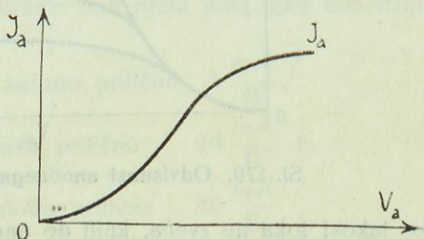
Sedaj rabimo v radiotehniki le cevke z največjo praznino. V taki cevki je zrak že toliko razredčen, da je vsaka ionizacija nemogoča. Iz nitke izžarjene elektrone privlačuje pozitivno naelektrena anoda in elektroni se gibljejo neovirano od katode k anodi. Čim več elektronov pride v sekundi na anodo, tem večjo jakost ima emisijski in anodni tok I_a . Emisijski tok teče v cevki, anodni pa zunaj. V našem primeru sta oba toka enaka.

Elektronske cevke, ki imajo največjo praznino in nitke prevlečene s primernim oksidom ter izžarivajo že pri nizki temperaturi veliko elektronov, imenujemo varčne ali miniwattne cevke, ker potrebujejo prav malo netilnega toka.

Ker v miniwattni cevki nič ne ovira elektronov na njihovi poti od katode proti anodi, dosežemo emisijo elektronov že pri manjši napetosti, kakor smo jo rabili, ko smo proizvajali katodne žarke. Napetost, ki deluje med anodo in katodo, se kratko imenuje anodna napetost V_a . Dobimo jo iz posebne baterije A_b , ki jo imenujemo anodno baterijo, če zvežemo njen pozitivni pol s cevkino anodo, negativni pa z negativnim polom katodne baterije, kakor vidimo na sliki 168.

Jakost emisijskega toka I_a je odvisna od anodne napetosti V_a . Če raste anodna napetost, raste v splošnem tudi emisijski tok, kakor kaže slika 169., ki predstavlja karakteristiko cevke. Karakteristika je kriva črta, ali drugače povedano, jakost emisijskega toka ni premo sorazmerna anodni napetosti in za ta tok ne velja Ohmov zakon. Ta pojav si razlagamo takole:

Elektroni zapuščajo z majhno hitrostjo žarečo nitko in se ne oddaljujejo daleč od nje. Nitka je

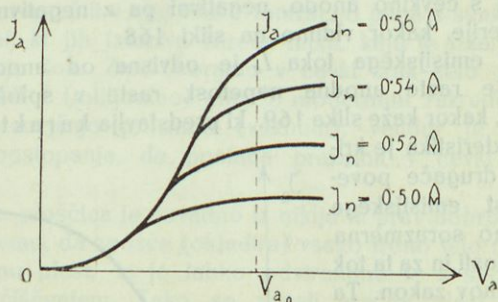


Sl. 169. Odvisnost emisijskega toka od anodne napetosti.

prvotno neelektrična. Ker izžariva elektrone, postaja z ozirom na negativne elektrone pozitivno električna in jih zadržuje v svoji bližini. Vsak elektron najde v neposredni bližini nitke veliko elektronov in vsi ga odbijajo in tiščijo proti katodi nazaj.

Čim več elektronov je nitka že izžarela, na tem več ovir naletijo naslednji elektroni. V prostoru okoli nitke nastane v kratkem cel oblak elektronov, ki prosto vise. Ta pojav imenujemo prostorsko naelektrenost, ki zabranjuje, da ne more še več elektronov zapustiti nitke. Emisija elektronov se radi prostorske naelektrenosti zmanjša.

Če ima anoda majhno pozitivno napetost, privlačuje le one elektrone, ki so ji najbližji. Čim večja pa je anodna napetost, tem jače privlačuje anoda elektrone in razpršuje prostorsko naelektrenost; emisijski in anodni tok raste (slika 169.). Ako dajemo anodi vedno večjo napetost, pri tem ko ostane njena razdalja od katode ista, raste jakost toka. Končno dosežemo stanje, ko pride vsak hip toliko elektronov do anode, kolikor jih katoda izžari. Četudi še nadalje zvišujemo anodno napetost,



Sl. 170. Odvisnost anodnega toka od netilnega.

se jakost toka ne zveča, kajti do anode ne pride več elektronov v sekundi, kakor jih je prej, ker jih katoda ne more več izžarivati. Zato se upogne cevkina karakteristika in prehaja v

ravno črto. Opisano stanje imenujemo nasičenje, kjer imamo tok nasičenja in napetost nasičenja.

Ako ojačimo netilni tok I_n , raste nitki temperatura in število v istem času izžarjenih elektronov se zveča. Slika 170. kaže, kako raste anodni tok z netilnim pri isti anodni napetosti. Ako zvišamo anodno napetost, a se temperatura nitke ne izpremeni, raste tudi tukaj anodni tok, dokler zopet ne dosežemo nasičenja. Pri vsaki jakosti netilnega toka ima cevka drugo karakteristiko. Isti slučaj obravnava slika 171. Krivka, ki kaže, kako je odvisen anodni tok od netilnega, je strma in pri prevelikem netilnem toku (na sliki pri $0.6 A$) nitka pregori. S poskusom lahko dokažemo, da pregori nitka tem prej, čim bolj jo segrevamo in s tem izrabljamo.

Če znaša tok nasičenja $I_{a, max} = 10 mA$ in rabimo za segrevanje nitke $2 W$, potem pravimo, da imamo emisijo $5 \frac{mA}{W}$, (t.j.,

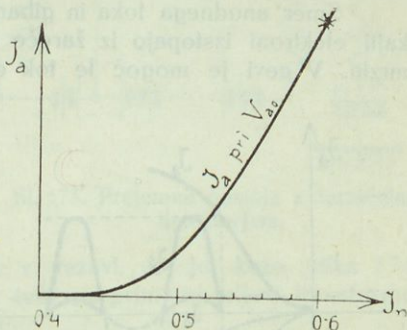
$5 mA$ na watt netilnega toka). Da se cevka prehitro ne obrabi in gori najmanj 1000 ur, moramo dati njeni nitki take dimenzije, da dobimo pri cevkah

z volframovo katodo prilično $1 \frac{mA}{W}$,

s torijevo katodo prilično $20 \frac{mA}{W}$ in

z oksidovo katodo "prilično $40 \frac{mA}{W}$.

Pri torijevi ali oksidovi katodi v splošnem ne dosežemo stanja nasičenja, ker nitka prej pregori. — Elektronsko cevko z debelejšo

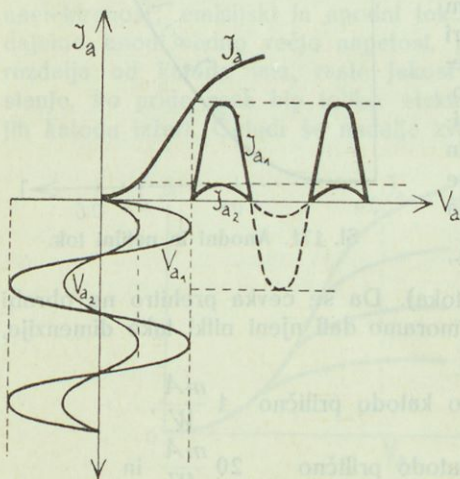


Sl. 171. Anodni in netilni tok.

volframovo nitko, kakor jo rabijo v oddajni postaji, smemo segrevati do $5 \frac{mA}{W}$.

Nitko segrevamo z akumulatorsko baterijo. Njena napetost ni stalna in se zmanjšuje, če baterijo dalje časa rabimo. Zato potrebujemo izpremenljiv upor, da izpreminjamo jakost netilnega toka in ne segrevamo nitke z jačjim tokom, kakor ga je predpisala tovarna, ki je cevko izdelala in preskusila. Pri večjem netilnem toku je emisija elektronov večja, a cevka se hitreje obrabi.

Smer anodnega toka in gibanje elektronov se ne ujemata, kajti elektroni izstopajo iz žareče nitke, ne pa iz anode, ki je mrzla. V cevi je mogoč le tok od anode h katodi, kakor še



Sl. 172. Usmerjenje z elektronsko cevko.

vedno označujemo smer toka po starejšem naziranju v elektrotehnikah. Če ima anoda negativno napetost, ne more teči tok skozi cevko, ker negativna anoda elektrone odbija.

Ako ima anoda izmenično napetost, potem propušča cevka le one polovice toka, pri katerih je anoda pozitivna (slika 172.). Vidimo, da usmerja elektronska cevka izmenični tok in propušča istosmerni tok le v eni smeri, v nasprotni pa ne, ker je tedaj njen upor neskončno

velik. Cevka pretvarja izmenični tok v popuščajoč istosmerni tok in je najpopolnejše usmerjevalo toka, boljše od kristalnega detektorja.

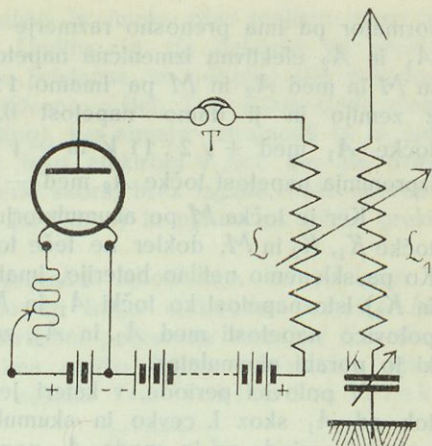
Opisana dvoelektrodna cevka je najboljši detektor in se je prvotno tudi rabila kot žarnični detektor, ki deluje zanesljiveje ko navadni detektor in je občutljivejši od njega. Slika 173. predstavlja prejemno postajo z žarničnim detektorjem. Ker potrebuje dve bateriji, se ne uporablja

Pač pa porablja dvoelektrodno cevko, če hočemo polniti akumulator z izmeničnim tokom. Navadno

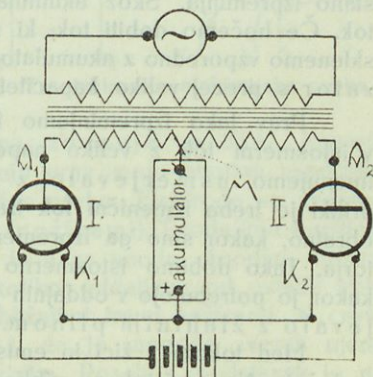
rabimo pri tem dve cevki v vezavi, ki jo kaže slika 174.

Omrežni izmenični tok teče po primarni tuljavi transformatorja, čigar sekundarno tuljavo smo razdelili v točki M v dve polovici. Njena pola A_1 in A_2 zvežemo z anodama dveh usmerjevalnih cevk I in II. Katodi K_1 in K_2 istočasno segrevamo s posebno baterijo do primerne temperature. Akumulator vklenemo med katodama in središčem sekundarne tuljave M .

Recimo, da nam daje omrežje izmenični tok z efektivno napetostjo 220 V, trans-



Sl. 173. Prejemna postaja z žarničnim detektorjem.



Sl. 174. Dvojno usmerjevalo.

formator pa ima prenosno razmerje 10:1, potem obstaja med A_1 in A_2 efektivna izmenična napetost 22 V, med točkama A_1 in M in med A_2 in M pa imamo 11 V. Če zvežemo točko M z zemljo in ji damo napetost 0, se izpreminja napetost točke A_1 med $+\sqrt{2} \cdot 11$ V in $-\sqrt{2} \cdot 11$ V, istočasno pa se izpreminja napetost točke A_2 med $-\sqrt{2} \cdot 11$ V in $+\sqrt{2} \cdot 11$ V.

Ker je točka M po akumulatorju v zvezi s K_1 in K_2 , imajo točke K_1 , K_2 in M , dokler ne teče tok po cevkah isto napetost. Ko pa sklenemo netilno baterijo, imata točki A_1 in K_1 (ozir. A_2 in K_2) isto napetost ko točki A_1 in M (ozir. A_2 in M), namreč polovico napetosti med A_1 in A_2 , zmanjšane za ono napetost, ki jo porabi akumulator.

V polovici periode, v kateri je anoda A_1 pozitivna, teče tok od A_1 skoz I. cevko in akumulator proti točki M . V isti polovici periode pa je anoda A_2 negativna; skoz II. cevko tedaj ni toka. V naslednji polovici periode pa se razmerje zaobrne in tok teče od A_2 skoz II. cevko in akumulator proti točki M .

V obeh slučajih ima tok isto smer skoz akumulator, namreč od spodaj navzgor, in je usmerjen, njegova jakost pa se neprestano izpreminja. Skoz akumulator teče popuščajoč istosmerni tok. Če hočemo dobiti tok, ki se bolj približuje stalnemu toku, sklenemo vzporedno z akumulatorjem pomirjevalni kondenzator s precej veliko kapaciteto (najmanj 1 μF).

Prav tako izpreminjamo izmenični tok z nizko napetostjo v istosmerni tok z veliko napetostjo v posebni napravi, ki jo imenujemo usmerjevalo z največjo praznino. Pri tej priliki je treba izmenični tok transformirati navzgor, torej ravno obratno, kakor smo ga izpremenjali prej pri polnjenju akumulatorja. Tako dobimo istosmerno napetost 20.000 V ali še več, kakor jo potrebujejo v oddajnih postajah. Slično deluje usmerjevalo z žlahtnim plinom.

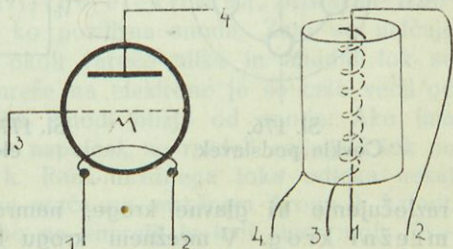
Med tokom v žici in emisijskim tokom v cevki je bistven razloček. Navadni tok se giblje v žici, emisijski se razširja skoz skoraj brezračno cevko, oba pa nastaneta radi gibljivih elek-

tronov. Elektroni so negativni in imajo prav majhno maso in skoraj nobene vztrajnosti. Umljivo je, da delujejo na proste elektrone v cevki električne privlačne in odbojne sile vse drugače, kakor na gibljive elektrone v žici. Tem silam slede elektroni v cevki trenutno (idealno), ker nimajo vztrajnosti in je njih masa zelo majhna, ne pa tako elektroni v žici, ker jih ovira tvarina žice. Elektrone v cevki skoraj brez izgube, brez uporabe energije, poljubno vodimo (krmilimo) in njihov tok lahko prekinemo, a tudi pospešimo.

Cevko z največjo praznino izboljšamo, če vdelamo v njo med anodo in katodo še tretjo elektrodo, mrežo *M*. Mreža vpliva s svojim električnim poljem na emisijski tok skozi cevko. Da ga ne ovira, ima obliko špirale ali mreže, odtod tudi njeno ime. Tako je nastala troelektrodna elektronska cevka ali trioda, ki ima obliko, kakor jo kaže slika 175.

Leva slika je simbolična.

Rabimo že tudi elektronsko cevko s štiri elektrodami, ki se imenuje tetroda ter se razlikuje od triode v glavnem v tem, da ima dve mreži; bliže katode

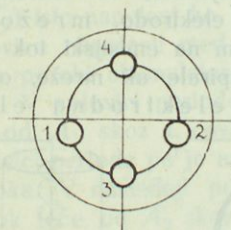


Sl. 175. Troelektrodna elektronska cevka.

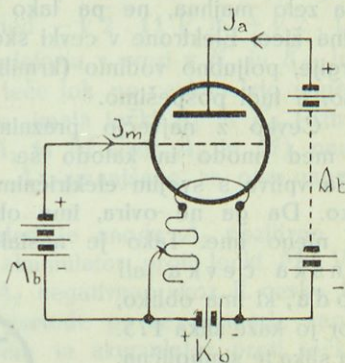
je notranja, bliže anode pa zunanja mreža. Aparati, ki porabljajo tetrodo, potrebujejo prav malo anodne napetosti.

Največ rabimo troelektrodne cevke. Elektrode so zvezane zunaj cevke s posebnimi stikači (nožicami). Trioda ima 4 nožice, 1. in 2. za katodo, 3. za mrežo in 4. za anodo. Anodina nožica je naznačena s tem, da je nekoliko oddaljena od ostalih treh, mrežina pa je srednja med najbližnjimi tremi nožicami. K cevki spada podstavek (slika 176.), da je mogoče zvezati njene elektrode s primernimi viri elektrike. Poseben podstavek je na peresih, da ne motijo cevke mehanični tresljaji.

Elektronske cevke dopuščajo različne vezave. Principielno vezavo nam podaja slika 177., ki se razlikuje od slike 168. v tem, da smo zvezali cevkino mrežo s pozitivnim polom mrežne baterije M_b , njen negativni pol pa s katodo. Na sliki



Sl. 176.
Cevkin podstavek.



Sl. 177. Principielna vezava elektronske cevke.

razločujemo tri glavne kroge, namreč netilni, anodni in mrežni krog. V mrežnem krogu teče mrežni tok I_m od mreže na katodo, kakor teče anodni tok I_a od anode skoz cevko na katodo. Če zaobrnemo mrežno baterijo tako, da damo mreži negativno napetost, ni mrežni tok več mogoč, ker ga cevka ne propušča. Mrežni tok teče le pri pozitivni mreži. Mrežo lahko naelektrimo tudi statično, pozitivno ali negativno. Pri pozitivni mreži se razdeli emisijski tok na anodni in mrežni tok.

Če sklenemo le katodno in anodno baterijo in je mreža neelektrična, deluje cevka ko dvoelektrodna cevka. Emisijski tok teče neovirano skoz neelektrično mrežo in je enak anodnemu toku zunaj cevke.

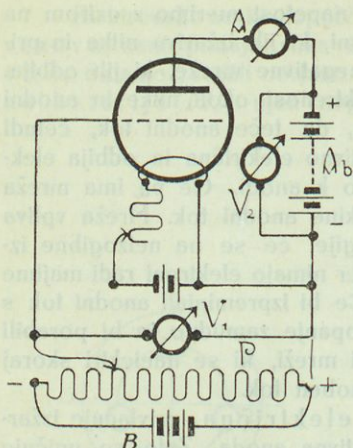
Če ima mreža pri sklenjeni katodni in anodni bateriji negativno napetost, vpliva na izžarjene elektrone in s tem

na anodni tok. Mrežno in anodno napetost merimo z ozirom na negativni pol žareče nitke. Elektroni, ki jih izžariva nitka in privlačuje anoda, pridejo v bližino negativne mreže, ki jih odbija. Zato se poveča prostorska naelektrenost okoli nitke in anodni tok oslabi. Principielno važno je, da teče anodni tok, četudi oslavljen, ko je mreža slabo negativno električna in odbija elektrone. Elektroni gredo skoz mrežo k anodi. Če pa ima mreža zadostno negativno napetost, prekine anodni tok. Mreža vpliva na anodni tok brez uporabe energije, če se na neizogibne izgube ne oziramo, vpliva hipoma, ker nimajo elektroni radi majhne mase skoraj nobene vztrajnosti. Če bi izpreminjali anodni tok s posebnim uporom, bi bilo to postopanje zamudno in bi porabili precej energije. Vsega tega ni pri mreži, ki se naelektri skoraj brez izgub, ker ne teče po njej noben tok.

Če je mreža pozitivno električna, privlačuje izžarjene elektrone prav tako ko pozitivna anoda. Zato se uničuje prostorska naelektrenost okoli žareče nitke in anodni tok se ojačuje. Vpliv pozitivne mreže na elektrone je še celo večji od vpliva anode, ker je mreža katodi bližja od anode. Ako ima mreža precejšnjo pozitivno napetost, se razdeli emisijski tok na anodni in mrežni tok. Radi mrežnega toka odteka nekaj elektronov na mrežo in se vrača po mrežnem krogu h katodi. Mrežni tok pomenja izgubo na energiji in tudi sicer moti. Preprečujemo ga, da naelektrimo mrežo stalno negativno in ji damo negativno dodatno napetost, kakor pravimo. Da pa dobimo kljub temu zadosti jak anodni tok, potrebujemo precejšnjo anodno napetost.

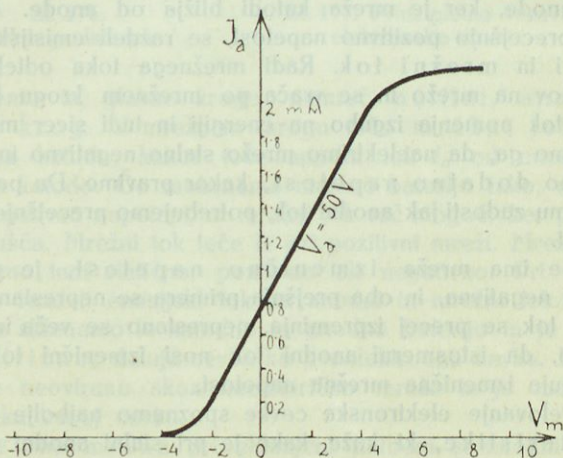
Če ima mreža izmenično napetost, je pozitivna, nato pa negativna, in oba prejšnja primera se neprestano vrstita. Anodni tok se precej izpreminja, neprestano se veča in manjša. Pravimo, da istosmerni anodni tok nosi izmenični tok, ki ga povzročuje izmenična mrežna napetost.

Delovanje elektronske cevke spoznamo najbolje iz njene karakteristike, ki kaže, kako je pri stalni anodni napetosti V_a anodni tok I_a odvisen od mrežne napetosti V_m . Slika 178.



Sl. 178. Določevanje cevke karakteristike.

nas uči, kako razporedimo in zvežemo posamezne aparate, ko določamo cevkino karakteristiko. Potenciometer P je zvezan s stalno baterijo B 10 V. Mreži dajemo napetost od -10 do $+10$ V. Z voltmetrom V_1 merimo mrežno napetost in jo rišemo na abscisno os, kakor vidimo na sliki 179. Občutljiv amperometer A meri jakost anodnega toka, ki jo nanašamo na ordinatno os. Z voltmetrom V_2 merimo anodno napetost, n. pr. 50 V, ki je med poskusom ne izpreminjamo. Če zvežemo tako dobljene točke, dobimo krivo črto, ki se imenuje karakteristika cevke.



Sl. 179. Karakteristika elektronske cevke.

Ko je mreža neelektrična, je jakost anodnega toka $0{,}8 \text{ mA}$. Če ima mreža napetost -2 V , meri anodni tok $0{,}2 \text{ mA}$ in pri mrežni napetosti $+2 \text{ V}$ ima anodni tok jakost $1{,}2 \text{ mA}$. Anodni tok je šestkrat večji, če naraste mrežna napetost za 4 V . Tako dobimo velike izpremembe anodnega toka, ako se mrežna napetost le malo izpremeni. Z elektronsko cevko ojačujemo slabe izmenične toke.

Izpremembe anodnega toka so velike, ako je karakteristika strma in se dviga precej navpično. Govorimo o dvigu ali strmoti elektronske cevke in jo merimo pri stalni anodni napetosti z razmerjem med izpremembo jakosti anodnega toka i_a in izpremembo mrežne napetosti v_m , ki je izpremenila jakost.

$$S = \frac{i_a}{v_m} \quad (44)$$

Če se izpremeni na sliki 179. mrežna napetost od 0 do $+2 \text{ V}$ ($v_m = 2 \text{ V}$), naraste anodni tok od $0{,}8$ do $1{,}2 \text{ mA}$ ($i_a = 0{,}4 \text{ mA}$). Karakteristika ima v tej točki strmoto:

$$S = \frac{0{,}4}{2} = 0{,}2 \frac{\text{mA}}{\text{V}}.$$

Normalne cevke imajo $0{,}1$ do $1 \frac{\text{mV}}{\text{A}}$ strmote.

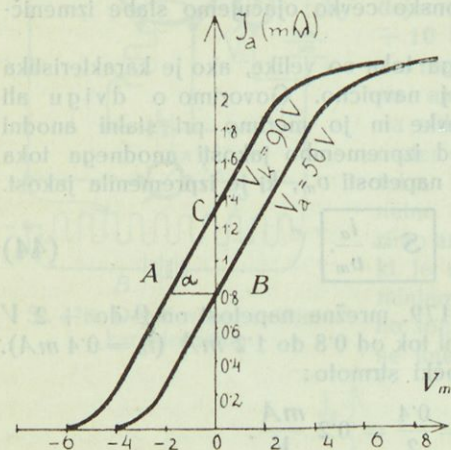
Strmota cevke je tudi enaka trigonometrični tangenti naklonskega kota, ki ga oklepa karakteristika s pozitivno abscisno osjo v omenjeni točki.

$$S = \operatorname{tg} \alpha. \quad (45)$$

Anodni tok se le v ravnem delu karakteristike precej izpreminja, kajti le tam ima cevka veliko strmoto. Če pa delamo blizu kolena karakteristike, se tok prav malo in z ozirom na os nesimetrično izpreminja. Ako se izpremeni na označeni sliki mrežna napetost od -4 do -2 V , naraste anodni tok od 0 do

0.2 mA , pri tem ko se izpremeni tok v presledku od 0 do $+2 \text{ V}$ za 0.4 mA . Čim večja je strmosta cevke v presledku, kjer se mrežna napetost izpreminja, tem jače se izpreminja anodni tok.

Če preiskujemo delovanje elektronske cevke pri dveh različnih anodnih napetostih, dobimo dve karakteristiki (slika 180.).



Sl. 180. Karakteristiki elektronske cevke pri dveh različnih anodnih napetostih.

premeni. Tako dobimo anodni tok $I_a = 0.8 \text{ mA}$ pri anodni napetosti $V_a = 50 \text{ V}$ in mrežni napetosti $V_m = 0$ pa tudi pri $V_k = 90 \text{ V}$ in $V_m = -2 \text{ V}$. Izprememba mrežne napetosti za 2 V ($= v_m$) izpreminja anodni tok za prav toliko, kakor ga izprememba anodne napetosti za 40 V ($= v_a$). Razmerje med izpremembo mrežne in izpremembo anodne napetosti pri istem anodnem toku je za cevko karakteristična količina, ki jo imenujemo njen presežek D .

(46)

$$D = \frac{v_m}{v_a}.$$

Leva krivka da jakost anodnega toka pri izpremenljivi mrežni napetosti, ko znaša anodna napetost 90 V in desna pri anodni napetosti 50 V . Pri večji anodni napetosti se pomakne vsa karakteristika na levo koordinatnega soredja. Slika nas uči, da lahko dobimo isti anodni tok na dva različna načina. Pri večji anodni napetosti moramo tudi negativno mrežno napetost primerno zvišati, da se jakost anodnega toka ne iz-

V opisanem primeru je preseg $D = \frac{2}{40} = \frac{1}{20} = 5\%$ in se navadno izraža v odstotkih; $\frac{1}{20}$ pomnožimo s 100 in dobimo 5%. Pri normalnih cevkah znaša preseg 5–30%.

Preseg je mera za to, kako deluje anodna napetost skozi mrežo na izžarjene elektrone, in je tem manjši, čim večja je razdalja med anodo in katodo od razdalje med mrežo in katodo in čim gostejša je mreža. Da je karakteristika cevke strma, mora biti mreža prav blizu katode, ker se tako poveča vpliv mrežne napetosti na elektrone.

Tretja karakteristična količina vsake cevke je njen notranji upor U_n , s katerim se cevka upira izmeničnemu toku. Notranji upor cevke se imenuje razmerje med izpremembo anodne napetosti v_a in izpremembo anodnega toka i_a pri isti mrežni napetosti V_m .

$$U_n = \frac{v_a}{i_a} \quad (47)$$

V našem primeru naraste anodni tok I_a od 0.2 do 0.8 mA, če zvišamo pri isti mrežni napetosti (– 2 V) anodno napetost od 50 na 90 V. Torej je

$$U_n = \frac{90-50}{\frac{0.8}{1000} - \frac{0.2}{1000}} = \frac{40}{\frac{0.6}{1000}} = \frac{40.000}{0.6} = \frac{400000}{6} = 67.000 \, \Omega.$$

Notranji upor nima tako stalne vrednosti, kakor je Ohmov upor žice, temveč se močno izpreminja. Če nitka ne žari, je notranji upor neskončno velik, ker pri mrzli nitki cevka ne propušča nobenega toka. Ko nitka žari, se notranji upor cevke zmanjšuje in je tem manjši, čim višja je temperatura nitke. Pri negativni anodi je ta upor zopet neskončno velik, ker je emisijski tok prekinjen.

Z enako upravičenostjo upoštevamo tudi upor cevke med katodo in mrežo, ki ga imenujemo mrežni upor.

$$U_m \doteq 10^7 \Omega.$$

Ker ima mreža navadno negativno napetost in nimamo v mrežnem krogu nobenega toka, mora biti mrežni upor neskončno velik. Vendar pa ne more biti ta upor večji od izolacijskega upora v cevkinem podnožku; računamo ga na $10^7 \Omega$. — Mrežni upor cevke je veliko večji od notranjega upora, čeprav predstavlja krajšo razdaljo, saj je nameščena mreža med katodo in anodo. Že iz tega vzroka spoznamo, da pri cevki nimamo uporov v Ohmovem zmislu.

Strmota S , preseg D in notranji upor U_n so pri vsaki cevki med seboj v zvezi, in sicer je

$$(48) \quad \boxed{SDU_n = 1 \text{ ali } \frac{i_a}{v_m} \cdot \frac{v_m}{v_a} \cdot \frac{v_a}{i_a} = 1.}$$

Produkt iz vseh treh količin, ki so karakteristične za cevko, imenujemo cevkino enačbo.

Na sliki 180. je v trikotniku ABC $v_m = 2 \text{ V}$, $v_a = 40 \text{ V}$ in $i_a = 0.0005 \text{ A}$. Iz tega sledi:

$$S = \frac{i_a}{v_m} = \frac{0.0005}{2} \left(\text{ali } 0.25 \frac{\text{mA}}{\text{V}} \right), \quad D = \frac{v_m}{v_a} = \frac{2}{40} = \frac{1}{20}$$

$$\left(\text{ali } 5\% \right), \quad U_n = \frac{v_a}{i_a} = \frac{40}{0.0005} \left(\text{ali } 80.000 \Omega \right) \text{ in}$$

$$SDU_n = \frac{0.0005}{2} \cdot \frac{2}{40} \cdot \frac{40}{0.0005} = 1.$$

Cevkina enačba je važna, ker lahko izračunamo iz dveh znanih cevkinih količin tretjo, ki je neznana.

Da cevko lahko primerno porabljam, moramo poznati vse njene podatke s karakteristiko vred. Cevkine podatke je iz-

dala tovarna, ki je cevko izdelala in preskusila. Tako ima Philipsova miniwattna cevka A 409 tele podatke:

netilna napetost: $3.4 - 4 \text{ V}$,

netilni tok: 0.06 A ,

tok nasičenja: 15 mA ,

anodna napetost: $10 - 120 \text{ V}$,

mirovni tok: 9 mA ,

ojačevalni faktor: 9,

presega: 11% ,

strmota (največja): $0.9 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$,

notranji upor (najmanjši): 10.000Ω .

Cevkina enačba se glasi: $SDU_n = 0.0009 \cdot \frac{11}{100} \cdot 10.000 = 0.99 \approx$

≈ 1 . Ojačevalni faktor je enak obratni vrednosti presega $\left(\frac{1}{D}\right)$.

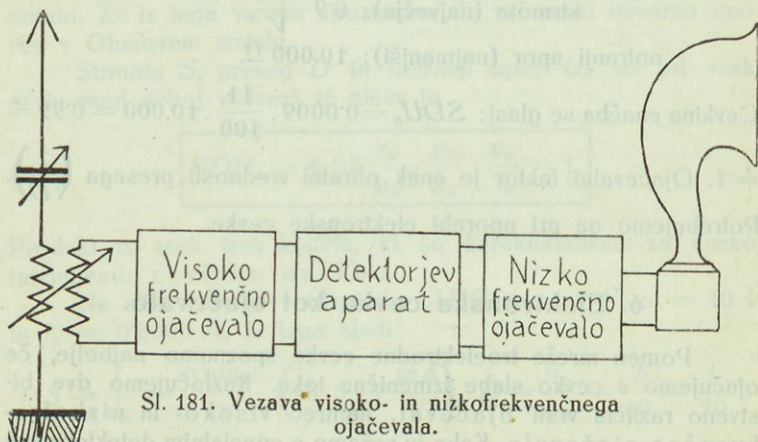
Potrebujemo ga pri uporabi elektronske cevke.

6. Elektronska cevka kot ojačevalo.

Pomen mreže troelektrodne cevke spoznamo najbolje, če ojačujemo s cevko slabe izmenične toke. Razločujemo dve bistveno različni vrsti ojačeval, namreč visoko- in nizkofrekvenčno ojačevalo. Kako ju vežemo s specialnim detektorjevim aparatom, nas pouči slika 181. V konstrukciji ni razločka med obema ojačevaloma, pač pa je v njuni vezavi. Visokofrekvenčno ojačevalo se veže med antenskim krogom in prejemnim aparatom, ojačuje visokofrekvenčni tok, ki ga prejema antena, in veča občutljivost aparata. Na prav slabe visokofrekvenčne toke prejemni aparat ne reagira, zato jih ojačujemo, preden pridejo do njega. Med prejemnim aparatom in slušalom ali zvočnikom pa sklepamo nizkofrekvenčno ojačevalo, ki ojačuje po detektorju usmerjeni tok in veča jakost zvoka v slušalu.

Iz cevke karakteristike spoznamo, da povzroče male izpremembe v mrežni napetosti velike izpremembe v anodnem toku (slika 182.). Če vpliva na mrežo izmenična napetost, ki se izpreminja med -2 in $+2$ V, je istosmerni anodni tok $I_o = 0.4$ mA in nosi izmenični tok s tem večjo amplitudo ($i_a = 0.2$ mA), čim navpičneje se dviga cevkina karakteristika, čim večja je njena strmoća.

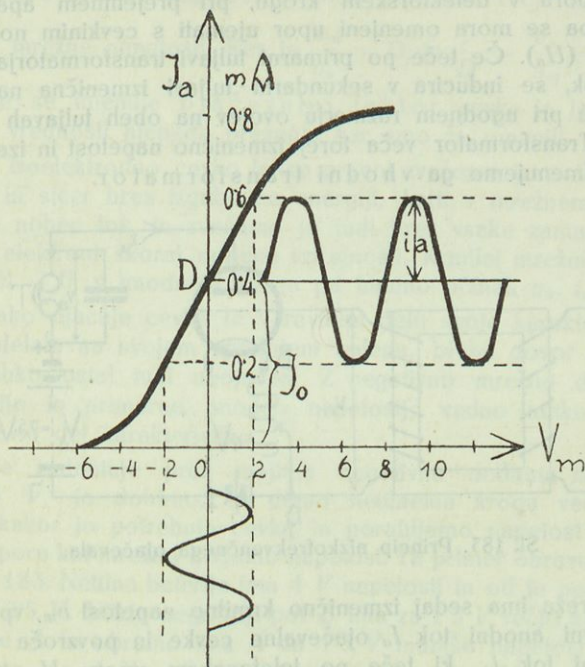
Za ojačenje rabimo cevke velike strmote in majhnega presega. Pri majhnem presegu se namreč dviga cevkina karakteristika bolj navpično, ker je mreža pritrjena prav blizu nitke. Da preprečimo mrežni tok, ki pomenja izgubo energije, in dosežemo



Sl. 181. Vezava visoko- in nizkofrekvenčnega ojačevala.

ravni del karakteristike že pri majhni negativni mrežni napetosti, odberemo anodno napetost tako, da se pomakne vsa karakteristika bolj na levo koordinatnega soredja. Ojačevalna cevka potrebuje precej anodne napetosti. Pri cevkah, pri katerih zaradi večje anodne napetosti ne pridemo do ravnega dela karakteristike, damo mreži stalno negativno napetost, ki jo imenujemo njeno dodatno napetost (glej stran 183!). Točko v karakteristiki, kjer cevka deluje, imenujemo njeno delovališče. Če si izberemo delovališče v ravnem delu karakteristike, n. pr. v točki D

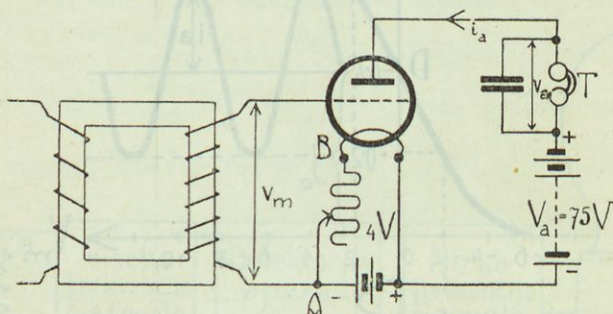
na sliki 182., potem cevka najbolj ojačuje izmenični tok. Le tukaj odgovarja majhni izpremembi mrežne napetosti velika izprememba anodnega toka.



Sl. 182. Ojačenje s cevko.

Princip ojačevala kaže slika 183. Energija, ki jo ojačujemo, prihaja od leve strani. Pred cevko se navadno vklene transformator, ki deluje najugodnejše, če ima njegova sekundarna tuljava toliko upora, kolikor znaša mrežni upor ojačevalne cevke ($U_m = 10^7 \Omega$), primarna tuljava pa isti upor ko aparat na levi. Vemo namreč, da daje baterija in sploh vsak vir elektrike naj-

jači tok, kadar je njegov notranji upor enak zunanjemu uporu vsega vodičja ($u_n = u_z$). Pri aparatu z detektorjem mora biti upor primarne tuljave transformatorja enak, ali vsaj približno enak upor v detektorskem krogu, pri prejemnem aparatu s cevko pa se mora omenjeni upor ujemati s cevkinim notranjim uporom (U_n). Če teče po primarni tuljavi transformatorja izmenični tok, se inducira v sekundarni tuljavi izmenična napetost, ki se dá pri ugodnem razmerju obojev na obeh tuljavah še povečati. Transformator večja torej izmenično napetost in izenačuje upore. Imenujemo ga vhodni transformator.



Sl. 183. Princip nizkofrekvenčnega ojačevala.

Mreža ima sedaj izmenično krmilno napetost v_m , vpliva na istosmerni anodni tok I_a ojačevalne cevke in povzroča v njem izmenični tok i_a , ki teče po telefonskem uporu U_l , kjer se zmanjša njegova napetost za

$$i_a \cdot U_l = v_a.$$

Tudi tukaj je prenos energije največji, če je upor telefona enak notranjemu uporu cevke ($U_l = U_n$). Če ima cevka primerne in ugodne podatke, more biti izmenična napetost v_a na telefonu veliko večja od mrežne krmilne napetosti v_m . Recimo, da ima to razmerje vrednost 10. Potem je

$$\frac{v_a}{v_m} = 10 \text{ ali } v_a = 10 v_m.$$

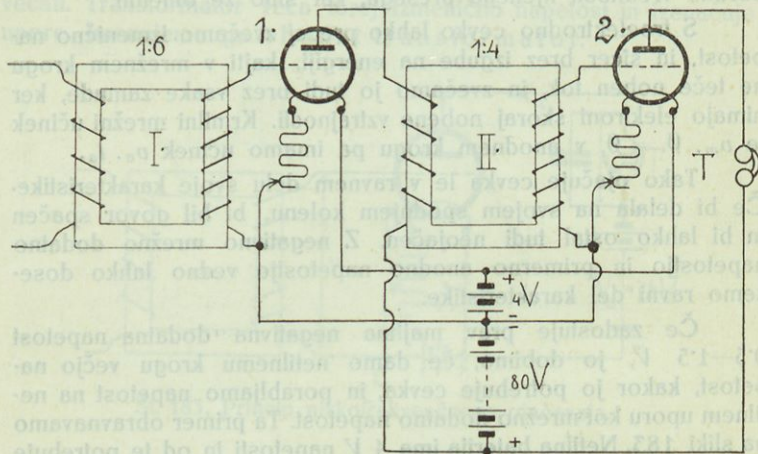
Izprememba anodne napetosti je torej desetkrat večja od izpremembe mrežne napetosti. Ker je $\frac{v_m}{v_a} = D$, je $\frac{1}{D} = \frac{v_a}{v_m} = n$. To razmerje se imenuje ojačevalni faktor cevke in je enako obratni vrednosti njenega presega, kar smo že omenili.

S troelektrodno cevko lahko precej zvečamo izmenično napetost, in sicer brez izgube na energiji, kajti v mrežnem krogu ne teče noben tok, in zvečamo jo tudi brez vsake zamude, ker nimajo elektroni skoraj nobene vztrajnosti. Krmilni mrežni učinek je $v_m \cdot \emptyset - \emptyset$, v anodnem krogu pa imamo učinek $v_a \cdot i_a$.

Tako ojačuje cevka le v ravnem delu svoje karakteristike. Če bi delala na svojem spodnjem kolenu, bi bil govor spačen in bi lahko ostal tudi neojačen. Z negativno mrežno dodatno napetostjo in primerno anodno napetostjo vedno lahko dosežemo ravni del karakteristike.

Če zadostuje prav majhna negativna dodatna napetost 0.5–1.5 V, jo dobimo, če damo netilnemu krogu večjo napetost, kakor jo potrebuje cevka, in porabljamo napetost na netilnem uporju kot mrežno dodatno napetost. Ta primer obravnavamo na sliki 183. Netilna baterija ima 4 V napetosti in od te potrebuje nitka le 2.5 V. Nitkin negativni pol B ima za 1.5 V večjo napetost od točke A in obratno ima A za 1.5 V manjšo napetost od B. Z ozirom na točko B ima torej mreža negativno napetost 1.5 V. — V sliki je zvezan negativni pol anodne baterije s pozitivnim netilne baterije. Tega primera dosedaj še nismo imeli. Radi te vezave se zveča anodna napetost od 75 na 77.5 V, kajti potencialna razlika med pozitivnim polom anodne baterije (+ 79 V) in negativnim polom nitke (+ 1.5 V) znaša $75 + 4 - 1.5 = 77.5$ V. — Večjo negativno napetost daje mreži najenostavneje posebna baterija in to dodatno napetost lahko s potenciometrom še izpreminjamo.

Omenili smo, da lahko s transformatorjem pred ojačevalno cevko izmenično napetost povečamo, če sta njegovi tuljavi v pravem prenosnem razmerju. Če je n. pr. cevkina karakteristika ravna med 0 in -14 V mrežne napetosti, smemo dati mreži izmenično napetost z največjo vrednostjo 7 V ali efektivno napetost 5 V . Ako znaša krmilna napetost 0.5 V , si izberemo transformator z razmerjem $1:10$, da izrabljamo cevko popolnoma.



Sl. 184. Nizkofrekvenčno ojačevalo z dvema cevkami.

Večkrat je ojačenje z eno cevko premajhno; tedaj uporabljamo zaporedno jačenje (slika 184.). Po prvi cevki povečana napetost v_a inducira v sekundarni tuljavi drugega transformatorja krmilno mrežno napetost za drugo cevko i.t.d. Tako nastanejo nizkofrekvenčna ojačevala z dvema, tremi in več cevkami. Vendar pa ne rabimo nikdar več ko tri cevke, ker so sicer motnje preveč ojačene. Upor primarne tuljave II. transformatorja se mora ujemati z notranjim uporom

prve cevke in upor njegove sekundarne tuljave mora biti enak mrežnemu uporom druge cevke, da deluje transformator najbolje.

V teh ojačevalih porabljamo transformatorje z železnim jedrom (glej stran 49.!). Ovoji tuljav so naznačeni n. pr. tako: 4000/24.000, to se pravi, primarna tuljava ima 4000 ovojev in sekundarna 24.000. S tem je obenem izraženo razmerje med številoma ovojev, ki se imenuje prenosno razmerje 4:24 (1:6). — Važen je tudi upor tuljav. Ohmov upor primarne tuljave znaša 150—1000 Ω , kar velja za istosmerni tok; pri izmeničnem toku se poveča ta upor od 1000 do 50.000 Ω . Upor sekundarne tuljave je sorazmerno večji.

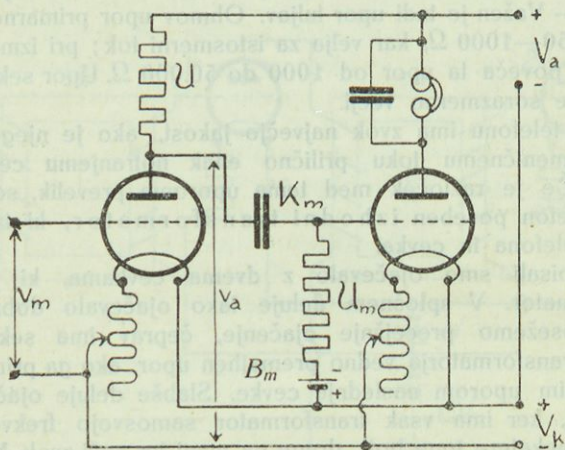
V telefonu ima zvok največjo jakost, ako je njegov upor proti izmeničnemu toku prilično enak notranjemu cevkinemu uporom. Če je razloček med tema uporoma prevelik, se vklene pred telefon poseben izhodni transformator, ki izenačuje upora telefona in cevke.

Opisali smo ojačevalo z dvema cevka, ki ju veže transformator. V splošnem deluje tako ojačevalo dobro in z njim dosežemo precejšnje ojačenje, čeprav ima sekundarna tuljava transformatorja vedno premajhen upor, ako ga primerjamo z mrežnim uporom naslednje cevke. Slabše deluje ojačevalo v telefoniji, ker ima vsak transformator samosvojo frekvenco in ojačuje nekatere tone bolj, druge pa manj ter pači zvok. Nekoliko to napako lahko izboljšamo, če porabljamo transformator s primernim prenosnim razmerjem.

Našteti napak nima nizkofrekvenčno ojačevalo z uporom (slika 185.). Anoda prve cevke je po kondenzatorju K_m zvezana z mrežo druge cevke. Ta kondenzator je potreben, ker bi sicer prehajala vsa anodna napetost V_a na mrežo druge cevke. Ker kondenzator ne propuša istosmernega toka, moramo med mrežo in katodo druge cevke vkleniti odvodni upor U_m , da ne naelektrijo elektroni, ki jih izžariva nitka, mreže preveč negativno, ker bi utegnili prekiniti anodni tok. Med anodo prve cevke in pozitivnim polom anodne baterije vklenemo precej velik upor U , ki se močno upira izmeničnemu toku. S to vezavo do-

sežemo, da prehaja anodna izmenična napetost v_a prve cevke na mrežo druge cevke in krmili tok skozi njo.

Prvotno mrežno napetost v_m ojačuje prva cevka na v_a , kakor odgovarja njenemu ojačevalnemu faktorju. Ker ima druga cevka veliko večjo krmilno napetost od prve, potrebuje večjo anodno napetost in večjo mrežno dodatno napetost ko prva cevka,



Sl. 185. Nizkofrekvenčno ojačevalo z uporom.

kajti mrežna napetost ne sme biti večja od njene dodatne napetosti, sicer nastane mrežni tok, ki pomenja izgubo na energiji in pači zvok. Potrebno negativno dodatno napetost daje drugi cevki baterija B_m , ki jo vklenemo, kakor kaže slika, skupni anodni bateriji pa odvezujemo večjo anodno napetost. Druga cevka ojačuje svojo mrežno napetost še enkrat in tako ojačeni anodni tok deluje na telefon. Slično večemo trojno in večkratno nizkofrekvenčno ojačevalo z uporom.

Radi upora U v anodnem krogu se zmanjša istosmerna anodna napetost in zato rabimo v opisanem ojačevalu večjo

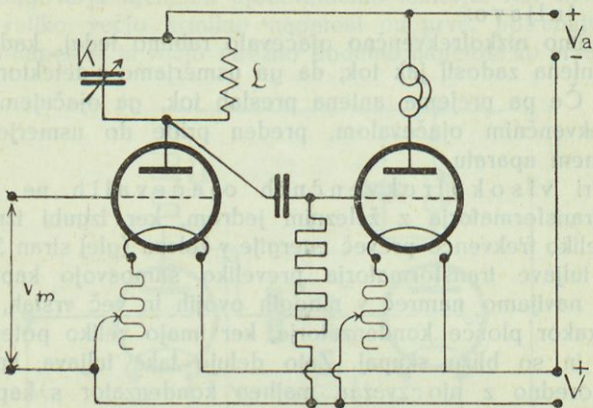
anodno napetost, kakor jo potrebuje cevka. To napako popravimo, da nadomestimo upor s primerno zadržalno tuljavo z železnim jedrom, ki ima sicer prav malo Ohmovega upora. Tako nastane nizkofrekvenčno ojačevalo z zadržalno tuljavo.

Samo nizkofrekvenčno ojačevalo rabimo tedaj, kadar prejema antena zadosti jak tok, da ga usmerjamo z detektorjem ali cevko. Če pa prejema antena preslab tok, ga ojačujemo z visokofrekvenčnim ojačevalom, preden pride do usmerjevala v prejemnem aparatu.

Pri visokofrekvenčnih ojačevalih ne smemo rabiti transformatorja z železnim jedrom, ker izgubi izmenični tok z veliko frekvenco preveč energije v železu (glej stran 50.!) in imajo tuljave transformatorja preveliko samosvojo kapaciteto. Tuljave navijamo namreč v mnogih ovojih in več vrstah, ki delujejo kakor plošče kondenzatorja, ker imajo veliko potencialno razliko in so blizu skupaj. Zato deluje taka tuljava, kakor bi bil vzporedno z njo zvezan majhen kondenzator s kapaciteto 10—100 cm. Pri nizkih frekvencah ne škoduje tuljavina kapaciteta, ker je njen navidezni upor proti nizkofrekvenčnim tokom velik. Ti toki gredo skoz tuljavo. Za visoko frekvenco pa pomenja omenjeni kondenzator prav majhen upor in visokofrekvenčni toki ne gredo skoz tuljavo, pač pa skoz kondenzator, ki sklepa tuljavo za take toke kratko.

Pri visokofrekvenčnem ojačevalu porablamo transformator brez železnega jedra, čigar tuljavi imata le po eno vrsto ovojev. Tudi iz vsakega variometra lahko naredimo visokofrekvenčni transformator, ako nista njegovi tuljavi zaporedno zvezani. Oba dela transformatorja uglašujemo na izmenični tok, ki ga prejema antena, z vzporedno zvezanima vrtilnima kondenzatorjema ali s tem, da primerno izrabljamo samosvojo kapaciteto transformatorjevih tuljav. Taki transformatorji delujejo prav dobro, nerodno pa je, da zahteva vsaka valovna dolžina (frekvenca) poseben transformator. Potrebujemo torej celo vrsto visokofrekvenčnih transformatorjev.

Ker postane resonančna krivulja pri večjem dušenju širša, lahko porabimo visokofrekvenčni transformator, ki ga umetno dušimo in navijamo z nikelinško žico, za več valovnih dolžin.



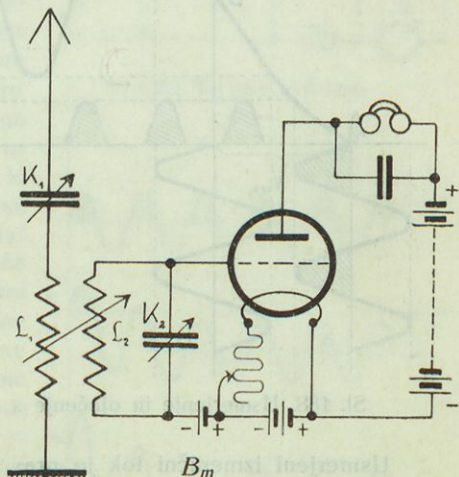
Sl. 186. Visokofrekvenčno ojačevalo z zapiralnim krogom.

Najugodnejše deluje visokofrekvenčno ojačevalo z zapiralnim krogom, kakor ga vidimo na sliki 186. Upor U na prejšnji sliki nadomestimo z zapiralnim krogom $L-K$ in ga uglasimo na frekvenco izmenične napetosti, ki jo hočemo ojačiti. Tak krog ne propušča one frekvence, na katero je sam uglašen. Za to frekvenco je njegov upor neskončno velik, vse druge pa propušča, ker je zanje kratko sklenjen. Tudi istosmerne napetosti porabimo, če je Ohmov upor kroga majhen, v zapiralnem krogu prav malo. Prejemni aparat z visokofrekvenčnim ojačevalom, ki ima zapiralni krog, je občutljiv in selektiven, ima pa to napako, da ga je treba na vsako frekvenco posebej uglasiti, zato pa zadošča en krog za vse različne valovne dolžine. Le pri večkratnem ojačevalu z zapiralnim krogom je omenjena napaka velika.

7. Elektronska cevka kot detektor in avdion.

Dvoelektrodna cevka se porablja kot detektor pri usmerjanju visokofrekvenčnih tokov, ker jih propuša le v eni smeri. Tudi troelektrodno cevko lahko porabljamo v ta namen. Izmenični tok se usmerja, ker propuša detektor le eno polovico njegovih amplitud, drugo polovico pa uničuje. To smo dosegli pri kristalnem detektorju, da smo si izbrali delovališče v kolenu njegove karakteristike. Iz tega spoznamo, da se da izmenični tok usmerjati tudi s troelektrodno cevko, in sicer zato, ker ima njena karakteristika še celo dvoje kolen, spodnje in zgornje. Pri novejših cevkah dosežemo pri primerni anodni napetosti in negativni mrežni napetosti le spodnje koleno, ne pa tudi zgornjega, ker cevke prej pregore.

Slika 187. nas uči, kako se porablja cevka z mrežo kot detektor. Imenujemo jo kratko cevni detektor. Antena prejema visokofrekvenčni tok in deluje induktivno na mrežni krog, ki ga uglasamo natanko na antenski krog. Baterija B_m naelektruje mrežo stalno negativno in ji daje toliko negativno napetost (V_{m_0}), da deluje cevka v spodnjem kolenu v točki A (sl. 188.) svoje karakteristike. Pri tej mrežni dodatni napetosti cevka ne propuša anodnega toka, pač pa pozitivne polovice izmeničnega toka, ki ga prejema antena in ki inducira v mrežnem krogu izmenično

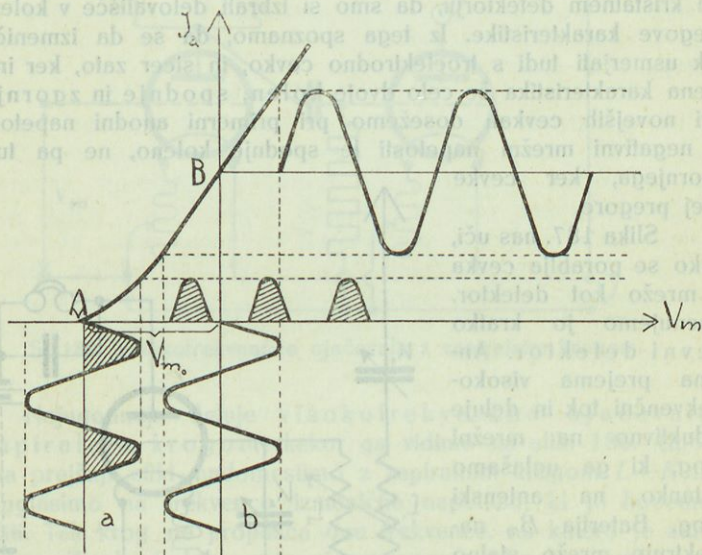


Sl. 187. Cevni detektor.

toka, ki ga prejema antena in ki inducira v mrežnem krogu izmenično

napetost V_m (krivka a). Cevka usmerja izmenični tok in ga tudi nekoliko ojačuje. V takem prejemnem aparatu ne nastane električno nihanje.

Če nima cevka v isti vezavi nobene mrežne dodatne napetosti, če je torej njena mreža neelektrična, cevka ne usmerja toka (b), marveč ga le ojačuje, ker je delovališče B v ravnem delu njene karakteristike.



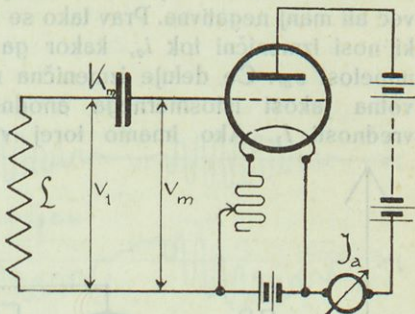
Sl. 188. Usmerjenje in ojačenje s cevnim detektorjem.

Usmerjeni izmenični tok je prav malo ojačen, zato se tudi cevni detektor ne uporablja več. Nadomešča ga cevka, ki usmerja tok v ravnem delu svoje karakteristike in se imenuje avdion.

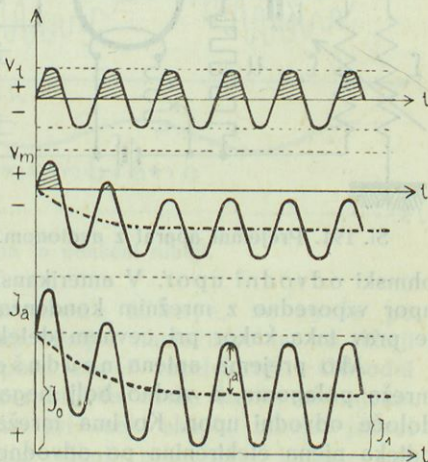
V cevnem detektorju preprečujemo mrežni tok, avdion pa deluje le pri mrežnem toku. Značilen za avdion je kondenzator K_m , ki prekinja mrežni krog (slika 189.); imenujemo ga

mrežni kondenzator. Radi tega kondenzatorja ostane mreža naelektrena, kakor jo naelektrijo izžarjeni elektroni, in njena elektrenina ne odteka po mrežni tuljavi L proti katodi, ker ne more skoz kondenzator. Mreža ostane naelektrena le tedaj, če je dobro izolirana, da ne uhaja njena elektrenina kam drugam.

Prav tako tudi ne more do mreže istosmerna napetost, ki je na mrežni tuljavi, ker je kondenzator ne propušča. Mreža je prvotno neelektrična. Če ima mrežna tuljava izmenično napetost v_t , prehaja ta neovirano skoz kondenzator in naelektruje mrežo enkrat pozitivno, drugič pa negativno. Mreža dobi izmenično napetost v_m , ki se razlikuje od napetosti v_t na mrežni tuljavi. Kadar je mreža pozitivna, teče med njo in katodo mrežni tok in ji prinaša negativne elektrone. Radi tega ne doseže pozitivna napetost $+v_m$ pozitivne napetosti $+v_t$ (slika 190.). $+v_m < +v_t$. (Čitaj: $+v_m$ je manjša od $+v_t$!) Nato postane izmenična napetost v_t negativna in z njo vred tudi mrežna napetost v_m in mrežni tok se za hip pre-

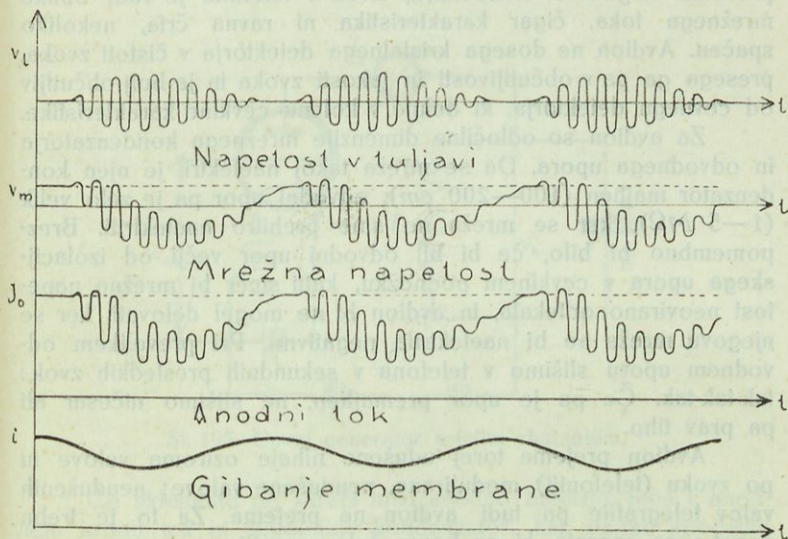


Sl. 189. Vezava avdiona.



Sl. 190. Avdion in neudušeni nihaji.

Približno enako se izpreminja tudi anodni tok (slika 190.) ki vpliva na telefon. Kadar se neudušeni nihaji prično in ko prestopajo, slišimo v telefonu nekaj pok, ker anodni tok narašča in priteguje telefonsko membrano, oziroma se tok zmanjšuje in izpušča membrano, ki sicer miruje. Neudušenih valov avdion ne prejema.



Sl. 192. Avdion in udušeni nihaji.

Če prejema antena udušene nihaje, se mreža po vsaki skupini visokofrekvenčnih nihajev naelektruje in, ko nihaji prenehajo, po odvodnem uporju zopet razelektruje. Odvodni upor mora biti zelo velik, sicer bi bila cevka kratko sklenjena.

Slika 192. kaže, kako se pri vsaki skupini nihajev jakost anodnega toka zmanjšuje. Ko nihaji prenehajo, naraste tok zopet. Avdion deluje kot detektor in usmerja na svoj poseben

način, ker ni usmerjeni anodni tok vzporeden s časovno osjo. Z usmerjenjem je združeno tudi ojačenje toka, ker je delovališče v najbolj strmem delu cevke karakteristike.

Avdion prejema tudi modulirane neudušene nihaje, in sicer slično ko udušene. Mrežna napetost sledi trajno počasnim modulacijskim nihajem in odvodni upor odvaja mreži ne-prestano negativno elektrenino. Zvok v telefonu je radi oblike mrežnega toka, čigar karakteristika ni ravna črta, nekoliko spačen. Avdion ne dosega kristalnega detektorja v čistoti zvoka, presega ga pa v občutljivosti in jakosti zvoka in je bolj občutljiv od cevne detektorja, ki deluje v kolenu cevke karakteristike.

Za avdion so odločilne dimenzije mrežnega kondenzatorja in odvodnega upora. Da se mreža takoj naelektri, je njen kondenzator majhen (100—200 cm), odvodni upor pa je zelo velik (1—5 $M\Omega$), ker se mreža ne sme prehitro naelektriti. Brez-pomembno bi bilo, če bi bil odvodni upor večji od izolacijskega upora v cevkinem podnožku, kajti sicer bi mrežna napetost neovirano odtekala, in avdion bi ne mogel delovati, ker se njegova mreža ne bi naelektrila negativno. Pri prevelikem odvodnem uporju slišimo v telefonu v sekundnih presledkih zvok: tak-tak-tak. Če pa je upor premajhen, ne slišimo ničesar ali pa prav tiho.

Avdion prejema torej udušene nihaje oziroma valove in po zvoku (telefoniji) modulirane, neudušene valove; neudušenih valov telegrafije pa tudi avdion ne prejema. Za to je treba posebnega aparata, ki ga bomo šele omenili.

8. Cevka kot oddajalo in zloževalo.

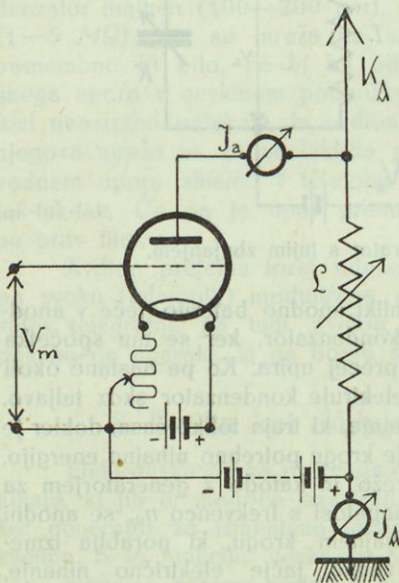
Elektronska cevka proizvaja, primerno sklenjena, neudušene nihaje, ki jih je mogoče izžarivati v daljavo. Cevka se porablja kot generator za izmenične toke s skoro vsako poljubno frekvenco. S to funkcijo cevke se bomo sedaj natančneje bavili.

Načelno vezavo cevke, ki proizvaja električne nihaje, pri naša slika 193. Ta vezava se popolnoma ujema z vezavo ojače-

in anodne napetosti. V nihajnem krogu nastanejo neudušeni nihaji. Z izpreminjanjem L in K dosežemo poljubne frekvence. V opisanem primeru rabimo v mrežnem krogu primeroma majhno izmenično energijo, v anodnem krogu pa precej veliko istosmerno energijo in dobimo majhno izmenično energijo v nihajnem krogu, ker se precej istosmerne energije pretvarja v toploto. Ker elektroni neprestano trkajo na anodo, zažari njena plošča.

Na opisani način prirejeno cevko imenujemo cevni generator s tujim vzbujanjem. Generator deluje tem bolje, čim manjši preseg (n. pr. 10%) ima cevka in čim večja je njena strnoba (n. pr. $10 \frac{mA}{V}$), ako sta sicer mrežna in anodna

napetost zadosti veliki. Ker potrebuje generator precej veliko energijo, je njegova cevka večja od prejemne, ima debelo nitko in anoda sestaja iz več obročev, da se preveč ne segreje. Pri manjših cevkah, ki potrebujejo 10—20 W, znaša anodna napetost 400—800 V. Večje cevke delajo s 500 W ali še več in potrebujejo anodno napetost 3000—5000 V. Tako visoko istosmerno napetost dobimo, če izmenični tok primerno transformiramo in usmerjamo, kakor smo omenili na strani 180. Generator z ugašenimi iskrami potrebuje pri enakem učinku trikrat večjo energijo ko cevni generator.



Sl. 194. Oddajna postaja v direktni vezavi.

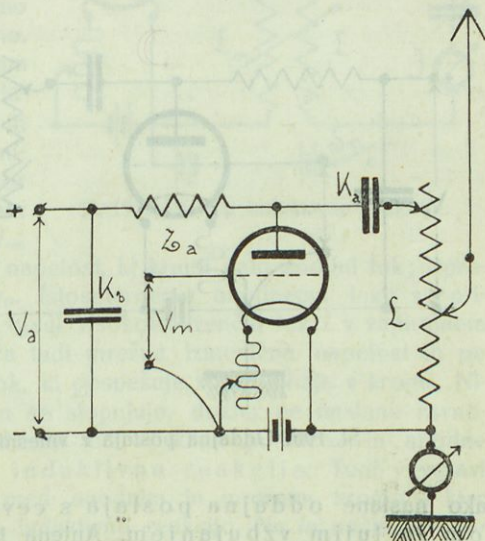
Ako zvežemo generator z odprtim nihajnim krogom (slika 194.), nastane oddajna postaja. Kondenzator zapiralnega kroga nadomešča antenina kapaciteta K_A . Če je samoindukcijska tuljava L izpremenljiva, dobimo v določenem intervalu poljubno frekvenco, ki je enaka
$$n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LK_A}}.$$

Opisali smo oddajno postajo s tujim vzbujanjem v direktni vezavi.

Taka oddajna postaja ne deluje posebno dobro, če porabljamo visoko napetost, kakor jo cevka potrebuje. Ker je pozitivni pol anodne baterije zvezan z zemljo, ima katoda veliko negativno napetost z ozirom na zemljo in netilna baterija mora biti posebno dobro izolirana. Tudi v tem oziru ni vezava dobra, ker je izžarjeni val ne-

posredno določen po antenskem krogu. Poleg tega pa ne izžariva antena samo osnovnega vala λ_0 , marveč celo vrsto višjih valov $\frac{\lambda_0}{2}, \frac{\lambda_0}{3}, \frac{\lambda_0}{4}, \dots$

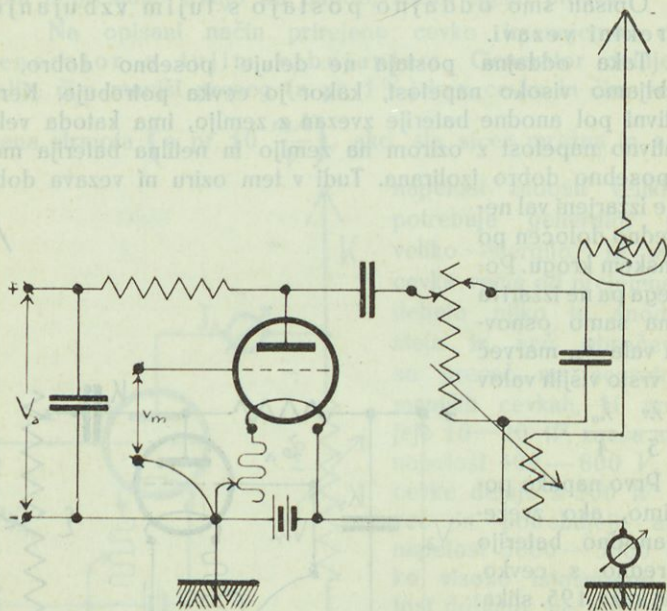
Prvo napako popravimo, ako zvežemo anodno baterijo vzporedno s cevko, kakor kaže 195. slika. Da preprečimo v bateriji kratki stik skoz tuljavo L , vklenemo v anodni krog poseben kondenzator K_a , ki prekinja istosmerni anodni tok. Nihanje



Sl. 195. Zboljšana oddajna postaja v direktni vezavi.

v cevki pospešujemo, če sklenemo anodno baterijo s kondenzatorjem K_b ($1-10 \mu F$). Zadržalna tuljava Z_a pa zapira visokofrekvenčnim nihajem pot skozi kondenzator.

Vse ostale napake oddajne postaje v direktni vezavi popravimo, ako vklenemo v anodni krog zapiralni krog, ki se imenuje vmesni krog, in spajamo z njim anteno induktivno.



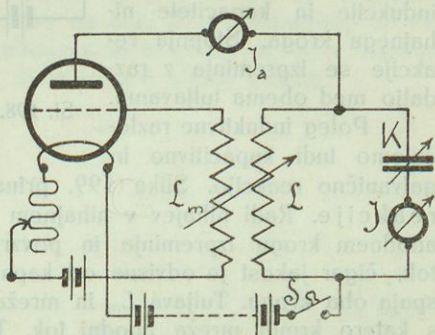
Sl. 196. Oddajna postaja z vmesnim krogom.

Tako nastane oddajna postaja s cevko, vmesnim krogom in tujim vzbujanjem. Antena je po majhni tuljavi z vmesnim krogom induktivno spojena in se uglašuje z vario-metrom na frekvenco vmesnega kroga.

Dosedaj smo omenjali oddajno postajo s tujim vzbu-
 janjem, ker je dajal cevkinu mreži poseben generator izmenično
 napetost. Generator proizvaja izmenično napetost s frekvenco
 največ 10.000; višjih frekvenc ne dobivamo tako.

Frekvence nad 10.000 proizvajamo z reakcijo ali samo-
 svojim vzbujanjem. Reakcijo pri dinamostroju smo ime-
 novali dinamoelektrični princip. Tudi influenčni stroj deluje z
 reakcijo. Pri elektronski cevki dosežemo reakcijo, če jo pri-
 merno vežemo.

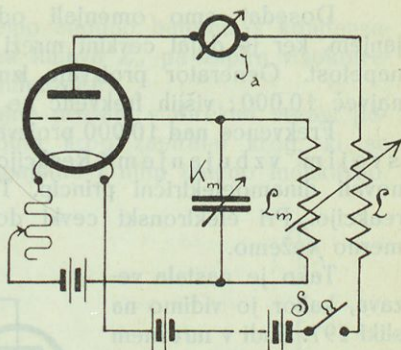
Tako je nastala ve-
 zava, kakor jo vidimo na
 sliki 197. Tudi v mrežnem
 krogu je posebna tuljava
 L_m , ki je s tuljavo L zapi-
 ralnega kroga induktivno
 spojena. Ako sklenemo,
 ko nitka žari, s stikalom
 S anodno baterijo, nastane
 v zapiralnem krogu in
 skozi cevko električni ni-
 haji s frekvenco n_o , kakor
 smo že omenili. Pri tem
 se inducira v tuljavi L_m



Sl. 197. Princip induktivne reakcije.

prav majhna izmenična napetost, ki krmili nato anodni tok; izpre-
 minja ga v frekvenci n_o . Istosmernemu anodnemu toku se pri-
 druži izmenični tok, ki ojači visokofrekvenčni tok I v zapiralnem
 krogu. Nato se poveča tudi mrežna izmenična napetost in po
 njej anodni izmenični tok, ki pospešuje zopet nihaje v krogu. Ni-
 hanje v nihajnem krogu se stopnjuje, dokler ne nastane ravno-
 težno stanje, ki je odvisno od cevkinih podatkov in anodne
 napetosti. Tako deluje induktivna reakcija. Tudi v vezavi
 na sliki 198. imamo med anodnim in mrežnim krogom, kjer
 je sedaj zapiralni krog, induktivno reakcijo. Na ta način pa do-
 bimo manjšo energijo kot s prejšnjo vezavo. Reakcija nastane
 le tedaj, če sta tuljavi L_m in L v pravi razdalji in imata primerno

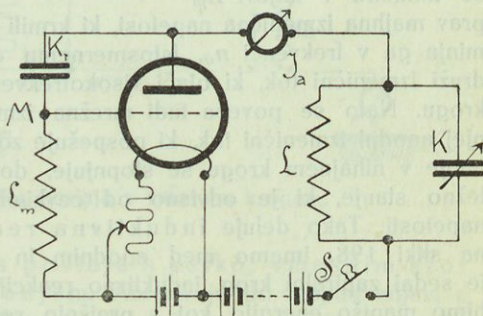
število ovojev, ki so naviti tako, da se nihanje pospešuje, ne pa ovira. Radi reakcije nastanejo v nihajnem krogu neudušeni nihaji, kajti anodna baterija mu neprestano dovaja potrebno energijo. Frekvenca nastalega nihanja je odvisna od samoindukcije in kapacitete nihajnega kroga. Stopnja reakcije se izpreminja z razdaljo med obema tuljavama.



Sl. 198. Princip induktivne reakcije v posebni vezavi.

Poleg induktivne razločujemo tudi kapacitivno in galvanično reakcijo. Slika 199. prinaša princip kapacitivne reakcije. Radi nihajev v nihajnem krogu $L-K$ se napetost v anodnem krogu izpreminja in povzroča v tuljavi L_m izmenični tok, čigar jakost je odvisna od kapacitete kondenzatorja K_r , ki spaja oba kroga. Tuljava L_m in mreža imata izmenično napetost, s katero krmili mreža anodni tok. Tudi tukaj nastane reakcija, ki se imenuje kapacitivna, pač radi zveznega kondenzatorja K_r .

Če v sliki 199. odstranimo kondenzator K_r , še vedno ostaja neka reakcija med $L-K$ in tuljavo L_m , kajti nihajni krog in mrežna tuljava sta sedaj spojena po kapaciteti, ki jo ima cevka med svojo anodo in mrežo. Ta kapaciteta ni velika in znaša največ 10 — 20 cm.

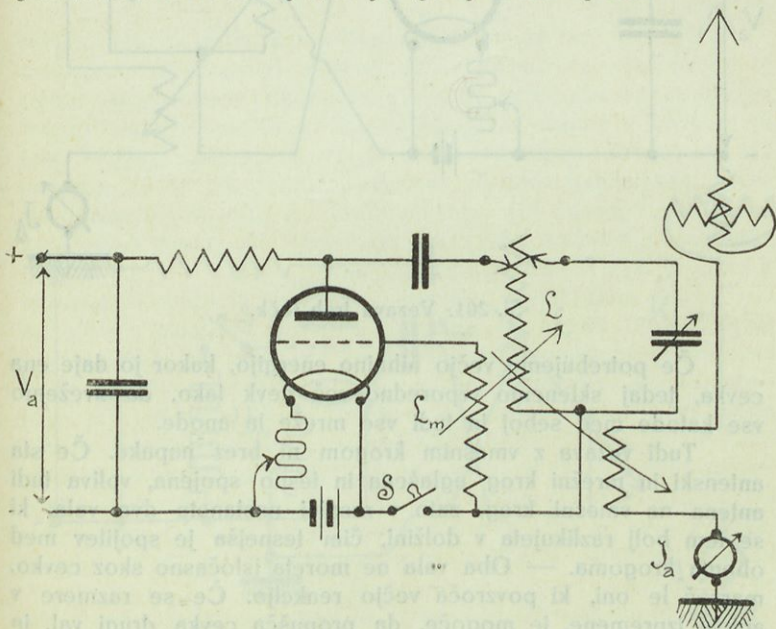


Sl. 199. Princip kapacitivne reakcije.

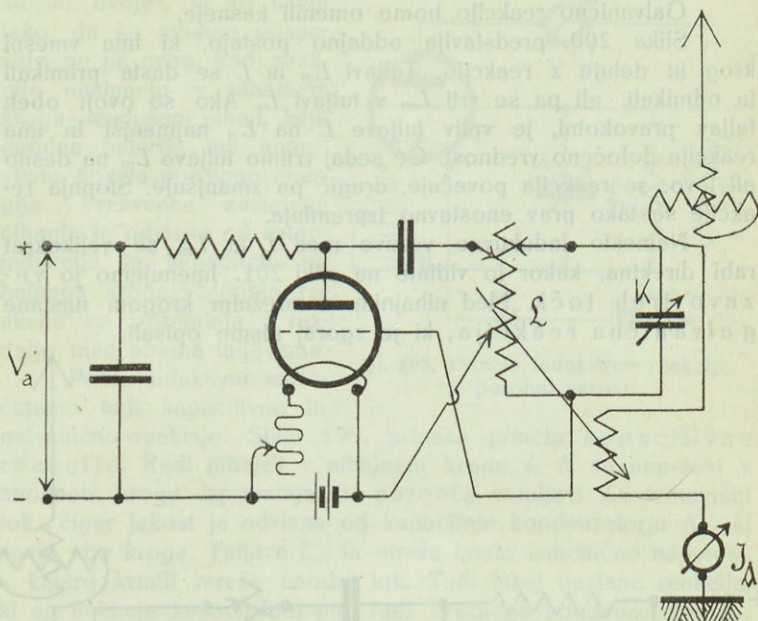
Galvanično reakcijo bomo omenili kasneje.

Slika 200. predstavlja oddajno postajo, ki ima vmesni krog in deluje z reakcijo. Tuljavi L_m in L se dasta primikati in odmikati, ali pa se vrtili L_m v tuljavi L . Ako so oboji obeh tuljav pravokotni, je vpliv tuljave L na L_m najmanjši in ima reakcija določeno vrednost. Če sedaj vrtimo tuljavo L_m na desno ali levo, se reakcija povečuje, drugič pa zmanjšuje. Stopnja reakcije se tako prav enostavno izpreminja.

Namesto induktivne vezave med L in L_m se velikokrat rabi direktna, kakor jo vidimo na sliki 201. Imenujemo jo vezavo treh točk. Med nihajnim in mrežnim krogom nastane galvanična reakcija, ki je zgoraj nismo opisali.



Sl. 200. Oddajna postaja z vmesnim krogom in reakcijo.



Sl. 201. Vezava treh točk.

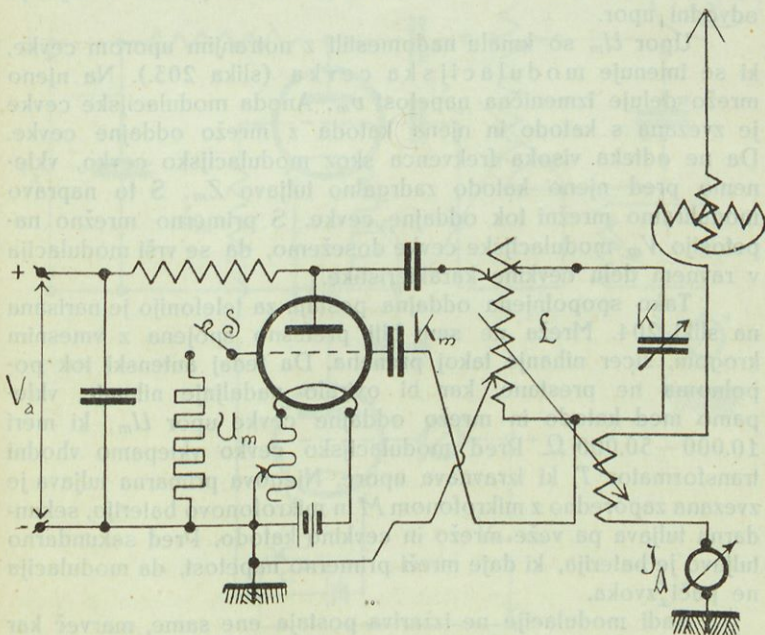
Če potrebujemo večjo nihajno energijo, kakor jo daje ena cevka, tedaj sklenemo vzporedno več cevk tako, da zvežemo vse katode med seboj in tudi vse mreže in anode.

Tudi vezava z vmesnim krogom ni brez napake. Če sta antenski in mrežni krog ušla in tesno spojena, vpliva tudi antena na vmesni krog, zato v resnici nastaneta dva vala, ki se tem bolj razlikujeta v dolžini, čim tesnejša je spojitev med obema krogoma. — Oba vala ne moreta istočasno skoz cevko, marveč le oni, ki povzroča večjo reakcijo. Če se razmere v anteni izpremenijo, je mogoče, da propušča cevka drugi val, in dolžina izžarjenega vala se menja.

Opisana oddajna postaja izžariva neudušene valove, ki jih potrebujemo v brezžični telegrafiji in telefoniji.

Na sliki 200. je pregledno narisana telegrafska oddajna postaja, če pomenja S Morse-jev ključ, s katerim sklepamo in prekinjamo mrežni krog v zmislu Morse-jevega alfabeta. Prejemni aparat za telegrafsko poročila z neudušenimi valovi bomo šele omenili.

Brezžična telefonija je mogoča le z neudušenimi valovi, ki jih moduliramo z nizko frekvenco, kakor smo že omenili na strani 162. Modulirane neudušene nihaje lahko prejemamo z vsakim aparatom, ki smo ga dosedaj opisali.



Sl. 202. Princip modulacije.

Od modulacijskih načinov obravnavamo le enega v principu.

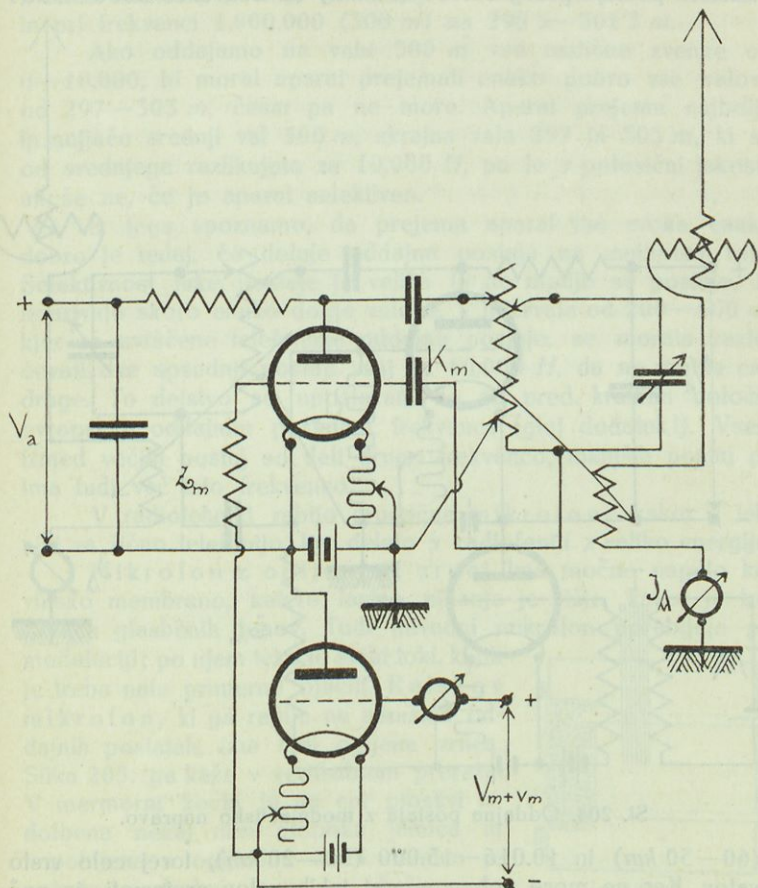
Po sliki 201. se ne naelektruje mreža negativno, ker odtekajo elektroni, ki jih izžariva žareča nitka, h katodi po onem delu tuljave L , ki leži med mrežo in katodo. — Ako pa vklenemo (slika 202.) med mrežo in nihajni krog $L-K$ kondenzator K_m s kapaciteto 1000—2000 cm , elektroni ne morejo odtekati in naelektrujejo mrežo vedno bolj negativno. Zato ne propušča mreža pri majhnem presegu oddajnih cevk anodnega toka in nihaji skoz cevko prenehajo. Ako nato zvežemo mrežo in katodo z izpremenljivim visokohmskim uporom U_m , se mreža zopet razelektruje in jakost toka v anteni je tem večja, čim manjši je odvodni upor.

Upor U_m so kmalu nadomestili z notranjim uporom cevke, ki se imenuje modulacijska cevka (slika 203.). Na njeno mrežo deluje izmenična napetost v_m . Anoda modulacijske cevke je zvezana s katodo in njena katoda z mrežo oddajne cevke. Da ne odteka visoka frekvenca skoz modulacijsko cevko, vklenemo pred njeno katodo zadrgalno tuljavo Z_m . S to napravo moduliramo mrežni tok oddajne cevke. S primerno mrežno napetostjo V_m modulacijske cevke dosežemo, da se vrši modulacija v ravnem delu cevke karakteristike.

Tako spopolnjena oddajna postaja za telefonijo je narisana na sliki 204. Mreža ne sme biti pretesno spojena z vmesnim krogom, sicer nihanje takoj preneha. Da tedaj antenski tok popolnoma ne prestane, kar bi oviralo nadaljnje nihanje, vklepamo med katodo in mrežo oddajne cevke upor U_m , ki meri 10.000—50.000 Ω . Pred modulacijsko cevko vklepamo vhodni transformator T , ki izravnava upore. Njegova primarna tuljava je zvezana zaporedno z mikrofonom M in mikrofonomo baterijo, sekundarna tuljava pa veže mrežo in cevkinu katodo. Pred sekundarno tuljavo je baterija, ki daje mreži primerno napetost, da modulacija ne pač izzvoka.

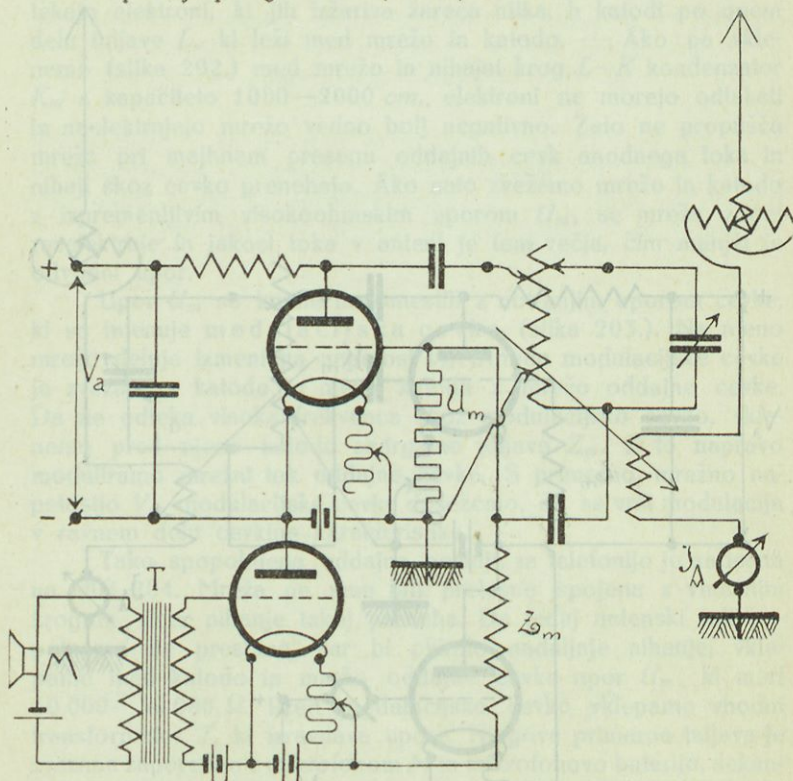
Radi modulacije ne izžariva postaja ene same, marveč kar tri različne frekvence, četudi oddajamo en sam ton. Ako modu-

liramo frekvenco 10.000 s čisto frekvenco 1000, nastanejo frekvence 9000, 10.000 in 11.000, kar odgovarja približno valovnim dolžinam 33, 30 in 27 km.



Sl. 203. Modulacija s cevko.

Če ne oddajamo samo posameznih čistih tonov, temveč zvenke, ki so n. pr. sestavljeni iz vseh mogočih tonov od 16—5000, izžariva postaja poleg 10.000 (30 km) še frekvence 5000—9984



Sl. 204. Oddajna postaja z modulatorjsko napravo.

(60—30 km) in 10.016—15.000 (30—20 km), torej celo vrsto valov. Ker ne more noben aparat takih valov prejemati, je pač umevno, da na tako dolgih valovih ne moremo telefonirati.

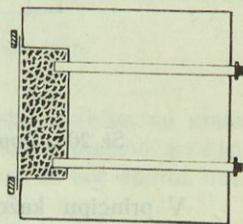
Pri visoki frekvenci 10.000 (30 km) znaša interval, ki ga istočasno izžariva postaja, 20—60 km. Ako porabljamo frekvenco 100.000 (3 km), se zmanjša interval na 2855—3160 m in pri frekvenci 1.000.000 (300 m) na 298·5—301·5 m.

Ako oddajamo na valu 300 m vse različne zvenke od 0—10.000, bi moral aparat prejemati enako dobro vse valove od 297—303 m, česar pa ne more. Aparat prejema najbolje in najjače srednji val 300 m, skrajna vala 297 in 303 m, ki se od srednjega razlikujeta za 10.000 H, pa le v polovični jakosti, ali še ne, če je aparat selektiven.

Iz tega spoznamo, da prejema aparat vse zvoke enako dobro le tedaj, če deluje oddajna postaja na majhnem valu. Selektivnost take postaje je velika in ne motijo se postaje, ki izžarivajo skoro enako dolge valove. V intervalu od 200—600 m, kjer so uvrščene telefonske oddajne postaje, se morata razločevati dve sosednji postaji vsaj za 10.000 H, da ne motita ena druge. To dejstvo so upoštevali, ko so pred kratkim določili evropskim oddajnim postajam frekvence (glej dodatek!). Vsaki izmed večjih postaj so dali drugo frekvenco, manjših postaj pa ima tudi več isto frekvenco.

V radiotehniki rabijo drugačne mikrofone kakor v tehniki za žično telefonijo, ker delajo v radiofoniji z veliko energijo.

Mikrofon z ogljenimi zrnci ima močno napeto kovinsko membrano, katere lastno nihanje je višje, kakor je frekvenca glasbenih tonov. Tudi navadni mikrofon porabljajo pri modulaciji; po njem teko le slabi toki, ki jih je treba nato primerno ojačiti. Reisz-ov mikrofon, ki ga rabijo na nemških oddajnih postajah, ima tudi ogljena zrnca. Slika 205. ga kaže v vertikalnem prerezu. V marmorni kocki je na eni ploskvi izdolbena nekaj mm globoka jamica in napolnjena z ogljenimi zrnci. Jamica je pokrita z drobno gumijevo kožico, da zrnca ne izpadajo. Mikrofonski tok teče



Sl. 205.

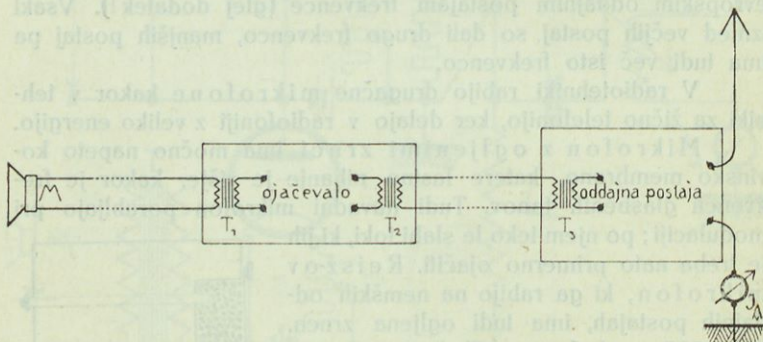
Reisz-ov mikrofon.

od ene ogljene elektrode skozi zrnca do druge. Mikrofon nima membrane, ki bi pačila zvok radi lastnega nihanja.

Omenimo še kratko mikrofon s ploščico, katodofon in kapacitivni mikrofon! Pri mikrofону s ploščico je napeta v močnem magnetnem polju drobna ploščica iz aluminija. Če se ploščica radi zvočnih valov giblje, nastane na njej napetost, ki jo ojačuje posebno ojačevalo.

Katodofon ima žareči elektrodi, ki sta prav blizu skupaj in imata veliko napetost. Med elektrodama se zrak ionizira in provaja slab tok. Če govorimo proti elektrodama, izpreminjamo ionski tok in njegovo napetost, ki jo nato primerno ojačujemo.

Kapacitivni mikrofon ima stalno kovinsko ploščo, v prav majhni razdalji od nje pa je pritrjena kovinska membrana, ki je hudo napeta. Obe plošči tvorita kondenzator, čigar kapaciteta se izpreminja, če zadenejo membrano zvočni valovi. S tem se izpreminja tudi napetost na kondenzatorju, ki jo dovajamo ojačevalu.



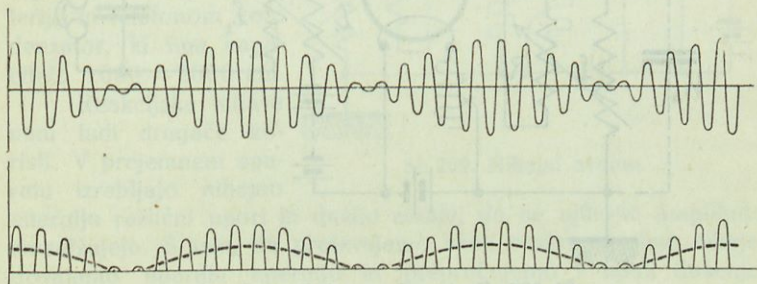
Sl. 206. Popolna oddajna postaja za telefonijo.

V principu kaže 206. slika vezavo popolne oddajne postaje za telefonijo, kjer pomenja M mikrofon, T_1 vhodni, T_2 vmesni in T_3 izhodni transformator. Mikrofon, ojačevalo in od-

dajna postaja so navadno v treh različnih prostorih ali krajih, ki so zvezani med seboj z daljnovodom.

Kakor smo že večkrat omenili, ne moremo prejemati s kristalnim detektorjem in navadnim avdionom neudušenih valov, razen moduliranih. Da lahko prejemamo tudi te valove, jih umetno tako razkosamo, da nastane iz njih v sekundi 500—1000 skupin, ali celo več. Skupine usmerja detektor ali avdion in v telefonu slišimo ton, ki pomenja piko ali črto, kakor dolgo pač traja. Razkosanje se posreči z utripanjem, ki ga poznamo že iz akustike.

Neudušene valove, kakor jih prejema antena, pokrijemo z valovi, ki jih proizvajamo v prejemnem aparatu s pomožno oddajno postajico; imenujemo jo zloževalo valov. Tako nastali valovi se prav malo razlikujejo od prejetih, zato nastane utripanje. Valova se zlagata v interferenčni val, ki je jačji od posameznega. Avdion ali detektor prejema ojačene

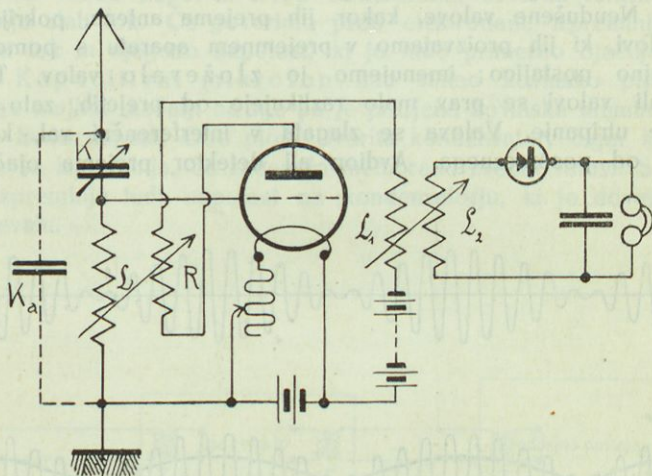


Sl. 207. Usmerjenje interferenčnega vala.

valove in jih usmerja (slika 207.). Pri vsakem utripu se membrana telefona pritegne in zopet izpusti. Tako nastane prejetje z utripanjem ali interferenco in tak aparat imenujemo s tujim izrazom heterodin.

Ta način ni primeren, kadar prejemamo modulirane valove, ker se zvok radi dvojne modulacije preveč popači.

Prejemni aparat in zloževalo lahko združimo v en aparat in dobimo vezavo, kakor jo imamo na 208. sliki. Cevka deluje kot majhna oddajna postaja. Njen nihajni krog je vklenjen v mrežnem krogu cevke ter ima samoindukcijo mrežne tuljave in antenino kapaciteto. Antena deluje, kakor da je njena kapaciteta vzporedna s tuljavo L , zato jo vežemo na sliki s pikami. S tuljavo L je induktivno spojena tuljava R v anodnem krogu, ki jo imenujemo reakcijsko tuljavo.



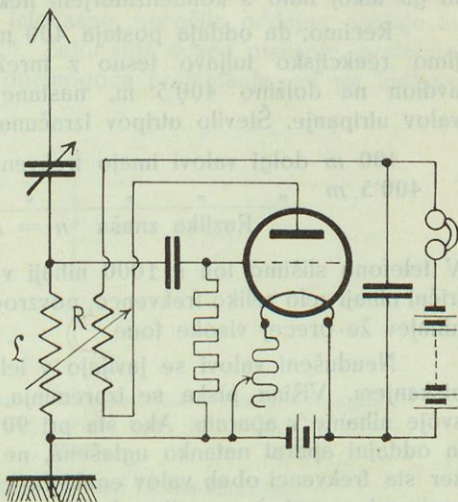
Sl. 208. Prejemni aparat in zloževalo.

Zloževalo je sestavljeno po sliki 198. Ako ima tuljava R primerno število ovojov, ki so naviti tako, da pospešujejo nihanje, nastanejo skoz cevko nihaji. — Poleg tega služi cevka tudi za visokofrekvenčno ojačevalo, kajti na tuljavi L nastala napetost se dovaja cevki mreži in krmili anodni tok. V anodnem krogu cevke je posebna tuljava L_1 , s katero je spojena induktivna tuljava L_2 v detektorskem krogu.

Kristalni detektor smemo zamenjati s cevko. Še boljše vezavo pa dobimo, če združimo usmerjevalo in zloževalo in rabimo eno samo cevko. Tako nastane nihajni avdion ali avdion z reakcijo (slika 209.).

Ako sklenemo reakcijsko tuljavo R kratko, dobimo zopet vezavo enostavnega avdiona. Če ima reakcijska tuljava primerno število obojev in jo spojimo z mrežno tuljavo, nastanejo skoz cevko nihaji, ki se zlagajo s prijetimi. Nihanje olajšamo, ako sklenemo vzporedno z anodno baterijo in telefonom kondenzator, ki ima kapaciteto 1000—2000 cm.

Reakcijska tuljava nam tudi drugače koristi. V prejemnem aparatu izrabljajo nihajno

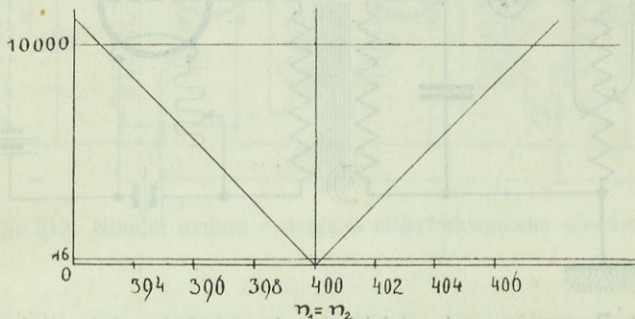


Sl. 209. Nihajni avdion.

energijo različni upori in dušijo nihaje, da se njihove amplitude zmanjšujejo. S tem, da proizvajamo skoz cevko posebne nihaje, dovajamo aparatu energijo in preprečujemo v njem dušenje. Reakcija predstavlja nekako negativno dušenje ali negativni upor. Skoz cevko nastane nihanje le tedaj, kadar je negativni upor večji od pozitivnega.

Ako je reakcijska tuljava v mrežni in jo vrtimo, izpreminjamo enostavno stopnjo reakcije in negativni upor; tako zmanjšujemo skupno dušenje v aparatu in v telefonu slišimo bolje. Reakcija zmanjšuje dušenje in večja jakost zvoka v telefonu že prej, kakor nastane skoz cevko nihanje. Pravimo, da prejemamo z redukcijo dušenja.

Ta način prejemanja je pri neprevidnem ravnanju za sosednje radio-amaterje škodljiv, kajti če naš aparat radi pretesno vezane reakcijske tuljave niha, deluje kot oddajna postaja in naša antena izžariva. Vsi prejemni aparati v približni razdalji 2 km od nas prejemajo istočasno poročila oddajne postaje in naše interferenčno nihanje. Zato sliši sosed piskanje, podobno pasjemu lajanju, kar mu onemogoča prejemanje, mi pa tudi ne slišimo ničesar razločno.



Sl. 210. Interferenčni ton in kondenzator.

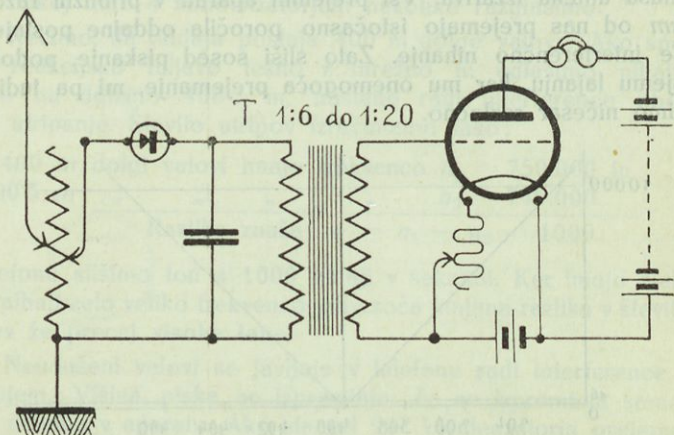
Nihajni avdion je najbolj občutljiv, preden prične nihati. Tedaj slišimo v telefonu neko šumenje. Med nihanjem so mrežna in anodna privijala občutljiva, če se jih dotaknemo, in v telefonu slišimo same spačene glasove.

Nasprotno pa izboljšujejo naše prejemanje sosednje prejemne postaje na reakcijo, če so natanko uglašene, ker ojačujejo valove enakih in sosednjih dolžin.

Dosedaj smo obravnavali vse posamezne dele, ki sestavljajo oddajno, zlasti pa prejemno postajo, treba jih je le primerno zvezati. Popolni aparati, ki smo jih opisali, so bili kar najenostavnejši; imeli so detektor ali pa eno cevko. Vendar pa lahko sestavimo iz opisanih delov popolnejše in tudi večcevne aparate. Omenjamo prejemni aparat s kristalnim detektorjem v



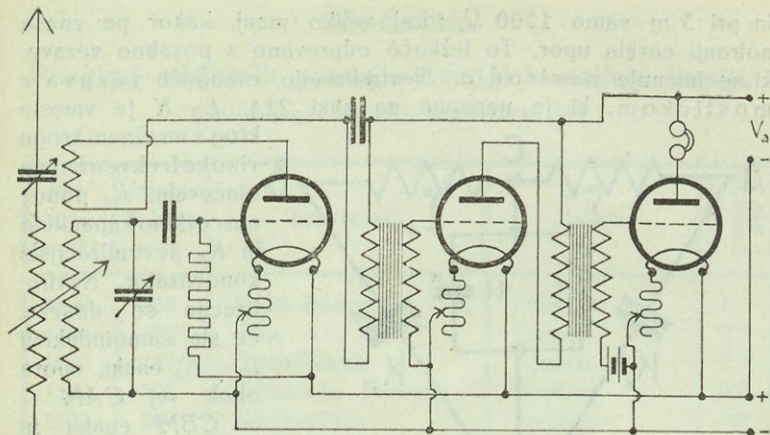
direktni vezavi in z nizkofrekvenčnim ojačevalom (slika 211.), potem nihajni avdion z vmesnim krogom in dvojnim nizkofrekvenčnim ojačevalom (slika 212.) in končno avdion z visoko-



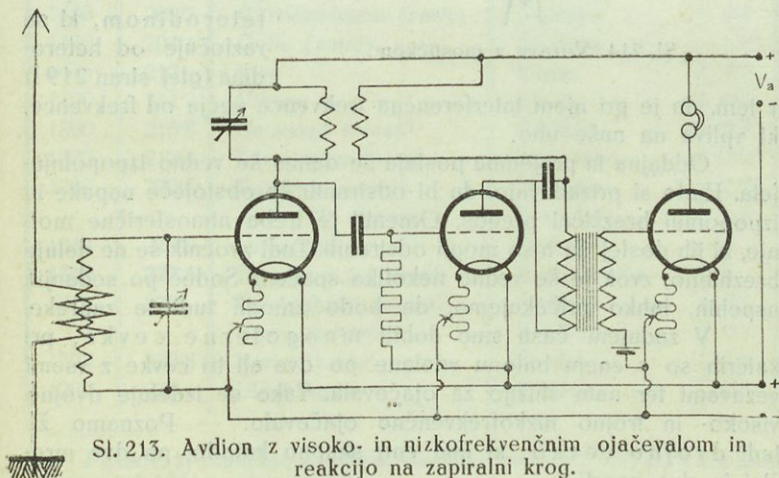
Sl. 211. Prejemni aparat z detektorjem in nizkofrekvenčnim ojačevalom.

frekvenčnim ojačevalom, reakcijo na zapiralni krog in nizkofrekvenčnim ojačevalom (slika 213.). Pri zadnji vezavi se antenski krog ne da uglasti, pač pa je z nekaj ovoji induktivno spojen z vmesnim krogom. Pravimo, da je antena tukaj aperioidična. Selektivnost takega aparata je že precej velika. Aparat ne izžariva tako močno, kakor če bi imeli reakcijo na antensko tuljavo.

Kar se boljših aparatov tiče, omenjamo refleksno ali odbojno vezavo, kjer se rabi ista cevka za visoko- in nizkofrekvenčno jačenje. Posebne vezave rabimo tudi, ko ojačujemo zelo visoke frekvence, torej prav kratke valove. Cevka ima namreč med anodo in mrežico, med njenima dovodoma in tudi v podnožju neko, čeprav majhno kapaciteto K_c , ki znaša 10—20 cm. Pri kapaciteti 10 cm in valovni dolžini 300 m ($n = 10^6$) znaša kapacitivni upor približno 150.000 Ω , pri 30 m le še 15.000 Ω

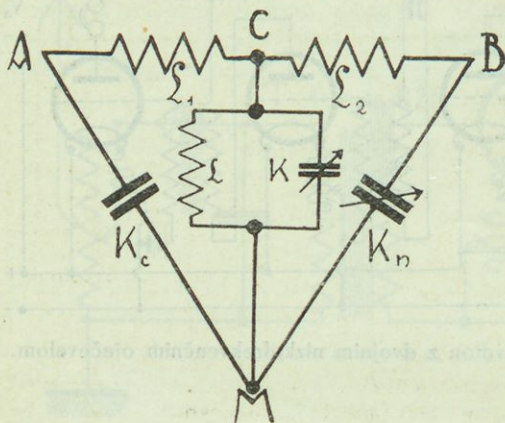


Sl. 212. Nihajni avdion z dvojnim nizkofrekvenčnim ojačevalom.



Sl. 213. Avdion z visoko- in nizkofrekvenčnim ojačevalom in reakcijo na zapiralni krog.

in pri 3 m samo 1500 Ω , torej veliko manj, kakor pa znaša notranji cevkin upor. To težkočo odpravimo s posebno vezavo, ki se imenuje nevtrorodin. Nevtralizacijo omogoča vezava z mostičkom, ki je narisana na sliki 214. $L-K$ je vmesni



Sl. 214. Vezava z mostičkom.

krog v mrežnem krogu visokofrekvenčnega ojačevala, K_c pomenja cevkino kapaciteto in K_n nevtralizacijski kondenzator. Nevtralizacija se doseže, če sta samoindukciji $L_1 = L_2$ enaki, upora obeh vej $CAM = CBM$ enaka in je $K_c = K_n$.

Isto težkočo odpravimo tudi s superteterodinom, ki se razločuje od heterodina (glej stran 219!)

v tem, da je pri njem interferenčna frekvenca večja od frekvence, ki vpliva na naše uho.

Oddajna in prejemna postaja se danes še vedno izpopolnjujeta. Hudo si prizadevajo, da bi odstranili še obstoječe napake in izpopolnili brezžični prenos. Omeniti je treba atmosfersične motnje, ki jih doslej še niso mogli odstraniti. Tudi zvočnik še ne deluje brezhibno, zvok je še vedno nekoliko spačen. Sodeč po sedanjih uspehih, lahko pričakujemo, da bodo zmogli tudi te zapreke.

V zadnjem času smo dobili mnogoterne cevke, pri katerih so v enem balonu vdlane po dve ali tri cevke z vsemi vezavami ter nam služijo za ojačevala. Tako se izdeluje dvojno visoko- in trojno nizkofrekvenčno ojačevalo. — Poznamo že tudi dvojno cevko, ki ima eno skupno katodo, pa dve mrežici in dve anodi.

Dodatek.

Pregled oddajnih postaj v Evropi in azijski Rusiji. *

(Sestavljen v začetku septembra 1927.)

Fre- kvenca v <i>kH</i>	Valovna dolžina v <i>m</i>	Ime (znak)	Država	Oddajna energija v <i>kW</i>
1899	158	Radio Béziers	Francija	1
1666	180	Orly	Francija	0·5
1600	187·5	Örnsköldsvik	Švedsko	0·25
1530	196	Karlskrona (<i>smsm</i>)	Švedsko	0·2
1500	200	Juan-les-Pius	Francija	1·5
		Biarritz	Francija	1·5
		Radio Fécamp	Francija	0·25
1490	201·3	Jönköping (<i>smzd</i>)	Švedsko	0·25
1480	202·7	Christinehamn (<i>smtf</i>)	Švedsko	0·4
1470	204·1	Gefle (<i>smxf</i>)	Švedsko	0·25
1416	212	Kiev	Rusija	0·5
1400	214·3	Viborg	Finsko	0·4
1390	215·8	Halmstad (<i>smsb</i>)	Švedsko	0·25
1380	217·4	Luxemburg (<i>loaa</i>)	Luxemburg	0·25
1360	220·6	Karlstad (<i>smxg</i>)	Švedsko	0·25
		Forez, St. Etienne	Francija	0·5
1340	223·9	Leningrad	Rusija	10
1330	225·6	Beograd (se gradi)	Jugoslavija	1
1310	229	Helsingborg (<i>smye</i>)	Švedsko	0·5
		Umea (<i>smsn</i>)	Švedsko	0·3
1304	230·8	Boras (<i>smby</i>)	Švedsko	0·2
1292	233	Uleaborg	Finsko	0·2

* Postaje, ki oddajajo z manjšo energijo kakor 0·2 *kW*, ali s kratkimi valovi (pod 200 *m*), niso navedene.

Fre- kvenca v <i>kH</i>	Valovna dolžina v <i>m</i>	Ime (znak)	Država	Oddajna energija v <i>kW</i>
1270	236·2	Örebro (<i>smti</i>)	Švedsko	0·25
		Stettin	Nemčija	0·5
1260	238·1	Kiruna	Švedsko	0·2
		Bordeaux	Francija	1
1240	241·9	Münster	Nemčija	1·5
1200	250	Eskilstuna (<i>smuc</i>)	Švedsko	0·25
		Gleiwitz	Nemčija	0·7
1190	252·1	Bradford (<i>2ls</i>)	Anglija	0·5
		Montpellier	Francija	0·5
		Säffle (<i>smts</i>)	Švedsko	0·3
		Bremen	Nemčija	0·7
1180	254·2	Kalmar (<i>smsw</i>)	Švedsko	0·25
		Kiel	Nemčija	0·7
		Pori	Finsko	0·2
1154	260	Toulouse	Francija	0·5
1150	260·9	Malmö (<i>sasc</i>)	Švedsko	1
1130	265·5	Antwerpen (Anvers)	Belgija	1·5
1120	267·8	Lisboa (Lizbona)	Portugalsko	1
		Strasbourg (<i>8gf</i>)	Francija	0·3
1110	270·3	Poznanj	Poljsko	1·5
1100	272·7	Danzig (Gdansko)	Gdansko	1·5
		Hudiksvall (<i>smsl</i>)	Švedsko	0·25
		Kassel	Nemčija	0·7
		Celovec	Avstrija	1·5
		Sheffield (<i>6fl</i>)	Anglija	0·2
1090	275·2	Dresden	Nemčija	0·7
		Jakobstadt	Finsko	0·2
		Norrköping (<i>smvv</i>)	Švedsko	0·25
		Nottingham (<i>5ng</i>)	Anglija	0·2
1080	277·8	Leeds (<i>2ls</i>)	Anglija	0·5

Fre- kvenca v <i>kH</i>	Valovna dolžina v <i>m</i>	Ime (znak)	Država	Oddajna energija v <i>kW</i>
1080	277·8	Trollhättan (<i>smxq</i>)	Švedsko	0·25
		Barcelona (<i>eaj13</i>)	Španija	0·6
1060	283	Dortmund	Nemčija	0·7
1045	287	Lille	Francija	1
1040	288·5	Edinburgh (<i>2 eh</i>)	Anglija	0·2
1030	291·3	Radio Lyon	Francija	5
1020	294·1	Dundee (<i>2 de</i>)	Anglija	0·2
		Hull (<i>6 kh</i>)	Anglija	0·2
		Innsbruck	Avstrija	0·5
		Liege (Lüttich)	Belgija	0·2
		Stoke-on-Trent (<i>6 st</i>)	Anglija	0·2
		Swansea (<i>5 sx</i>)	Anglija	0·2
		Uddevalla (<i>smzp</i>)	Švedsko	0·25
		Valencia (<i>eaj14</i>)	Španija	0·5
1010	297	Cartagena (<i>eaj16</i>)	Španija	1
		Radio Agen	Francija	0·25
		Hannover	Nemčija	0·7
		Jyvaskala	Finsko	0·2
		Liverpool (<i>6 lv</i>)	Anglija	0·2
		Varberg (<i>smsu</i>)	Švedsko	0·25
1000	300	Bratislava	Češko-Slovaška	1·5
		Marseille	Francija	0·5
990	303	Nürnberg	Nemčija	4
		Madrid (<i>eaj12</i>)	Španija	2·5
980	306·1	Belfast (<i>2 be</i>)	Anglija	1·5
974	308	Pariz-Radio Vitus	Francija	0·3
968	310	Zagreb	Jugoslavija	0·35
		Moskva	Rusija	0·3
		Pariz-Radio Tex	Francija	0·3
960	312·5	Newcastle (<i>5 no</i>)	Anglija	1·5

Fre- kvenca v <i>kH</i>	Valovna dolžina v <i>m</i>	Ime (znak)	Država	Oddajna energija v <i>kW</i>
950	315·8	Milan (1 <i>mi</i>)	Italija	1
		Upsala	Švedsko	0·3
940	319·1	Dublin (2 <i>rn</i>)	Anglija - Irsko	1·5
930	322·6	Breslau (Vratislava)	Nemčija	4
920	326·1	Birmingham (5 <i>it</i>)	Anglija	1·5
910	329·7	Königsberg	Nemčija	4
900	333·3	Neapel	Italija	1·5
		Reykjavik	Danska - Islandija	0·5
890	337	Kopenhagen	Dansko	0·7
880	340·9	Pariz-Petit Parisien (8 <i>es</i>)	Francija	0·5
874	343	San Sebastian (<i>ej</i> 8)	Španija	0·5
870	344·8	Barcelona (<i>ej</i> 1)	Španija	1·5
860	348·9	Praga	Češko-Slovaška	5
857	350	Grenoble	Francija	0·5
850	353	Cardiff (5 <i>wa</i>)	Anglija	1·5
840	357·1	Gradec	Avstrija	4·5
		Sevilla (<i>ej</i> 5)	Španija	1
830	361·4	London (2 <i>lo</i>)	Anglija	3
828	362	Cadix (<i>ej</i> 3)	Španija	0·55
820	365·8	Leipzig (Lipsko)	Nemčija	4
810	370·4	Bergen	Norveško	1
		Pariz-Radio LL	Francija	0·7
800	375	Madrid (<i>ej</i> 7)	Španija	1·5
		Madrid (<i>ej</i> 4)	Španija	1·5
		Helsingfors	Finsko	1·2
790	379·7	Stuttgart	Nemčija	4
780	384·6	Manchester (2 <i>zy</i>)	Anglija	1·5
765	392	Radio Toulouse	Francija	3
760	394·7	Hamburg	Nemčija	4
750	400	Cork	Anglija - Irsko	1·5

Fre- kvenca v <i>kH</i>	Valovna dolžina v <i>m</i>	Ime (znak)	Država	Oddajna energija v <i>kW</i>
750	400	Falun (<i>smzk</i>)	Švedsko	0·4
		Plymouth (<i>špy</i>)	Anglija	0·2
		Tampere	Finsko	0·25
745	402·5	Salamanca (<i>eaj22</i>)	Španija	0·5
740	405·4	Glasgow (<i>šsc</i>)	Anglija	1·5
735·3	408	Reval	Estonska	2·2
730	411	Bern	Švica	1·5
728	412	Bilbao (<i>eaj11</i>)	Španija	2
723	415	Bilbao	Španija	0·5
720	416·7	Göteborg (<i>sasb</i>)	Švedsko	1
715	419·5	Bordeaux	Francija	1·5
711	422	Krakov	Poljsko	2
709	423	Nottoden	Norveško	0·5
700	428·6	Frankfurt (<i>M</i>)	Nemčija	4
690	434·8	Frederikstad	Norveško	0·7
680	441·2	Brno	Češko-Slovaška	3
670	448	Rjukan	Norveško	0·5
667	450	Rim (<i>lro</i>)	Italija	12
		Moskva (<i>ra2</i>)	Rusija	2
660	454·4	Stockholm (<i>sasu</i>)	Švedsko	1·5
658	456	Vladivostok (<i>ra17</i>)	Rusija	1·5
655	458	Pariz-Brzoj. šola (<i>es1</i>)	Francija	5
650	461·5	Oslo	Norveško	1·5
630	468·8	Langenberg	Nemčija	25
632	475	Harkov (<i>ra24</i>)	Rusija	4
476·2	476	Lyon	Francija	1
620	483·9	Berlin I.	Nemčija	4
610	491·8	Bournemouth (<i>šbm</i>)	Anglija	1·5
		Daventry (<i>šgb</i>)	Anglija	12
600	500	Porsgrund	Norveško	0·5

Fre- kvenca v <i>kH</i>	Valovna dolžina v <i>m</i>	Ime (znak)	Država	Oddajna energija v <i>kW</i>
600	500	Minsk (<i>ra 12</i>)	Rusija	1·2
		Aberdeen (<i>2 bd</i>)	Anglija	1·5
		Linköping (<i>smuv</i>)	Švedsko	0·25
		Como	Italija	5
590	508·5	Bruxelles (Bruselj) (<i>sbr</i>)	Belgija	1·5
585	513	Krasnodar	Rusija	1
580	517·2	Dunaj I. (Rosenhügel)	Avstrija	5
570	526·3	Riga	Latvija (Letonska)	2
560	535·7	München (Monakovo)	Nemčija	4
555	540	Dnepropetrovsk	Rusija	1
550	545·6	Sundsvall (<i>sasd</i>)	Švedsko	1
540	555·6	Budimpešta	Madžarsko	3
530	566	Berlin II.	Nemčija	2
		Bloemendaal	Holandsko	0·3
		Hamar	Norveško	0·25
520	577	Freiburg	Nemčija	0·7
		Dunaj II. (Stubenring)	Avstrija	1·5
510	588	Zürich (Curih)	Švica	4
462	650	Moskva	Rusija	20
458	655	Stavropol (<i>ra 20</i>)	Rusija	1·2
441	680	Lausanne (<i>hb 2</i>)	Švica	1·5
432	695	Tver (<i>ra 44</i>)	Rusija	1·2
429	700	Astrahan (<i>ra 26</i>)	Rusija	1
		Vologda (<i>ra 41</i>)	Rusija	1·2
416	720	Östersund	Švedsko	1
400	750	Baku (<i>ra 45</i>)	Rusija	1·2
		Kursk	Rusija	1
		Habarovsk	Rusija	20
395	760	Genf (<i>hb 1</i>)	Švica	1·5
392	765	Petrosavodsk	Rusija	2

Fre- kvenca v <i>kH</i>	Valovna dolžina v <i>m</i>	Ime (znak)	Država	Oddajna energija v <i>kW</i>
387	775	Artemovsk	Rusija	1·2
375	800	Ivanovo-Vosnosensk	Rusija	0·9
		Taškent	Rusija	2
366	820	Rostov na Donu (<i>ra 14</i>)	Rusija	4
		Kiev (<i>ra 5</i>)	Rusija	1
349	860	Nižnij Novgorod (<i>ra 13</i>)	Rusija	1·8
346	870	Tiflis	Rusija	4
327	925	Homel	Rusija	1·2
316	950	Voronež (<i>ra 12</i>)	Rusija	1·2
		Erivan	Rusija	1·2
		Odense	Dansko	1
300	1000	Leningrad (<i>ra 42</i>)	Rusija	10
		Odesa	Rusija	1·2
297	1010	Velikij-Ujstug (<i>ra 16</i>)	Rusija	1·2
286	1050	Amsterdam	Nizozemsko	0·3
		Haag	Nizozemsko	0·3
283	1060	Hilversum (<i>hdo</i>)	Nizozemsko	5·2
273	1100	Irkutsk	Rusija	0·5
		Basel	Švica	0·25
270	1111	Varšava	Poljsko	10
268	1117	Novosibirsk (<i>ra 33</i>)	Rusija	4
261	1150	Ryvangel	Dansko	1
260	1153·8	Sorö	Dansko	1·5
250	1200	Boden	Švedsko	1
244	1230	Carigrad	Turčija	15
240	1250	Königswusterhausen	Nemčija	8
		Hjörriug	Dansko	0·5
227	1320	Motala	Švedsko	30
		Moskva	Rusija	2·5
218	1376	Karlsborg	Švedsko	5

Fre- kvenca v <i>kH</i>	Valovna dolžina v <i>m</i>	Ime (znak)	Država	Oddajna energija v <i>kW</i>
207	1450	Moskva (ra1)	Rusija	10
187	1604.3	Daventry (5xx)	Anglija	25
154	1950	Scheveningen	Nizozemsko	2.5
150	2000	Kovno	Litva	7
136	2200	Luxemburg	Luxemburg	0.25
113	2650	Eiffelov stolp	Francija	15

Iugoslaviji je odkazanih pet različnih frekvenc. Sedaj deluje le zagrebška postaja, v Beogradu in **Domžalah** grade novi postaji. Ker za domžalsko postajo frekvenca, še ni določena, je v pregledu nismo omenili. Spomladi bo že delovala in bo imela baje v anteni 10 *kW* energije.

Stvarno kazalo.

Število pomenja stran, kjer se izraz navaja.

- Abeceda, telegrafska 41, 152
akumulator 74
akumulator, Edisonov 76
akumulator, svinčev 75
alfabet, Morsejev 41, 152
amper 7
amperometer s segrevajočo se žico 19
amperometer z vrtljivo tuljavo 44
amplituda 82
anoda 71, 174
antena 133
antena, dvojna 136
antena, dopolnilna 134
antena, kondenzatorska 133
antena, L- 136
antena, linearna 134
antena, navadna 133
antena, obročasta 137
antena, oddajna 134
antena, okvirna 133
antena, podstrešna 137
antena, prejemna 134
antena, sobna 137
antena, T- 136
antena, trojna 136
antena, valjasta 137
antena, večkratna vertikalna 137
antena za dolge valove 141
antena za kratke valove 141
antena, zvezdna 136
aparat, merski — s segrevajočo se žico 19
aparat, prejemni 154
aparat, primarni prejemni 166
aparat, sekundarni prejemni 167
atom 2
atom, nevtralni 69
avdion 200
avdion, nihajni 221
avdion z reakcijo 221
Baterija, anodna, 74, 175
baterija, katodna 173
baterija, mrežna 182
baterija, netilna 173
baterija, termska 69
baterija, žepna 74
baza 70
bifilarno 54
brnjač 40
Celica, elektrolitična 71
celica, Graetzova 71
celica, ventilna 71
centimeter (enota kapacitete) 25
centimeter (enota samoindukcije) 53
cev, bakrena 127
cev, Quinke-jeva interferenčna 99
cevka, dvoelektrodna elektronska 171
cevka, dvojna 226
cevka, elektronska 170
cevka, Geißlerjeva 172
cevka, katodna 173
cevka, miniwattna 175

cevka, mnogoterna 226
 cevka, modulacijska 214
 cevka, troelektrodna elek-
 tronska 181
 cevka, varčna 175
 cevka z največjo praznino 175
 coulomb 5

Čas 19

člen, Daniellov 75
 člen, galvanski 72
 člen, Grenetov 75
 člen, kupronov 74
 člen, Leclanchéjev 75
 člen, primarni 74
 člen, sekundarni 74
 člen, suhi 74
 člen, termiski 69
 člen, Voltov 75
 črta, valovna 97

Delovališče 190

detektor 157
 detektor, cevni 199
 detektor, kontaktni 157
 detektor, kristalni 158
 detektor, žarnični 179
 dielektrik 27
 dinamostroj 62
 dinamo, vzbujevalni 60
 dioda 174
 doba, fazna 82
 doba, nihajna 82
 doba, periodna 60
 dol, valovni 91
 dolžina nihala 82
 dolžina, valovna 91
 dopolnilo antene 154
 dušenje 84, 104
 dušenje, negativno 221
 dušenje radi izžarivanja 151,
 142
 dvig 185

Efekt 20

efekt, povprečni 65
 ekstratok 51
 elektrenina 5
 električen 1
 elektrika 1, 5
 elektrika, negativna 1
 elektrika, pozitivna 1
 elektroda 18, 71
 elektrolit 71
 elektroliza 71
 elektromagnet 59
 elektromagnet, podkvast 59
 elektromotor 62
 elektron 5
 elektron, deloma vezani 4
 elektron, prosti 4
 elektron, vezani 4
 elektroskop 5
 elektrotehnika III
 element, galvanični 72
 element, kemični 2
 elongacija 82
 emisija elektronov 173
 enačba, cevkina 188
 energija, kinetična 80
 energija, mehanična — tvarine
 80
 energija, potencična 80
 eter 4
 eter, svetlobni 4, 97

Faktor, fazni 67

faktor, ojačevalni 189, 195
 farad 25
 faza 63, 82
 formirati 75
 frekvenca 60
 frekvenca, krožna 102
 frekvenca, lastna 109
 frekvenca, resonančna 109
 frekvenca, samosvoja 109
 frekvenca, valovna 128

- Galvanometer 40
 Galvanometer z vrtiljivo tu-
 ljavostjo 44
 galvanoplastika 72
 galvanoskop 40
 galvanostegija 72
 generator 62
 generator, cevni 154
 generator, cevni s tujim vzbu-
 janjem 206
 generator, iskrni 144
 generator, strojni 155
 generator, visokofrekvenčni
 144
 generator za izmenični tok 60
 generator z brnjačem 144
 generator z obločnim plame-
 nom 153
 generator z ugašajočimi iskra-
 mi 146
 gibanje, periodično 82

 Hektowatt 20
 hektowattska ura 20
 henry 53, 104
 hertz 60
 heterodin 219
 hipoteza, dualistična 1
 hitrost valovnega razširjanja
 91
 hrib, valovni 91

 Igla, magnetna 53
 impedanca 148
 indukcija 45
 indukcija, zemeljska 52
 induktor, iskrni 48
 influenza, električna 22
 influenza, magnetna 38
 instrumentarij, Teslov 147
 interferenca valov 93
 interferenca zvočnih valov 98
 ion, negativni 70, 170
 ion, pozitivni 69, 170
 ionizacija plinov 170
 ionizacija s sunki 171
 iskra, glasna 145
 iskra, električna 124, 171
 iskrilo 123
 iskrilo z ugašajočimi iskrami
 146
 istofazen 63
 izhodišče gibanja 90
 izolator 4
 izpraznjevalo 124

 Jačenje, zaporedno 194
 jakost, efektivna 62
 jakost elektromagnetnega po-
 lja 142
 jakost toka 7
 jakost toka, trenutna 62
 jedro atomovo 2
 joule 20

 Kalorija, velika 19
 kalorija, mala 19
 kapaciteta 5
 kapaciteta akumulatorja 76
 karakteristika 16
 karakteristika, detektorjeva
 158
 karakteristika, cevna 175, 185
 karborund 158
 katoda 71, 174
 katodofon 218
 kilogrammeter 20
 kilogrammeter, sekundni 20
 kilo-hertz (kHz) 60
 kilowatt 20
 kilowattska ura 20
 kislina 70
 ključ, telegrafski 40, 151
 koherer 157
 kolektor 61
 koleno, spodnje 199
 koleno, zgornje 199
 komutator 61

- kondenzator 26
- kondenzator, frekvenčni 27
- kondenzator, ledični 27
- kondenzator, listni 26
- kondenzator, mrežni 201
- kondenzator, ploščni 26
- kondenzator, pomanjševalni 141
- kondenzator, pomirjevalni 180
- kondenzator, stalni 26
- kondenzator, telefonski 165
- kondenzator, vrtilni 27
- kondenzatorji vzporedno vezani 30
- kondenzatorji zaporedno vezani 30
- kondenzator z natančno nastavo 26
- konduktor 4
- konstanta, dielektrična 28
- kot, fazni 117
- kotva 60
- krivka dušenja 84, 127
- krivulja, sinusova 16, 60, 82
- krog, anodni 182
- krog, antenski 149, 156
- krog, brezuporni 109
- krog, detektorski 156
- krog, električni nihajni 108, 121
- krog, mrežni 182
- krog, netilni 182
- krog, nihajni z iskrilom 125
- krog, odprti nihajni 131
- krog, polnilni 150
- krog, resonančni 156
- krog, sklenjeni nihajni 125
- krog, strojni 149
- krog, suvalni 148
- krog, vmesni uglasovalni 168, 208
- krog, zapiralni 115
- kršec, bakrov 158
- kršec, železni 158
- kvant, električni elementarni 5
- kvocient, samoindukcijski 53
- Lijak na zvočniku 98
- lom valov 97
- Magnet, prirodni 33
- magnet, umetni 33
- magnetičen 33
- magnetizem, remanentni 39
- magnetizem, zemeljski 36
- meteramper 142
- metalurgija 72
- mikrofarad 25
- mikrofon 17, 217
- mikrofon, kapacitivni 218
- mikrofon, Reiszov 217
- mikrofon s ploščico 218
- mikrofon z ogljenimi zrnci 217
- milihenry 53
- miriahertz 60
- modulacija 162, 213
- modulacija s cevko 215
- modulirana visoka frekvenca 162
- molekula 2
- mreža 181
- mreža, notranja 181
- mreža, zunanja 181
- motnje 165
- Načelo, dinamo-električno 61
- naelektrenost, prostorska 176
- napetost, anodna 175
- napetost, dodatna 183
- napetost, efektivna 62
- napetost, istosmerna 7
- napetost, izmenična 60
- napetost nasičenja 177
- naprava, priklopna 15, 75
- nasičenje 177
- natančnost uglasjanja 119
- nihaj 82

nihaj, aperiodični 84
 nihaji, osnovni 128
 nihaji, visokofrekvenčni 145
 nihaji, višji 128
 nihali, spojeni 87
 nihalo, enostavno 82
 nihalo, Maxwellovo 80
 nihanje, glavno — antene 136
 nihanje, lastno 88
 nihanje, neudušeno 84, 127
 nihanje, samosvoje 88
 nihanje, udušeno 84, 127
 nitka, netilna 173
 rožica 181

Odboj valov 96
 ohm 8
 ojačevalo 189
 ojačevalo, nizkofrekvenčno 189
 ojačevalo, nizkofrekvenčno —
 z uporom 195
 ojačevalo, nizkofrekvenčno —
 z zadrgalno tuljavo 197
 ojačevalo s cevko 191
 ojačevalo, večkratno nizko-
 frekvenčno 194
 ojačevalo, visokofrekvenčno
 189
 ojačevalo, visokofrekvenčno —
 z zapiralnim krogom 198
 oksid 173
 os, abscisna 16
 os, časovna 16
 os, jakosti toka 16
 os, magnetna 33
 os, ordinatna 16
 ovoji, amperski 39

Palica, magnetna 35
 perikon 158
 perioda 60
 permeabiliteta 36
 pirit 158
 plamen, obločni 18, 172

plošča, stična 51
 ploskev, nivojna 22
 ploskev tišine 98
 ploskev, valovna 97
 podkev, magnetna 35
 podstavek 181
 pol, elementov 72
 pol, južni 33
 pol, magnetni 33
 pol, severni 33
 polarizacija, dielektrična 28
 polarizacija, galvanska 73
 polje, električno 22, 122, 132
 polje, elektromagnetno 132
 polje, homogeno 26, 34
 polje, izmenično magnetno 42
 polje, magnetno 34, 123, 132
 polje, notranje magnetno 35
 polje, stalno magnetno 42
 polje, zunanje magnetno 35
 poskus, impedančni 148
 postaja, oddajna Marconijeva
 145
 postaja, oddajna — s cevko 208
 postaja, oddajna — s tujim
 vzburjanjem 207
 postaja, oddajna — v direktni
 vezavi 207
 postaja, oddajna — za tele-
 fonijo 218
 postaja, oddajna — z glasnimi
 iskrami 150
 postaja, oddajna — z neudu-
 šenimi valovi 152
 postaja, oddajna — z obloč-
 nim plamenom 154
 postaja, oddajna — z uduše-
 nimi iskrami 152
 postaja, oddajna — z ugašajo-
 čimi iskrami 150
 postaja, oddajna — z uglaš-
 nimi iskrami 150
 postaja, popolna oddajna — z
 modulacijsko napravo 216

postaja, prejemna 154
 potencial 5
 potenciometer 51
 pravilo, Amperovo plavaško 40
 pravilo, desne roke 45
 pravilo, leve roke 44
 prejemanje po poslušni 41
 prejemanje z interferenco 219
 prejemanje z utripanjem 219
 prekinjalo, avtomatično 40
 prenos energije 87
 prenos energije s sunki 88
 preseg 186
 presledek, prostorni 4
 priprava, merska — z mehkim
 železom 45
 proizvajanje istosmernega to-
 ka 60
 proizvajanje izmeničnega to-
 ka 59
 propustljivost 36
 prostor, prazni 5
 prostor, temni 172
 provodnik, dober — elektrike 4
 provodnik, slab — elektrike 4
 prvina 2

Radio III

radiofonija III
 radiotehnika III
 razlika, fazna 63, 86
 razmeja, magnetna 53
 razmerje, prenosno 195
 razpršba silnic 152
 razredčina 17, 93
 raztopina 70
 reakcija 209
 reakcija, galvanična 211
 reakcija, induktivna 209
 reakcija, kapacitivna 210
 redukcija dušenja 221
 relais 41
 reostat 8
 resonanca 88, 108, 115, 118

resonanca dveh leydenskih
 steklenic 125
 rotor 26

Samoindukcija 51, 53
 selektiven 165
 selektivnost 165
 sijajnik, svinčev 158
 sila, elektrostatična 1
 sila, konjska 20
 sila, magnetna 36
 silicij 158
 silnica, električna 24
 silnica, magnetna 34
 skala, Lebedew-ova 68
 skinefekt 127, 148
 skrinjica, resonančna 17
 skok, fazni 110, 115
 slušalo 42
 smer toka 7
 smer silnic 58
 snov 1
 sol 70
 spojen, ohlapno 87
 spojen, tesno 87
 spojina 2
 spojitev 87
 spojitev, direktna 50, 124
 spojitev, električna 50
 spojitev, galvanična 50, 124
 spojitev, galvanično induktiv-
 na 124
 spojitev, galvanično kapaci-
 tivna 125
 spojitev, induktivna 49, 124
 spojitev, magnetna 49
 spojitev, ohlapna 49
 spojitev, tesna 49
 sredstvo, homogeno 89
 sredstvo, izotropno 91
 stator 26
 steklenica, leydenska 124
 stik, kratki 11
 stikač 181

strmota 185
 stroj, magneto-električni 60
 superheterodin 226
 superponirati 93
 sveča, normalna 20
 svetloba, pozitivna 172
 svetloba, Teslova 148

špirala, žična 81, 92, 96
 število nihajev 87

Telefon 42
 telefonija, brezžična III, 213
 telefonija, žična 43
 telefonirati brezžično 161
 telegraf, Morsejev 40
 telegrafija, brezžična III, 133
 telo, homogeno 89
 telo, influirano 22
 telo, razdeljevalno 22
 telur 158
 teorija, elektronska 3
 tetroda 181
 tok, anodni 175
 tok, brezvattni 67
 tok, električni 4, 7
 tok, emisijski 175
 tok, enofazni izmenični 67
 tok, indukcijski 45
 tok, istosmerni 15
 tok, izmenični 15
 tok, kvazi-stacionarni 134
 tok, mrežni 182
 tok nasičenja 176
 tok, netilni 173
 tok, polarizacijski 73
 tok, popuščajoci 15, 61
 tok, premikalni 33, 123
 tok, primarni 46
 tok, sekundarni 46
 tok, termiski 69
 tok, Teslov 147
 tok, trofazni 67
 tok, valovni 15

tok, vrtilni 67
 tok, vrtničasti 50, 52, 127
 tokovodnik 38, 101
 ton, strojni 61
 torij 173
 trak, bakreni 127
 transformator 46
 transformator, izhodni 193
 transformator, Teslov 147
 transformator, vhodni 192
 transformator, visokofre-
 kvenčni 197
 transformator, železno skle-
 njeni 50
 transformator z železnim je-
 drom 49
 transformator z železnim okvi-
 rom 50
 transformiranje navzdol 47
 transformiranje navzgor 47
 trioda 181
 tuljava 38
 tuljava, Ledion 56
 tuljava, ploščnata 56
 tuljava, podaljševalna 141
 tuljava, premikalna 56
 tuljava, primarna 46
 tuljava, prosto stoječa 56
 tuljava, reakcijska 220
 tuljava, satovna 56
 tuljava, sekundarna 46
 tuljava, telefonska 42
 tuljava, valjasta 56
 tuljava, večdelna 56
 tuljava, zadržalna 55
 tuljave, vzporedno zvezane 58
 tuljave, zaporedno zvezane 58
 tvarina 1

Učinek (efekt) 20
 učinek, kemični — električnega
 toka 69
 učinek, toplotni — električnega
 toka 18

udrževanje 52
 uglaševati 89, 118
 uho 16
 upor, električni 8
 upor, induktivni 103
 upor, kapacitivni 102
 upor, mrežni 188
 upor, negativni 221
 upor, netilni 174
 upor, notranji cevkin 187
 upor, odvodni 202
 upor, povprečni 106, 112
 upor, specifični 8
 upor, skupni 117, 121
 upori, vzporedno zvezani 15
 upori, zaporedno zvezani 15
 ura, wattska 20
 usmerjenje z detektorjem 160
 usmerjenje z elektronsko cev-
 ko 178
 usmerjevalo 77, 178
 usmerjevalo, dvojno 179
 usmerjevalo, Graetzovo elek-
 trolitično 77
 usmerjevalo, nihalno 78
 usmerjevalo z največjo praz-
 nino 180
 usmerjevalo z žlahtnim pli-
 nom 180
 utripanje 100, 126

Val 91

valovi, električni 97, 132
 valovi, elektromagnetni 132
 valovi, magnetni 132
 valovi, mehanični 97
 valovi, ravni 97
 valovi, svetlobni 97
 valovi, zvočni 97
 valovanje 90
 valovanje, linearno 90
 valovanje, longitudinalno 17, 92
 valovanje, postopno 17, 92
 valovanje, prostorninsko 90

valovanje, ravninsko 91
 valovanje, stojno 17, 94
 valovanje, transversalno 17, 92
 valovomer 144
 variometer 56
 vezava 165
 vezava, Graetzova 77
 vezava, odbojna 224
 vezava, refleksna 224
 vezava treh točk 211
 vezava z mostkom 226
 vilice, glasbene 17, 98
 višina, efektivna antenina 141
 višina, učinkovita antenina 141
 volfram 173
 volt 11
 voltmeter z vrtljivo tuljavo 44
 voz 17, 94
 vrednost toka, največja 62
 vrh, nihajni 17, 94
 vrvica, žična 127

Watt 20

Zakon, Joulov 19
 zakon, Lenzov 46
 zbujanje nihajev s sunki 126
 zakon, Ohmov 10
 zakon, Ohmov splošni 101
 zakon o konstanci energije 81
 zbujanje, samosvoje 209
 zgoščina 17, 93
 zgoščevalo elektrike 26
 zinkit 158
 zloževalo valov 219
 zvočilo 16
 zvočnik 43
 zvok 16
 zvokovod 16
 zvonec, električni 40

žarek, valovni 96
 žarki, katodni 173
 žica, antenska 136
 žica, odvodna 136

Popravki.

Stran	2,	vrsta	14:	nam. 10^{-3}	beri: 10^{-3} .
„	17,	„	8:	nam. roglja	beri: rogljev.
„	17,	„	8:	nam. nihalni	beri: nihajni.
„	19,	„	8:	nam. velike kalorije	beri: (velike kalorije).
„	28,	„	16:	nam. električno	beri: dielektrično.
„	37,	„	7:	nam. gibljiv	beri: gibljivi.
„	43,	„	5, 6:	nam. rišemo simbolično	beri: simbolično rišemo.
„	47,	„	24:	za »napetostjo«	manjka vejica.
„	51,	„	34:	nam. (t_0)	beri: (t_1).
„	53,	„	27:	nam. Henry	beri: henry.
„	54,	„	27:	nam. zakasnjuje	beri: zakasni.
„	58,	sliki	66. in 67.	se dostavi:	vezani.
„	60,	vrsta	12:	nam. kilo-Hertzihi in miria-Hertzihi	beri: kilohertzihi in miriahertzihi.
„	61,	„	8:	se izpusti t. j.,.	
„	63,	„	19:	za » v_f «	manjka vejica.
„	64,	„	3, 4:	se loči napetost-jo.	
„	67,	„	20:	nam. razliki $\emptyset$	beri: razliki 0^0 .
„	71,	„	19:	za »snovi«	je vejica odveč.
„	80,	„	13:	nam. delo tvarina	beri: tvarina delo.
„	88,	„	12:	nam. drugo	beri: drugega.
„	89,	„	16:	nam. homogen-skega	beri: homogen-skega.
„	95,	„	24:	nam. celi	beri: vsej.
„	98,	„	19:	nam. posamezen	beri: posamezni.
„	111,	„	16:	je nejasno tiskano:	I_R .
„	119,	„	1, 2:	10^{-3} in 10^{11}	je nejasno tiskano.

- Stran 123, vrsta 12: nam. pomikalni beri: premikalni.
- „ 123, „ 32: za »tuljave« je vejica odveč.
- „ 137, „ 17: nam. nočemo beri: hočemo.
- „ 138, „ 14: nam. uglasujemo beri: uglašujemo.
- „ 139, „ 1: nam. nad beri: med.
- „ 140, „ 5: nam. uglašanje beri: uglaševanje.
- „ 158, „ 22: nam. simbolično detektor beri: detektor simbolično.
- „ 165, „ 32: nam. uglašanje beri: uglaševanje.
- „ 168, „ 9: nam. uglašanje beri: uglaševanje.
- „ 171, „ 1: za »načine« manjka vejica.
- „ 173, „ 13: nam. zasveti beri: se zasveti.
- „ 176, „ 5: nam. izžarela beri: izžarila.
- „ 180, „ 8: za »cevkah« manjka vejica.
- „ 185, „ 18: nam. $\frac{mV}{A}$ beri: $\frac{mA}{V}$.
- „ 199, „ 22: nam. uglašamo beri: uglašujemo.
- „ 200, pod sliko: usmerjevanje in ojačevanje.
- „ 202, vrsta 15: nam. usmerjenje beri: usmerjevanje.
- „ 203, „ 13: nam. poseben beri: posebni.
- „ 204, „ 15: nam. naelektriti beri: razelektriti.
- „ 209, „ 9: nam. vežemo beri: zvežemo.
- „ 220, „ 14: nam. spojena induktivna beri: induktivno spojena.



PARNI STROJ IN PARNA TURBINA

Spisal: *Ing. Gvidon Gulič*,
inspektor parnih kotlov in
ravnatelj urada za pospe-
ševanje obrti v Ljubljani.

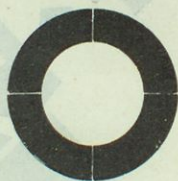
Knjiga je namenjena pred-
vsem našim strojnikom in
obratovodjem, služila pa
bo vsemu našemu tehnič-
nemu naraščaju za študij
in prakso. — Besedilo po-
jasnjuje 165 slik, ki so
knjigi pridejane.

Cena za lično vezan izvod v
celo platno Din 80.—.

PARNI KOTEL

Spisal: *Ing. Gvidon Gulič*.

Učna knjiga za kurjače,
posestnike parnih kotlov
in delovodje. — Knjigo
pojasnjuje mnogo slik v
besedilu. Cena za lično
vezan izvod Din 30.—.



**Jugoslovanska knjigarna
v Ljubljani**

FABAR

**PISALNI STROJI
REMINGTON**

**LJUBLJANA
ČANKARJEVA
NABREŽJE ŠT. 5
TELEFON 2407**

**CENE ZMERNE!
IZBIRA VELIKA**

RADIO

APARATI:

DOZVOLA „TELEFUNKEN“ ZA SHS — ULTRADYNE
SOLODYNE — HARTLEY — LOEWE — AUTODYNE
NIZKO FREKVENČNI OJAČEVALCI

SESTAVNI DELI OD TVRDK:

KAPSCH & SÖHNE — TELEFUNKEN — PHILIPS
FORMO — INGELN — LOEWE — AHMO — AN-
SCHÜTZ — JUNG — KARST — CELESTION — JAHRE
LISSEN — SCHLOTTHAUER — WEILO I. T. D.

ELEKTRONKE:

TRIOTRON - PHILIPS - TELEFUNKEN - SILVER STAR
VALVO — EAGLE — TUNGSRAM — KREMENEZKY

ANODNE BATERIJE SUHE:

KRISTAL K. & S. — ZMAJ

AKUMULATORJI ANODNI IN KATODNI:

VARTA — VATRA — TUDOR

RAZNO:

ŽICE — CELULOID — TROLIT — TRDI GUMI — PER-
TINAX CEVI — BOUJIER-CEV

ZVOČNIKI:

K. & S. — TUNGSRAM — PHILIPS — GRAWOR
TRIOTRON — INGELN — TELEFUNKEN — OE. T. A. G.
CELESTION — RADIOLAVOX — SANDAHL

SLUŠALA:

TELEFUNKEN — K. & S. — ESWE — MERCUR — AU-
STRIA — TUNGSRAM — RADIOLA

Zbirka žepnih slovarjev

Jugoslovanske knjigarne v Ljubljani:

Francosko-slovenski slovar. Sestavil dr. Janko Pretnar. 1924. 555 strani. Vezan v celo platno Din 70.—.

Slovensko-francoski slovar s seznamom nepravilnih glagolov. Sestavil dr. Janko Kotnik. 1926. 382 strani. Vezan v celo platno Din 70.—.

Italijansko-slovenski slovar. Nad 40.000 besed z bogato frazeologijo in kratkim imenikom krstnih imen. — Sestavil dr. Josip Valjavec, D. S. 379 str. Vezan v celo platno Din 70.—.

Slovensko-italijanski slovar. Sestavil dr. Josip Valjavec, D. S. 1924 404 strani. Vezan Din 65.—.

Latinsko-slovenski slovar. Sestavil prof. dr. Fr Bradač. 1926. 500 strani. Vezan v celo platno Din 70.—.

Srbohrvatsko-slovenski slovar. Sestavil dr. Albin Vilhar. 1927. 340 strani. Vezan v celo platno Din 60.—.

Slovensko-srbohrvatski slovar. Sestavil prof. dr. Albin Vilhar. 1927. 296 strani. Vezan v celo platno Din 70.—.

Znanstvena knjižnica:

1. zvezek: Gulič Gvidon ing., Parni kotel. Ljubljana, 1921. 100 strani in 52 slik. Din 30.—.

2. zvezek: Foerster Jaroslav ing., Ojačen beton. Ljubljana, 1921. 123 strani z 41 slikami med besedilom. Din 12.—.

3. in 4. zvezek: Sarabon dr. Vinko, Gospodarska geografija. Ljubljana, 1922. 310 strani. Din 48.—.

5. zvezek: Beg Ante, Naše gobe. Navodilo za spoznavanje užitnih in strupenih gob. S 75 barvnimi tabelami. Ljubljana, 1923. 64 strani. Din 50.—.

6. zvezek: Erjavec Fran, Slovenci. Ljubljana, 1923. 259 strani z dvema zemljevidoma. Din 40.—.

Jugoslovanska knjigarna v Ljubljani.

NARODNA IN UNIVERZITETNA
KNJIZNICA

COBISS #



00000077473

