

NOVOVJEKI IZUMI

KNJIGA IV.

NAPISALI

DR. OTON KUČERA I DR. STANKO PLIVELIĆ.



ZAGREB, 1913.

IZDALA MATICA HRVATSKA.

TISAK DIONIČKE TISKARE U ZAGREBU.

Najnoviji izvor jakih električnih struja : dinamo izmjenične struje.

U trećoj knjizi „Novovjekih izuma” završio sam raspravljanje o modernim izvorima električnih struja opisom stroja, poznatoga uz ime „dinamo za jednaku struju”, ili kraće „dinamo jednake struje”¹. Dok se kotva (Grammeov kolut ili Siemensovo vreteno = Siemensov bubanj) jednako brzinom vrti ispred polova „poljskog magneta”, tjerana parom ili vodom, teče u izvanjim provodnicama „jednaka struja” t. j. električna struja svagda istoga smjera i svagda jednake jakosti. Kad je elektrotehnici uspjelo koncem sedamdesetih godina 19. stoljeća da izgradi ovakove strojeve, koji daju jednaku struju, a napetost joj siže do 2000 volta², činilo se, da je elektrotehnika došla do vrhunca svoga razvijanja. Kad se je pak još k tomu pokazalo, da se isti stroj može upotrijebiti i kao „pogon” ili „motor”, koji je dobio novo ime „elektromotor jednake struje”³, pa da se ova silna električna struja razmjerno lako preko tankih bakrenih žica može s mjesta svoga rođenja stotine kilometara daleko prenositi⁴, kako bi ondje izvršivala najrazličnije radnje, što ih čovjek treba u svom novovjekom kulturnom životu, pogotovo je bio trijumf mlade elektrotehnike velik.

No i u tom se triumu našla gorka kaplja: prenošenje struje u velike daljine ište, da struja bude na svom izvoru što veće napetosti, (što više volta), a što manje jakosti (što manje ampera). Konstrukcija pak dinama jednake struje donosi sobom nepriliku, da se napetost struje izvedene u njemu ne može po volji visoko tjerati, makar da je to teoretički moguće.

¹ Novovjekii Izumi. Knjiga III. Izdala Matica Hrvatska. Cijena K 3.— Zagreb 1910. str. 138.—162.

² Za „volt” ispredi Novjeke Izume III. str. 61. i str. 280.

³ Novovjekii Izumi, III., str. 171.—191.

⁴ Novovjekii Izumi III., str. 191.—195.

Uzrok je tomu, što se svitci žice moraju da vrte ispred polova magneta, pak je već time određena neka granica za broj zavoja, a po tom i za elektromotornu silu ili napetost struja, rodjenih u tim zavojima. No kako se indukcijom magneta radjaju i z m j e n i č n e trenutačne struje¹, trebalo je te struje suprotnih smjerova zgodno sabirati u „k o l e k t o r u”², kako bismo ih pretvorili u j e d n a k u struju. Ako se u zavojima žice bude struje p r e v e l i k e n a p e t o s t i, preskaču na kolektoru iskre s jednoga štapića na drugi usprkos najpomnijivijoj izolaciji, a tim je opet određena granica, preko koje ne smije da ide napetost struje izvedene u dinamo jednake struje.

Trebalo je dakle tražiti n o v e i z v o r e e l e k t r i č n i h struja kud i kamo veće napetosti, nego što ju može dati dinamo jednake struje. Iz te je težnje nikao jedva jedan decenij kasnije (g. 1889.) najnoviji izvor najsnažnijih električnih struja, što ih čovjek danas ima: „**dinamo izmjenične struje**“, koji ćemo u ovom članku nešto bliže primaknuti razumijevanju Matičara.

I.

Osobite pojave i zakoni izmjeničnih električnih struja.

1. Jednaka struja i izmjenična struja. Izmedju j e d n a k e električne struje, kakovu nam daju galvanski elementi, akumulatori, termobaterije i navlastito „**dinamo jednake struje**“, i izmjenične struje, kakovu dobivamo na pr. kod osnovnih pokusa magnetoindukcije³, postoje dosta velike razlike u pojavama, a i osnovni zakoni, koji vrijede za jednaku struju⁴, znatno se mijenjaju kod izmjeničnih električnih struja. Nauka je dakle najprije morala da prouči te osobite prilike izmjeničnih električnih struja, kako bi ih mogla upotrijebiti kod gradnje novih najmodernijih izvora snažnih električnih struja.

I nama je poći tim putem.

Ako žicom provodnicom teče j e d n a k a s t r u j a, njezin je s m j e r s v a g d a j e d n a k: ona teče od p o z i t i v n o g a pola *A* (pozitivne stezaljke) neprekidno k negativnomu *B*. No pored jednakosti smjera imamo još istaknuti i j e d n a k u n a p e t o s t (elektromotornu

¹ Isp. Nov. Iz. III., str. 103.—105.

² Nov. Iz. III., str. 149.—150. sl. 49.

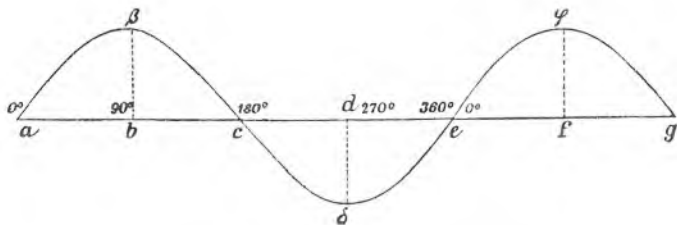
³ Nov. Iz. III., str. 103.—106. i str. 138.—141.

⁴ Nov. Iz. III., str. 111.—137.

silu) njezinu za čitavoga vremena tečenja (mjerenu „voltima”), i njezinu jednaku jakost (mjerenu „amperima”), dok otpor ostaje isti. Odnosaj pak između tih triju veličina određen je vrlo jednostavnim Ohmovim zakonom:

$$\text{jakost struje} = \frac{\text{elektromotorna sila}}{\text{otpor}} \text{ ili } I = \frac{E}{W}.$$

Kod izmjenične se struje sve te prilike mijenjaju. 1. Ako je u određenom trenu stezaljka *A* pozitivni, a stezaljka *B* negativni pol, teče u provodnici struja smjerom *AB*; no čas kasnije se stezaljka *A* prometnula u negativni, a stezaljka *B* u pozitivni pol, i struja teče sada smjerom *BA*; ta se izmjena smjera ponavlja, recimo, u svakoj sekundi 100 puta. Pred nama je struja sa „100 izmjena u sekundi”. No ova se promjena iz jednoga smjera u suprotni ne zbiva



Sl. 1. Slika (diagram) obične izmjenične struje.

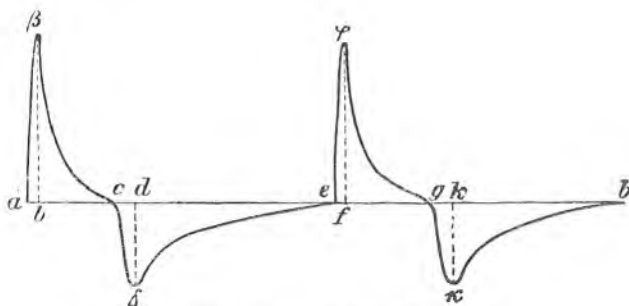
najednoč, kao da bi na pr. struja u određenom času imala određenu jakost, a odmah iza toga jednaku jakost, ali suprotnoga smjera. Premda se kod centrala, koje rade s izmjeničnom strujom, ova izmjena smjera zbiva 80—130 puta u svakoj sekundi, prijelaz se iz jednoga smjera u suprotni i tu zbiva postepeno i neprekidno: jakost struje pomalo pada, bude jednaka nuli, i struja prelazi sada u struju suprotnoga smjera, kojoj jakost sada pomalo raste do neke najveće vrijednosti („maksimum”), da onda opet pada do nule, da se sada prometne opet u struju suprotnoga smjera, i tako dalje. Ova se neprekidna izmjena i smjera i jakosti veoma lijepo prikazuje slikom 1. Kod *a* je jakost struje nula; sada neprekidno raste na pozitivnoj strani do najveće svoje vrijednosti *bβ*; pomalo pada i kod *c* jednaka je opet nuli². Odsada pak sve do *e* smjer je struje suprotan (nega-

¹ Nov. Iz. III., str. 116.—129.

² Dužina okomice, na pr. *bβ*, uočuje nam u svakom trenu jakost struje toga trena.

tivan) i njezina jakost u tom suprotnom smjeru opet najprije raste do najveće vrijednosti $d\delta$, da onda opet pomalo pada do nule u točki e . Odsada je smjer struje opet pozitivan i predjašnje se mijenjanje istim redom ponavlja. Valovita nam crta $\alpha\beta c\delta e\varphi g$ veoma lijepo uočuje i promjene u smjeru i promjene u jakosti izmjenične struje: ta je crta **diagram izmjenične struje**.

No te se izmjene ne moraju svagda zbivati ovako pravilno, kako pokazuje sl. 1. U sl. 2. i sl. 3. imamo još dva diagrama izmjeničnih struja, gdje te izmjene u smjeru i jakosti posve drukčije teku. U prvom diagramu (sl. 2.) vidimo, da jakost struje u početku veoma naglo raste do najveće vrijednosti $b\beta$, onda polaganije nepravilno pada do nule u pozitivnom smjeru; ođmah prelazi u

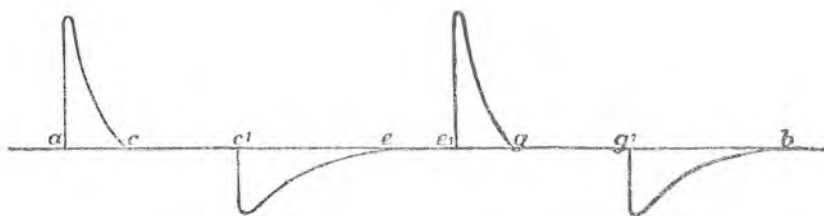


Sl. 2. Slika (diagram) izmjenične struje.

suprotni smjer i u njemu opet naglo raste do najveće vrijednosti $d\delta$, a onda veoma polako pada do nule kod e . — U drugom pak diagramu (sl. 3.) vidimo pače, da između c i c_1 pak između e i e_1 i g i g_1 uopće ne teče nikakva struja.

2. Efektivna jakost izmjenične struje. Iz predjašnjega razlaganja razbira čitalac, da se kod izmjenične struje ne može govoriti o „jakosti struje” u onom smislu kao kod jednake struje. Ova ima sveudilj, dok teče na pr. kroz žarnicu, jednaku jakost (I), kao što na pr. visoravan ima svagdje istu visinu iznad mora. Izmjenična struja ina doduše u svakom času određenu svoju jakost, ali ta je jakost, kako to lijepo pokazuju gornji diagrami, različna od jednoga časa do drugoga. Mi možemo dakle ovdje govoriti samo o „časuovitosti” ili „momentanoj” jakosti izmjenične struje, koja se od časa u čas mijenja, baš kao što se na pr. i visina brjega mijenja od jednoga

mjesta do drugoga. Kod brijega se ipak može govoriti o „srednjoj visini” njegovoju. Baš se tako može kod izmjenične struje govoriti o njezinoj srednjoj jakosti, samo se ta srednja njezina jakost u elektrotehnici krsti imenom „efektivna jakost” izmjenične struje. Ako se na pr. govori: ova izmjenična struja ima „efektivnu jakost od 10 ampera”, ne bismo smjeli nipošto misliti, da ta struja u svakom času (momentu) ima toliku jakost; mi pače sada znamo pouzdano, da ima časova, kada joj je jakost jednaka nuli, a bit će časova, kada će joj jakost biti 4 ampera, 10 ampera, a bit će svakako i časova, kad će joj jakost biti i 12 ampera ili 15 ampera. Ampermetri, određeni za mjerenje jakosti izmjeničnih struja, već su tako građeni, da ne pokazuju ona neprestana kolebanja u jakosti izmjenične struje, nego samo njezinu srednju ili efektivnu jakost.



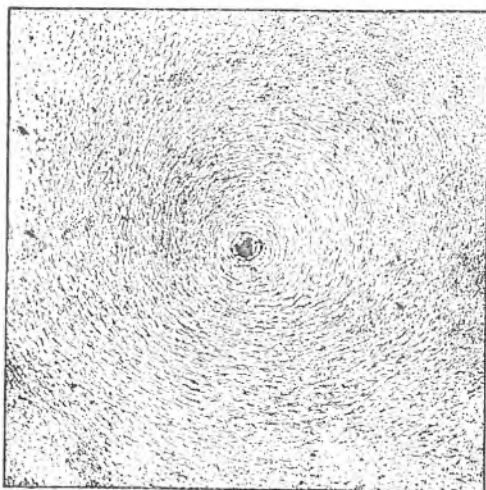
Sl. 3. Slika (diagram) izmjenične struje.

3. Efektivna napetost (= elektromotorna sila) izmjenične struje.

Promjenljivu jakost izmjenične struje izvodi promjenljiva elektromotorna sila (E), koja se u svitku žice budi, kada se taj svitak n. pr. vrti među polovima magneta¹. I ta se napetost ili elektromotorna sila za vrijeme jedne potpune vrtnje u okrugu (od 0° do 360°) mijenja baš kao i jakost struje: naša nam slika 1. pokazuje dakle i promjene napetosti (E) izmjenične struje: ona ista valovita crta može nam takodjer služiti i kao slika za promjene elektromotorne sile, kako se ona budi u svitku, kada se on vrti u magnetskom polju; kod svake vrtnje za 360° ona je tri puta jednaka nuli (kod početka vrtnje = 0° , kod 180° i kod 360°), dva puta ima svoju najveću vrijednost (kod 90° i kod 270°). Kako nakon potpune vrtnje svitak žice spram polova magneta dolazi ponovo u isti položaj, ponavljaju se istim redom i promjene elektromotorne sile. Tu je mjesto, da uvedemo neka imena. Vrijeme, što ga svitak treba, da izvrši u magnetskom

¹ Nov. Iz. III., str. 137.—141.

polju je dnu potpunu vrtnju (od 0° — 360°), zove se „perioda“ vrtnje (obično je to vrijeme $\frac{1}{130}$ sekunde do $\frac{1}{80}$ sekunde). U početku vrtnje (u slici 1. kod *a*) bio je kut vrtnje jednak 0° , a elektromotorna sila bijaše u tom trenu takodjer jednaka nuli; kut, za koji se udaljio svitak od toga početnoga položaja, zove se „faza gibanja“, pak ćemo s tim imenom odsada moći točnije ovako govoriti: kod faze 0° elektromotorna je sila jednaka nuli, kod faze 90° ona je najveća u pozitivnom smjeru, kod faze 270° najveća je u negativnom smjeru, kod faze 360° opet je jednaka nuli i t. d.



Sl. 4. Magnetičko polje struje.

Ako sada elektromotornu silu naše izmjenične struje isporodimo s elektromotornom silom kod jednake struje, izbija i tu velika razlika: dok je kod ove ta sila za čitavo vrijeme tečenja struje posve jednaka, ondje se elektromotorna sila neprekidno mijenja: bit će časaka, kada ona ima 0 volta, a bit će ih, kada ima +10 volta ili —15 volta i t. d. Poradi toga se kod izmjenične struje može govoriti

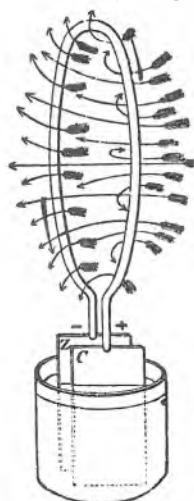
samo o „elektromotornoj sili ili napetosti u određenom času“ ili o „momentanoj elektromotornoj sili“, ali se može, kao i kod jakosti te struje, govoriti i o „efektivnoj napetosti“ izmjenične struje. Ima instrumenata, koji nam direktno pokazuju u voltima efektivnu napetost izmjenične struje.

4. Magnetičko polje izmjenične struje. Dobro su nam poznata ova dva pojava: 1. ako u „magnetičko polje“ kojega magneta¹ udje komadić željeza, pretvori se smjesta u magnet; čim izadje iz polja, nestane mu magnetizma („magnetička influencija“); 2. komad željeza, utaknut u svitak žice, kojim teče jednaka struja,

¹ Nov. Iz. III. str. 106.

takodjer postane magnet — vrlo jak magnet ; čim prekinemo struju ili pak željezo izvučemo iz svitka, nestane magnetizma u željezu („elektromagnetizam“)¹. Drugi je pojav osobito važan poradi mnogobrojnih veoma važnih primjena njegovih, na pr. kod telegrafa.

Drugi pojav razumijemo, gdje znamo², da elektroni, kada su u stanju gibanja, u svojoj okolini poremete obično stanje etera, kao i magnet, pak da taj eter dovedu u neko osobito napeto stanje, t. j. da i svaka „električna struja“ izvodi oko sebe svoje „magnetičko polje“. Kakovo je to polje, pokazuju slike 4., 5. i 6. u tri slučaja: prva (sl. 4.) nam pokazuje magnetičko polje u pravne struje, druga (sl. 5.) je jednoga koluta struje, a treća (sl. 6.) čitavoga niza koluta struje ili svitka³ (Spule) struje i kojemu daju rado i naučno ime „solenoid“. Ovo je posljednje magnetičko polje solenoida osobito zanimljivo, jer su mu silnice u unutrašnjosti solenoida međusobno usporedne, imamo dakle u solenoidu „homogeno“ magnetičko polje to jače, što su gušće silnice u njem, a ta će gustoća silnica opet biti to veća: 1. što više zavoja žice dolazi na 1 centimetar svitka i 2. što je veća jakost struje, koja solenoidom teče. Običaj je, jakost magnetičkoga polja mjeriti brojem silnica, koje na tom mjestu idu okomito kroz plohu od 1 cm.²



Sl. 5. Magnetičko polje okruća struje.

No to magnetičko polje solenoida postoji samo tako dugo, dok teče struja ; čim struja prestane t. j. čim elektroni u žici stanu, magnetičkoga polja u solenoidu nestane, ono se „poruši“, eter se vrati u svoje obično stanje, i energija, utrošena u to, da se eter napne, postaje slobodna, pak se može očitovati u kakvoj novoj formi. Izvodimo iz toga ove važne zaključke:

1. Dok je struja jednaka, ostaje i magnetičko polje njezino jednako. No da je to polje postalo, morala je struja izvršiti neku određenu radnju, — nešto se energije „utrošilo“.

2. Svako ojačanje struje nosi sobom i ojačanje njezina magnetičkoga polja, dakle i novo trošenje njezine energije.

¹ Kučera, Crte o magnetizmu i elektriciteti. Izdanje „M. H.“ g. 1891.

² Nov. Iz. III. str. 177. i 178.

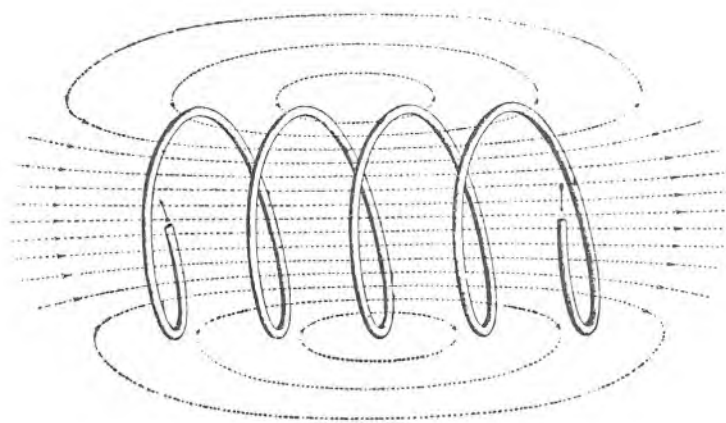
³ Svitak = franc. une bobine ; njem. die Spule.

3. Svako slabljenje struje u svitku ili solenoidu nosi sobom i slabljenje njezina magnetskoga polja, dakle i oslobođenje nekoga dijela utrošene energije.

4. Prestanak struje nosi sobom porušenje magnetskoga polja u eteru oko nje i oslobođenje čitave energije, koja se potrošila bila na postanje toga polja.

5. Ako se jednaka struja solenoida prometne u suprotni smjer, prometne se i njezino magnetsko polje u suprotno t. j. silnice u njem teku suprotnim smjerom, ali je polje ostalo jednake jakosti.

Uzmimo sada, da našim solenoidom ne teče jednaka nego izmjenična struja sa 120 izmjena u sekundi. Duševno naše oko vidi jasno, što će sada biti s magnetskim poljem solenoida. Jakost



Sl. 6. Magnetsko polje spirale ili solenoida.

će polja očit o rasti od nule do neke najveće pozitivne vrijednosti, padat će opet do nule, prometnut će se sada u magnetsko polje suprotnoga smjera, jakost će mu rasti u tom smjeru do najveće vrijednosti i padat će opet do nule. Sve će se to dogoditi za vrijeme jedne jedine periode naše izmjenične struje t. j. u vremenu od $\frac{1}{120}$ sekunde! Ta će se zanimljiva igra ponavljati: magnetsko se polje neprestano gradi i ruši, eter neprestano mijenja svoje stanje.

5. Vlastita indukcija. Ekstrastruja. Ova igra s gradjenjem i rušenjem magnetskoga polja oko solenoida ima i za samu struju u solenoidu neobično zanimljivih posljedica. Kušajmo ih iz bližega uočiti!

Osnovni je obret Faradayev kod magnetoindukcije bio, da se kod svakoga ojačanja kojega magnetskoga polja budi u žici smještenoj u tom polju trenutna struja jednoga smjera, a kod svakoga oslabljenja polja budi se trenutna struja suprotnoga smjera¹. Taj zakon posve općeno vrijedi. Primijenimo ga najprije na naš solenoid, kada u nj puštamo jednaku struju. U času, kada ju pustimo u solenoid, stvara se oko njega magnetsko polje, koje u tren oka naraste od nule do svoje normalne jakosti. No makar da se to ojačavanje zbiva u veoma kratko vrijeme, budi ono ipak u žici solenoida indukcijom trenutnu struju, koja je svojim smjerom suprotna struji, koju poslasmo u solenoid, pak ju poradi toga u prvi mah nešto slabiji; u solenoid poslana struja ne dosegne odmah svoju normalnu jakost. Pred nama je dakle nova treća vrsta indukcije struje: jednaka struja, koju pustismo u solenoid, inducirala je u samom solenoidu sebi suprotnu struju trenutnu. Pojavi toj dajemo ime „vlastita indukcija” struje, a onoj trenutačnoj struji dajemo ime: „ekstrastruja zatvoranja”, jer se javila u času, kad smo struju pustili u solenoid t. j. kad smo struju zatvorili (sklopili).

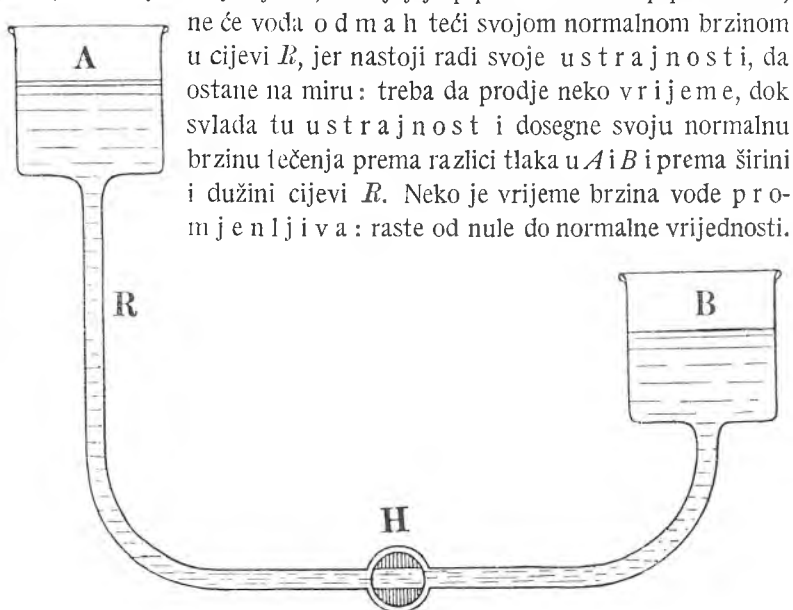
No tek što je tren oka prošao, nestalo je te „ekstrastruje zatvoranja” i jednaka je struja dosegla svoju potpunu jakost i ostaje na njoj. I njezino je magnetsko polje doseglo potpunu svoju jakost i ostaje na toj jakosti, dokle god jednaka struja teče, a dotle nema ni u solenoidu novih ekstrastruja. Tek u momentu, kada struju prekinemo (otvorimo), magnetsko se polje oko solenoida naglo poruši do nule. U tom veoma kratkom vremenu slabljenja i uništenja magnetskoga polja budi se u solenoidu indukcijom ponovo trenutna struja, koja je spram predjašnje suprotna, dakle spram glavne struje, puštene u solenoid, jednakoga smjera, pak ju poradi toga pojačava. Čudna pojava: u času prestanka svoga naša jednaka struja nešto ojača, kao zadnji plamsaj života u čovjeka koji umire! Onu drugu trenutnu struju zovemo „ekstrastruja otvaranja”², jer se pojavljuje baš u času, kada našu struju otvorimo (prekinemo, rasklopimo). Evo nam dakle veoma zanimljive nove spoznaje:

¹ Nov. Iz. III., str. 106.

² „Ekstra-struja otvaranja” = franc. l'extra courant de rupture; njem: Öffnungsstrom.

Svaka struja („glavna struja”) u svojoj **vlastitoj** provodnici inducira po dvije trenutačne ekstrastruje: jednu u času kada udje u provodnicu, drugu u času kada prestane. Prva glavnu struju slabi, druga je u posljednji čas pojača.

Nešto se slično zbiva kod tečenja vode u sastavljenim posudama. Ne će biti na odmet, ako ovu analogiju uočimo. Dvije su posude *A* i *B* (sl. 7.) sastavljene cijevlju *R*, u kojoj je pipac *H*. Ako se pipac otvori,



Sl. 7. Tečenje vode u sastavljenim posudama.

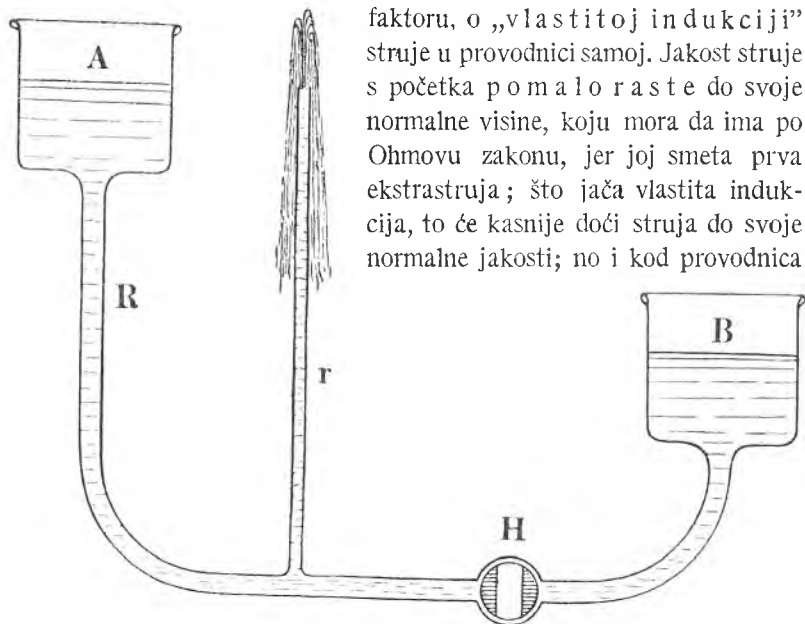
Baš je tako i kod struje bilo : da dosegne svoju normalnu jakost, u početku je neko vrijeme bila promjenljiva.

Ako sada pipac *H* naglo zatvorimo, nestalo je najedanput **energije gibanja** vode. Ona se ne uništi, nego se očituje u tom, da voda sada izvršuje na stijene cijevi *R* mnogo veći tlak, da izvršuje na njih udarac, koji se dobro čuje i zove se „**vodeni udarac**.” Pipci u vodovodima poradi toga udarca ne smiju biti stošćeviti, nego moraju biti „**pipci na šarac**”. Kad bismo pak na našem aparatu imali prije pipca *H* odvodnu cijev *r* (sl. 8.), gore otvorenu, vi-

djeli bismo u času, kada pipac zatvorimo, kako voda skoči u vis, i to mnogo više, nego što stoji u *A*! Baš je tako i naša struja u času prestanka još poskočila u svojoj jakosti.

Ova nas spoznaja dalje vodi do novoga zaključka veoma zanimljive naravi o Ohmovu zakonu¹! Rekosmo tamo, da jakost jednake struje (*I*) ne ovisi ni o čem drugom, nego o elektromotornoj sili (napetosti) (*E*) u izvoru struje i o otporu (*W*) u izvoru i u provodnicama. Sada nalazimo, da poradi „vlastite indukcije” na početku i na koncu jednake struje, njezina jakost (*I*) ovisi još i o trećem

faktoru, o „vlastitoj indukciji” struje u provodnici samoj. Jakost struje s početka pomalo raste do svoje normalne visine, koju mora da ima po Ohmovu zakonu, jer joj smeta prva ekstrastruja; što jača vlastita indukcija, to će kasnije doći struja do svoje normalne jakosti; no i kod provodnica



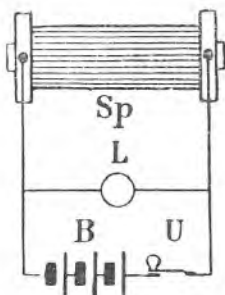
Sl. 8. Skok vode u sastavljenim posudama.

s vanredno velikom vlastitom indukcijom, doseći će jednaka struja već za nekoliko sekundi normalnu svoju jakost, koju mora da ima po Ohmovu zakonu. Stvar se prikazuje tako, kao da je u početku u provodnici pored Ohmova otpora još nekakov otpor. — Baš je obrnuto, kada jednaku struju otvorimo (prekinemo, rasklopimo): jakost struje naglo poraste poradi vlastite indukcije, kao da je otpor u provodnici postao najednoč puno manji. Druga ekstrastruja, koja je sada pojačala prvobitnu struju, postala je indukcijom, kada se je magne-

¹ Nov. Iz. III., str. 116.—130.

tičko polje naglo porušilo. Budući da se je to uništenje zbilo gotovo u tren oka, inducirala se i veoma velika elektromotorna sila, mnogo veća od elektromotorne sile (E) u izvoru struje; ona se adirala k toj elektromotornoj sili, i posljedica je u času prestanka struje — jaka električna iskra, „iskra otvaranja”. Ako bi se dogodilo, da je elektromotorna sila vlastite indukcije u provodnici veoma velika, a pored toga i prvobitna jednaka struja veoma jaka, može ova „iskra otvaranja” kod prestanka struje postati veoma opasna; može na pr. probiti izolaciju žica i tim čitav stroj pokvariti!

Englez Fleming izumio je lijep pokus, da se pokaže onaj drugi dio vlastite indukcije (Sl. 9.). *Sp* je elektromagnet; oko željeza namotana žica je debela, da bude otpor u njoj što manji. Krajevi se žice spoje s baterijom akumulatora *B* i prekidač se struje *U*



Sl. 9. Flemingov pokus o vlastitoj indukciji.

pritisne, tako da jednaka struja teče i željezo pretvori u jak magnet. U sporednom je priključku sa žicom elektromagneta zgodna žarnica *L*. Struja baterije u nju ne ulazi, jer ima put manjega otpora oko elektromagneta i žarnica ne svijetli. U času kada prekidač *U* pustimo, struja je otvorena, magnetičko se polje naglo uništilo; u tom času se javlja velika elektromotorna sila i pojačana struja ima dva puta: 1. da preskoči kao iskra otvaranja u zduh kod prekidača *U*, ili 2. da krene kroz žarnicu. Ona odabire put manjega otpora,

a taj je sada put kroz žarnicu *L*: iskre otvaranja kod *U* gotovo posve nestaje, ali zato žarnica *L* zasja na kratak čas!

Iz velike opasnosti vlastite indukcije kod otvaranja struje izlaze za praktičnu elektrotehniku važna pitanja: 1. o čem ovisi elektromotorna sila vlastite indukcije u solenoidu? 2. Kako se ona može uvećavati i umanjivati? 3. Može li se napokon vlastita indukcija i mjeriti?

Pokusi u tom pravcu dadoše veoma zanimljive rezultate. Evo ih nekoliko. Poslaše u pravnim provodnicama struju. Vlastita indukcija bijaše veoma mala. To i razumijemo, jer se oko takve provodnice budi veoma slabo magnetično polje. Saviše tu istu žicu u solenoid i poslaše njime istu struju. Premda je Ohmov otpor žice

ostao isti, vlastita indukcija postade stotine, pače tisuće puta tolika, kolika bijaše prije! Dakle: vlastita indukcija ne ovisi ništa o **otporu** provodnice, ali ovisi jako o **obliku** provodnice. „Svitak žice” daje mnogo veću vlastitu indukciju. Različni svitci (solenoidi) žica imat će dakle prema svom obliku, t. j. prema tomu, jesu li uski ili široki, jesu li kratki ili dugački, imaju li mnogo ili malo zavoja, posve različne vlastite indukcije.

Ako se napokon u takav svitak žice još utakne željezan štap („željezna jezgra”), dosegne vlastita indukcija svitka svoje najveće vrijednosti.

Kako su izrazi „velika vlastita indukcija” i „mala vlastita indukcija” za elektrotehnika suviše neodređeni, dadoše nekoj odabranoj jedinici vlastite indukcije posebno ime „1 Henry” (čit. „Anri”); pa tako ćeš često čuti kod elektrotehnika: ovaj svitak žice ima vlastitu indukciju „10 Henry”, ovaj pak „100 Henry” i t. d. Nije ovdje mjesto, da se dalje upuštamo u razlaganje ove nove električne jedinice.



Sl. 10. Svítak žice bifilarno motan.

Tek za praktičnu elektrotehniku treba spomenuti, kako se mogu načiniti dugački solenoidi s velikim brojem omota, dakle i velikim otporom, a da u njima bude vlastita indukcija, toliko opasna izvorima jakih struja, ipak što manja. Jednostavno je sredstvo, da se žica namata, kako pokazuje slika 10. Žica se u sredini savije, pak se tako namata, da su obje polovine jedna do druge. Struja teče sada u dva susjedna zavoja svagda suprotnim smjerovima i ekstrastruje inducirane u susjednim zavojima suprotnoga su smjera, pak se ukidaju. Ovaki svitak žice zovu elektrotehnici „svitak žice bez indukcije” ili „bifilarno motani svitak žice”. Treba li pak elektrotehnik negdje svitaka žice s velikom vlastitom indukcijom, gdje će obje ekstrastruje imati veliku elektromotornu silu (napetost), a ipak želi, da Ohmov otpor svitka ostane malen, on će i to lako postići, ako u svitak utakne „jezgru meka željeza”. Ovaki se svitci zovu „induktivni svitci žica” (njem. Drosselspulen). Hoće li napokon elektrotehnik da ukloni jaku i opasnu „iskru otvoraanja”, on će upotrijebiti Flemingov pokus. On će uklopiti paralelno sa svitkom žice dosta

velik otpor (žarnicu) u tečaj struje, koji ne troši osobito veliku električnu energiju.

6. Vlastita indukcija kod izmjenične struje. Netom izvedeno razmatranje znatno je raširilo naše znanje o električnoj struji. Vlastita indukcija sa svoje dvije ekstrastruje dosta utječe, kako vidjesmo, na električne pojave već kod jednake struje, ako ova teče solenoidom. Kud i kamo više utječe ta vlastita indukcija na pojave kod izmjenične struje. Ta tu se jakost i smjer struje neprekidno mijenjaju, magnetičko se polje u eteru oko struje neprekidno gradi i ruši, ekstrastruje se dakle neprestano ponavljaju i djeluju nasuprot elektromotornoj sili, koja djeluje iz izvora izmjenične struje. Jasno je, da vlastitu indukciju kod izmjenične struje zapada kud i kamo veća i važnija uloga, nego kod jednake, pak treba da ju iz bližega uočimo!

Uzmimo dakle solenoid i utaknimo u nj još jezgru željeza, da mu bude vlastita indukcija što veća. Gotovo neprekidne ekstrastruje velike elektromotorne sile djeluju nasuprot elektromotornoj sili iz izvora. Posljedica je, da će i jakost strujâ, koje teku provodnicom, biti mnogo manja, nego što bi morala da bude po Ohmovu zakonu. Elektromotornoj naime sili, koja struju tjera iz izvora u solenoid, nasuprot djeluju jake elektromotorne sile ekstrastrujâ, koje se gotovo neprekidno javljaju. Kad bismo na pr. mjesto izmjenične struje elektromotorne sile E poslali u naš solenoid jednaku struju iste elektromotorne sile E , jakost bi struje I bila mnogo veća od jakosti I' izmjenične struje. Rekao bi čovjek, da ista žica provodnica izmjeničnoj struji zadaje mnogo veći otpor negoli jednakoj struji. Ovaki svitak žice pokazuje dakle „prividno uvećanje otpora” spram izmjeničnih struja. Tomu većemu prividnomu otporu svitka spram izmjenične struje daju danas rado ime „impedancija” svitka za razliku od njegova običnoga manjega otpora spram jednake struje, koji rado zovu „Ohmov otpor”.

Taj će novi otpor očito biti to veći, što brže dolaze izmjenične struje jedna za drugom, što je veći dakle broj izmjena u sekundi (što je veća „frekvencija”) izmjeničnih struja. Ali će bitno zavisiti i o obliku svitka. Što je veća vlastita indukcija svitka, to će veća biti i njegova „impedancija”, i obrnuto: gdje je vlastita indukcija provodnice malena, ne će biti gotovo

razlike između jednoga i drugoga otpora. Na pr. prije spomenuto bifilarno motani svitak zadavat će izmjeničnoj i jednakoj struji jednak otpor, a svitak sa željeznom jezgrom zadavat će izmjeničnoj struji možda 1000 puta veći otpor, negoli jednakoj! Taj otpor može pače postati tako velik, da svitak gotovo ništa ne propušta izmjeničnu struju, dok jednaku struju posvema propušta! Ovakav svitak u neku ruku utuče izmjeničnu struju. A svemu je tomu kriva samo „vlastita indukcija svitka”! Mjeriti vlastitu indukciju kod izmjeničnih je struja isto tako važno, kao što kod jednake struje Ohmov otpor!

Primijenimo odmah ovu važnu, novu spoznaju!

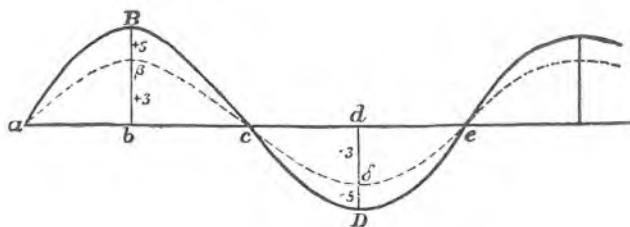
Pred nama je provodnica, djelomice upravna a djelomice s avita u solenoid, u koji je utaknuta još i jezgra mehka željeza. Ohmov otpor čitave provodnice neka bude 1 ohm. Pošaljimo kroz nju električnu struju iz izvora, koji daje jednaku struju stalne elektromotorne sile (napetosti) od 100 volta. Provodnicom teče jednaka struja, kojoj je po Ohmovu zakonu jakost $= \frac{100}{1} = 100$ ampera. Ta će jaka struja smjesti rastaliti žicu! Pošaljemo li u tu istu provodnicu Ohmova otpora od 1 ohma drugi put izmjeničnu struju iz izvora, u kojem je efektivna elektromotorna sila opet 100 volta, ali u svakoj sekundi ima 120 izmjena, postat će poradi velike vlastite indukcije u solenoidu prividni otpor možda = 50 ohma; efektivna će jakost struje biti $= \frac{100}{50} = 2$ ampera, a ta će slaba struja provodnicu tek nešto malo ugrijati. Izvucimo sada jezgru mehkoga željeza iz solenoida! Tim se vlastita indukcija njegova, kako znamo, veoma jako umanja i prividni otpor našoj izmjeničnoj struji nije više 50 ohma nego možda samo 5 ohma. Jakost struje u tom času smjesti naraste na $\frac{100}{5} = 20$ ampera, i provodnica će se smjesti rastaliti! Pamtimo dakle:

„Ako se u tečaj izmjenične struje negdje uplete velika vlastita indukcija, ova će **prividni otpor** i u krugu struje trajno veoma uvećati, to više, što je **veća** vlastita indukcija i što je veći broj izmjena struje u sekundi (što je veća „**frekvencija**” izmjenične struje).

Kod jednake struje toga pojava nema! Tu je otpor iste žice s v a g d a j e d n a k.

7. Vlastita indukcija i razlika faze. Ako je već ova posljednja nova pojava kod izmjenične struje zanimljiva i dosta čudna, još je čudnija

pojava, koju ćemo sada opisati! U slici 11. vidimo opet „diagram” jednostavne izmjenične struje, sličan onomu u sl. 4. I z v u č e n a valovita crta pokazuje promjene u **jakosti** i u smjeru izmjenične struje. Na početku (kod *a*) **jakost** je struje = nuli, kod *b* je u pozitivnom smjeru najveća („m a k s i m u m”); neka bude $I = + 5$ ampera = $b B$; kod *c* je opet = nuli i tu struja mijenja svoj smjer u suprotni, a jakost raste na donjoj strani (negativnoj) opet do $I = - 5$ ampera, pak onda pomalo pada opet do nule, koju dobije u *e*. Velimo: naša je izmjenična struja svršila „jednu potpunu periodu”, koja seže od *a* do *e* i u kojoj je tri puta jakost bila jednaka nuli. Ako se sjetimo Faradayeva osnovnoga pokusa magnetoidukcije, znamo, da se ta izmjena zbude u svitku žice, dok on opiše ispred polova magneta jedan potpuni okretaj od 0° do 360° . Na početku, t. j. kod faze 0° , I je = nuli, kod faze 90° I je = $+ 5$ ampera; kod



Sl. 11. Podudaranje faze između jakosti i napetosti izmjenične struje.

faze 180° I je = opet nuli, kod faze 270° I je = $- 5$ ampera, a kod faze 360° I je = ponovno nuli i t. d.

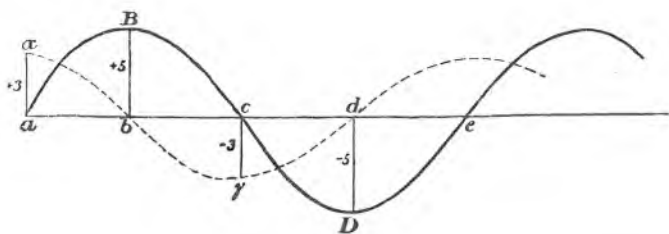
No u našoj slici vidimo još drugu iscrtanu valovitu crtu *a β c δ e*! Ta nam uočuje, kako se mijenja elektromotorna sila na izvoru naše izmjenične struje. U istom času, kada joj je **jakost** = nuli, naime kod *a*, i elektromotorna je sila *E* naše struje = nuli (kod faze 0°); u onom istom času (kod *b*), kada **jakost** struje dosegne $+ 5$ ampera, dosegne i njezina elektromotorna sila *E* svoju najveću vrijednost $E = + 3$ volta = $b \beta$ (kod faze 90°); a tako ide i dalje: **jakost** I i elektromotorna sila *E* naše izmjenične struje u istim časovima dosegnu svoje najveće pozitivne i negativne vrijednosti (svoja „m a k s i m a”) (kod *b* i *d* ili kod faza 90° i 270°); u istim časovima prolaze i kroz nulu (kod *a*, *c* i *e* ili kod faza 0° , 180° i 360°). Velimo u elektrotehnici: **jakost** (I)

i elektromotorna sila (E) naše izmjenične struje „**podudaraju se u fazi**”.

Prilike, što ih uočuje slika 11., zaista se dešavaju, kada izmjenična struja ide kroz provodnicu, u kojoj nigdje nema velike vlastite indukcije, dakle ili kroz u p r a v n u provodnicu ili bar kroz s a v i t u provodnicu bez jezgre mehka željeza ili kroz bifilarno motan svitak žice (sl. 10.).

No kako li se to sve mijenja, ako toj istoj izmjeničnoj struji uklopimo negdje u njezin krug solenoid s utaknutom jezgrom mehka željeza, dakle veliku vlastitu indukciju!

Podudaranja u fazi u jedan je mah nestalo! Jakost (I) i elektromotorna sila (E) iste naše izmjenične struje nisu više u istom času jednaki nuli, ne dosižu u istom času svojih najvećih vrijednosti: elektrotehnik veli: pokazala se je „**razlika faze**” („diferencija faze”) ili između jakosti naše izmje-



Sl. 12. Razlika faze između jakosti i napetosti izmjenične struje.

nične struje (I) i njezine elektromotorne sile (E) postoji sada „**razlika faze**”. Priložena slika 12. uočuje nam takav slučaj veoma lijepo. U a je jakost struje (I) = nuli (izvučena crta), a u tom istom času je elektromotorna sila njezina (E) = + 3 volta. U točki b , dakle nakon $\frac{1}{4}$ od čitave periode ae , jakost je struje = + 5 ampera, a njezina elektromotorna sila E = nula volta, kod c je I = 0 ampera, a E = — 3 volta, kod d je I = — 5 ampera, a E = 0 volta it. d. U jednu riječ: jakost se (I) i elektromotorna sila (E) naše izmjenične struje sada već „ne podudaraju u fazi”; jakost (I) ima spram elektromotorne sile (E) ovdje „razliku faze” od 90° ili „od $\frac{1}{4}$ čitave periode ae ”: maksima se jakosti podudaraju s nulama elektromotorne sile!

I tu veoma čudnu promjenu u našoj izmjeničnoj struji izvela je opet uklopljena „velika vlastita indukcija”. A ta je promjena zaista veoma čudna, jer po Ohmovu bi zakonu očito mo-

ralo biti, da je jakost struje (I) (uz istu provodnicu !) u onom času jednaka nuli, kada je elektromotorna sila (E) u izvoru jednaka nuli, a jakost bi trebala da bude najveća, kad je elektromotorna sila E najveća. Dakle i opet: Ohmov zakon ne vrijedi za izmjeničnu struju, ako je u njezinu krugu negdje uklopljena velika vlastita indukcija!

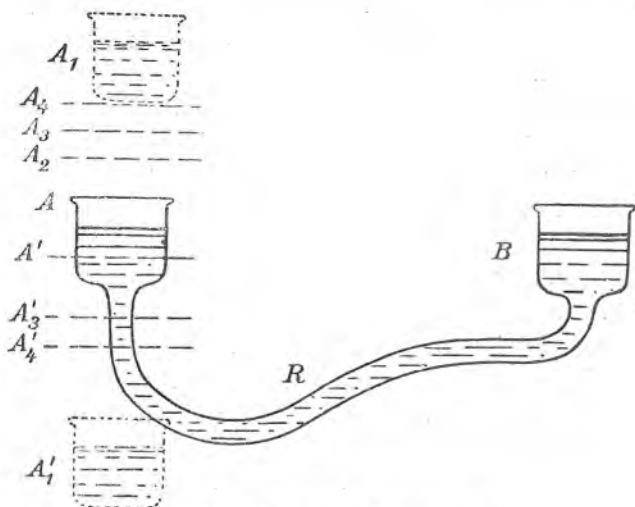
Pamtimo dakle novu spoznaju:

Uklapanje velike vlastite indukcije u tečaj izmjenične struje **uništi** svagda **podudaranje faze** između jakosti i elektromotorne sile, i izvodineku **razliku faze** između tih dvaju faktora struje. Ta je razlika faze to **veća**, što je veća **vlastita indukcija**, što je veći **broj izmjena** struje u 1 sekundi (što je veća „**frekvencija**“) i što je **manji otpor** provodnice.

Najveća je razlika faze očito jednaka 90° ili $\frac{1}{4}$ čitave periode, jer u tom slučaju ima jakost vrijednost nulu, a elektromotorna sila svoju najveću vrijednost, a veće razlike između njih uopće ne može da bude.

Ovo razlaganje o djelovanju vlastite indukcije na fazu izmjenične struje zaista nije za čitatelja ni zanimljivo, niti će ga posve zadovoljiti, jer on duševnim okom svojim ne vidi uzroka tomu učinku. Kako dolazi vlastita indukcija do toga, da ona može dignuti istodobnost faze između jakosti i elektromotorne sile? Uzroku se međjutim nije teško domisliti. Kad bi jakost naše struje imala da slijedi samo elektromotornu silu svoga izvora, ona bi doista u svakom trenu imala onu veličinu, koja baš pripada toj elektromotornoj sili, i podudaranje bi faze bilo potpuno. No uklopljena vlastita indukcija budi časovite elektromotorne sile, suprotne elektromotornoj sili izvora, a tim i ekstrastruje, koje ne dadu struji, da odmah dosegne onu jakost, koju bi trebala da ima u onom času: između elektromotorne sile izvora i jakosti struje nastaje razlika faze. Ima i kod vodene struje slična pojava. Dvije posude A i B (sl. 13.) sastavljene su debelom i dugačkom cijevi R i napunjene vodom. Dok su A i B u „jednakoј visini“ (jednakom „nivea-u“), nema vodene struje u R . Dižemo li A do A_1 nastaje sve jača vodena struja u smjeru od posude A k posudi B , jer „razlika vlsinâ“ postaje sve veća (kod izmjenične struje „razlika napetosti“ = elektromotorna sila). U času, kad je posuda u A_1 stigla, morala bi jakost vodene struje biti najveća, jer je sada razlika visinâ najveća.

Tako će i biti, ako su posude sastavljene kratkom i širokom cijevi, jer će u tom slučaju i ustrajnost vode i trenje biti veoma maleno: faza najveće visine i najjače struje se podudara ju. No ako je cijev R uska i dugačka, jakost vodene struje ne će u času najveće visine još biti najveća, nego nešto kasnije: posuda A stoji već neko vrijeme na visini A_1 , a jakost struje još sveudilj raste. No ako ja odmah s posudom iz A_1 krenem natrag prema A , bit će posuda već na putu natrag, na pr. kod A_4 , a vodena će struja tek sada doseći svoju najveću jakost: ustrajnost i trenje izveli su „razliku faze” između najveće visine posude i najjače struje.



Sl. 13. Razlika faze kod struje vode.

Ako sada posuda ide brzo do A , struja postaje sve slabija, i kad je posuda u A , opet ne bi smjelo biti nikakve vodene struje u cijevi R , jer nema ni razlike visine. No toga ne će biti. Posuda će možda stići na drugu stranu do A'_4 , kad će u R nestati struje, i sada će tek početi vodena struja suprotnoga smjera od B prema A i ta će sve više jačati, kako A ide niže do A'_1 . U tom je času opet najveća razlika visine i sad bi bila i najjača struja od B prema A , — da nije velike ustrajnosti vode i trenja. Uistinu će struja tek znatno kasnije doseći svoju najveću jakost. Ako posuda A ide brzo gore i dolje, može razlika faza doseći svoju najveću vrijednost, a ta je, ako je razlika visina najveća baš u tom trenu, u kojem

u cijevi R nema nikakve vodene struje! Razlika je faza jednaka $\frac{1}{4}$ čitave periode!

U ovoj isporodbi izmjenične električne struje s izmjeničnom vodenom strujom naći će čitalac veoma često olakšicu za razumijevanje neobičnih pojava električne izmjenične struje, pak mu je poradi toga osobito preporučam. Knjiga Francuza Georges Claude s naslovom: „L'électricité à la portée de tout le monde”, 7. izd. Pariz 1911. puna je ovakvih isporodaba, pak je pisac i ovu uzeo iz te knjige.

8. O energiji izmjenične struje. Nadovezujemo naše razmatranje na jednaku struju. Svaka je električna struja za nas vrijedna kao „radnik”. Ona treba da nam izvršuje najrazličnije radnje, ona sobom nosi određenu „energiju”. Pokazali smo na drugom mjestu,¹ da se može točno u brojevima reći, koliko nam radnje može davati u svakoj sekundi jednaka struja. Radnji, izvršenoj u 1 sekundi, dadosmo ime „efekt”, pak nadjosmo za jednaku struju: efekt struje = elektromotorna sila $\times$ jakost struje ili efekt struje = broj volta $\times$ broj ampera ili efekt struje = $E \cdot I$ „watta”.

Pri tom dajemo produktu: „1 volt $\times$ 1 amper” ime „1 watt”.

Pomnožimo li još radnju struje u svakoj sekundi (t. j. broj watta) s brojem sekundi, imamo i radnju izvršenu u makar kojem vremenu. Ta se radnja zove takodjer „električna energija, što ju izvor struje daje u tom vremenu”. — Izrazuje se obično „wattsatima”.

Kako je kod jednake struje i elektromotorna sila (E), izražena voltima, i jakost struje (I), izražena amperima, za čitavoga rada struje jednaka, razbiramo, da po gornjem zakonu najlakšim računom odredjujemo „energiju” jednake struje. Kod izmjenične su struje opet prilike posve drukčije, pak je opravdano pitanje: što je s energijom izmjenične struje? Ta mi znamo, da su i elektromotorna sila (E) i jakost struje (I) u svakom času drukčije (isp. sliku 11.). Prema tomu kod izmjenične struje u prvom redu govorimo o „momentanoj energiji” i ta je doista po gornjem zakonu jednaka produktu od elektromotorne sile (E volta), koju struja ima u tom času, i jakosti njezine (I ampera) u tom istom času. Na pr. u slici 11. vidimo, da ondje uočena izmjenična struja kod b ima elektromotornu silu $E = b\beta = +3$ volta, a u tom istom času ima jakost $I = bB = +5$ ampera. Broj watta, što ih struja sobom

¹ Nov. Iz. III., str. 162.—167.

nosi, u tom času je $= 15$ watta. „Efekt“ je struje u tom času $= 15$ watta. No kod a , kod c i kod e efekt je struje $=$ nuli, struja u tim časovima nema nikakva efekta. I tako vidimo, da se energija naše izmjenične struje mijenja neprekidno između granica 0 watta i $+ 15$ watta. Prema tomu ćemo morati dalje izvoditi, da je „pravi efekt“ naše izmjenične struje neka srednja vrijednost između 0 watta i 15 watta t. j. srednja vrijednost između svih „momentanih efekata“, što ih ona ima tečajem jedne polovine periode (od točke a do točke c).

Ako idemo sada stvari na dno, otkrit ćemo vanredno zanimljivu novu činjenicu kod izmjenične struje, kojoj nema ni traga kod jednake struje. Razlikovat nam je naime kod izmjenične struje dva bitna različna slučaja: 1.) u provodnici teče izmjenična struja, kod koje nema razlike faze između njezine elektromotorne sile (E) i jakosti (I), kakovu nam na pr. uočuje slika 11.; 2.) provodnicom teče izmjenična struja, u kojoj postoji neka razlika faze između E i I ; uočuje nam takvu struju slika 12., u kojoj je razlika faza 90° .

Koliko watta nosi sobom izmjenična struja prve vrsti ili kolik je njezin „pravi efekt“? U tom slučaju čitamo neposredno iz slike, da je efekt u točki $a = 0$ watta; sada raste sve do točke b (faza 90°), i tu dosegne vrijednost $+ 15$ watta; odsada opet pomalo pada do 0 watta (u točki c); sada struja mijenja svoj smjer t. j. i jakost struje I i napetost njezina ($=$ elektrom. sila) E postaju negativni, no efekt struje, produkt dvaju negativnih krajeva ostaje pozitivan t. j. efekt struje opet raste od 0 watta do $+ 15$ watta (kod d) i pomalo pada natrag do 0 watta (kod e ili kod faze 360°). Razbiramo dakle, da se efekt ove izmjenične struje u drugoj polovici periode mijenja baš tako kao u prvoj, da je dakle „pravi efekt“ njezin zaista jednak srednjoj vrijednosti svih efekata u prvoj polovici periode, broj će watta biti negdje između 0 watta i 15 watta; recimo, da je baš u polovici t. j. pravi je efekt naše izmjenične struje jednak 7.5 watta, ako se podudara u faze jakosti I i napetosti E .

No prijesmo našli (str. 7. i 8.), da takova struja ima i „efektivnu jakost“ (srednju jakost) i „efektivnu napetost“, srednju napetost ili elektrom. silu). Mi ćemo dakle naš gornji „pravi efekt“ od $7\frac{1}{2}$ watta dobiti, ako pomnožimo „efektivnu jakost“ (u amperima) s „efektivnom napetošću“ (u voltima). No sjetimo se sada, da provodnicom teče izmjenična struja ove vrsti samo onda, kad u

njoj nema vlastite indukcije (str 14. i 15.), pak možemo sada za naš slučaj reći zakon:

Ako provodnicom teče izmjenična struja, u kojoj nema „vlastite indukcije” (t. j. u koju nije uklopljen solenoid sa željeznom jezgrom), pravi je efekt te struje jednak produktu od njezine efektivne napetosti (elektrom. sile) i njezine efektivne jakosti.

Kako vidimo, u ovom su slučaju prilike izmjenične struje potpuno analogne prilikama jednake struje. No tim su različnije u drugom slučaju. Neka bude razlika faza baš 90° . To znači: kada je napetost struje (E) najveća, jakost je struje baš jednaka nuli. Taj skrajni slučaj prikazuje naša slika 12. Kratko razmatranje te slike iznosi rezultat, kojemu se nitko ne bi nadao! U a je na pr. napetost E jednaka $+3$ volta, ali jakost je I u tom trenu = nuli, dakle efekt struje jednak $= +3.0 = 0$ watta, t. j. struja ne nosi sobom u tom času n i k a k v e e n e r g i j e! Kod b je opet jakost struje $I = +5$ ampera, ali napetost E je u tom času = 0 volta; dakle je efekt struje i u tom času $= +5.0 = 0$ watta. U C je opet efekt $= -3.0 = 0$ watta, a to se ponavlja i u točkama d i e , kako neposredno razbirmo iz slike. Između točaka a i b je napetost struje E m a n j a od $+3$ volta, ali v e ć a od nule, dakle svakako pozitivna; jakost struje I pak raste u tom području, kako slika pokazuje, od 0 ampera do $+5$ ampera, dakle je i ona svakako pozitivna, dakle je i e f e k t s t r u j e svakako u tom području p o z i t i v a n t. j. u tom području struja ima određen broj pozitivnih watta. Razmotrimo susjedno područje od b do c . Pogled na sliku pokazuje, da struja tu sobom nosi n e g a t i v n e w a t t e, jer je n a p e t o s t E na tom čitavu području negativna (ide od 0 do -3 volta), dok je j a k o s t struje I pozitivna (pada od $+5$ ampera do nule). No mi razbirmo iz slike i to, da su te negativne vrijednosti wattâ baš j e d n a k e pozitivnim u području od a do b . To vrijedi dalje za s v a područja, pak izlazi zaista neočekivana činjenica, da je „pravi efekt” te čitave struje j e d n a k n u l i t. j. struja ne nosi sobom ništa energije, ona je „struja bez energije”, „struja bez watta” t. j. ona nam ne može izvršavati nikakve radnje. Ako se sada sjetimo, da ovakovu izmjeničnu struju s r a z l i k o m f a z e od 90° možemo dobiti, ako u provodnicu uklopimo veliku vlastitu i n d u k c i j u, izlazi ova vanredno zanimljiva nova spoznaja:

„Izmjenična struja, u kojoj je u provodnici uklopljena tolika vlastita indukcija, da je između jakosti struje I i njezine napetosti (elektrom. sile) E nastala razlika faze od 90° , ne nosi sobom nikakve energije.”

To je jedna od najzanimljivijih pojava u području električnih struja, da ima i strujâ bez energije t. j. nesposobnih da vrše radnju !

Razmotrimo sada i treći mogući slučaj. Taj je, da se faze jakosti I i napetosti E doduše ne podudaraju, ali razlika nema ni svoju skrajnju vrijednost 90° . U prvom slučaju bijaše „pravi efekt” struje jednak produktu od „efektivne jakosti struje” i od „efektivne napetosti”. U drugom bijaše „pravi efekt” struje jednak nuli. Izlazi, da će u trećem slučaju biti „pravi efekt” struje manji od onoga u prvom, a veći od onoga u drugom slučaju t. j. da dobijemo „pravi efekt” struje u tom slučaju, morat ćemo produkt od efektivne jakosti i efektivne napetosti njezine još multiplicirati s jednim pravim razlomkom, na pr. $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, 0.8 , 0.6 i t. d. Taj pravi razlomak zovu „faktor faze”. On može najviše postati $= 1$ (u našem prvom slučaju), a najmanje jednak nuli (u našem drugom slučaju). U svim drugim slučajevima on je pravi razlomak. Izlazi dakle općeni zakon za pravi efekt svake izmjenične struje :

pravi efekt = efektivna napetost $\times$ efektivna jakost $\times$ faktor faze.

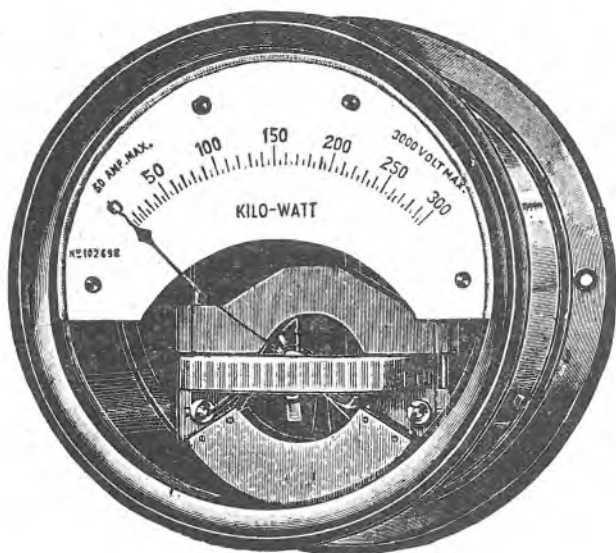
Ako dakle u provodnici izmjenične struje nema nikakve vlastite indukcije, ili je bar veoma malena, faktor je faze gotovo $= 1$. To je na pr. ispunjeno, kad izmjenična struja teče kroz upravnu provodnicu ili kroz kratku savitu provodnicu, kakva je u žarnicama. Ako je pak u toj provodnici uklopljena velika vlastita indukcija, može faktor faze postati gotovo $=$ nuli, i struja gotovo bez ikakve energije. Taj je slučaj ispunjen, ako je u provodnici negdje uklopljen solenoid s jezgrom željeznom (elektromagnet, induktivni svitak) ili kakav elektromotor.

Inače je taj „faktor faze” broj između 0 i 1, pak ga treba znati u svakom pojedinom slučaju, ako želimo da znamo, koliku nam energiju sobom nosi ta izmjenična struja.

Neka međjutim nadje ovdje mjesta bilješka, da imamo danas već instrumenata, koji nam izravno mjere i pokazuju — bez ikakva računanja — broj watta, što ih sobom nosi koja izmjenična struja.

Zovu se „wattmetri“. Ovdje donosimo sliku takova „wattmetra“ od Hartmanna i Brauna u Frankfurtu n. M. (sl. 14), koji nam svojim kazalom odmah pokazuje efekt, što ga izmjenična struja sobom nosi, u „kilowattima“ (1 kilowatt = 1000 watta = 1.36 konjske snage (HP). — Kod jednake struje ne treba toga instrumenta.

Ovo raspravljanje o energiji izmjenične struje — priznajemo — niti je zanimljivo niti je jednostavno, pak se hoće ljubavi za elektrotehniku, da ga čovjek s interesom slijedi. No ove crte i nisu namijenjene zabavi, nego ozbiljnoj pouci obrazovana čitaoca o stvarima, koje za-

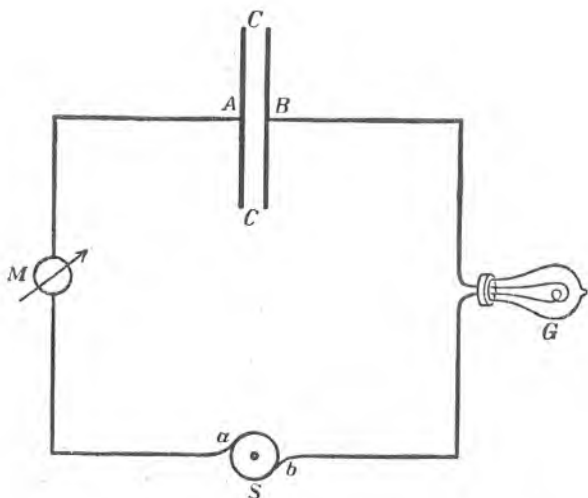


Sl. 14. Wattmetar.

pada u svim granama života od dana u dan sve veća važnost, pak se nitko ne može danas, ako hoće da zasluži ime „općeno obrazovana čovjeka“, oteti dužnosti, da se uputi u te stvari. A napokon nije li i dosta zanimljiva spoznaja, da ima električna struja bez energije?

9. Izmjenična struja u nezatvorenom krugu. Ako su već dosada stečene spoznaje o izmjeničnim strujama, isporodjene s pojavama nama dobro poznatima kod jednake struje, veoma neobične, pogotovo je čudna i nada sve zanimljiva spoznaja, koju smo evo na posljednje mjesto postavili.

Mi smo gotovo srasli s mišljenjem, da električna struja može da teče samo u zatvorenu krugu provodnicâ: samo je u tom slučaju elektromotorna sila, koja djeluje na izvoru struje, kadra, da elektrone u provodnici potakne na trajno gibanje¹. Ako na pr. na svaki pol galvanskoga elementa, akumulatora ili dinama jednake struje pričvrstimo po jednu provodnicu, na kraju je svake doduše neka napetost električna, no dok te krajeve ne sastavimo, nema električne struje, pa ako su krajevi samo 1 milimetar rastavljeni, elektroni miruju — struje nema! Nauka veli: električna struja po-



Sl. 15. Izmjenična struja u nezatvorenu krugu.

stoji samo u zatvorenu krugu provodnicâ; u „otvorenu krugu” nema električne struje, nego postoji na krajevima tek „razlika napetosti” električnih naboja njihovih. To vrijedi u opće i za izmjenične struje, pak su se zaista sva naša dosadašnja razmatranja i ticala ovakvih „zatvorenih” krugova t. j. provodnicâ ide neprekinuta od jednoga pola izvora struje do drugoga pola.

No jednostavan će nas pokus poučiti, da izmjenična struja može da teče i u nezatvorenu krugu provodnicâ. Taj klasični pokus uočuje slika 15. *S* neka bude izvor izmjenične struje t. j. elektromotorna se sila (napetost) na polovima *a* i *b* neprekidno

¹ Isp. Nov. Iz. III., str. 82.—84.

mijenja, kolebajući na pr. između $+141$ volta i -141 volta. U prvoj polovici periode neka bude pozitivna, mijenjajući svoju vrijednost od 0 volta preko $+141$ volta opet do 0 volta; u drugoj polovini periode postaje negativna i mijenja se od 0 volta preko -141 volta opet do 0 volta. Od polova a i b ide po jedna provodnica do kovnih ploča A i B , koje su rastavljene vrstom u džuha ili kojega drugoga dobrog izolatora na pr. pločom od stakla ili tinjca. Obje ploče A i B i izolator među njima čine zajedno nama dobro poznat aparat „kondenzator”¹, o kojem se ondje više raspravljalo, navlastito o njegovoj „kapaciteti” za električne naboje². Posebni oblici takova „kondenzatora” (= zgušćivač elektr.) jesu poznata „Leydenska boca” i „Franklinova ploča”.³

U lijevu je provodnicu upleten ampermetar M za izmjeničnu struju, u desnu pak žarnica G .

Premda je krug struje kod C prekinut, ampermetar pokazuje, da izmjenična struja teče, a žarnica svijetli!

Kad bismo pak izvor izmjenične struje S izmijenili izvorom jednake struje, gdje je na polovima a i b stalna elektromotorna sila (napetost), na pr. $E = 100$ volta, ampermetar ne bi pokazivao otklona kazala, niti bi žarnica G gorjela.

Izmjenična dakle struja očito može da teče i nezatvorenim krugom, prekinutim na jednom mjestu kondenzatorom C .

U čudu se pitamo, kako to može da bude? Ako i ne možemo da udjemo u potanko razlaganje ovoga veoma čudnoga pojava, pokušat ćemo ipak, da ga donekle primaknemo razumijevanju naših čitalaca.

U prvoj polovini periode naše izmjenične struje djeluje na polu a pozitivna elektromotorna sila i tjera za to čitavo vrijeme pozitivan naboj u lijevu ploču A ; provodnicom aMA teče za to vrijeme pozitivna „strujana bijanja” u ploču A i ova se doista nabije određenim pozitivnim nabojem. U isto se doba ploča B od pola b preko provodnice bGB nabija negativnim nabojem iste veličine, pak u toj provodnici teče „negativna strujana bijanja” u smjeru bGB . No mi znamo: kada govorimo o „električnoj struji” u provodnici, svagda mislimo samo pozitivnu struju, dok uistinu

¹ Nov. Iz. III., sl. 6., str. 64.

² Nov. Iz. III., str. 74.—77.

³ Isp. Kučera, Crte o magn. i elektr. str. 97. i dalje.

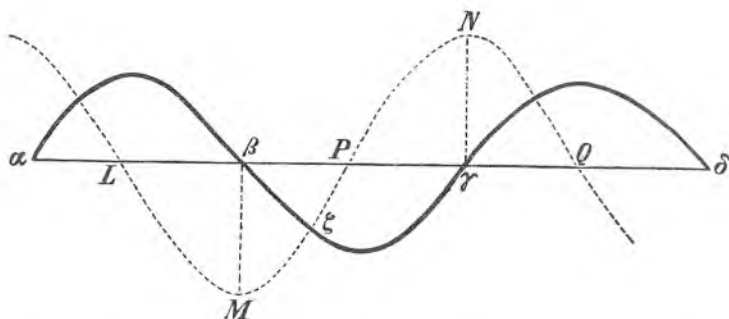
teku zapravo u njoj svagda dvije struje: pozitivna u jednom, a istodobno negativna u suprotnom smjeru. Ako dakle u našoj desnoj provodnici $b \ G \ B$ teče u prvoj polovici periode negativna struja od b prema B , moramo reći, da u njoj u istim mah teče pozitivna struja nabijanja obrnuto t. j. od B preko G k b . Isporedimo li sada smjer te pozitivne struje sa smjerom pozitivne struje u lijevoj provodnici, vidimo zaista neočekivan rezultat: u prvoj polovici periode naše izmjenične struje, koja dolazi iz izvora S , teče **pozitivna** struja nabijanja u čitavom krugu smjerom $a \ M \ A \ B \ G \ b$, kao da krug niti nije prekinut kondenzatorom C ! U drugoj polovici periode naše izmjenične struje, prilike se u izvoru struje izmijeniše u suprotne: a je sada negativni pol, b je pozitivni. Sada teče u čitavoj drugoj polovici periode pozitivna „struja nabijanja” od b preko G do B , a u lijevoj od A preko M k a , dakle baš obrnuto nego prije, ali opet u čitavom krugu istim smjerom, kao da on nije ni prekinut kod C ! Ako se sada sjetimo, da se ona izmjenjena u smjeru struje kod običnih izvora izmjeničnih struja, koji se u elektrotehničkoj praksi upotrebljavaju, zbiva u svakoj sekundi oko 130 puta, možemo zaista reći: u našem nezatvorenom krugu teče trajno izmjenična struja od 130 izmjena u sekundi, pak nam je sada jasno, da će i ampermetar pokazivati efektivnu jakost te izmjenične struje, a žarnica će G gorjeti. Imamo zaista vanredno zanimljiv rezultat:

„Ako u provodnicu **izmjenične** struje negdje uklopimo **kondenzator** (t. j. provodnicu prekinemo), izmjenična struja u nezatvorenu krugu teče s istim brojem izmjena u sekundi.

Čitava se stvar može i ovako shvatiti: Jedno se vrijeme kondenzator C nabija elektricitetom iz izvora S do neke napetosti, a onda se neko vrijeme opet ispraznjuje u suprotnom smjeru, i to se izmjenično nabijanje i ispražnjivanje neprestano ponavlja. Govorimo dakle s pravom i o „strujama nabijanja” i o „strujama izbijanja”. Izgleda dakle, kao da izmjeničnoj struji prijelom provodnice kod C ne zadaje neizmjenno velik otpor, kao kod jednake struje, koja nikako ne može da svlada toga otpora, dok ga izmjenična struja veoma lahko svlada, to lakše, što je veća kapaciteta¹ kondenzatora C i što je veći broj izmjena u sekundi (što je veća frekvencija).

¹ Nov. Iz. III. str. 57, 64, 69—71.

Uočimo sada te naše izmjenične struje još iz bliže ga! Karakteristika je svake izmjenične struje, da joj i jakost (I) i napetost (E) jedno vrijeme na pozitivnoj strani raste od nule do maksimuma, onda obje opet padaju do nule, da opet u drugoj polovini na negativnoj strani rastu od nule do maksimuma na drugoj strani i onda opet padaju do nule, svršivši tim jednu svoju periodu. (Sl. 1). Ako i jakost (I) i napetost (E) točno u istim časovima prolaze kroz nulu i kroz oba maksima (sl. 11), „poudaraju se u fazi”. Vlastita nas je međutim indukcija već prije poučila, da se ovo poudaranje faze može pobrkati, ako se u tečaj izmjenične struje uklopi velika vlastita indukcija: može da dodje najviše do razlike faze od 90° t. j. može da dodje najviše do toga, da jakost struje (I) zaostaje iza napetosti njezine (E) za punu četvrtinu periode:



Sl. 16. Razlika faze izmedju jakosti i napetosti struje kod kondenzatora.

kad je napetost (E) najveća, jakost je struje (I) najmanja t. j. nula. Uklopljenje velike vlastite indukcije izvodi za kašnjenje jakosti (I) najviše za četvrtinu periode. Mi smo pak sada uklopili u krug naše izmjenične struje kondenzator C . Opreznost nas nuka, da pitamo: je li tim poudaranje faze izmedju jakosti (I) i napetosti (E) struje ostalo netaknuto ili je možda i uklopljenje kondenzatora C izvelo kakvu razliku faze?

Što je na stvari, tomu se sada možemo razmjerno lahko dočimati i bez naročita pokusa. Slika 16. nam pomaže, da dodjemo stvari na dno. Od nabijanja Leydenske boce iz Winterova stroja, poznato nam je, da pozitivna struja iz konduktora stroja teče u obliku finih iskara na nutarnji oklop boce. Ta struja u početku naglo raste u svojoj jakosti, dosegne svoj maksimum jakosti, ali sada sve više jenjava

i sasma prestaje, kad je oklop primio pozitivnoga naboja toliko, koliko može prema svojoj kapaciteti; dakle: u početku, kada je napetost naboja (E) na oklopu još nula, jakost je struje (I) najveća, a kada je jakost struje (I) nula, napetost je naboja (E) na oklopu najveća. To se točno ponavlja i kod naše izmjenične struje (Sl. 15.): izvor S najprije nabija pozitivnim nabojem ploču kondenzatora A ; k njoj teče pozitivna struja s početka sve jača, no potkraj, kada je ploča već gotovo puna, sve slabija, a kada je naboj na ploči A najjači, struja prestaje, njezina je jakost (I) nula. To uočuje lijepo slika 16. Debela crta pokazuje jakost struje (I), kako raste i pada od α do β . Kada je spala na nulu (kod β), napetost je na ploči A najveća pozitivnoga naboja, a na ploči B u isti mah negativnoga naboja. Sada nastoji kondenzator C , da se isprazni, ali u suprotnom smjeru t. j. on ima u tom času spram predjašnje struje najveću napetost E suprotnoga smjera, koju u slici pokazuje pravac βM . Od β do γ teče struja u provodnici obrnutim smjerom, polje je negativan (na izvoru struje S); ploča A se nabija negativnim elektricitetom; njezin se predjašnji pozitivni naboj umanjuje; napokon se sav uništi i na koncu ove druge polovine periodne, kada je struja posve jenjala (kod γ), ima ploča A najveći svoj negativni naboj, dok ploča B u isti mah ima svoj najveći pozitivni naboj; kondenzator C nastoji da se isprazni, ali sada u smjeru $B G b a A M$ t. j. u smjeru „prve struje nabijanja” ($\alpha \beta$). U tom času (γ) je dakle najveća napetost pozitivnoga smjera, pak ju uočuje pravac γN . Razbiramo dakle: napetost (E) naše izmjenične struje, koja teče u nezatvorenu krugu provodnice, uočuje nam iscrtana valovita krivulja $L M N Q$. U točkama $L P$ i Q ta je napetost (E) njezina jednaka nuli, u točkama M i N je najveća. Isporedimo li sada u slici valovitu crtu jakosti struje (debelu) s valovitom crtom napetosti njezine (iscrtanom), otkrivamo smjesta vanredno zanimljivu činjenicu, da se jakost (I) i napetost (E) ne podudaraju u fazi, nego da postoji razlika faze od 90° , jer baš kada je napetost (E) najveća, jakost je (I) najmanja. Izlazi dakle veoma zanimljiv zakon:

„Ako se u provodnicu izmjenične struje negdje uklopi kondenzator, on ne smeta tečenju struje, ali izvodi razliku faze između jakosti i elektromotorne sile, koja može najviše doseći četvrtinu periode ili 90° .”

Uklapanje kondenzatora u tečaj izmjenične struje izvodi dakle na nju posve sličan učinak kao i uklapanje velike vlastite indukcije (induktivnoga svitka s jezgrom željeza ; str. 20.), naime razliku faze. No ako se isporedi slika 16. sa slikom 12., (str. 19.), koja nam pokazuje razliku faze kod uklapanja vlastite indukcije, opažamo iz slika odmah i razliku između uklapanja kondenzatora i uklapanja vlastite indukcije: obje izvide baš suprotni učinak na krug struje. Izlazi dakle zakon :

„Kod uklapanja se **kondenzatora** u tečaj izmjenične struje jakost struje (I) spram njezine napetosti (E) **urani** najviše za četvrtinu periode, a kod uklapanja **vlastite indukcije** jakost struje (I) **zakasni** najviše za četvrtinu periode spram njezine napetosti (E).”

U prvom slučaju struja pretječe elektromotornu silu, u drugom se zakašnjuje spram nje. Za koliko struja pretječe elektromotornu silu (napetost), to zavisi o tri faktora : 1.) o Ohmovu otporu provodnice. 2.) o broju izmjena struje u sekundi (o frekvenciji) i 3.) o kapaciteti kondenzatora. I teorija i pokusi utvrđiše zakon :

„Struja pretječe kod uklapanja kondenzatora napetost njezinu to **više**, što je **veći** broj izmjena (što je veća frekvencija), što je **manji** Ohmov otpor provodnice i što je **manja** kapaciteta kondenzatora.”

Najveća je vrijednost toga pretjecanja četvrtina periode, a nema nikakva pretjecanja, kad nema uklopljena kondenzatora. Djelovanje našega kondenzatora na elektromotornu silu izvora S ovisi bitno o njegovoj „kapaciteti” za elektricitetu. Poradi toga elektrotehnika riječ „kondenzator” naknadjuje upravo riječju „kapaciteta”, pak svagda govori o uklapanju „kapacitete” u provodnicu, mjesto „kondenzatora”. Da budemo suglasni s praksom i mi ćemo odsada tako govoriti.

10. Djelovanje izmjenične struje na vlastitu indukciju i kapacitetu, uklopljene zajedno u provodnicu. Iz ovoga — i opet priznajemo — ne baš ugodnoga i laskava razmatranja, razbirmo: „vlastita indukcija” i „kapaciteta” imaju spram izmjenične struje baš suprotna svojstva, pak se gotovo samo zadaje pitanje: što će biti, ako u isti

krug izmjenične struje uklopimo u isti mah i vlastitu indukciju i iza nje kapacitetu ?

No i odgovor je na to pitanje sada gotovo na dlanu. Vlastita indukcija sama za se z a k a š n j u j e struju spram elektromotorne sile, kapaciteta ju pak u r a n j u j e. Jasno je dakle, da će obje, uklopljene zajedno jedna iza druge u isti krug izmjenične struje, uopće u m a n j i v a t i razliku faze, a može se u o s o b i t o m s l u č a j u dogoditi i to, da se razlika faze posve u n i š t i, da se jakost i napetost opet p o d u d a r a j u u fazi, kao da nema uklopljene ni vlastite indukcije ni kapacitete. Velika je napast, da idemo još ispitivati, kada će se ovo posljednje dogoditi, no predaleko bi nas odvelo od našega predmeta, premda je to ispitivanje praktičnoj elektrotehnici donijelo zamašan obret — „r e z o n a n c i j e”. Prije toga obreta događalo se često, da su dinami „p r o g o r j e l i” t. j. najednoč se pojavila golemo iskra i uništila sve izolirane žice — dinamo je bio uništen, a elektrik je stajao pred nepoznatim čudom ! No o tom možda drugom prilikom. Zasad smo zadovoljni i s tom spoznajom, da mi možemo veliki p r i v i d n i o t p o r, što ga u krug izmjenične struje unosi uklopljena „vlastita indukcija” („induktivni svitak”), pak tim i j a k o s t te struje veoma umanjuje, gotovo posve uništiti, ako u taj krug struje uklopimo još i z g o d n o o d a b r a n u k a p a c i t e t u ; tim će krug struje steći sposobnost, da u njem može teći veoma j a k a struja, makar da je u njem velika vlastita indukcija.

* * *

Nakon tegotna puta proučismo prilično osobita svojstva, osobite pojave i zakone izmjeničnih električnih struja. No put nije bio bez koristi za nas. Otkrismo čitav niz novih pojava, rekao bih gotovo : otkrismo novi „električni svijet”. No pored duševnoga užitka, s tim svezana, stoji i vanredno velika p r a k t i č n a v r i j e d n o s t tih obreta. Da ih saberemo još jednoč posve ukratko !

1. Ako se svitak žice vrti ispred polova magneta, javlja se u njem magnetoindukcijom „i z m j e n i č n a s t r u j a”¹ (courant alternatif, Wechselstrom) s pravilnom izmjenom smjera, i isto tako pravilnim promjenama u n a p e t o s t i (E) i u j a k o s t i (I).

2. Potpuni okretaj svitka (za 360°) treba određeno vrijeme — zove se „p e r i o d a i z m j e n i č n e s t r u j e”. Tu istu periodu ima

¹ Izmjenična struja = franc. : courant alternatif ; njem. : Wechselstrom.

i elektromotorna sila (napetost) i jakost te struje. Kut, za koji se svitak kod svoje vrtnje udaljio od početnoga stanja, zove se „faza gibanja”. Broj izmjena smjera u jednoj sekundi zove se „frekvencija” izmjenične struje. On je dvostruk broj periode.

3. Ako se u tečaj izmjenične struje uklopi „vlastita indukcija” (svitak žice sa željeznom jezgrom), postaju ekstrastruje, koje znatno i trajno uvećavaju prividni otpor provodnice („impedanciju” provodnice), to više, što je veća vlastita indukcija i što je veći broj izmjena u sekundi (što je veća „frekvencija”). Kod sklapanja struje javlja se elektromotorna sila suprotna elektromotornoj sili izvora, kod rasklapanja pak istoga smjera s njom. Vlastita se indukcija svitka žice (spirale) znatno uveća, ako se u nju utakne jezgra mehka željeza.

4. Kod izmjenične struje bez vlastite indukcije podudaraju se jakost i napetost struje u fazi: zajedno dosegnu svoje najveće i najmanje vrijednosti, zajedno idu kroz nulu. „Podudaranje faza” ili „razlika faza 0°”. „Efektivna jakost” i „efektivna napetost” izmjenične struje.

5. Uklopljene velike vlastite indukcije u tečaj izmjenične struje uništi podudaranje faza između jakosti (I) i napetosti (E) struje. Nastaje razlika faze, to veća, što je veća vlastita indukcija i frekvencija i što je manji Ohmov otpor. Najveća je moguća razlika faze jedna četvrtina periode ili 90°. U tom je slučaju naime elektromotorna sila u svom maksimumu baš kada je jakost struje nula, i obrnuto. Jakost se struje zakasnjuje spram napetosti.

6. Energija izmjenične struje s podudaranjem faze broji toliko watta, koliko kazuje produkt od efektivne napetosti i efektivne jakosti. Energija pak izmjenične struje s razlikom faze (s uklopljenom vlastitom indukcijom) manja je od toga produkta. On se još mora multiplicirati „s faktorom faze”, koji može biti broj između 1 i 0. Wattmetar. Ako je razlika faza najveća, što može biti, naime četvrtina periode ili 90°, izmjenična struja ne nosi sobom nikakve energije — „struja bez watta”.

7. Izmjenična struja teče nesmetano i u nezatvorenu krugu, koji je negdje prekinut uklopljenjem kondenzatora (kapacitete). Kondenzator za izmjeničnu struju nije neizmjereno velik otpor, kao za jednaku struju. On joj zadaje tek razmjerno malen

prividni otpor, to manji, što je veća kapaciteta kondenzatora i što je veća frekvencija struje.

8. Uklopljenje kondenzatora (kapacitete) takodjer uništi podudaranje faze izmedju jakosti (I) i napetosti (E) izvora struje i izvodi razliku faze. Struja pretječe elektromotornu silu (napetost) to više, što je veća frekvencije struje, što je manji Ohmov otpor i što je manja kapaciteta. Skrajnja je vrijednost te razlike faze i ovdje jedna četvrtina periode ili 90° .

9. Ako u tečaj izmjenične struje uklopimo i vlastitu indukciju i kapacitetu, jednu za drugom („u seriji”¹), umanjuje se uopće razlika faze izmedju jakosti i napetosti struje, a može se u osobitoj prilici i posve uništiti („rezonancija”). U tom slučaju možemo kroz provodnicu, u kojoj vlastita indukcija izmjeničnoj struji zadaje veoma velik prividni otpor, ipak poslati jaku struju. Treba iza vlastite indukcije uklopiti zgodno odabranu kapacitetu.

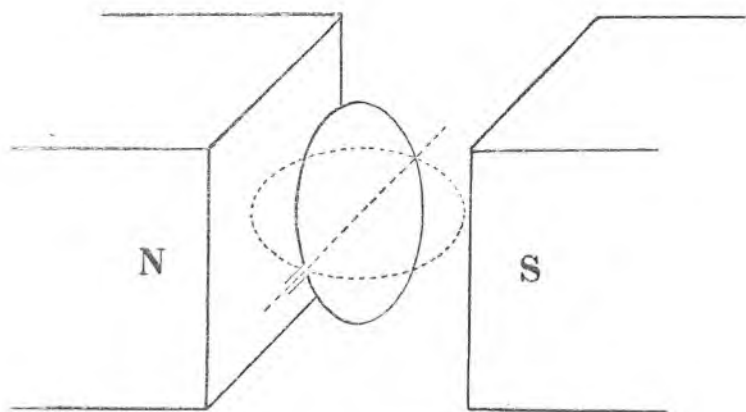
II.

Dinamo izmjenične struje. Različni tipovi.

Proučivši najvažnija osobita svojstva izmjenične struje, možemo pristupiti i pitanju: kako se grade strojevi, koji daju snažne izmjenične struje? Kako smo modernim strojevima za snažne jednake struje dali ime „dinamo jednake struje”, bit ćemo samo dosljedni, ako strojevima za snažne izmjenične struje dademo ime „dinamo izmjenične struje”, to više, što se na koncu konca i ovi osnivaju na epohalnom obretu Faradayeve magnetoindukcije. I kod ovih se naime dobivaju te silne električne izmjenične struje pretvaranjem mehaničke energije u električnu: treba ulagati u dinamo odredjenu „mehaničnu radnju”, da se iz njega dobije električna struja, koja sobom nosi primjerenu „električnu energiju” t. j. sposobnost, da nam uloženu radnju vrati u drugim oblicima, koji nam trebaju i gdje nam trebaju. Naoružani znanjem o svojstvima i zakonima izmjenične struje, bit će nam lahko razumjeti i ovaj najnoviji izvor najsilnijih električnih struja, što ih čovjek danas ima, da s njima radi. Velimo „najnoviji” izvor, jer je prvi takı stroj sagrađen godine 1889.

¹ Nov. Iz. III., str. 120.

1. Najjednostavniji oblici dinama izmjenične struje. Najjednostavniji način, da dobijemo *s t a l a n i z v o r* izmjeničnih struja, uočuje sl. 17. Žicu savijemo u krug i smjestimo među polove *N* i *S* jaka magneta, dakle u homogeno magnetsko polje. Ako se sada taj okrug vrti je d n o l i k o oko osovine, koja je na magnetskim silnicama polja okomita (u slici je osovina iscrtana), budi se u okruglu magnetoindukcijom elektromotorna sila, koja se baš onako mijenja, kako treba za izmjeničnu struju. Kad bismo na krajevima okrugla pričvrstili provodnicu, njom bi tekla izmjenična struja, kako ju uočuje naša slika 1. Za vrijeme jedne pune vrtnje (od 360°) prošla bi i elektromotorna sila na *i z v o r u* struje i jakost njezina u provodnici sve vrijednosti između

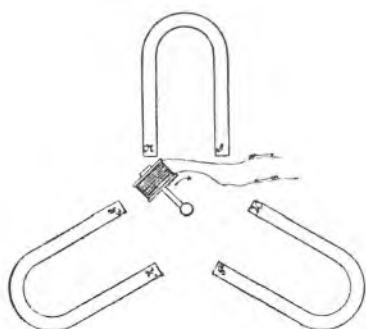


Sl. 17. Princip dinama izmjenične struje.

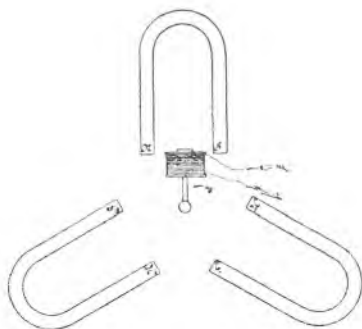
pozitivnoga i negativnoga maksimuma kroz nulu, kako ište ona slika. Pred nama je dakle najjednostavniji „*d i n a m o i z m j e n i č n e s t r u j e*”. Ali on ima za praksu veliku pogrešku: inducirana elektromotorna sila i u času najveće svoje vrijednosti veoma je malena, pak prema tomu je i efekt toga dinama neznatan, sve ako bi bilo magnetsko polje veoma jako i ako bi se ovaj okrug vrtio i veoma velikom brzinom. Radi se dakle o tom: elektromotornu silu, koja se u okruglu budi, što više uvećati. Kako da to postignemo, pokazalo se već kod jednake struje¹. U okruglu izvedena elektromotorna sila razmjerna je broju magnetskih silnica presječenih u svakom času. Što je veći taj broj, to više volta

¹ Nov. Iz. III., str. 140.

napetosti, to veća elektromotorna sila! Iz toga izlazi: želimo li u praksi dobiti što veću elektromotornu silu, treba upotrijebiti 1.) magnetsko polje što gušćih silnica, 2.) žicu što veće dužine i 3.) tu žicu treba što većom brzinom u magnetskom polju vrtjeti. Te nas misli moraju voditi i kod gradnje „dinama za izmjeničnu struju”. Naš jedini okrug, koji se vrti, nije ništa drugo, nego jedan element „k o t v e” budućega dinama. Da uvećamo elektromotornu silu, mi ćemo najprije mjesto jednoga zavoja žice uzeti njih mnogo t. j. savit ćemo dugačku žicu u „s v i t a k ž i c e”, a da bude inducirana elektromotorna sila još veća, utaknut ćemo u svitak „j e z g r u m e h k a ž e l j e z a”. Ovaj ćemo svitak, kako pokazuje slika 18., učvrstiti na osovinu, oko koje se svitak može vrtjeti na pr. nadesno. Krajevi žice



Sl. 18.



Sl. 19.

Princip dinama izmjenične struje.

namotane u svitak neka idu na pr. ka galvanometru. Tri magneta stoje u okruhu oko svitka, tako da se neprestano polovi i zmjenjuju. Primaknemo svitak sjevernomu polu (sl. 18.): igla galvanometra se otkloni na pr. nalijevo. U svitku se javila elektromotorna sila i izvela je struju, koja je tekla na pr. od gornjega kraja žice preko galvanometra natrag donjem kraju žice, kako pokazuju strjelice. Svitak se vrti dalje k južnomu polu (sl. 19): u svitku se magnetoindukcijom budi elektromotorna sila suprotnoga smjera spram predjašnje, dakle teče i struja suprotnoga smjera t. j. od donjega kraja žice preko galvanometra k gornjem kraju žice, kako i opet pokazuju strjelice, a to potvrđuje i galvanometar otklonom igle nadesno. Nastavimo li polagano ovu vrtnju svitka, pokazivat će galvanometar naizmjenice otklone nadesno i nalijevo, prema tomu,

kojemu se polu svitak primiće: u svitku se javlja izmjenična struja. Što brža vrtnja, to brže dolaze otkloni galvanometra, nalijevo i nadesno, jedan iza drugoga. Još bržu vrtnju svitka ne mogu suprotni otkloni da slijede: igla galvanometra stoji na miru, za izmjeničnu struju galvanometar ove konstrukcije ne valja!

Ako uzmemo, da se naš svitak u jednoj sekundi dva puta potpuno okrene, proći će on u svemu 18 puta kraj ovih 6 magnetičnih polova. No kako se kod svakoga prijelaza kraj pola mijenja i smjer struje, izlazi, da će u našem svitku teći izmjenična struja sa „18 izmjena“ u svakoj sekundi, ili 1080 izmjena u minuti. Ovaj model dinama izmjenične struje već je savršeniji od predjašnjega: mjesto jednoga magnetičkoga polja njih je šest, mjesto jednoga zavoja žice presijeca ta polja dugačka žica namotana u svitak; inducirana elektromotorna sila doseći će u svojim najvećim vrijednostima kud i kamo veći broj volta nego prije.

No i ovaj je oblik dinama izmjenične struje još uvijek nesavršen. Kod vrtnje se našega svitka iscrpljuje u svakom času samo jedan magnetički pol. Kad bismo na našoj osovinu smjestili 3 svitka, tako da stoje ispred tri pola jednoga imena (na pr. sva tri ispred *N* ili sva tri ispred *S*), pa kad bismo tu trojku svitaka zavrtjeli, očito je, da bi se u sva tri svitka inducirale elektromotorne sile istoga smjera poradi toga, što su svitci svagda u istom času ispred istih imenih polova, pak se te tri elektromotorne sile adiraju (zbroje). Kad bismo na našoj osovinu smjestili još 3 svitka tako, da ova druga trojka stoji baš ispred tri južna pola u času, kada je prva trojka ispred sjevernih, jasno nam je, da će se u drugoj trojki u tom času inducirati takodjer elektromotorne sile, koje su medju sobom istoga smjera, pak se i te tri elektromotorne sile mogu složiti i zbrojiti u jednu veću. No elektromotorna sila druge trojke bit će očito suprotnoga smjera spram elektromotorne sile prve trojke. Bismo li mogli svih 6 elektromotornih sila obiju trojaka tako ujediniti, da sve djeluju u istom smislu, da sve rade zajednički? Mislim, da će gotovo svaki čitalac i sam pogoditi odgovor: po dva se zasebna svitka moraju obrnutim krajevima spojiti, pak će elektromotorna sila svih 6 svitaka imati u istom momentu isti smjer. Da to razjasnimo! Gornji kraj žice svakoga svitka neka se zove *A*, donji pak *B*. U prvom svitku, koji stoji ispred jednoga sjevernoga pola, ima

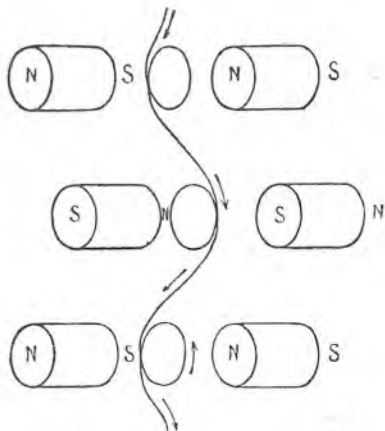
struja smjer od A preko provodnice k B ; u drugom svitku, koji t a j č a s stoji ispred južnoga pola, ima elektromotorna sila smjer od B preko provodnice k A . Ako sada spojimo krajeve svih 6 svitaka u jedan zajednički krug, u kojem bi sve elektromotorne sile dobile isti smjer, morao bi svitak 1 u taj krug ući u smjeru AB , svitak 2 u smjeru BA , svitak 3 u smjeru AB , svitak 4 opet u smjeru BA , svitak 5 u smjeru AB i napokon svitak 6 u smjeru BA . Kako vidimo, ostaje od prvoga i posljednoga svitka slobodan isti kraj A . Na te krajeve dolazi „izvanji krug struje” t. j. provodnica, u koju se na pr. uklapa cio niz električnih lampi za rasvjetu. No kako to izvesti, da oni krajevi, koji se ipak neprekidno vrte, svoju izmjeničnu struju predaju izvanjemu krugu. To se kod ovoga dinama mnogo jednostavnije rješava, nego kod dinama jednake struje, i u tom je jedna od najvećih prednosti novoga dinama. Na osovini se pričvrste dva izolirana kovna koluta i u svaki se utakne po jedan kraj A gore spomenute žice. Po svakom se kolutu skliže uz pritisak kovna „kefica”, koja od svoje stezaljke predaje izmjeničnu struju izvanjoj provodnici. Nema više „kolektora”, nema nikakvih opasnih iskara kod kefica, koje toliko jada zadaju kod dinama jednake struje!

Iz ove skice razbira čitalac već sva tri glavna dijela dinama izmjenične struje: 1) odredjen broj svitaka žice, zgodno sastavljen u jedan krug; zovu se svi zajedno „k o t v a” ili „i n d u k t o r” ili „a r m a t u r a” dinama; 2) odredjen broj magneta, zgodno poredjanih polova; dajemo im ime „sustav poljskih magneta” (systeme inducteur, Feldmagnetensystem); u našem su modelu to bili trajni magneti, u elektrotehnici su svagda elektromagneti, koje hrani posebna jednaka struja na pr. iz dinama jednake struje; dajemo joj ime „struja budilica” (courant excitatrice, Erregerstrom). Prema tomu treba kod ovoga dinama razlikovati dvije struje: *a*) „struja budilica”, koja mora biti jednaka struja i ulazi izvana u stroj te budi i podržava jak magnetizam u poljskim magnetima i *b*) „k o r i s n u s t r u j u”, koju nam daje taj dinamo iz obaju svojih koluta i koja teče u izvanju provodnicu, da nam tamo izvršuje korisne radnje. Ta je struja ovdje „o b i č n a i z m j e n i č n a s t r u j a”; 3) dva izolirana koluta na osovini s keficama i stezaljkama za izvanju provodnicu.

Mehanička radnja vrtnje ovdje se pretvara u izmjeničnu struju, jer na stezaljkama ne djeluje stalna elektromotorna sila, kao u dinamama jednake struje, nego ta elektromotorna sila neprekidno mijenja i svoj smjer i svoju veličinu, kako nam uočuje prva slika predjašnjega odsječka, pak poradi toga u izvanjoj provodnici teče izmjenična struja toga oblika: zovu je u elektrotehnici „običnu izmjeničnu struju“.

Od ovoga modela do praktičnoga izvodjenja njegova u što zgodnijem obliku tek je jedan korak.

2. Tipovi dinamova za običnu izmjeničnu struju. Na osnovnoj misli čaš prije opisanoga uzorka sagrađen je stariji „Siemensov dinamamo izmjenične struje“.



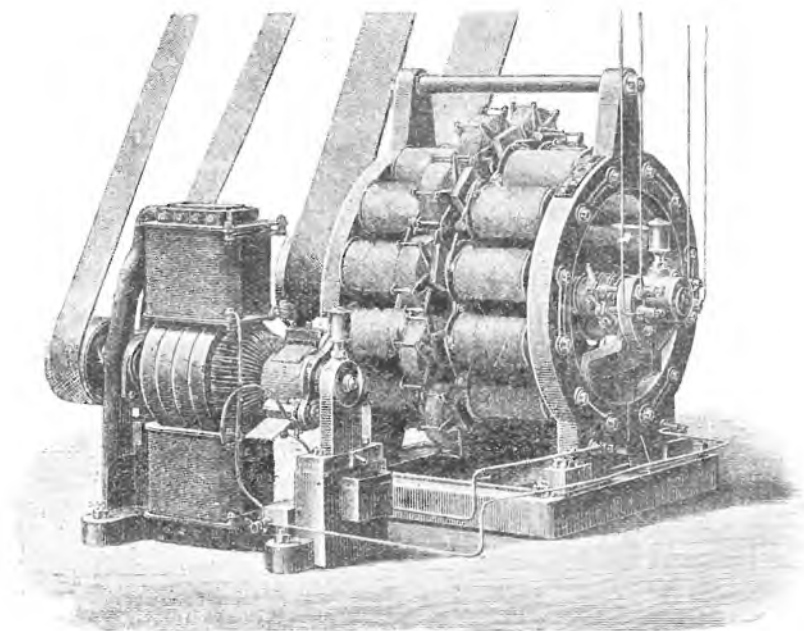
Sl. 20. Shema Siemensova dinamama izmjenične struje.

Takav nam stroj pokazuju slika 20. (u shemi) i sl. 21 (izveden). Kako bi dobio jača magnetska polja, namjestio je Siemens po dva suprotna pola elektromagneta jedan drugomu nasusret. Među njima je vanredno jako homogeno magnetsko polje veoma gustih silnica. Svitci žice markirani su samo po jednim zavojem; vrte se brzo kroz ta magnetska polja, kojih je velik broj poredjan u okrug (u slici je samo dio toga okruga poljskih elektromagneta — njih 3). Ujedno je u slici lijepo pokazano, kako su svi

svitci motani u jednu dugačku žicu, tako da sve elektromotorne sile, inducirane u njima, dobiju isti smjer, pak se sumiraju (zbroje).

Slika 21. pokazuje takav dinam potpuno izveden. Desno stoji dinam izmjenične struje. Vide se suprotni krakovi elektromagneta, poredjanih u okrug; to je „sustav poljskih magneta“. Među tim elektromagnetima eno i plitkih svitaka žice, koji čine „kolutu“ ili „armaturu“ dinam; svi su na zajedničkoj osovinu, koju veoma brzo vrti kakav parni stroj pomoću remena (na lijevoj strani). Na desnom se kraju osovine vide i oba „koluta“; na svakom se sklize po jedna „kovna kofica“, koja izmjeničnu struju skida s njih i vodi do stezaljaka sasvim na kraju, a iz ovih ide dalje izvanja

provodnica. Svitaka je žice toliko, koliko je parova suprotnih magnetskih polova. Kada svitak dodje do susjednoga elektromagneta, mijenja se u njem smjer inducirane elektromotorne sile u suprotni; kod drugoga elektromagneta prima opet prvi svoj smjer i t. d. Dobivamo dakle izmjeničnu struju, kojoj je broj perioda kod jednoga potpunoga okreta kotve (za 360°) jednak polovini broja elektromagneta. Ako sada uzmemo, da se kotva u svakoj sekundi na pr. dva puta potpuno okrene, možemo lahko izračunati i „broj izmjena” te

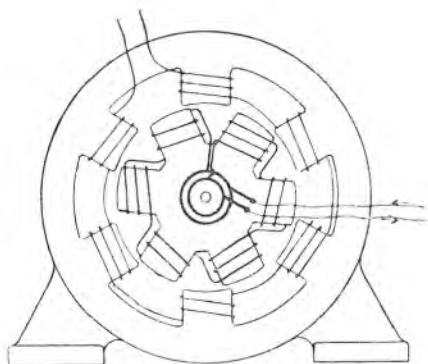


Sl. 21. Siemensov dinamo izmjenične struje izveden.

struje, ako broj perioda za svaki okret pomnožimo s brojem dva. Lijevo stoji na našoj slici mali „dinamo jednake struje”; parni ga stroj tjera pomoću drugoga remena. Njegova jednaka struja ulazi pomoću žica sastavniča u „sustav poljskih elektromagneta”, pak ih pretvara u jake magnete; budući da je struja jednaka, bit će i sva magnetska polja svagda jednake jakosti.

Kako bi napetosti ovih strojeva postale što veće, a tim i jakosti struja, grade se danas ovaki „dinamici izmjenične

struje"¹ (franc.: „*alternateur*“, njem.: „*Wechselstromdynamo*“) u velikim dimenzijama. No tim raste i broj svitaka toliko, da je nepraktično vrtjeti tu silnu masu žice među polovima stalnih elektromagneta. Raspored se jednostavno obrne: svitci žice miruju, a sistem se poljskih magneta vrti. U stvari se tim nije ništa promijenilo, ali je takav dinamo praktičniji. Princip takova dinama razjašnjuje lijepo slika 21a. Na izvanjem kolutu, koji miruje, vidimo 6 svitaka s jezgrama mehka željeza; žica je oko njih motana, kako treba, a krajevi njezini daju „korisnu struju“ za izvanju provodnicu. U unutrašnjosti je na zajedničkoj osovini namješteno 6 elektromagneta, u koje dolazi „struja budilica“ preko kefica i dvaju koluta. Ako se ova „magnetna zvijezda“ sa 6 polova u 1 minuti okrene



Sl. 21a. Dinamo izmjenične struje s magnetnom zvijezdom.

1000 puta (učini „1000 okreta“ ili „tura“), dobivamo iz toga dinama izmjeničnu struju od 6000 izmjena u minuti ili 100 izmjena u svakoj sekundi, a to je i običajni broj u praksi.

Kotva dakle sa svim svitcima žice čini jedno stalno veliko željezno kolo („izvanje kolo“ dinama). Jedan dio takova kola sa svitcima u njem pokazuje slika 22., a čitavo kolo velikih dimenzija sl. 23. Iz onih seg-

menta se ovo veliko kolo kotve sastavi. U unutrašnjosti one stalne kotve namještena je osovina, na kojoj su u obliku zvijezde porijedani poljski elektromagneti (sl. 24), koje parni stroj vrti. Zove se „magnetno kolo“ ili „magnetna zvijezda“. Na njoj se vide i žice, kojima se dovodi jednaka struja u elektromagnete. Često se na istu osovinu namjesti i mali dinamo jednake struje („stroj budilac“; dynamo excitatrice; Erregermaschine), koji svojom strujom hrani te elektromagnete. Takav „dinamo izmjenične struje“ pokazuje nam slika 25. Na velikom se stroju razbira unutra magnetna zvijezda s elektromagnetima, koje vrti parni stroj. Oko nje

¹ Dinamo izmjenične struje = franc. *alternateur*; njem. *Wechselstromdynamomaschine*; *Wechselstrommaschine*.

stoji izvana veliko željezno kolo kotve ili armature; no pojedini se svitci ne vide, jer su u kolu. Sprijeda se tik magnetne zvijezde vide i oba „koluta“ (franc.: les bagues; njem.: Schleifringe) i kefice, koje se po njima skližu. Sasma naprijed na istoj osovini stoji mali „dinamo budilac“, koji svojom strujom elektromagnete magnetizira. Isti parni stroj okreće i kotvu ovoga dinama, pak se pokazalo, da se od njegove energije troši 1%—2% na to magnetiziranje elektromagneta (kod velikih), a 2%—3% kod malih dinama. Grade se ovi dinami ili kao „strojevi brzi“, gdje je broj okreta u 1 minuti = 1000) ili kao „polagani strojevi“



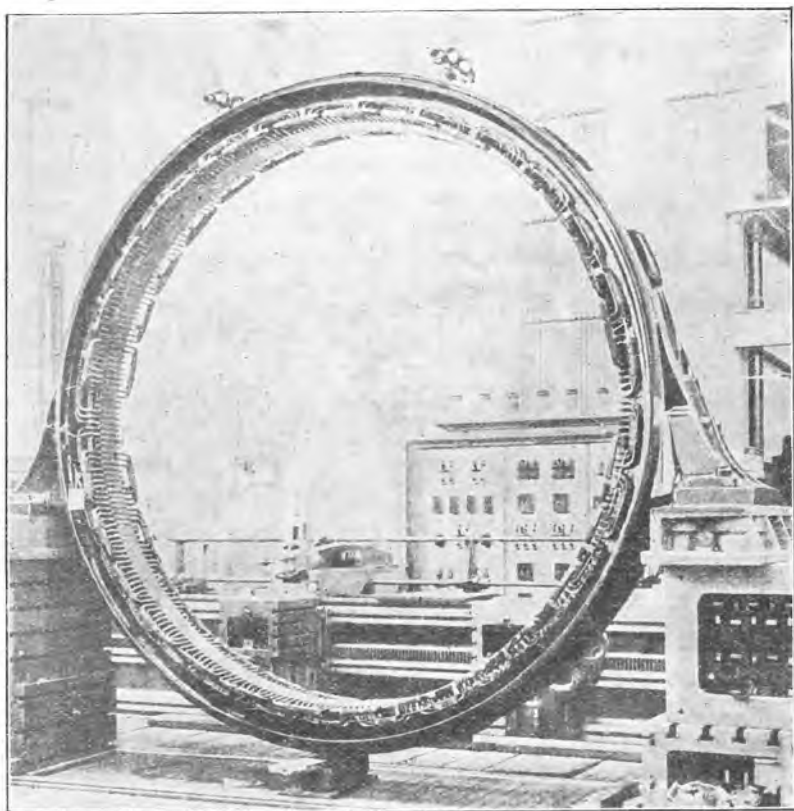
Sl. 22. Dio kotve dinama izmjenične struje (1500 HP).

(80—130 okreta u 1 minuti). Kotva se mota za napetosti od 500 volta, pak sve do 5.000 volta, a i više do 10.000 volta.

Mjesto parnoga stroja ulaze sada sve više kao pogon (vodene ili parne) „turbine“. U tom slučaju osovina dinama treba da bude osnovna („turbo-dinamo“). Napokon bih spomenuo, da ima tipova, gdje sustav poljskih magneta čini izvanje kolo, koje se vrti, a kotva je unutra i miruje. Zovu se „dinamo izvanjega pola“ („Aussenpol-dynamo“).

Red je, da isporidimo ovu novu vrst dinama sa starijom, s dinamom jednake struje. Jedni i drugi nam izvede električne struje velikih napetosti, a po tom i velikih jakosti, poradi toga im se često čuje i za-

jedničko ime „generatori struje” (roditelji struje). Kao generator struje ima dinamo izmjenične struje i svoje dobre i svoje slabe strane. Glavna mu je dobra strana, da je u svojoj gradnji mnogo jednostavniji od dinama jednake struje; navlastito nema „kolektora”¹ (sabirača) struje na njem i svih njegovih velikih



Sl. 23. Stalna kotva velikoga dinama izmj. struje (580 KW i 5500 volta) 150 okretaja.

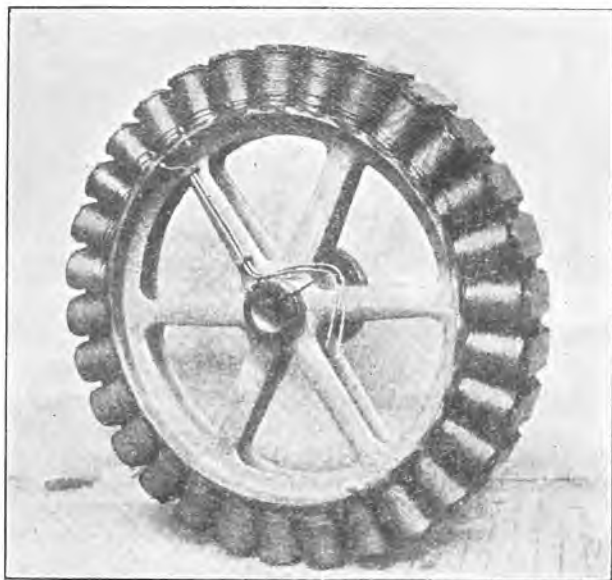
neprilika. Glavna mu je slaba strana, da treba posebnu struju budi-licu, a tim se troškovi oko postavljanja i uzdržavanja uvećavaju. S te je strane teško reći, koji je dinamo, kao generator struje, vredniji.

No najjača dobra strana dinama izmjenične struje na drugom je području — na području prenošenja električne ener-

¹ Nov. Iz. III. str. 149.

gije u velike daljine. Tu je ovaj dinamo spram starijega s jednakom strujom gospodar situacije. No o tom nešto kasnije! Sada je red, da čitaocima pokažemo još jedan tip dinama izmjenične struje, koji je u najnovije vrijeme prevladao.

3. Dinamo mnogofazne struje. Dinamo struje obrtače. Opisani tip dinama izmjenične struje daje nam u izvanju provodnicu jednu izmjeničnu struju. Zanimljivo je, da se na istim načelima dađe lahko sagraditi dinamo, koji nam daje iz jedne te iste arma-



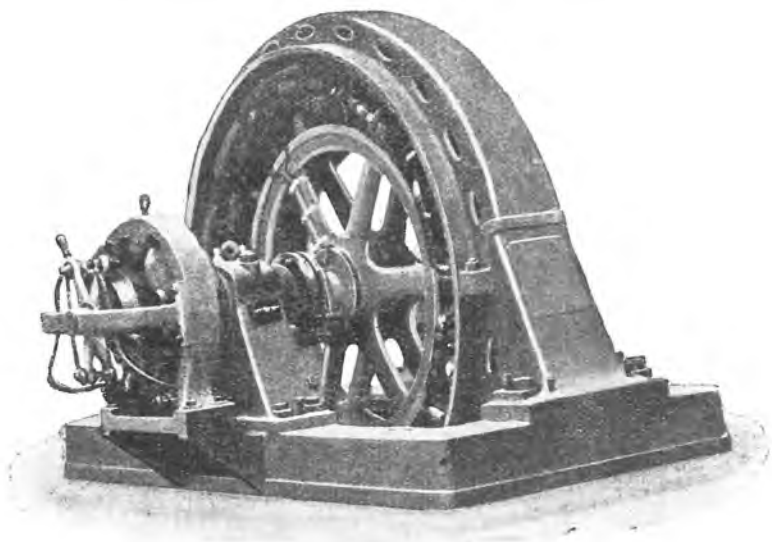
Sl. 24. Magnetno kolo dinama izmjenične struje (struje obrtače).

ture dvije ili tri ili četiri i t. d. izmjenične struje, koje se mogu svaka za se u posebnim provodnicima upotrijebiti, ali mogu i zajednički raditi.

Svaki se dinamo obične izmjenične struje lahko može tako preurediti, da šalje na pr. dvije izmjenične struje iz svoje armature, svaku u dvije izvanje provodnice. Uzmimo na pr. naš prije opisani Siemensov dinamo izmjenične struje. U njegovu je kolu toliko svitaka žice, koliko je parova suprotnih magnetskih polova ili koliko je elektromagneta. Kad smo sve svitke z g o d n o sastavili u

jednu dugačku žicu, dobili smo na stezaljkama jednu izmjeničnu struju.

No mi možemo na kolu smjestiti dva puta toliko svitaka, koliko je magneta, pak možemo sada sve neparne svitke 1, 3, 5 ... zgodno sastaviti u jednu dugačku žicu i krajeve njezine na osovini učvrstiti u dva koluta, po kojima skližu kefice sa stezaljkama; neka se zovu stezaljka 1 i 2; tim smo dobili raspored za prvu izmjeničnu struju iz naše kotve. Ako sada još i sve parne svitke sastavimo zgodno u drugu dugačku žicu, i njezine krajeve odvedemo u druga



Sl. 25. Dinamo izmjenične struje sa strojem budiocem.

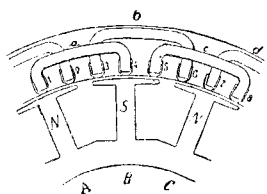
dva izolirana koluta na osovini, po kojima se opet skližu dvije kefice sa stezaljkama 3 i 4, dobili smo raspored za drugu izmjeničnu struju iz iste naše kotve; kada se kotva vrti, postaje u svakoj žici po jedna izmjenična struja; jedna izlazi preko stezaljka 1 i 2 u izvanje provodnice, a druga preko stezaljka 3 i 4; na osovini su dakle dva para koluta i dva para stezaljka, i svaka izmjenična struja čini svoj vlastiti krug, posve neovisan o drugome krugu. Naš nam dinamo daje uistinu u jedan mah dvije izmjenične struje. Te dvije izmjenične struje imaju očito posve jednake periode, dakle i posve jednaki broj izmjena u sekundi

(posve jednaku „frekvenciju”) i uopće su i inače posve jednakih svojstava. Tek se u jednom svojstvu razlikuju! Uzmimo, da svi parni svitci u određenom času vrtnje tako stoje ispred polova poljskih magneta, da je u njima elektromotorna sila (napetost) E baš jednaka nuli, a to će reći, da u tom momentu unjihovoj žici nema uopće struje (jakost struje $I = 0$). U tom istom trenutku stajat će svi neparni svitci spram polova magneta tako, da će u njima biti elektromotorna sila E baš u najvećoj svojoj vrijednosti, dakle i struja najjača. U jednu riječ: kada je elektromotorna sila u jednom krugu struje najveća, u drugom je jednaka nuli, t. j. između obje izmjenične struje našega preuredjenoga dinama postoji razlika faze za jednu četvrtinu periode (isp. str. 19.) Pred nama je nova vrsta dinama, koji daje u isti mah „dvije izmjenične struje s razlikom faze od 90° ”. Umjesto ovih mnogih riječi govori se kraće: imamo „dinamo dvofazne struje.”

Čitalac i sam razabira princip, po kojem se može dalje ići, pak sagraditi dinamo, koji će dati tri odijeljene izmjenične struje s razlikom faze od 120° i t. d. Bit će to „dinamo trofazne struje”. On daje „trofaznu izmjeničnu struju”. U praksi se ne ide dalje od trofazne izmjenične struje, no ta je u najnovije doba postala osobito važna.

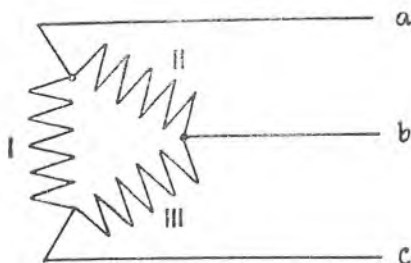
Dinamo, koji daje trofaznu izmjeničnu struju, morao bi zapravo imati na svojoj osovinu 3 para koluta s keficama i 3 para stezaljaka: par 1 i 2 za prvu, par 3 i 4 za drugu i par 5 i 6 za treću izmjeničnu struju. K tomu pripada 6 provodnica, da svaku struju vode u njezin izvanji krug i natrag.

Iz ovoga se razlaganja razbira, da se obični dinamo izmjenične struje, koji daje samo jednu izmjeničnu struju — možemo ga sada zvati „dinamo jednofazne izmjenične struje” — može pretvoriti u dinamo, koji daje tri izmjenične struje, svaku drukčije faze, dakle u dinamo trofazne izmjenične struje, ako se svitci žice razdijele u 3 grupe i te tri grupe zgodno namataju žicom. To zgodno namatanje pokazuje slika 26. Svitak a pripada prvoj grupi, svitak b drugoj, a svitak c trećoj grupi. Pod njima se okreće magnetna zvijezda s polovima N, S, N i t. d. U trenutku, koji uočuje



Sl. 26. Namatanje kotve za dinamo trofazne struje (struje obrtače).

slika, stoji početak 1 prvoga svitka *a* baš iznad sredine prvoga pola *N*, početak 3 drugoga svitka *b* iznad početka pola *S*, a početak 5 trećega svitka *c* baš iznad kraja pola *S*. Kod vrtnje magnetne zvijezde ispod svitaka bude se u njima u istom momentu izmjenične struje s razlikom faze od 120° . Sa svitkom *a* svežu se u jednu žicu svi ostali svitci, koji s njim imaju istu fazu, na pr. svitak *a* sa *d* i t. d. sa svakim trećim t. j. svitci 1, 4, 7, i t. d.; za drugu izmjeničnu struju se vežu ujedno svitci 2, 5, 8, i t. d., a za treću svitci 3, 6, 9, i t. d. Ovakom motanu kotvu dinama pokazuje nam naša slika 23. (str. 44.). Još nešto! Dinamo trofazne struje treba, rekosmo, 3 para stezaljaka i 6 provodnica. Zanimljivo je, da možemo 3 provodnice prištediti, ako svitak svake faze sastavimo sa slijedećim jedan za drugim (u „seriju”) i od zajedničkih točaka vodimo samo po jednu provodnicu za iz-



Sl. 27. Sastavljanje svitaka dinama za trofaznu struju (struju obrtaču) u trokut ili u lanac.

vanji krug provodnice. To razjašnjuje slika 27. U njoj je I svitak prve faze, II svitak za struju druge faze, a III svitak za struju treće faze. Krajevi su svih svitaka sastavljeni u lanac, a od tih točaka idu samo 3 provodnice *a*, *b* i *c* u izvanji krug. Razbiramo: ako sastavimo provodnice *a* i *c*, dobivamo samo izmjeničnu struju svitka I. t. j.

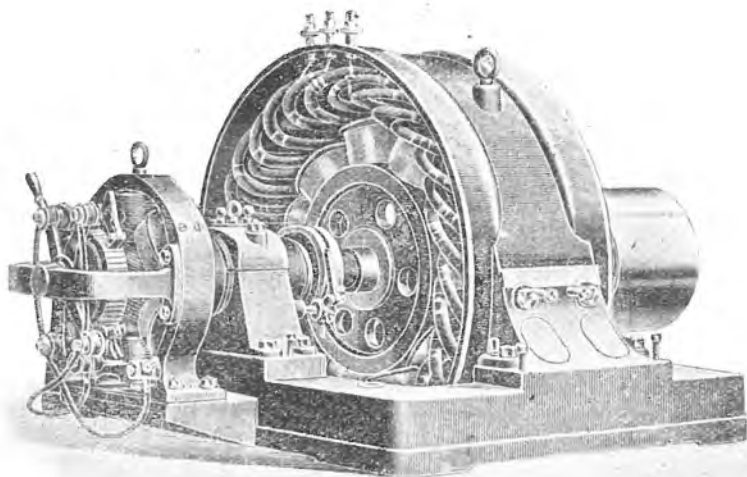
struju prve faze; ako pak sastavimo provodnice *a* i *b*, imamo samo struju druge faze, a sastavivši *b* i *c* imamo samo struju svitka III. t. j. struju treće faze pri radu u izvanjem okruglu.

Ovakav „dinamo za trofaznu izmjeničnu struju”, posve izveden, pokazuje slika 28. Vidi se dobro u unutrašnjosti magnetna zvijezda sa kratkim, debelim elektromagnetima, iznad njih su na izvanjem kolu svitci žice, a gore na kolu su tri stezaljke za 3 provodnice *a*, *b* i *c* predjašnje slike. Sprijed je još na istoj osovinu mali dinamo jednake struje, da hrani elektromagnete. Na desnom se kraju osovine s pomoću remena spoji s parnim strojem ili parnom turbinom.

Pokazalo se, da ovakov dinamo, koji daje mjesto jednofazne struje trofaznu, uz istu veličinu daje efekt za čitavu trećinu veći od dinama jednofazne struje.

Na koncu spominjemo, da se specijalno ovaj dinamo, koji daje trofaznu izmjeničnu struju, u današnjoj elektrotehnici naziva redovito drugim imenom; zovu ga „dinamo struje obrtače” (francuski: *alternateur triphasé*, *alternateur a courant tournant*; njemački: *Drehstromdynamo*, *Drehstrommaschine*, *Drehstromgenerator*). Bit će kasnije zgode, da pokažemo, otkuda mu to ime.

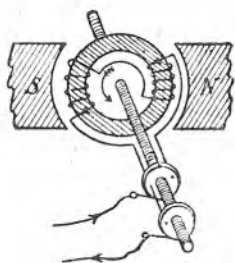
Ovdje bismo tek spomenuli, da se i dinamo jednake struje može pretvoriti u dinamo izmjenične struje, i to jednofazne i mnogofazne. To razjašnjaju slike 29a, 29b i 29c. — U slici 29a vidimo Grammeov kolut u magnetskom polju magneta *SN*. Na kolutu su namotana



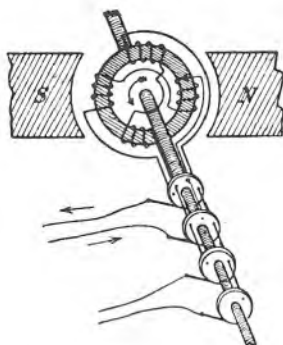
Sl. 28. Dinamo struje obrtače (trofazne izmjenične struje).

dva svitka žice na suprotnim mjestima (u slici stoje baš pred polovima); svitci su svezani jedan za drugim u jednu žicu, a drugi krajevi žice idu svaka u jedan „kolut” na osovini. Po kolutima se sklizu kefice sa stezaljkama na kraju, a iz njih idu provodnice u izvanji krug. Kada se Grammeov kolut u polju vrti, budi se obična izmjenična (jednofazna) struja. Strjelice pokazuju, kako teče i u kojem se smjeru vrti Grammeov kolut. — Slika 29b pokazuje, kako se dobiva dvofazna izmjenična struja. Pored predjašnja dva svitka žice namotana su na Grammeovu kolutu još dva svitka baš u sredini između prva dva; i ovi su među sobom sastavljeni, jedan za drugim, u jednu

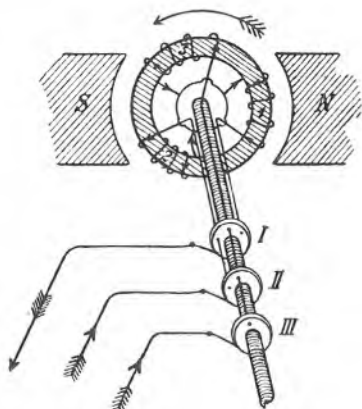
žicu. Krajevi se prve žice završuju u prva dva koluta na osovini, a krajevi druge žice u trećem i četvrtom kolutu. Kad se Grammeov kolot vrti, daje d v i j e izmjenične struje, koje imaju razliku faze od 90° t. j. kad prva žica daje najjaču svoju struju, u drugoj n e m a struje, i obrnuto (slika pokazuje baš trenutak, kada prvi svitak daje najjaču struju). — Slika napokon 29c pokazuje postanje trofazne izmjenične struje u Grammeovu kolutu. Namotana su, kako vidimo, na njem 3 svitka žice 1, 2, 3 razmaknuta za 120° . P o č e c i žice svih triju svitaka među sobom su spojeni pomoću okruga žice u sredini; slobodna t r i kraja svitaka završuju se svaki u jednom kolutu I, II, III, na kojima je po jedna „kefica“ sa stezaljkom; iz svake stezaljke izlazi po jedna provodnica u izvanji krug. Dobivamo 3 izmjenične struje, različite fazom: između svitka 1 i 2 razlika je faze = 120° , između 2 i 3 takodjer = 120° , a između 1 i 3 je ta razlika = 240° . — Slika napokon 29d daje nam „diagrame“ tih triju slučajeva: I je „diagram“



Sl. 29a. Princip dinama jednofazne (obične) izmjenične struje.



Sl. 29b. Princip dinama dvofazne izmjenične struje.



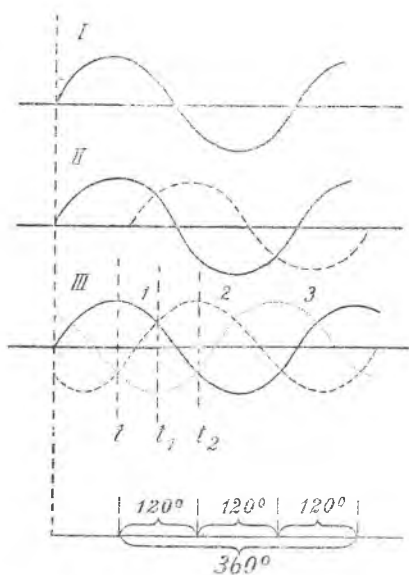
Sl. 29c. Princip dinama trofazne izmjenične struje (struje obrtače).

jednofazne struje iz stroja sl. 29a; II je diagram dvofazne struje iz stroja 29b, a III je diagram trofazne struje ili „struje obrtače“ iz stroja 29c. Sa t je u njem označen čas vrtnje, prikazan u slici 29c; kad se kolot dalje okrenuo za 1 šestinu kruga, stoje sve tri struje,

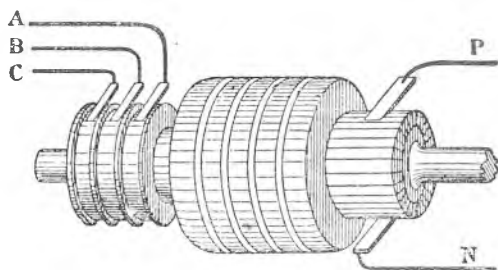
kako pokazuje t_1 , a još nakon 1 šestine vrtne pokazuje stanje svih triju struja t_2 . Čitalac će, nadamo se, razumjeti te slike bez daljega tumačenja.

Napokon bih spomenuo, da se na tom osnovu može sagraditi *dinamo*, koji daje i „struju obrtaču” i „jednaku struju”. Ovakovu Siemensovu kotvu pokazuje izradjenu slika 30. Žica namotana na Siemensov bubanj¹, razdijeljena je i tu u troje; počeci su među sobom vezani, jedan za drugim, a slobodni krajevi idu do triju „koluta”, koji se vide na lijevoj strani osovine. Iz kefica njihovih izlaze 3 provodnice *A*, *B*, *C* struje obrtače. Na desnoj strani osovine pak vidimo poznati „kolektor” *dinamo* za jednaku struju i na njem sklizu dvije kefice, iz kojih u izvanji krug idu provodnice *P* i *Q*, a iz njih teče u nj jednaka struja. U kolektoru su naime opet sva tri dijela namotane žice opet složena u jednu žicu tako, da daju „jednaku struju”.

Da saberemo sve ukratko: 1. *Dinamo* obične izmjenične struje ima tri glavna dijela: izvanje kolo svitaka; unutrašnje magnetsko kolo ili magnetnu zvijezdu, i jedan par izoliranih koluta na osovinu, po kojima se sklize po jedna kefica sa stezaljkom. Iz njih idu provodnice u izvanji krug struje. — 2. *Dinamo* izmjenične struje treba posebnu jednaku „struju budilicu”, koja u



Sl. 29d. Diagrami (slika) jednofazne I, dvofazne II. i trofazne izmjenične struje III.



Sl. 30. Kotva dinama za trofaznu i za jednaku struju.

— 3. *Dinamo* izmjenične struje treba posebnu jednaku „struju budilicu”, koja u

¹ Nov. I. III. str. 150. i 155.

elektromagnetima budi i podržava magnetizam. Za razliku se izmjenična struja, što izlazi iz obiju stezaljka u izvanji krug, zove „korisna struja”. — 3. Razlikujemo: „dinamo jednofazne izmjenične struje” ili „dinamo obične izmjenične struje” od „dinama mnogofazne (dvo-fazne, trofazne i t. d.) izmjenične struje”. Prvi daje samo jednu izmjeničnu struju u izvanji krug, dok drugi daje njih više (dvije, tri i t. d.), ali te su struje različne faze. — 4. Dinamo trofazne izmjenične struje zove se specijalno i „dinamo struje obrtače”. Svaki se „dinamo jednake struje” može pretvoriti u „dinamo struje obrtače”, ako mu se žica kotve razdijeli u tri dijela. Namjesti li se na drugoj strani osovine kolektor, može takav dinamo davati obje vrste struje izvanjemu krugu.

* * *

Uspjesi praktični, postignuti „dinamom izmjenične struje” i „dinamom struje obrtače”, danas su poradi velike savršenosti njihove konstrukcije takovi, da je stupanj njihova djelovanja (isporedi: Nov. Iz. III. str. 168. i 169.) 85% do 96%, pak je s te strane ravan dinamom jednake struje. I on gotovo svu u nj uloženu radnju nama vraća.

Još se jedne praktične stvari moramo taknuti. Dinamo izmjenične struje, tjeran parnim strojem ili turbinom, daje struju određene efektivne elektromotorne sile (str. 7. i 8.) na pr. 141 volta. No prema radnji, koju treba da nam on izvršuje, željeli bismo, da može tu elektromotornu silu u nekim granicama mijenjati prema potrebi. Kako ona ovisi od jakosti magnetskoga polja, možemo to reguliranje elektromotorne sile postići, slično kao kod dinama jednake struje, sa sporednim priključkom¹, tim naime načinom, da jakost struje budilice, koja izvodi magnetsko polje, prema potrebi uvećamo li umanjimo. To pak možemo lahko postići, ako za struju budilicu uzmemo dinamo-sa sporednim priključkom ili compound-dinamo (Nov. Iz. III., str. 153.), pak uklopimo u njezin magnetski krug „otpor za regulaciju” (Nov. Iz. III. str. 152. i sl. 45.). Osim toga možemo takve otpore uklopiti i u poljske magnete „dinama izmjenične struje” ili „dinama struje obrtače”. I tako ima danas električar potpunu vlast nad ovim dinamima u svojoj ruci: on im može prema potrebi radnoga programa ravnati elektromotornu silu.

¹ Nov. Iz. III. str. 152.

III.

Osobiti učinci izmjenične struje.

1. Proučivši uredbu dinama izmjenične struje i njegove različne oblike saznali smo i to, da je taj dinamo naš najnoviji izvor snažnih električnih struja. Danas se grade ti dinami u orijaškim dimenzijama, pak se iz njih dobivaju silne struje, kojima napetost (elektromotorna sila E) zna dosegnuti mnogo hiljada volta. Red je sada, da ukratko pregledamo i učinke izmjenične struje, ispoređujući ih s poznatim nam već učincima jednake struje. I taj će nam pregled donijeti zanimljivih novosti. Da pregledamo najprije sve učinke električne struje uopće. Učinci se njezini zgodno dijele u dvije hrpe: 1. na učinke u samom krugu struje i 2. učinke u okolini toga kruga. U prvoj su hrpi: učinci topline i svjetlosti, učinci kemijski i učinci fiziološki. U drugoj su: učinci magnetički, učinci dinamički i učinci električki. Tih 6 učinaka električne struje možemo ukratko ovako opisati: 1. električna struja ugrije provodnice, kojima teče, a može ih i užariti. pače i rastaliti (primjena: električna rasvjeta); 2. električna struja rastavlja kemijski tvari u dvije česti (primjena: galvanoplastika i galvanostegija); 3. električna struja izvodi u živu tijelu različne učinke (okusa, svjetlosti, trzanja), kada kroza nj prolazi (primjena: liječenje bolesti); 4. električna struja, kada prolazi blizu kraja magnetske igle, otklanja ju trajno iz magn. meridijana (primjena: galvanoskop i galvanometar); 5. električna struja, kada prolazi u zavojnicama oko željeza, pretvara ga u jak magnet (primjena elektromagneti i njihove mnogobrojne primjene, navlastito telegraf); 6. električna struja izvodi vidljiva i nevidljiva gibanja u svojoj okolini (magnetičko polje struje i privlačenja i odbijanja struja; elektrodinamika); 7. električna struja budi u svojoj okolini električne struje (indukcija i elektrotehnika)¹.

2. **Učinci topline i svjetlosti.** Budući da svaka električna struja, ma kojega smjera bila, ugrije provodnicu, kojom teče, jasno je, da će taj učinak izvoditi i naša izmjenična struja, baš kao i jednaka struja. Odnosaj izmedju napetosti struje E , njezine jakosti I i množine topline Q , što ju ta struja izvodi u provodnici otpora R , našao je g. 1841. Englez Joule (izgovori: Džaul), pak se po njemu i danas zove „Jouleov zakon”. On veli:

¹ Više o tim učincima električne struje i njihovim primjenama vidi (uz ostalo): K učera, Crte o magnetizmu i elektriciteti. Izd. Mat. Hrv. Zagreb, 1891.

1. Uz **jednak otpor** provodnice izvedena je množina topline to veća, što je veća napetost struje; no **dvostruka** napetost daje već četverostruku množinu topline.

2. Uz **jednaku** napetost struje izvedena je množina topline to **veća**, što je **manji** otpor provodnice.

Prema ovim zakonima možemo sada provodnice i toliko ugrijati s pomoću struje, da se u žare i tim daju „električnu svjetlost“ (žarnice i lučnice)¹. U tu svrhu jednako nam dobro služi kod rasvjete žarnicama jednaka i izmjenična struja: žarnica gori, ma kojim smjerom njome protjecala struja. Dvorana će svaka jednako dobro biti rasvijetljena, gorjele žarnice od jednake ili od izmjenične struje; nitko ne će opaziti ni najmanje razlike.

Kod rasvjete lučnicom već se pokazuju neke razlike između obje vrsti strujâ. Tu gore šiljci dvaju ugljenovih štapova, koji su nasusret jedan iznad drugoga. Kod jednake struje pozitivni se ugljen izdube, a negativni se još više zašilji; pozitivni sja jače od negativnoga. Poradi toga je kod jednake struje pozitivni ugljen gore, pak poput ugnuta zrcala svoju jaču svjetlost baca na tle. Ako bi se smjer jednake struje promijenio u suprotni, zasjat će donji ugljen jače i izdupsti će se, pak će naskoro glavna množina svjetlosti biti na pr. na stropu dvorane.

Upotrijebimo izmjeničnu struju mjesto jednake. Oba će se ugljena posve jednako mijenjati: svjetlost lučnice, koja gori od izmjenične struje (kratko ju označujemo imenom „lučnica izmjenične struje“)² nije jednostrana, njezina se svjetlost na sve strane jednoliko razdjeli. To joj je slaba strana, kada se na pr. radi o rasvjeti javnih trgova, gdje treba baš da glavna množina svjetlosti pada na tle. Jedna i druga vrsta električne rasvjete sve se više širi, jednaka i izmjenična struja jednako joj dobro služe, i rasvjeta se naših kuća, javnih dvorana i trgova u posljednjih 50 godina od temelja preobrazila. Ta jedva je tomu 50 godina, što je izumljena petrolejska lampa, da naknadi stariju luč i svijeću lojanicu. Liječnici

¹ Žarnica = Glühlichtlampe, lampe à incandescence; lučnica = lampe à arc, Bogenlampe).

² Lučnica izmjenične struje = Wechselstrom-Bogenlampe.

su tada opominjali ljude, da si ne kvare očiju tom blistavom i prejakom svjetlošću petroleja. Isporedite s tim „more svjetlosti”, što se danas noću razlijeća po velikim gradovima kulturnih naroda! O novijim tekovinama na tom polju izvješćuje poseban članak u ovoj knjizi.

3. Kemijski učinci. Ti su učinci posve ovisni o smjeru struje. Kada struja na pločicu ulazi u tekućinu, koju će kemijski rascijepati u dvoje („anoda” je ime toj pločici), a na drugu („katoda”) izlazi, izlučuje svagda isti sastavni dio na jednoj i isti na drugoj pločici. Na pr. kod rastvaranja vode na vodik i kisik, prvi se svagda izlučuje na katodi, drugi na anodi. Ako se smjer struje obrne, obrne se i izlučivanje vodika i kisika. Izlazi dakle znamenita činjenica, da se kemijsko rastvaranje tekućina uopće ne da izvoditi izmjeničnom strujom. Što naime izmjenična struja u jednom momentu rastvori, to struja suprotnoga smjera u slijedećem stotku sekunde opet kemijski spoji, i tako ide neprekidno dalje. U jednom je slučaju ipak moguće, da i izmjenična struja izvodi trajno rastvaranje: produkti se rastvaranja moraju s jedne i druge pločice tolikom brzinom uklanjati, da ih obrnuta struja slijedećega trenutka već ne nadje na njihovu mjestu, pak se poradi toga ne mogu čas prije rastvorene tvari ponovo spojiti. U najnovije doba uspijeva i to, pak se i izmjeničnom strujom danas mogu izvoditi kemijska rastvaranja tvari. Nije ovdje mjesto, da u to iz bližega ulazimo.

4. Magnetični učinci i instrumenti za mjerenje izmjenične struje.
Wattmetar. Prvi je magnetički učinak struje otklon magnetičke igle iz meridijana. I taj je učinak posve ovisan o smjeru struje. Struje suprotnoga smjera i jednake jakosti otklanjaju sjeverni pol igle jednako, ali na suprotnu stranu. Iz toga izlazi, da izmjenična struja (na pr. sa 100 izmjena u sekundi), ma kolika joj bila efektivna jakost, ne može da izvede otklona igle. Namjestimo li naime provodnicu izmjenične struje kraj igle, potjerat će joj struja u odredjenom času sjeverni pol nalijevo, no jedan stotak sekunde kasnije suprotna struja isto toliko nadesno i ti se zasebni poticaji suprotnoga smjera ukidaju: igla ostaje na miru. Svi veoma važni instrumenti za mjerenje električnih struja — zajedničko im je ime „galvanometar” — koji su osnovani na otklonu magnetičke igle, izdaju nas kod izmjenične struje.

Za mjerenje izmjenične struje treba instrumenata osnovanih na drugom temelju. Taj daje drugi magnetički učinak struje. — magnetiziranje željeza strujom. Struja pretvara željezo u magnet, čim se oko njega savija u zavojima, čim je dakle oko njega poznati nam „savitak žice” ili „solenoid”. Ako željezo visi na peru iznad solenoida (Nov. Iz. III. str. 113. sl. 25), pa kroz solenoid pustimo je d n a k u struju, povući će ga u solenoid to dublje, što je jača struja; čim struja prestane, pero digne željezni štap iz solenoida. Pustimo sada istu jednaku struju ponovo u solenoid, ali u suprotnom smjeru (izmijenivši u stezaljkama provodnice); struja će i sada povući željezni štap u solenoid — točno do iste dubljine. Uvlačenje željezne jezgre u solenoid je dakle učinak struje, koji je p o s v e n e o v i s a n o smjeru struje. Pustimo li dakle sada i z m j e n i č n u struju u solenoid i ona će povući željezo u solenoid do neke dubljine i držati ga ondje, doklegod teče, — makar da svaki stotak sekunde promijeni svoj smjer u suprotni!

Na ovom je učinku gradjen „a m p e r m e t a r” i „v o l t m e t a r”, prvi da kazuje jakost struje u amperima, a drugi da kazuje napetost ili elektromotornu silu njezinu u voltima¹. Ti nam instrumenti mogu dakle služiti za mjerenje jednakih i izmjeničnih struja. No ako kroz solenoid teče i z m j e n i č n a struja, znamo, da on ima veliku vlastitu indukciju (str. 16.), koja bitno mijenja prilike. Vlastita je indukcija naime u i s t o m solenoidu drukčija, ako se mijenja b r o j i z m j e n a kod struje. Takav instrument, ako hoćemo, da pravo pokazuje ampere i volte, mora da bude s obzirom na ove prilike posebno baždaren i njegovi brojevi vrijede samo za izmjeničnu struju onoga jednoga broja izmjena, za koji je instrument baždaren. Instrumenti, koji pravo pokazuju volte i ampere kod 100 izmjena u sekundi, ne pokazuju ih pravo, ako njima prolazi izmjenična struja od 80 ili 160 izmjena u sekundi.

Trebalo je dakle izumiti za izmjenične struje n o v e instrumente mjerenja, bez velike vlastite indukcije. Osnovani su na posve drugom temelju: na u č i n k u t o p l i n e. Ako napetom tankom žicom (slitina platine) teče struja, žica se ugrije i postane d u Ź a. To grijanje žice dakako ne ovisi ništa o smjeru struje; što je jača struja, to se više p r o d u Ź i žica. Stvar se može sada udesiti tako,

¹ Nov. Iz. III., str. 115. i 116., sl. 27. i 28.

da po produženju žice sudimo o jakosti struje i da nam kazalo odmah i kazuje jakost u amperima i napetost u voltima. Zovu se „instrumenti vruće žice“ (Hitzdrahtinstrumente). Nije ovdje mjesto, da detaljno opisujemo njihovu tehničku uredbu, tek spominjemo, da kratka vruća žica nema vlastite indukcije, pak instrumenti jednako pravo pokazuju kod svakoga broja izmjena.

Wattmetar. U praktičnoj je elektrotehnici kod svake struje ipak najvažnije pitanje: koliko „električne energije“ nosi sobom struja, jer po tom tek znamo, koliko nam radnju može izvršiti na pr. u svakoj sekundi, u jednom satu i t. d. Kod jednake je struje to pitanje smjesta riješeno. Pročitavši na ampermetru ili voltmetru njezinu stalnu jakost i napetost, znamo, da je „električni efekt“ te struje jednak produktu čitanih ampera i volta i da je izražen u „wattima“¹.

Kod izmjenične su struje prilike posve drukčije, kako nam je već pokazalo izučavanje svojstava te struje (str. 22. i dalje). Tu produkt čitanih ampera i volta uopće ne kazuje „pravi efekt“ struje; znamo pače, da ima izmjeničnih struja bez ikakva efekta. Ulazi u račun „faktor faze“! Treba dakle kod dinama izmjenične struje pored „ampermetra“ i „voltmetra“ uklopiti u krug struje još treći aparat, koji će nam kazivati „pravi efekt“ te struje u „wattima“ ili u „kilowattima.“ Opet nije mjesto, da „wattmetar“ detaljno opisujemo. Spominjemo tek, da je osnovan na privlačenju dvaju solenoida. U slici 14. već smo pokazali takav „wattmetar.“

Ako dakle radimo negdje s običnom izmjeničnom strujom (jednofaznom!), moramo u njezin tečaj zgodno uklopiti 3 aparata za mjerenje njezino: „1 ampermetar“, „1 voltmetar“ i „1 wattmetar.“ Ti se aparati obično uklope u krug struje na vidljivu mjestu, na posebnoj ploči, koja se zove „uklopnica“².

Ako pak radimo s „dinamom trofazne struje“ (struje obrtače), koji ima 3 provodnice, 1, 2, 3, radimo zapravo sa 3 izmjenične struje, pak treba uklopiti 3 ampermetra i 3 wattmetra, za svaki ogranak po jedan.

¹ Nov. Iz. III. str. 162—167.

² Uklopnica = Schaltbrett.

IV.

Dinamo izmjenične struje kao motor. Elektromotori izmjenične struje.

1. Radnja s pomoću struje. Elektromotor. Najveća važnost modernih izvora snažne električne struje za čovjeka niti je u rasvjeti niti u električnoj željeznici, niti u kemijskim primjenama, nego na posve drugom području: električna struja neka nam u industriji, u malom obrtu, u kućanstvu, u gospodarstvu i t. d. izvršuje najrazličnije radnje, koje inače izvršuju mišići radnika. Naučno rečeno: električna energija, što ju sobom nosi struja, neka se prometne u mehaničnu radnju. Kako se krasno to pitanje riješilo kod dinama jednake struje, pokazali smo Matičarima na drugom mjestu¹, pak čitatelja pozivamo, da to još jednoč pomnjivo pročitā. Stvar je stajala ovako: Parni stroj, slap vode, turbina okreće kotvu dinama *A* i u njem izvodi jednaku struju („generator” = roditelj struje). Taj je dinamo smješten kraj svoga pogona u „centrali.” Na polju je stroj za vršenje žita. Električna struja iz centrale neka ga tjera t. j. neka ona vrše žito. Namjestit ćemo kraj stroja za vršenje drugi dinamo jednake struje *B* posve jednak prvomu. U njegovu ćemo kotvu (armaturu) pomoću provodnica dovesti struju generatora *A*; kotva će se dinama *B* početi veoma velikom brzinom vrtjeti oko svoje osovine; ako još tu osovinu remenom sastavimo sa strojem za vršenje, ovaj će svoju radnju vršenja izvoditi. U dinamu *B*, kako vidimo, električna struja u nj uvedena, prometnula se u gibanje kotve t. j. u mehaničnu radnju; poradi toga je on „pogon” ili „motor” za stroj vršenja, a jer je to gibanje izvela električna struja, zove se dinamo *B* „elektromotor.” Kod jednake su struje „elektromotor” i „generator” strojevi posve jednaki, pak je tim pitanje pretvaranja „električne energije” u „mehaničnu radnju” idealno jednostavno riješeno. — Ovakav se naime elektromotor može svagdje, u radionici, u sobi na šivaćem stroju, u polju pred plugom namjestiti i on će vjerno izvršivati svoju radnju, dok ga hrani struja iz „centrale.” Da vidimo, kako se pitanje „elektromotora” rješava, kada u „centrali” ne stoji „generator” jednake struje, nego dinamo izmjenične struje ili obične ili mnogofazne!

¹ Nov. Iz. III. str. 171—190.

2. Elektromotor izmjenične struje. Prva bi misao bila, da upotrijebimo isti način kao kod dinama jednake struje. U centrali stoji dinamo izmjenične struje *A* („generator“). U radionici na pr. tokara treba da radi tokarica t. j. treba da joj se osovinu brzo i jednoliko vrti. To radi tokar sam snagom svojih mišića u nozi, a pomoću „stapala.“ On želi, da mu taj posao izvršuje električna izmjenična struja iz centrale. Kad bi u radionici namjestio drugi dinamo izmjenične struje *B*, jednak generatoru, i u nj pustio struju, u z a l u d bi č e k a o, da mu se magnetna zvijezda stane vrtjeti! Mi to sada i razumijemo. Ta u dinamo *B* ulazi izmjenična struja, koja svaki stotak sekunde mijenja svoj smjer u suprotni! Ako dakle struja u prvom stotku sekunde hoće da magnetnu zvijezdu krene nadesno, u drugom je stotku već kreće nalijevo i t. d. Jasno je: magnetna zvijezda dinama *B* nikada se ne će vrtjeti.

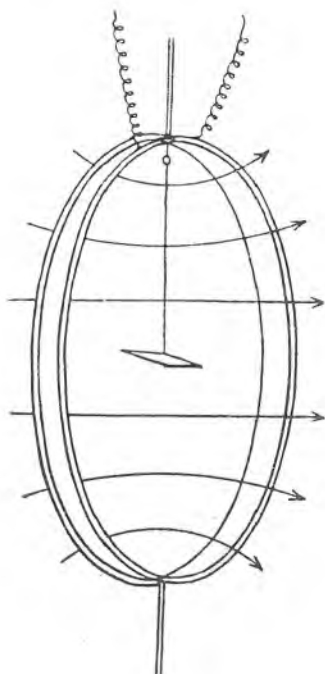
Eto jada: dinamo se izmjenične struje ne da upotrijebiti kao elektromotor za radne strojeve. Gdje bismo ga najviše trebali, tu nas izdaje, pak razbirmo, koliko ga u tom pretječe dinamo jednake struje. Spoznaja, da nam dinamo izmjenične struje može davati mnogo snažnije struje (5000—10.000 volta i više spram najviše 2000 volta kod jednake struje!) gubi puno od svoje vrijednosti. Poradi toga ide u red najvećih izuma najnovijega doba izum „elektromotora“ za izmjeničnu struju, koji potječe u glavnom od sina našega naroda Nikole Tesle. Prve takve motore za praktične svrhe izgradila je tek g. 1891. tvornica „Oerlikon“ u Švicarskoj i „Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft“ u Berlinu. I s naučne je strane ovaj izum vanredno zanimljiv, pak je za nas dvostruko vrijedno, da ga izložimo.

Magnetičko polje obrtalo¹. U slici 5. na str. 9. vidimo galvanski elemenat s pločom ugljena (*C*) i cinka (*Z*). Jednaka struja teče od ugljena provodnicom, savitom u okrug (kolut), k cinku i izvodi oko sebe magnetičko polje². Silnice toga polja prolaze okomito kroz ravninu koluta, kako kazuju strjelice: na desnoj strani sve ulaze u ravninu koluta (ostrag), a na lijevoj (sprijed) izlaze. Dok čaša miruje, i magnetičko polje miruje u prostoru. No čim čašu prenesemo na drugo mjesto, gibalo se i magnetičko polje

¹ Za francusko „champ tournant“, njemačko „Drehfeld (magnetisches)“ predlažem po savjetu g. Dr. Maretića „magnetičko polje ðbrtalo“, kraće „polje ðbrtalo“.

² Nov. Iz. III. str. 179

zajedno s elementom i prešlo na sasna drugo mjesto u prostoru, dok ga je na prvom nestalo. Ako pak čašu ostavimo na mjestu, ali ju na njezinu mjestu vrtimo okolo naokolo, vrti se očito i kolut struje (to i vidimo!), ali s njim i magnetsko polje njegovo (toga ne vidimo!). Dobismo „magnetično polje, koje se vrti“ oko vertikalne osovine — „magnetičko polje obrtalo“. Ne bi bilo teško baš i „vidjeti“, da se to nevidljivo polje zaista vrti. Kad bismo naime u kolutu objesili na



Sl. 31. Magnetičko polje obrtalo, izvedeno vrtnjom jedne jednake struje.

koncu malu magnetsku iglu (sl. 31.), ona bi se postavila u smjer silnica t. j. u smjer osovine našega koluta. Vrteći sada jednaku struju oko nacrtane vertikalne osovine, silnice polja tiskaju iglu neprestano u smjer kolutove osovine, i mi ćemo vidjeti, kako igla vjerno slijedi gibanje koluta, makar da je ona posve neovisna o njemu. Ovo okretanje igle za strujom uočuje nam vrtnju nevidljivoga magnetskoga polja. Dakle:

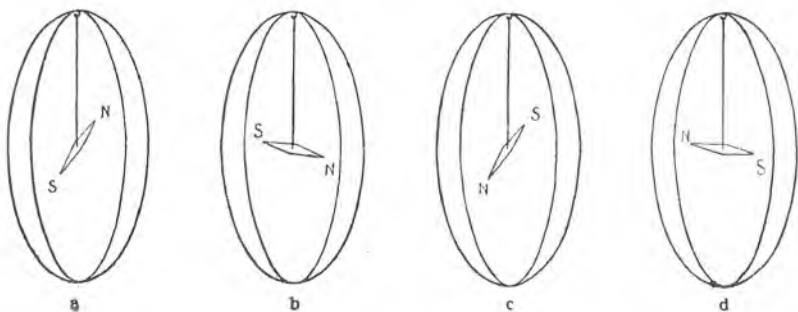
„Ako se jednaka struja, koja teče kolutom, vrti oko promjera koluta, dobivamo magnetsko polje, koje se vrti, to jest, „magnetičko polje obrtalo“. Očituje se gibanjem magnetske igle za strujom.

Kad bismo mjesto igle postavili komad mehka željeza, i on bi se gibao okolo naokolo, jer se od struje pretvorio u elektromagnet. Pogledajmo stvar s druge strane! Jednaka struja u našem kolutu očito izvršuje „mehaničnu radnju“ na igli ili na štapi mehka željeza: okreće ga naime naokolo. Da dodje do te radnje, ne treba ništa drugo, nego da se kolut sa strujom okreće.

Teslino je i Ferrarisovo veliko otkriće bilo, da se ovakvo „magnetičko polje, koje se neprekidno vrti“ može dobiti i strujama, koje se ne vrte! Koluti, ko-

jina struje teku, mogu biti posve na miru, a ipak se njihovo magnetsko polje sveuđilj vrte! U prvi mah, zar ne, čudna tvrdnja? No ipak je lahko pokazati, kako to može da bude.

Umjesto jednoga koluta uzmimo njih dva, *A* i *B*, koji se sijeku u pravom kutu (Sl. 32.), ali oni se ne miču nikuda s mjesta, niti se vrte, oni su čvrsti. U sredini visi magnetska igla *NS*. Uzmimo dinamo dvofazne izmjenične struje (na pr. sl. 29. b), za koji znamo, da daje dvije izmjenične struje s razlikom faze od 90° t. j. kada je jedna najjača, druga je jednaka nuli, i obrnuto. Pustimo te dvije izmjenične struje u naš čvrsti dvostruki kolut. U određenom času teći će u jednom kolutu struja najveće jakosti, a u tom istom času ne će biti u drugom kolutu nikakve struje. Oko prvoga koluta postoji magne-

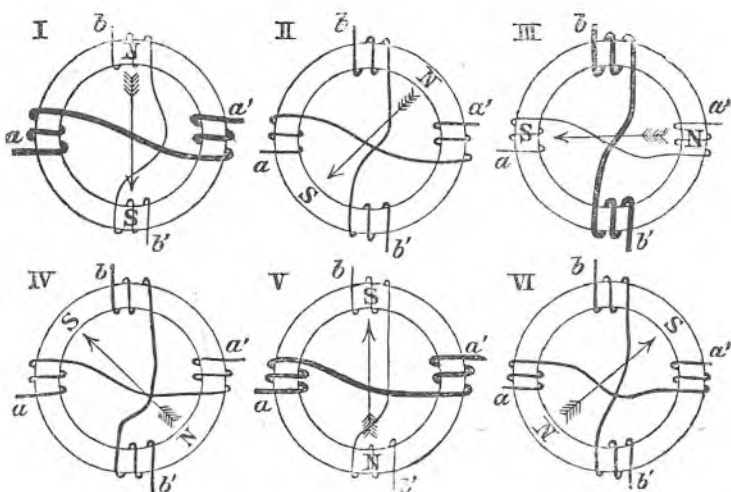


Sl. 32. Magnetičko polje obrtalo, izvedeno dvjema nepomičnim jednakim strujama.

tičko polje i igla se s mjesta smiješta u osovinu toga koluta (sl. 32 a.). No jedva stotak sekunde kasnije, prilike su se u kolutima temeljito promijenile: u prvom kolutu nema struje, a u drugom teče struja najveće jakosti (slika b); magnetsko je polje sada oko ovoga koluta, dok se oko prvoga porušilo prestankom struje u njem; igla se odmah smjesti u osovinu ovoga drugoga koluta t. j. igla se okrenula za 90° . Igla međutim ne će najedanput skočiti iz prvoga položaja u drugi, nego će ju slabljenje struje u kolutu *A* i istodobno jačanje struje u kolutu *B* pomalo potiskivati iz prvoga položaja u drugi.

Opet je prošao jedan stotak sekunde! U kolutu *B* je u tom časku struja nula, u kolutu *A* opet najjača, ali sada u suprotnom smjeru spram prije. Oko koluta se *A* dakle opet načinilo magnetsko

polje, a oko B se porušilo : polje je dakle p o š l o d a l j e za 90° , a igla NS hrli u osovinu koluta A , ali sada u njoj ne stoji kao u slici a nego obrnuto (sl. c) ; igla je svršila p o l o v i n u potpunoga svoga okreta. Ponovo prodje stotak sekunde ! Struja u kolutu A opet je jednaka nuli, a u B je najjača, ali sada u s u p r o t n o m smjeru spram prije. Magnetičko polje okrenulo se za 90° dalje, a igla se postavlja u osovinu koluta B , ali sada u o b r n u t o m položaju (slika d) spram položaja b . Još stotak sekunde i mi smo opet u prilici prvoga časka (sl. a) : struja je u kolutu B jednaka *nuli*, u A n a j j a č a, i t o u istom smjeru, kao u slučaju a ; magnetičko se polje ponovo okrenulo za 90° , a igla se po-

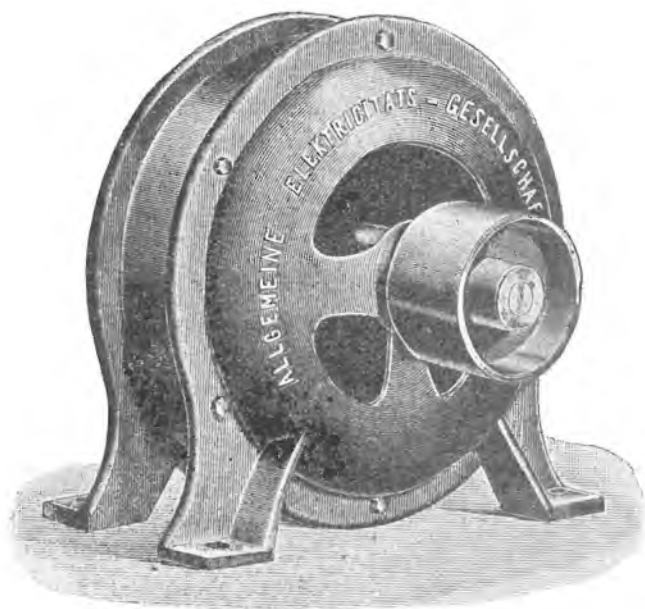


Sl. 33. Magnetičko polje obrtalo, izvedeno dvjema nepomičnim strujama u kolutu mehka željeza.

stavila ponovo u položaj slike a , završila je potpunu jednu vrtnju, koju smo gledali tjelesnim okom, dok smo vrtnju magnetičkoga polja gledali tek duševnim okom svojim. Odsada se dalje ponavlja isti red pojava i doklegod u naše čvrste kolute teče dvofazna izmjenična struja, vrti se magnetičko polje, makar da su krugovi struje nepomični. A to nevidljivo magnetično polje, koje se vrti, izvršuje pred našim očima i „mehaničnu radnju”, jer se eno igla s njim zajedno vrti, a vrtio bi se i komad mehka željeza. A ne vrti se igla na skokove, nego se vrti neprekidno, jer se slabljenje jedne, a jačanje druge struje zbiva postepeno. Vrijeme potrebno igli

ili željezu za jednu potpunu vrtnju ? To nije bilo više nego 4 stotka jedne sekunde (0.04^s) ! Razbirmo, da se i magnetičko polje, a s njim i igla veoma brzo vrti, makar da su koluti struje posve nepomični !

Umjesto naša dva jednostavna čvrsta koluta mogli smo uzeti dva svitka žice, da pojačamo djelovanje na iglu ili na mehko željezo, a budući da se djelovanje ovakova svitka još kud i kamo više pojača, ako se u nj utakne jezgra mehka željeza, izlazi za dobivanje mnogo jačega „magnetičkoga polja obrtala” ovaj novi raspored :



Sl. 34. Motor polja obrtala.

Uzmemo (sl. 33.) nepomičan kolut mehka željeza, pa ga omotamo sa 4 svitka žice položenima u pravu kutu a , b , a^1 , b^1 ! No svitci a i a^1 pak b i b^1 vežu se u po jednu žicu, pak dvostruki svitak aa^1 odgovara u predjašnjem rasporedu pokusa jednom čvrstom kolutu A , a drugi dvostruki svitak bb^1 odgovara drugomu kolutu B , koji je okomit na prvom, ali su u svitcima sada još i jezgre mehka željeza. U unutrašnjosti željeznoga koluta stoji na šiljku magnetička igla NS . Ako se sada puste u svitke aa^1 bb^1 obje izmjenične struje iz „dinama dvofazne struje” (sl. 29 b), razbira jamačno čitalac i sam bez daljega razjašnjivanja,

kako sada u željeznom kolutu postaje „magnetičko polje, koje se vrti”. U slikama I do VI uhvaćeno je 6 momenata jedne potpune vrtnje. U momentu I je u svitku aa^1 struja najjača (debelo izvučen svitak), a u svitku bb^1 je nema (tanko izvučen svitak). Svitak aa^1 pretvorio je kolut mehka željeza u „kolutast magnet”, kojemu su polovi kod N i S , a igla stoji pred tim polovima. Slika II uočuje stanje magnetskoga polja, kada je prošla samo polovina od stotka jedne sekunde ($= 0.005^s$); struja u aa^1 je oslabila do polovine svoje najveće jakosti, a struja u bb^1 ojačala je od nule do iste jakosti (oba svitka jednako izvučena); polje se magnetski u kolutu okrenulo za 45° polovi su sada u N i S ; igla je dakako za njima pošla i t. d. Sve ujedno:

Čvrsti dvostruki, međusobno okomiti, svitci aa^1 i bb^1 izvode „magnetičko polje, koje se neprekidno vrti”, doklegod u njih puštamo struju iz dinama dvofazne izmjenične struje, i ta struja pred našim očima izvodi mehaničnu radnju, okreće neprekidno i veoma brzo magnet ili komad mehka željeza (kotvu).

Dvofazna izmjenična struja ima dakle veoma važno svojstvo, da može izvoditi neprekidno vrćenje mehka željeza, makar da su svitci, kojima ona teče, posve nepomični.

Ako već dvofazna izmjenična struja ima to svojstvo, imat će ga trofazna izmjenična struja u još većoj mjeri. Mi bismo naime na naš kolut mehka željeza morali nataknuti sada tri para svitaka ili 6 svitaka, razmaknuta među sobom za 60° ($6 \times 60^\circ = 360^\circ$), pak bismo iz dinama trofazne izmjenične struje (na pr. sl. 29 c) pustili sve tri struje, svaku u 1 dvostruki svitak. Rezultat bi bio isti kao prije u pojačanoj mjeri:

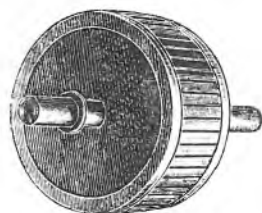
„Trofazna izmjenična struja izvodi u kolutu mehka željeza snažno magnetsko polje, koje se neprekidno vrti. Ako je u tom polju namješten komad mehka željeza tako, da se i on može vrtjeti, izvodi ta struja trajno snažno veoma brzo vrćenje toga željeza.”

Magnet ili mehko željezo može se naknaditi i zatvorenim svitkom žice, jer se u njem induciraju struje, koje imaju svoje magnetsko polje (solenoid), pak se u svem ponašaju kao magneti i elektromagneti.

Sada nam je jasno, zašto je „dinamo trofazne izmjenične struje” dobio također ime „dinamo struje obrtače”. On ima svojstvo, da može u kolutu mehka željeza, omotanu žicom, izvoditi magnetsko polje, koje se neprekidno vrti ili okreće. Da ne upotrebljavamo svagda predugačku oznaku „magnetičko polje, koje se vrti”, uvodimo kraticu „polje obrtalo”¹. Dakle kratko: „struja obrtača” izvodi „polje obrtalo!”

A sada će jamačno čitalac i sam pogoditi, kako će elektrotehnik sagraditi zgodan elektromotor, koji će moći tjerati izmjenična struja. U centrali će postaviti — ne dinamo obične (jednofazne) izmjenične struje, nego „dinamo struje obrtače”, a u radionici postaviti će „motor polja obrtala”², a princip toga motora razjašnjen je čas prije. Takav jedan „motor polja obrtala” izveden pokazuje slika 34. Po izvanjem se obliku ništa ne razlikuje od „dinamo struje obrtače”.

Izvana je nepomičan kolut željeza, na kojem su namotani svitci žice, kako treba za trofaznu izmjeničnu struju; ne će ih biti samo jedanput 3 para, nego više puta. U unutrašnjosti je „magnetno kolo” ili „kotva elektromotora”, koja naknadjuje iglu ili mehko željezo naših predjašnjih pokusa, dabogme građena što zgodnije. Ta je kotva u slici 35. posebno naslikana; složena je od bakrenih štapića, svezanih s dva željezna obruča. Pustimo li u svitke toga motora struju iz „dinamo struje obrtače” u centrali, početak će se kotva (zovu je također „rotor”) u unutrašnjosti brzo i snažno vrtjeti oko svoje osovine; na kraju je ploča za remen, pak se pomoću njega motor sastavi s tokaricom i on ju tjera.



Sl. 35. Kotva u motoru polja obrtala.

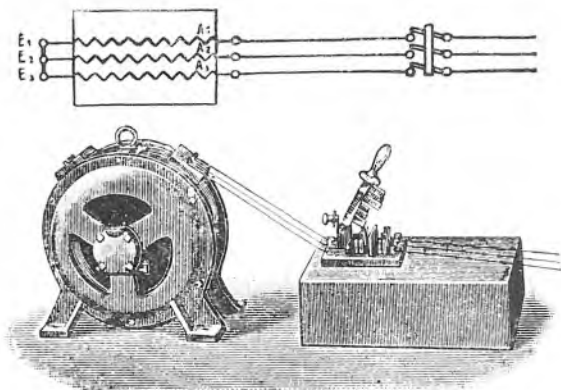
Odličje je veliko ovoga „motora polja obrtala” spram elektromotora jednake struje, da na kotvi nema kolektora, nema na osovinu ni koluta ni kefica! Struja obrtača uvedena u izvanji nepomični krug izvodi u njem magnetsko polje obrtalo, a ovo za sobom vuče „kottvu”, koja je posve neovisna o izvanjem krugu; dakle smo sagradili elektromotor, koji je gotovo idealno jednostavan!

¹ Polje obrtalo = franc. : champ tournant, njem. : Drehfeld.

² Motor polja obrtala = njem. : Drehstrommotor; franc. : moteur à champ tournant.

Nije ovdje mjesto, da se dalje upuštamo u tehničke pojedinosti kod vezanja „dinama struje obrtače” u centrali s „motorom polja obrtala” u radionici i osobite pojave, koji se pokazuju kod njihova zajedničkoga rada. To je već stvar elektrotehničkih stručnjaka. Dosta nam je, da smo razumjeli postanje ovoga motora i tim jednoga od najvažnijih izuma našega N i k o l e T e s l e. Završujemo sa slikom 36., koja nam pokazuje, kako u radionicu ulaze poznate nam tri provodnice dinam struje obrtače (desno), pak preko „uklopne poluge”¹ idu u „motor polja obrtala”; na drugoj je strani osovine ploča za remen (ne vidi se), koja će ga sastaviti sa radnim strojem (na pr. tokaricom).

I tako nam evo i izmjenična struja preko svoga „elektromotora”, građenaoga po genijalnoj osnovi Teslinoj, izvršuje



Sl. 36. Motor polja obrtala sastavljen s mrežom.

danas najraznoličnije radnje u čitavu kulturnom svijetu. Dijelak ovoga trijumfa ide i malu Hrvatsku!

Treba spomenuti, da „motor polja obrtala” nije jedini elektromotor, koji može raditi pomoću izmjenične struje. A nije ni j e d i n i generator izmjenične struje u centralama „dinamo struje obrtače”. Danas ima već i elektromotora za običnu (jednofaznu) izmjeničnu struju, pak se prema tomu mogu u centralama upotrebljavati i „dinami jednofazne (obične) izmjenične struje”. No ogromna većina centrala proizvodi „struju obrtaču”, a prema tomu je i „motor polja obrtala” najobičniji elektromotor za izmjeničnu struju. To je razlog, da ne ulazimo u razjašnjivanja o tim drugim konstrukcijama.

¹ Uklopna poluga; njem. Schaltebel.

V.

Dinamo izmjenične struje i električno prenošenje radnje.

1. Električno prenošenje energije uopće. Jedno je od najvažnijih pitanja za kulturno i gospodarsko napredovanje čovjeka : kako bi on mogao one energije, koje mu priroda sama daje u svojim vodama tekućicama i slapovima, korisno upotrijebiti t. j. kako bi stvar udesio, da mu te energije, koje se gube neupotrijebljene, izvršuju korisne radnje ondje, gdje mu to treba. U Hrvatskoj imamo najveću takovu „vodu energiju” u rijekama Liki i Gacki, koje teku iz velikih visina naglo k moru (kroz ponore), pak time stiču veliku energiju. U najnovije se doba (1913.) gradsko zastupstvo glavnoga grada Zagreba na osnovi obrazloženja sa stručne strane živo zanima za ovo veliko blago naše.

No ovakve su energije obično prilično daleko od kulturnih i industrijalnih središta, gdje bi ih najviše trebalo, da izvršuju različne radnje : osamljene se gube u nenapučenim, pustim gorskim krajevima.

Niče pitanje: kako bi se mogla na pr. energija slapa prenijeti („transportirati”) na mjesto, gdje bi se dala mnogo bolje i korisnije izrabiti, nego da se na licu mjesta, u pustim krajevima načine tvornice, koje ih izrabljuju?

Jedno su rješenje čitaoci već saznali : rješenje pomoću jednake električne struje, što ih daju moderni dinami¹. Na licu se mjesta, na pr. kraj slapa, postave dinami jednake struje (generatori), koji mogu davati struje sve do 2000 volta napetosti. Voda se pušta u čigre (turbine) i s njihovom se pomoću vrti kotva dinama, izvođeći onu snažnu struju : radnja se pretvorila u električnu struju. Od toga se izvora struje (generatora) razapnu sada provodnice, koje struju vode do mjesta, gdje će se ona trošiti, izvršujući radnju. Ona ulazi tu u „elektromotore jednake struje”, a preko njih u radne strojeve, lampe i dr.

Ali eto neprilikā : svaka provodnica zadaje struji Ohmov otpor to veći, što je provodnica dužija. Ako je dakle put od slapa do grada ovelik, naraste taj otpor R tolik, da po Ohmovu zakonu² jakost struje I na kraju provodnicā gotovo iščezava : provodnice same troše jako električnu energiju — one se ugriju ! Kako bismo to zapri-

¹ Nov. Iz. III., str. 191.—195.

² Novovjekni Izumi III., str. 116.—130.

ječili, mogli bismo: 1) uzeti provodnice d e b e l e, da umanjimo otpor; no tim p o s k u p l j u j e cijeli namještaj toliko, da se uopće ne isplaćuje.

2. Prenosjenje električne energije izmjeničnom strujom. Ima još i drugi put. Gubitak energije u provodnici lahko se određuje računom. Ako je otpor provodnice R ohma, a jakost struje I ampera, gubi se u njoj: potrošeni efekt = otpor $\times$ kvadrat jakosti ili

$$L = R \times I^2 \text{ watta.}$$

Ta se gotovo sva radnja troši u to, da se provodnica i njezina okolina u g r i j e, a toga baš niti želimo niti trebamo. To nam pače smeta! Radi se o tome: da se početni efekt struje, na njezinu izvoru, prenese uz što manji gubitak u v e l i k u d a l j i n u. Efekt struje na njezinu izvoru mjeri se produktom napetosti E u voltima i jakosti njezine I u amperima¹, dakle je:

$$\begin{aligned} \text{efekt struje} &= \text{napetost} \times \text{jakost} = \text{broj volta} \times \\ &\quad \text{broj ampera ili} \\ L &= E \times I \text{ watta.} \end{aligned}$$

Uzmimo ovaj slučaj: na izvoru je struje napetost $E = 2000$ volta i jakost $I = 16$ ampera. „E f e k t” je te struje, $L = 32000$ watta. Taj efekt ulažemo u provodnicu, kojoj je otpor $R = 100$ ohma; od onih 32000 watta potroši grijanje provodnice i okoline $R \times I^2 = 100.16^2 = 100.256 = 25600$ watta; dakle na kraju provodnice imamo još samo efekt $L = 32000 - 25600 = 6400$ watta ili izgubilo se $\frac{4}{5}$ uložene radnje! Kako bismo umanjili taj gubitak, namjestit ćemo na izvoru drugi dinamo, tako gradjen, da čigra u njem izvodi struju od 4000 volta napetosti, dakle dvostruke napetosti. Ja želim opet prenijeti kao i prije efekt od $L = 32000$ watta. Uz napetost od 4000 volta ne treba da bude sada struja jača od $I = 8$ ampera, jer 4000 volta $\times$ 8 ampera = 32000 watta. Struja treba da ima tek p o l o v i n u predjašnje jakosti, ako želim prenijeti isti efekt od 32000 watta! To mi za gubitak efekta u provodnici dolazi veoma dobro. Taj će gubitak s a d a biti: $R \times I^2 = 100 \times 8^2 = 100.64 = 6400$ watta spram predjašnjih 25600 watta t. j. gubitak je efekta u našoj provodnici tek č e t v r t i n a predjašnjega gubitka. Izlazi dakle vanredno važna spoznaja:

„Ako se kod prenošenja električne energije u odredjenu veliku daljinu napetost struje udvostruči, umanji se gubitak efekta na č e t v r t i n u.”

¹ Novovjeki Izumi III., str. 165.

Lahko bi čitalac i sam mogao pokazati: kada se napetost struje na izvoru utrostruči, umanju se gubitak efekta na devetin u i t. d. Kad bih na pr. mogao napetost od 2000 volta dići na 50000 volta, pak bih želio prenijeti, kao i prije, efekt od 32.000 watta, bio bi gubitak efekta u provodnici ne 25.600 watta, kao u prvom slučaju, nego bi spao, budući da sam napetost podvadesetpeterostručio, na

$$\frac{25.600}{25^2} \text{ watta} = \frac{25.600}{625} = 41 \text{ watta.}$$

Za praksu izlazi dakle prevažno pravilo:

„Želimo li određeni efekt struje (mjereno wattima) prenijeti uz što manji gubitak na daleko mjesto, upotrijebit ćemo na izvoru struje što veću napetost.”

I tu se očituje velika korist dinama izmjenične struje. Dok se dinamo jednake struje može graditi najviše do napetosti od 2000 volta, možemo gotovo istim troškom graditi dinamo izmjenične struje sa mnogo većom napetosti. Radi li se dakle o električnom prenošenju energije u velike daljine, namjestit ćemo na izvoru generatore izmjenične struje što veće napetosti.

No od toga nam još i druga neprocjenjiva gotovo korist. Baš smo vidjeli: što veća napetost struje u generatoru na izvoru, to manja treba da bude jakost struje u provodnici, ako želimo prenositi istu energiju. Ta manja jakost pak na gl. o umanjuje gubitak efekta u provodnicama. Ne želimo li gubitak efekta umanjiti, nego ga držati na istoj veličini, moći ćemo provodnice uzeti 4 puta tanje, ako napetost udvostručimo; 9 puta tanje, ako napetost utrostručimo i t. d. U jednu riječ: mi možemo upotrijebiti kudikamo tanje, dakle i jevtinije provodnice, a da nam se gubitak efekta ništa ne uveća!

Najvažniji je dakle problem kod prenošenja električne energije u velike daljine, da se na izvoru što više uveća napetost struje: gubici u provodnici padaju, a provodnica je tanka i jeftina. Gubici su efekta u neku ruku carina, koju moram platiti provodnicama, da propuste struju! Ako tu carinu unaprijed odredim u postocima, mogu po predjašnjem i izračunati, kakav treba da bude električni namještaj. Za primjer ću izabrati historijsko električno prenošenje energije iz Lauffena na Neckaru u izložbu u Frankfurtu g. 1891.¹

¹ Novovjeki Izumi III., str. 191.

Čigra u Lauffenu davala je efekt od 300 konjskih snaga (HP) ili 220.800 watta (1 HP = 736 watta). Treba dakle električni efekt od 220.800 watta prenijeti 175 kilometara daleko u Frankfurt. Ako izaberem dinamo sa 736 volta napetosti, morala bi struja imati u provodnici jakost od 300 ampera, jer $736 \text{ volta} \times 300 \text{ ampera} = 220.800 \text{ watta}$. Taj efekt se ima prenositi provodnicom dugačkom $175 + 175 = 350$ kilometara (u Frankfurt i natrag). Carina, što ju određujem za plaću provodnici, da propusti struju od 300 ampera jakosti, neka bude 10% t. j. od svojih 736 volta napetosti na izvoru smije struja izgubiti do Frankfurta 73.6 volta napetosti: Rad smo znati, kakova treba da bude provodnica? Zna se, da 1 metar bakrene žice s prerezom od 1 kvadratnoga milimetra (1 mm^2) zadaje struji otpor od $\frac{1}{60}$ ohma, a to će reći: ako tim metrom žice teče struja od 1 ampera jakosti, ište on $\frac{1}{60}$ volta carine. No mi znamo, da je otpor žice to veći, što joj je veća dužina i što joj je manji prerez.¹ Mi imamo 350.000 metara žice i želimo znati, kolik joj mora biti prerez (x), da ona propusti struju od 300 ampera uz gubitak od 73.6 volta napetosti? Lak račun daje, da bi provodnica morala imati prerez od 23.777 kvadratnih milimetara, a to će reći, da bi joj promjer morao biti 17.5 cm ili više nego $\frac{1}{6}$ metra! 350 kilometara tako debele žice, tko bi nàplatio? Ne može dakle biti ni govora o tom, da bismo efekt od 220.800 watta mogli prenositi uz napetost od 736 volta i gubitak od 10%. Kad bismo na izvoru namjestili dinamo izmjenične struje sa pedesetorostrukom napetošću t. j. 36.800 volta, struja bi u provodnici imala samo $\frac{300}{50} = 6$ ampera, 10% gubitka bilo bi sada 3680 volta, a žica bi provodnica sada bila debela samo 3.5 mm^2 ! Uz istu carinu od 10% izlazimo sada sa posve tankom žicom: veoma očit primjer, što vrijedi povišenje napetosti na izvoru.

Uzmimo, da smo to doista tako izveli. U izložbu u Frankfurtu došla je struja užasne napetosti od $36.800 - 3680 = 33.120$ volta i njom se je iz Lauffena prenijela električna energija od 220.800 watta. No mi želimo, da nam ta struja silnena napetosti izvršuje radnju u radnim strojevima. Tu niče nova nepravilnost: ne mogu se tako lahko načiniti strojevi, koji bi mogli izdržati toliku napetost, a da ne popusti izolacija, pak da ne nastane „kratki spoj”, koji bi mogao po-

¹ Novovjeki Izumi III., str. 125.

² U Lauffenu je uistinu bio dinamo struje obrtače, pak su bile 3 provodnice, dakle i račun nešto drukčiji.

raditi velike štete, baš kao što nije lahko naći niti cijevi, da izdrže jako velik tlak vode, a da ne bi popucale. Pored toga su oko radnih strojeva i neprekidno ljudi: struja tolike napetosti smrtonosna je čovjeku, kad prodje kroz tijelo. U drugu opet ruku stoji i to: što većom napetošću struja dolazi, to joj je manja jakost. Moglo bi se lahko dogoditi, da se ne dađu ni graditi aparati, koji bi tako malenom jakošću struje mogli raditi; na pr. žarnice možda ne bi mogle ni gorjeti.

Izlazi dakle elektrotehniku novi problem: na mjestu porabe treba struju visoke napetosti preobraziti (transformirati) u struju niske napetosti, na pr. od 5000 volta na 100 volta i sl.

Ova dva pitanja: 1. preobraziti struju niske napetosti u struju visoke napetosti i 2. preobraziti struju visoke napetosti u struju niske napetosti, čine zajedno u prenošenju energije pomoću električne struje jedan od najvažnijih problema elektrotehnike — problem. „preobražanja struje” ili „transformacije struje”.

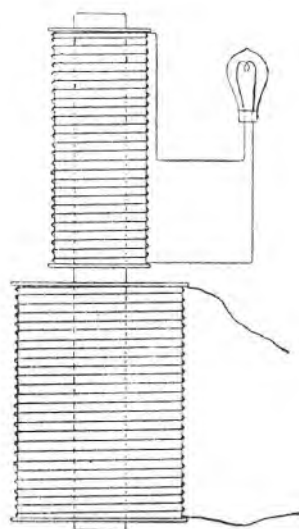
Kako je taj problem, navlastito drugi njegov dio, riješen kod „jednake struje”, natuknuli smo drugom prilikom¹. Pokazalo se je, da se to kod te struje doduše može izvesti, ali ne načinom jednostavnim, već načinom, koji cijeli uređaj centrale jako poskupljuje.

Red je sada, da pokažemo čitaocu, kako se taj problem dao riješiti kod izmjenične struje. Tu će se pokazati golema prednost izmjenične struje spram jednake, tako golema, da su centrale s izmjeničnom strujom, navlastito sa strujom obrtačom, u najnovije doba jako prevladale.

3. Preobrazivanje (transformacija) izmjenične struje. Sjetimo se osnovnoga pokusa o elektromagnetu. Oko željeznoga štapa je svitak izolirane žice. Prodje li njom jednaka struja, željezo je jak magnet, ali samo tako dugo, dok teče struja. Prekinemo li struju, nestalo je magnetizma. Sjeverni je pol magneta na onom kraju, gdje struja svitka teče obrnuto od kazala na uri. Ako pak kroz svitak pošaljemo izmjeničnu struju, i ona će željezni štap pretvoriti u magnet, ali taj će svoje polove u svakoj sekundi mnogo puta izmijeniti: magnetizam u željeznom štapu neprekidno koleba, najprije raste kao sjeverni do nekoga maksimuma, pada do nule, ali se odmah prometne u južni, raste kao južni do maksimuma i opet pada

¹ Novovjeki Izumi III., str. 194.

do nule; to će se u svakoj sekundi ponoviti na pr. 100 puta. Slika 37. nam pokazuje takav željezni štap u svitku žice, kroz koji iz dinamama izmjenične struje (donji svitak!) teče izmjenična struja. Natakknimo na taj promjenljivi elektromagnet drugi svitak žice, kojemu su krajevi sastavljeni sa žarnicom, tako da njegova žica čini potpun, nigdje ne prekinuti krug struje. Osnovna je činjenica magnetoindukcije, da se u tom drugom svitku kod svakoga mijenjanja magnetizma induciraju momentane struje naizmjenice suprotnoga smjera. Kako se u našem željezu magnetizam



Sl. 37. Princip preobrazivača (transformatora) izmjenične struje.

neprestano mijenja, teče u drugom svitku neprestano izmjenična struja — i žarnica gori! Skinimo gornji svitak — žarnica se utrne; natakknimo ga ponovo — žarnica opet gori.

Svitcima je zajednička samo jezgra mehka željeza, i mi evo vidimo, da izmjenična struja prvoga svitka („primarni” svitak) budi u drugom svitku, („sekundarni” svitak), kada je na istoj željeznoj jezgri, također pravu izmjeničnu struju. Još nam nešto može pokus pokazati. Kada drugi svitak pomalo natičemo na željezni štap, žarnica najprije slabo, kasnije sve svjetlije gori, što dalje svitak natičemo na željezni štap. Inducirana elektromotorna sila to je veća, što je veći broj zavoja na že-

ljeznoj jezgri. U prvom je svitku efektivna napetost struje konstantna na pr. 50 volta. U drugom je napetost vrlo promjenljiva, ali raste sa brojem zavoja na njoj. Vidimo smjesta, kako imamo u ruci veoma jednostavno sredstvo, da našu izmjeničnu struju prvoga svitka od 50 volta po miloj volji preobrazimo. Kad bi na pr. drugi svitak imao samo jedan zavoj, naša bi prvotna struja u njemu inducirala malu elektromotornu silu; dodajmo mu drugi zavoj nadovezan prvomu; i u njemu se budi opet malena elektromotorna sila, jednaka prvoj; no u oba zavoja zajedno te se sile zbroje i svitak od dva zavoja ima već dvostruku elektromotornu silu. Kako

drugomu svitku dodajemo sve više zavoja, raste i elektromotorna sila (napetost) inducirane struje. Uz neki odredjeni broj zavoja doseći će napetost drugoga svitka i 50 volta, pak će biti jednaka napetosti prvotne struje. No ništa nas ne priječi, da n a s t a v i m o namatanje novih zavoja na drugom svitku, pak da namotamo tisuće novih zavoja na njem, dakako veoma t a n k e žice, jer inače ne bi stali na nj. Napetost će izmjenične struje u drugom svitku neprekidno rasti, i mi vidimo, kako možemo u njem dobiti izmjeničnu struju od 100 volta, 1000 volta i t. d. po našoj miloj volji: n a š a j e ž e l j e z n a j e z g r a s a s v o j a d v a n a t a k n u t a s v i t k a, kako vidimo, savršen upravo „p r e o b r a z i v a č” ili „t r a n s f o r m a t o r” jedne izmjenične struje zadane napetosti u drugu izmjeničnu struju po volji velike napetosti. U principu svom taj aparat nije drugo nego poznati R u h m k o r f f o v i n d u k t o r i j, ali bez prekidača struje. I na njem imamo dvije spirale: u n u t r a š n j u s m a l o zavoja debele žice i u njima jezgra mehka željeza, i i z v a n j u s mnogo tisuća zavoja veoma tanke žice. Ova u najsavršenijim današnjim induktorijima daje iskre dugačke 1 metar! No kod Ruhmkorffova induktorija hrani se unutrašnja spirala jednakom strujom, pak treba neprekidni rad prekidača, da se dobije u izvanjoj ona silna napetost inducirane izmjenične struje. Kod našega transformatora ulazi u prvu spiralu i z m j e n i č n a struja, pak ne treba nikakova prekidača, da se u drugoj induciraju one izmjenične struje silne napetosti!

No ovaj naš jednostavni transformator izmjenične struje ima još jedno upravo dragocjeno svojstvo, kojega se moramo taknuti.

Skinimo u našem pokusu sl. 37. s nataknutoga drugoga svitka žarnicu. Time smo krug struje rasklopili (otvorili), i u njem ne može da teče struja, makar da izmjenična struja u prvom svitku s v e u d i l j teče. Zanimljivo je sada pitanje o e f e k t u naše struje u prvom svitku. Ona teče oko svitka, u kojem je jezgra mehka željeza; taj svitak ima veliku vlastitu indukciju i izvodi r a z l i k u f a z e o d 90° izmedju jakosti struje i njezine napetosti, i pravi je efekt te struje jednak nuli: svitkom sada teče struja gotovo „b e z w a t t ā”, jer je Ohmov otpor u svitku m a l o g a broja zavoja debele žice gotovo jednak nuli: svitak sada ne ište od generatora nikakva efekta, generator ne troši ništa svoje energije, koliko je izdaje u svitak, toliko je prima natrag od vlastite indukcije svitka.

Uklopimo sada žarnicu ponovo u drugi svitak. Krug se struje u drugom svitku sklopio, u njem teče izmjenična struja i žarnica gori. Razlika faze se smjesti u manji u struji prvoga svitka, struja nije više bez wattā, u primarnom svitku teče struja s nekim brojem wattā i ti se troše u svitku na to, da u drugom svitku induciraju novu izmjeničnu struju i nju podržavaju. Izlazi dakle:

1. Dok je drugi svitak otvoren, u prvom teče izmjenična struja gotovo bez efekta t. j. jakost te struje veoma je mala, gotovo jednaka nuli.

2. Čim se sekundarni svitak zatvori, raste u prvom svitku naglo sama od sebe jakost struje prema tomu, koliko struja druga

troši efekta. Izmjenična struja ima dakle dragocjeno svojstvo, da sama ravna svoj efekt i svoju jakost prema efektu, što ga treba drugi (sekundarni) svitak: ona ne troši nikada više nego što treba, da u drugom svitku postane tolika množina energije, koliko je treba drugom svitku prema otporu u njem.



Sl. 38. Oblik izvedena transformatora.

Budući da elektromotorna sila drugoga svitka ovisi o omjeru između broja njegovih zavoja prema broju zavoja na prvom svitku, razumije se gotovo samo od sebe, da je naš gore n slikani aparat, složen od dva svitka i zajedničke jezgre, transformator struje, koji rješava o b a pitanja preobrazbe struje. Ako je broj zavoja na primarnom svitku m a n j i od broja zavoja na sekundarnom, imamo transformator, koji n a p e t o s t neograničeno p o v i s u j e. Ako su prilike obrnute, imamo transformator struje, koji n a p e t o s t u m a n j u j e.

Transformatori elektrotehničke prakse tek se u svom obliku razlikuju od našega modela. 1. Željezna se jezgra uzima svagda u obliku

koluta ili pravokutnika potpuno zatvorenoga. Kod štapa naime moraju magnetičke silnice kroz uzduh od pola do pola, a tim raste znatno magnetički otpor, dok u kolutu ili pravokutniku teku silnice uvijek kroz željezo. S tehničkih razloga dobivaju oblik slova U (sl. 40), gore pokritoga kapom, tako da čini potpun pravokutnik. Na dugačke krakove dolaze jedni i drugi zavoji. Ako prvi svitak ima na pr. 400 zavoja i u nj pustimo izmjeničnu struju od 100 volta napetosti, dobit ćemo u drugom svitku 25 volta napetosti, ako mu dademo 100 zavoja. No može se i svaki svitak razdijeliti u više djelomičnih svitaka, pak se mogu ti dijelovi jednoga i drugoga svitka ispremiješati, ali se onda dijelovi svakoga svitka međusobom sastave (sl. 39 i 40).

2. Željezna se jezgra složi od pojedinih komada željeznoga lima. Uzrok je tomu, što se tim uklanjaju veoma neprilične „Foucaultove struje” ili „vrtložne struje” (Wirbelströme), koje smo već kod dinama jednake struje istakli¹. 3. Kolik je transformator, to određuje efekt, dakle broj watta, koje treba da daje. Ima ih, koji dosegnu i visinu od 1 metra, a pohranjuju se u kućicama od valovita lima.

4. Razdioba struje iz centrale u mrežu.

U centrali neka daje dinamo izmjenične struje napetost od 2000 volta; kupac struje u svom domu ne može da treba struju veće napetosti od 100 volta; nu takvih je kupaca mnogo, pak je pitanje, kako će se struja iz centrale zgodno razdijeliti po čitavoj mreži grada.

I o tom pitanju treba da sazna obrazovan čitalac najvažnije stvari i kod jednake i kod izmjenične struje. Da se električna energija toliko po svijetu raširila u praksi, jedan je od prvih uzroka baš laka razdioba njezina.

Kod pitanja razdiobe ulazi dakako u račun samo efekt struje mjerjen u wattima. Ako na pr. dinamo jednake struje daje uz 110 volta napetosti struju od 0.5 ampera, efekt je te struje $L = 110 \times 0.5 = 55$ watta. Da dobro gori žarnica od 16 svijeća, treba ona 55 watta

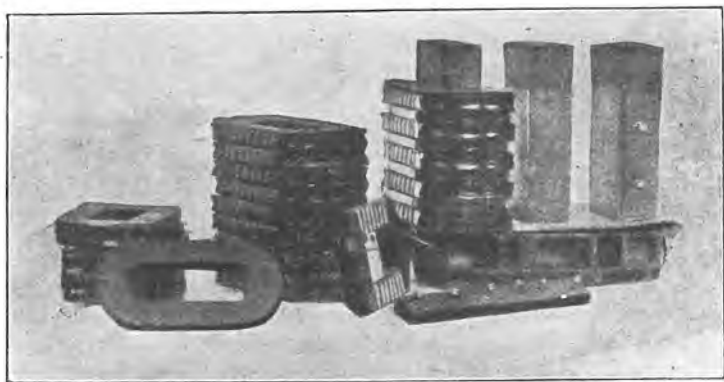


Sl. 39. Izvedeni transformator.

¹ Novovjeki Izumi III., str. 154.

energije u svakoj sekundi, s v a k a svijeća žarnice troši dakle oko 3.5 w a t t a. Taj broj watta mogu najrazličiije struje davati žarnici. Na pr. predjašnja struja od 110 volta i 0.5 ampera, ali i struja od 65 volta i 0.85 ampera i t d.

Najobičniji je način razdjeljivanja električne energije „sustav dviju provodnica” uočen sl. 41. *M* je dinamo u centrali; od svake stezaljke ide po jedna „glavna provodnica” do kraja mreže u gradu — ne dalje od 800 m. U njima je napetost 110 volta. Od njih se odvajaju za svaku ulicu opet po dvije provodnice, a od ovih u svaku kuću opet po dvije. U ove se napokon „p a r a l e l n o” uklope sve lampe, motori, aparati za kuhanje i t. d. u toj kući. Slaba je strana



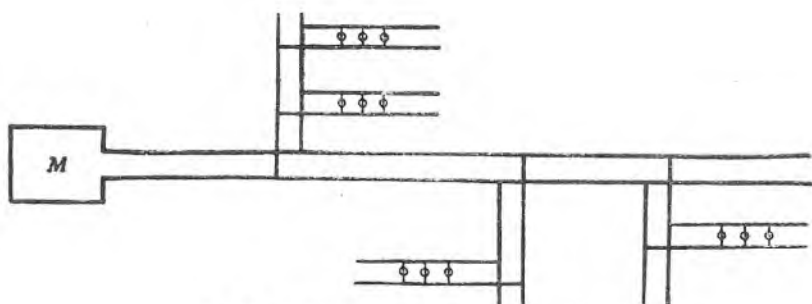
Sl. 40. Sastavljanje transformatora trofazne izmjenične struje.

tomu sustavu, da glavne provodnice moraju imati vrlo j a k u struju; sustav treba dakle debele i skupe provodnice.

Poradi toga izumiše E d i s o n i H o p k i n s o n razdiobu struje u mrežu po „sustavu triju provodnica”. U centrali se sastave dva dinama jedan za drugim, svaki sa 110 volta napetosti. Prva i posljednja stezaljka imaju dakle razliku napetosti od 220 volta, srednje su stezaljke među sobom sastavljene kratkom žicom. Od ove se odvaja treća „srednja provodnica”. Ako se u krajnjim provodnicama troši jednak broj ampera na pr. 200 ampera, srednjom provodnicom ne teče n i k a k v a struja; no ako u prvoj glavnoj provodnici teče struja od 180 ampera, a u drugoj glavnoj od 200 ampera, teče srednjom struja od $200 - 180 = 20$ am-

pera. Poradi toga, što glavne provodnice sada vode struju dvostruke napetosti, mogu biti dva puta tanje, nego kod predjašnjega sustava: mreža postaje jevtinija i može se uspješno upotrebljavati za polumjer od 1200 m. oko centrale. Lampe, motori i t. d. uklapaju se paralelno među jednu glavnu i srednju provodnicu, između kojih postoji samo napetost od 110 volta.

Kod razdiobe izmjenične struje obične i struje obrtače dolazi razdiobi struje veoma dobro gore opisano svojstvo tih struja, da se pomoću transformatora mogu veoma lako preobraziti u struje visoke i niske napetosti. Razdiobu pokazuje sl. 42. Iz centrale teku dvije provodnice do kraja mreže. U njima je struja visoke napetosti od na pr. 2000 volta. Na mjestu, gdje će se struja trošiti, odvajaju se dvije provodnice i idu u primarni svitak poznatih nam transforma-

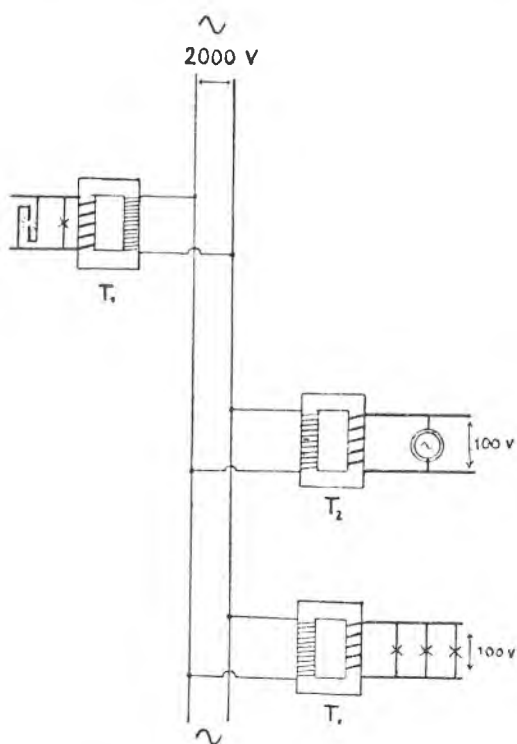


Sl. 41. Dioba struje po sustavu provodnica.

tora ($T_1, T_2, T_3 \dots$). U drugom se svitku svakoga transformatora ta struja preobrazu u struju niske napetosti, na pr. 110 volta, i ova sada ulazi k mjestima potroška preko dviju provodnica. U te se provodnice tek uklope paralelno lampe, motori i t. d., kako pokazuje slika. Kako i ovdje glavne dugačke provodnice prenose električnu energiju u obliku struja velike napetosti i male jakosti, mogu glavne provodnice biti tanke. Kod „dinama struje obrtače” teku tri provodnice mjesto dvije. U ovim se namještajima danas puštaju u glavne provodnice struje od 1000—5000 volta, pače i 10.000 volta; izuzetno još i više. Iz transformatora vode kratke provodnice struju niske napetosti, ali velike jakosti, na mjesto potroška, pak te moraju biti debele; no kako su kratke, izlazi velika prištednja kod instalacije mreže strujom obrtačem. Sve se provodnice

u većim gradovima polažu u zemlji — „kabelima”, u manjim u uzduhu — izolirano.

5. Plaćanje električne struje. Posjednik električne centrale šalje električnu energiju razdijeljenu poput žilâ u čovjekovu tijelu na stotine i tisuće mjesta, gdje se ona troši na izvršivanje najrazličitijih korisnih radnja. Trošilac („k o n s u m e n t”) naravno mora radnju platiti,



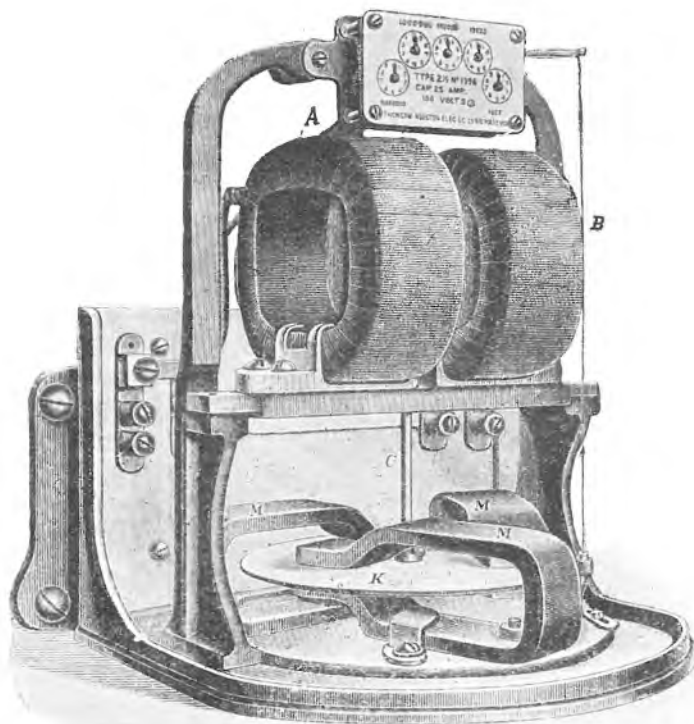
Sl. 42. Dijeljenje i transformacija obične izmjenične struje po sustavu dviju provodnica.

a posjedniku je centrale („p r o d u c e n t u”) do toga mnogo stalo, da tu svoju električnu energiju, koju on velikim troškom izvodi, što bolje proda. Prodaje ju na dva načina. Ako on električnu energiju je v t i n o dobiva, na pr. iz slapa vode („h i d r o e l e k t r i č n a c e n t r a l a”), ne isplaćuje mu se točno mjeriti, koliko watta svaki trošilac svaki dan u godini troši, nego se pogodi, da mu konsument plaća poprije k o, na pr. za svaku lampu, određenu svotu („p a u š a l n a s v o t a”). On može svoju lampu paliti, ako treba, cio dan ili tek nekoliko sati u noći, a plaća

pogodjenu svotu jednako svake godine. — No danas su još dosta rijetke ovakve jevtine električne centrale (u Hrvatskoj je takova na pr. Ozaljska za grad Karlovac). Običnije je, da se električna energija skupim načinom, parnim strojevima izvodi, koji troše mnogo u g l j e n a. Tu je električna energija mnogo skupocjenija stvar, pak se ne može onako „u g j u t u r e” prodavati. Treba kod svakoga trošio ca n a p o s e i n e p r e k i d n o mjeriti cijele godine, koliko je

on potrošio električne energije, pak prema potrošenoj množini treba da segne u džep. Bio je važan problem: kako se može kod svakoga trošioca pouzdano izmjeriti potrošena električna energija?

Danas je i to pitanje riješeno nakon mnogih neuspjelih pokusa. U provodnice, koje mu u kuću dovode energiju, uklopi posjednik cen-



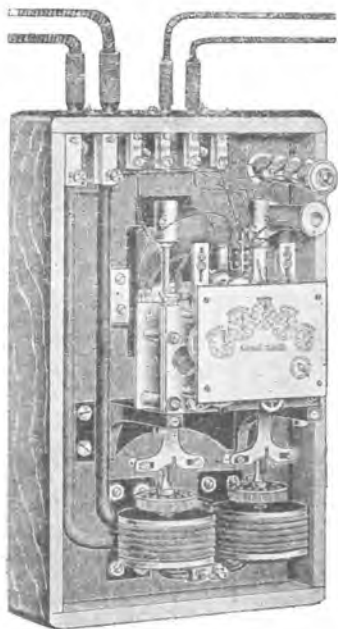
Sl. 43. Thomsonov električni brojilac.

trale razmjerno sitan aparat „električni brojilac”¹. To čudovište od aparata samo mjeri broj potrošenih watta i zabilježi ga, a svakoga mjeseca jedanput dodje namještenik centrale u kuću, da taj broj ispiše i račun predloži.

Zanimat će nas dakle, da i taj aparat razumijemo.

¹ Električni brojilac = compteur électrique ; Elektrizitätszähler.

Uzmimo, da kupujemo struju za električnu rasvjetu u svom stanu ; plaćamo „wattsat”. Jedan „wattsat” energije nam se prodaje, ako trošimo 1 amper struje kraj 1 volta napetosti čitav jedan sat. No da potrošimo „1 wattsat” energije, možemo trošiti i struju od 0.5 ampera i 2 volta napetosti čitav sat ili struju od 0.2 ampera i 5 volta napetosti takodjer 1 sat i t. d. U praksi se redovno računa potrošena energija na „hektowattsate” i „kilowattsate”. U tim slučajevima trošimo 100 watta čitav sat ili 1000 watta čitav sat.



Sl. 44. Aronov električni brojilac.

Jasno je naime, da kod plaćanja energije mora utjecati i vrijeme, kroz koje smo trošili odredjen broj watta. Ako smo na pr. od centrale primali struju od 10 ampera jakosti uz 110 volta napetosti 8 sati, imat ćemo platiti 8800 wattsati ili 88 hektowattsati ili 8.8 kilowattsati, jer je potrošena energija $= 10 \cdot 110 \cdot 8$ wattsati $= 8800$ wattsati.

Od mnogobrojnih izvedenih brojilaca spominjemo ovdje samo dva, jer su najviše ušli u praksu : 1) „Thomsonov električni brojilac” ili „motor-brojilac” i 2) „Aronov električni brojilac.”

Thomsonov brojilac pokazuje slika 43. Glavni mu je dio elektromotor, koji vrti bakrenu ploču K medju polovima triju trajnih potkovastih magneta M, M, M . Elektromotor sastoji od dva stalna svitka žice A i B , a medju njima i djelomice u njima je treći svitak, „kotva” koji se može vrtjeti oko vertikalne osovine C . Taj se brojilac uklopi u provodnice u kući na zgodnu mjestu prije, nego što će struja ulaziti u lampe ili u radne strojeve. U svitke A i B ulazi ta struja. Čim se struja pusti u svitke A i B , počne se kotva vrtjeti i vrtjela bi se sve brže, da joj se energija ne troši t. j. da ne mora vrtjeti i ploču K medju magnetima, u kojoj se poradi toga javljaju „Foucaultove struje”. Ovako će kotva i ploča

dobiti jednoliko gibanje ; to se pomoću zubatih kolesa prenosi na brojnice, koje su već tako udešene, da svojim kazalima pokazuju wattsate. Čitav se aparat zatvori u limen ormarić, pak se vide samo brojnice.

Aronov brojilac pokazuje slika 44. On je na sasvim drugom principu osnovan: na činjenici, da se dva solenoida privlače i odbijaju kao dva magneta. Broj se watta ovdje mjeri silom, koju takva dva solenoida izvršuju jedan na drugi, a ujedno se vrijeme mjeri njihovom. Ta je misao u aparatu ovako provedena: U njem su 2 njihala jednake dužine i jednake težine. Takva dva njihala njišu jednako, dok na njih utječe samo sila teža. Da ne prestanu njihati, tjera svako po jedna ura. Utega ili leća je svakoga njihala svitak žice, koji se njiše iznad drugoga svitka, kroz koji teče radna struja. S urama je jedno kazalo tako spojeno, da se ono ne miče s mjesta, dok na oba njihala djeluje samo sila teža t. j. dok ure idu jednako. Ako sada kroz 2 svitka, koji su jedan iznad drugoga, teče struja, izvršuju oni jedan na drugi privlačnu silu, a ta ovisi o produktu jakosti struja, koje njima teku ; gornji je svitak, koji njiše, sastavljen od mnogo zavoja tanke žice, a donji stalni od malo zavoja debele žice. Svitci su tako udešeni, da privlačna sila jednoga para njihanje prvoga njihala ubrzuje, dok privlačna sila drugoga para njihanje drugoga njihala usporuje. Sada tek, kada oba njihala različno njišu poradi djelovanja struje, krene kazalo na uri po brojnici. Put kazala po brojnici ovisi dakle o razlici u brzini obaju njihala i o vremenu. Iz te se pak razlike u njihanju dade broj watta i vrijeme odrediti, a brojnica je tako udešena, da se s nje bez ikakva računa neposredno čitaju „wattsati” po položaju kazala. Ura se sama navija električnim putem.

* * *

LITERATURA: U ovim je recima prvi pokus učinjen, što pisac zna, da se hrvatskomu obrazovanomu čitaocu nestručnjaku prikaže naukoizmjenoj struji i njezinim znamenitim primjenama bar u najglavnijim crtama. To je najnovija velika tekovina elektrotehnike, bar toliko važna, kao i tehnika jednake struje. U praksi ju je već posve dostigla, ako ju nije prestigla. No ovaj je dio elektrotehnike i najteži, pak se razumije, da je i popularno prikazivanje, ako hoće da čitaoca dovede bar do nekoga stupnja razumijevanja, osobito teško. Koliko je ovaj pokus uspio, o tom će u prvom redu imati da sude oni obrazovani nestručnjaci, kojima je on namijenjen i koji se za te stvari s dosta ljubavi

zanimaju. Kako elektriciteta sve više svijet osvaja, postaje i potreba sve veća, da se savremen obrazovan čovjek i u te stvari temeljito uputi. Razumije se, da je pisac ovih redaka pored stručnih rasprava i knjiga, koje je za svoju vlastitu pouku o toj stvari proučavao dugi niz godina, za ovaj sastavak specijalno upotrebljavao i popularno-naučnu literaturu velikih kulturnih naroda. Najglavniju ovdje navodi, pak će se i čitalac, koji hoće da u stvar dublje zadje, moći eventualno njom poslužiti. Evo je:

1. Georges Claude, L'électricité à la portée de tout le monde. Paris 1911.
2. W a. Ostwald, Schule der Elektrizität. Leipzig 1909. (Preradba pre-djašnjega djela.)
3. L. Graetz, Die Elektrizität und ihre Anwendungen. Stuttgart. 1910.
4. L. Graetz, Kurzer Abriss der Elektrizität. Stuttgart. 1903.
5. R. Blochmann, Grundlagen der Elektrotechnik. Leipzig. 1907. („Natur u. Geisteswelt“.)
6. A. Zeemann, Einführung in die Elektrotechnik, Wien, 1907.
7. J. Epstein, Überblick über die Elektrotechnik. Frankfurt 1896.
8. F. Richarz, Neue Fortschritte auf dem Gebiete der Elektrizität. Leipzig (Natur u. Geisteswelt 9.)
9. A. Kalähne, Die neueren Forschungen auf dem Gebiet der Elektrizität. Leipzig, 1908.
10. H. Starke, Experimentelle Elektrizitätslehre. Leipzig. 1910.

Dr. Oton Kučera.

Električna rasvjeta.

Sigurno je, da prvi počeci električnoga svijetla nisu tako novoga datuma, kao što se obično misli. Već god. 1708., dakle ima tomu preko 200 godina, rasvijetlio je Hawksbee pomoću trenjem dobivenoga elektriciteta unutrašnjost neke razredjenim zrakom ispunjene — dakle t. z. evakuirane — staklene prozirne kruglje. Nekoliko decenija poslije puštali su Walson god. 1751., Henley god. 1774. i Walsh god. 1787. munjevu iskra kroz „električno jaje.” To je naime staklena jajolika posuda, u kojoj se pomoću zračne sisaljke daje zrak više ili manje razrediti. Kad je električna iskra prošla kroz ovakvo jaje, promijenila je sasvim svoj obični oblik. Ona se naime raspala u čitav snop sitnih vlakanaca i rasvijetlila prekrasnim crvenkastim ili modrikastim svijetlom čitavu unutrašnjost jajeta. Tko bi u ono doba mogao samo i pomisliti, da u tim pokusima leži klica epohalnim izumima najnovijega doba!

Godine 1808. otkrio je Davy električno svijetlo na drugom principu, na kom se danas osnivaju moderne plamene lampe¹. God. 1810. izveo je on taj svoj pokus u „Royal Institution” u Londonu u veliko, upotrijebivši u tu svrhu bateriju od 2.000 galvanskih elemenata, koju mu je darovao engleski narod na osnovu javne supskripcije.

Pokusi sa električnim jajetom ponukali su god. 1819. profesora Meinecke-a u Halle-u, da je to svijetlo pače i praktično upotrijebio. On je naime pomoću uzelektrizovanih ploča i raznih evakuiranih cijevi rasvijetlio svoj auditorium. Tom zgodom dobiveno svijetlo bilo je tako jako, da se uza nj moglo čitati. Sâm Meinecke piše o tom iste godine u Gilbertovim analima: „Ovaj je pokus doduše još vrlo nepotpun, ali nam pokazuje, da se daje proizvesti znatna rasvjeta malenom množinom elektriciteta.” No svakako bila je to — ako i skromna — prva upotreba elektriciteta u rasvjetne svrhe.

¹ Bogenlampe, la lampe à arc.

Tako je evo već u prvom početku električno svjetlo baziralo na dva skroz razna principa, na kojima je ono u glavnom i danas osnovano. Prvi princip bio je pretvorba električne energije u svjetlo u vakuumu, dok je kod drugoga načela upotrijebljen prijelaz električne iskre između dva vodiča u običnom zraku. Na onom prvom, ako i od prvobitnih početaka nešto modificiranom principu, osnovana je vrst električnih lampa, koje danas skupnim imenom zovemo sijalice¹; dok su na drugom načelu osnovane t. z. plamene lampe. No mnogo je vremena trebalo, dok je uopće došlo do neke općene praktične upotrebe električnoga svjetla. Otkriće Davy-eva plamena ostalo je sve do god. 1842. samo kao lijepi pokus, koji se u fizikalnim laboratorijima izvodio. Tek pomenute godine, pošto je Foucault bio konstruirao regulator za Davy-ovo svjetlo, zasjaao je u Parizu „Place de la Concorde” električnim svjetlom. Čarobna ta sprava bila je smještena na koljenima alegorijske statue grada Lille. I to je tek bila prva javna rasvjeta novim bajnim svjetlom. Ideja pak današnjih modernih sijalica potječe od god. 1838., kad je predložio J o b a r t, da se mjesto direktno rasvijetljenog vakuuma električna struja upotrijebi u tu svrhu, da komadić ugljena u evakuiranom prostoru usije i da on tada svijetli.

Koliko li je ipak još truda i duševnoga rada trebalo, dok se električno svjetlo vinulo do onoga savršenstva, na kom se danas nalazi! Pa kao što su mnoga otkrića na području prirodnih nauka ponajprije prokušana kod velikih naroda obzirom na njihovu praktičnu vrijednost, tako je bilo i sa električnim svjetlom. Skromni zameci ovoga novoga rasvjetnoga sredstva niknuli su u tihim radionicama marljivih fizičara, a tek daleko poslije su umnici Francuske, Njemačke, Engleske i sjeverne Amerike dotjerali taj izum do sadašnje visine. Moderna se dakle elektrotehnika i u tom pravcu ponosi tekovinama svojih pregalaca. Ona je svijesna, da je ljudski rod obdarila neprocijenjivom blagodat, kad mu je podala krasnu luč, koja ima tolike prednosti nad ostalim umjetnim rasvjetnim sredstvima. Ove su prednosti tako mnogobrojne i važne, da bi se o njima mogle čitave knjige pisati, a mi treba da to bar u glavnim crtama prikazemo našim čitaocima.

Ponajprije moramo istaknuti, da je jedina električna energija kadra podati umjetno svjetlo, koje se sa svoga intenziteta i sjaja daje

¹ Glühlampe, la lampe à incandescence.

isporediti sa sunčanim svjetlom. Danas već ima primjera, gdje su konstruirane električne lampe, koje svaka za sebe svijetle jakošću od 100.000 i više Hefnerovih svijeća¹! Takav vanredni intenzitet umjetnoga svijetla, koje se na nekim mjestima sjeverne Amerike upotrebljava na morskim svjetionicima, ratnim brodovima i t. d., ne može podati nijedno drugo rasvjetno sredstvo.

Druga je prednost električnoga svijetla, što nam se kraj njega noću predmeti ukazuju u bojama, koje su više nego kod ikoga drugoga umjetnoga svijetla nalik bojama, u kojima te predmete vidimo uz dnevno sunčano svjetlo. Danas imamo pače već takvih električnih sijalica, uz koje vidimo predmete noću gotovo u isto onakovim bojama, u kojima nam se oni ukazuju danju. Firmi Siemens & Halske u Berlinu pošlo je ove godine za rukom, da konstruira takve sijalice, t. zv. veriko-lampe. Kod njih su one boje, kojih u svijetlu električnih sijalica ima više negoli u sunčanom (osobito crvene, žutocrvene i žute zrake), posebnim načinom apsorbirane. A i uspjesi, koji su u tom pogledu u najnovije doba postignuti sa Mooreovim svjetlom, pokazuju, da je sada već moguće električno svjetlo obzirom na boje načiniti potpuno jednako dnevnom sunčanom svijetlu.

Ovo je svojstvo električnoga svijetla ugodno, a u mnogo slučajeva i potrebno. U tvornicama n. pr., gdje se tkanine bojadišu; u tvornicama papira; u dućanima, gdje se svila prodaje; u tvornicama boja i t. d. mogle su se prije uredbe električne rasvjete mnoge radnje obavljati samo danju, i to zato, jer se kod noćnih radnja uz petrolejsku ili plinsku rasvjetu nisu mogle razaznavati pojedine boje, dok je to danas kod električne rasvjete moguće.

Poradi velike množine ljubičastih zraka, koje imadu osobito plamene lampe, zgodne su one i u fotografiji. Moderni fotograf, koji radi uz električno svjetlo, može vrlo lako sve svoje poslove noću obavljati

¹ Hefnerova svijeća je svjetlo slobodno gorućeg plamena, što se diže iz prosjeka masivnoga sa amylacetatom zasićenoga fitilja, koji potpuno ispunjava okruglu cjevčicu od novoga srebra, kojoj je nutarnji polumjer 8.1 milimetra, a vanjski 8.3 milimetra. Plamen taj mora biti 40 milimetara visok, a svjetlo se njegovo uzimlje u horizontalnom pravcu. Svjetlo od 1 Hefnerove svijeće od prilike je isto tako jako, kao i svjetlo jedne obične stearinske svijeće. Ova fotometrička jedinica upotrebljava se po čitavoj našoj monarhiji i u pretežnom dijelu Evrope. U Francuskoj, Engleskoj i u jednom dijelu sjeverne Amerike počinje se u tu svrhu upotrebljavati t. zv. 1 međunarodna svijeća, koja je jednaka 1.11 Hefnerovih svijeća.

kao i danju, dok je to uz upotrebu drugih rasvjetnih sredstava bilo posve nemoguće ili skopčano sa znatnim poteškoćama.

Električno svjetlo dade se vanredno zgodno porazdijeliti po prostorijama u privatnom stanu, po uredima, javnim lokalima i t. d. Hoćemo li ga imati u sobi, kuhinji, podrumu, na tavanu, u staji, na dvorištu, svuda se može lako uvesti. Treba samo od glavnoga žicovoda odvesti dvije žice i na njih priključiti lampu i evo nam svjetla, gdje god hoćemo. Kako je to teško i nespretno kod plinske rasvjete!

Radi ovoga svojstva ono je osobito prikladno za provizorno uveđenje intenzivne rasvjete. Poznata su mi iz vlastitoga opažanja dva takva zanimljiva slučaja. Bilo je to pred kojih 15 godina, kad se perzijski šah vraćao sa svoga putovanja po Evropi u svoju domovinu. Plan njegova putovanja bio je tako udešen, da je u večer stigao u Zemun i kako se na granici naše monarkije imao zadržati neko vrijeme, htjelo se, da zemunski kolodvor bude sjajno rasvijetljen. Kako u ono doba Zemun nije imao električne centrale, instaliralo je ravnateljstvo kr. državnih željeznica provizornu malu centralu, razapelo žicovod, montiralo lampe — što je sve trajalo samo nekoliko sati — i kolodvor je u večer bio sjajno rasvijetljen.

Ovakva provizorna uredba električnoga svjetla može se vrlo zgodno upotrijebiti i kod različnih nesreća, koje se noću dese na željeznici ili gdje drugdje. Takav se slučaj desio i u Zemunu početkom ovoga vijeka. U dvorištu neke kuće na Prilazu odronio se veliki komad brijega, te je zatrpao nekoliko ljudi. Kako se htjelo tim ljudima pomoći, odredilo je gradsko poglavarstvo, da se otkapanja odronjene zemlje nastave noću. Kako je u ono vrijeme već bila električna centrala u gradu, to je njezina uprava za kratko vrijeme provizorno uvela nekoliko plamenih lampa, kojih je svjetlo u noćno doba spasavajući taj rad znatno olakšalo. Tako bi se dalo navesti mnogo primjera, gdje su provizorne instalacije električne rasvjete bile od neprocijenjive koristi.

Nadalje ćemo spomenuti osobitu higijensku prednost električnoga svjetla nad ostalim običajnim rasvjetama. Električno svjetlo nije rezultat kemičkih procesa izgaranja, kao što je petrolejsko, plinsko i ostala rasvjetna sredstva. Ova naime troše za vrijeme njihova djelovanja kisik onoga zraka, koji se nalazi u dotičnoj prostoriji, gdje takovo svjetlo svijetli; a osim toga stvaraju ugljičnu kiselinu, koja je dosta poznata sa svojih otrovnih svojstava. Tako se znade, da jedan plinski plamen sa *Auerovim* čarapastim žiškom treba toliko ki-

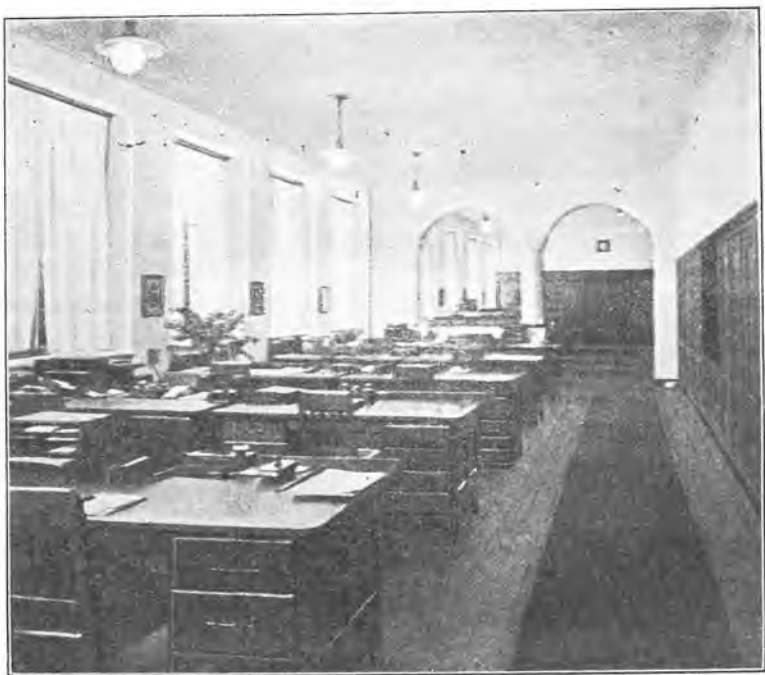
sika, koliko ga jedan odrastao čovjek udisati mora, da može uopće živjeti. Poradi toga je zrak u ovakvim prostorijama kraj upotrebe petrolejskoga, plinskoga ili acetilenskoga svijetla već nakon kratkoga vremena pokvaren i zdravlju ljudskome škodljiv. Ove štetne posljedice drugih rasvjetnih sredstava osobito se primjećuju u prostorijama, gdje boravi mnogo ljudi i gdje ima veliki broj n. pr. plinskih svjetiljaka, dakle recimo u restauracijama, kavanama, koncertnim dvoranama, kazalištima, bolnicama i t. d. To je i razlog, da ljudima, koji dulje vremena u ovakvim prostorijama borave, pozli, a često i padaju u nesvijest. Svega toga nema kod električnoga svijetla, jer se uz njegovu upotrebu kvari zrak samo od disanja i isparivanja ljudi, čemu je lako doskočiti s nešto malo ventilacije. Nadalje valja istaknuti, da ostala rasvjetna sredstva znatno i ugrijavaju zrak u prostorijama, gdje gore, pa nastaje nenasno vrućina, i ljudi se često nahlade, kad izađu iz tako pretjerano ugrijavanih mjesta.

Upotreba petroleja, rasvjetnoga plina i t. d. donosi još i druge znatne pogibelji. Uz ova svijetla mogu nastati eksplozije sa poznatim njihovim razarajućim djelovanjem. Tako je god. 1910. bilo u samoj Njemačkoj 180 eksplozija od petroleja, od ovih 145 u stanovima; 125 eksplozija od plina, i to 58 u stanovima; i 23 eksplozije od acetilena. Još češće se događa, da se ljudi otuju, ako n. p. zaspe u spavaćoj sobi, a zaborave zatvoriti koji pipac plinske cijevi. Već 2—3% rasvjetnoga plina u zraku može čovjeka otrovati, ako ga dulje vremena udiše. Uz to ima još jedna pogibelj kraj rasvjetnoga plina, od koje nema uspješne odbrane. Poznato je naime, da rasvjetni plin ima posebni neki neugodni zadržak, po kome ga je lako prepoznati u nekoj prostoriji. No može se dogoditi, da rasvjetni plin dopre iz oštećene koje glavne cijevi kroz zemlju i zid u stan. Ovaj je plin tada bez ikakva vonja, ali ima inače sva ostala otrovna svojstva, koja i prije, pak može tim lakše štetonosno djelovati, što ljudi opasni svoj položaj n. p. u snu uopće ne zamijete ili to osjete, kad su već tako slabi, da se ne mogu spasiti. Ova pogibelj postoji naročito u prizemnim stanovima, i to u zimsko doba, kad je tlo smrznuto, te poradi nastalih velikih razlika u temperaturi može plin lako ispod zemlje doći u sobu. U Njemačkoj samoj bilo je god. 1910. u svemu 179 slučajeva otrovanja rasvjetnim plinom, i to 145 u stanovima.

Svi ovi nedostaci drugih rasvjetnih sredstava raspravljani su na mnogim higijenskim kongresima, koji su jednodušno stvarali re-

zolucije, da se plinsko svjetlo bezuvjetno ima zamijeniti električnim barem u prostorijama, gdje ljudi borave.

Poznato je na temelju najnovijih okulističkih istraživanja, da je električno svjetlo zgodnije od drugih rasvjetnih sredstava za očnji vid. Električna rasvjeta povećava oštrinu vida, kako je to već H o p p e pokazao. On je naime našao, ako se oštrina vida uz obično dnevno svjetlo uzme kao jedinica, to je kraj plinskoga svjetla 0.5—0.7, dok



Sl. 1. Električna rasvjeta ureda.

kod električnoga svjetla iznosi ona 1.2—1.5. Nadalje je dokazano, da je električno svjetlo još s jednoga gledišta najzdravije. Poznato je naime, da što češće oči zatrepte, to više se umaraju i povodom toga trpe. Na osnovu liječničkih istraživanja nadjeno je, da čovjek poprečno u jednoj minuti kod svijetla svijetle 6.3 puta zatrepti očima, kod plinskoga svjetla 2.8 puta, kod sunčanoga 2.2 puta, a kod električnoga samo 1.8 puta.

zmemo li sve to u obzir, dolazimo do neoboriva rezultata, da je električno svjetlo najzdravije umjetno rasvjetno sredstvo i da bi — gdje je to iole moguće — u stanovima i javnim lokalima valjalo svaku drugu rasvjetu energično ukloniti.

Osim toga valja napomenuti, da se električno svjetlo od duljega vremena sa znatnim uspjehom upotrebljava u medicini pače i direktno, naime za liječenje stanovitih bolesti. To je posebna grana moderne elektroterapije, kod koje svjetlo različnih vrsti električnih lampa proizvodi blagotvorno djelovanje na ljudski organizam, i to tako, da se ili pojedini njegovi dijelovi ili pak čitavo tijelo izvrgnu samom svijetlu. Ovako nastaju i t. z. kupelji sa električnim svjetlom, što ih je prvi u praksu uveo Finsen. Te su kupelji korisne kod različnih kožnih bolesti n. p. kod lupus vulgaris i t. d. Tako se upotrebljava u liječništvu osvježujuće djelovanje crvenih zraka električnoga svijetla i umirujuće djelovanje modrih njegovih boja. A i svjetlo lampa od kvarca, o kojima će poslije biti govora, u najnovije se doba mnogo upotrebljava za liječenje različnih bolesti. Nijedno pak drugo umjetno rasvjetno sredstvo ne da se u takove svrhe zgodno upotrijebiti.

Važno je i pitanje, u kakovu odnošaju stoji električno svjetlo sa požarnom sigurnošću? Stvar stoji ovako: kod električne rasvjete može požar nastati ili od lampa ili od žicovoda, kojim se dovodi električna struja lampama.

Što se električnih lampa tiče, to je mogućnost požara kod sijalica gotovo posve isključena, jer one svijetle u potpuno zatvorenu prostoru. Ima doduše slučajeva, gdje se požar dogodio od same žarne topline, koju u znatnoj množini isijeva električna sijalica, no to biva rijetko. Čini se, da se jedan takav požar dogodio god. 1910. u Beču, kad je izgorjela tvornica celuloida od tvrtke Gebr. Salier. Istraživanja sudbenih vještaka, profesora dr. Bambergera i dr. Sahulke, pokazala su, da se otpaci celuloida, ako dodju u neposredni doticaj sa staklom goruće sijalice ili pače samo u doticaj s njezinim zaštitnim staklom, koje ju opkoljuje, za kratko vrijeme bezbojno rastvore, a onda se jasnim plamenom upale. Na osnovu toga došlo se do spoznaje, da se u tvornicama, gdje se radi sa lako upaljivim tvarima n. p. sa barutom, celuloidom, ne smiju upotrebljavati jednostavne električne sijalice, ako i imaju obična zaštitna stakla. U takvim prostorijama zgodno je, da se prema prijedlogu F. Drexlera na-

mjesto sijalice u posebne rupe u zidu. Te rupe moraju prema samoj prostoriji zatvarati dvije staklene ploče, među kojima treba da cirkulira hladna voda. Dakako da u tim prostorijama ne smije biti ni žicovod za struju sniješten. Nadalje valja pripomenuti, da bi požar uz električnu sijalicu mogao i tada nastati, kad bi ju netko zastr'o neprozirnim, lako upaljivim, lošim vodičem topline. To bi se moglo dogoditi n. p. u kakovu dućanskom izlogu, kad bi se sijalica pokrila recimo kakvom crnom svilenom tkaninom i t. d. No svi ti slučajevi ne spadaju u pravilo, ali se svakako dobro i na to obazirati prigodom montaže i upotrebe električne rasvjete.



2. Radionica električki rasvijetljena.

Kod plamenih lampi, koje nisu uvijek hermetički zatvorene, mogao bi eventualno nastati požar, ali praksa pokazuje, da su ovi požari veoma rijetki, te se kraj dobrih fabrikata dešavaju samo onda, ako se sa plamenom lampom lakomisleno postupa.

Drukčije je, što se tiče žicovoda. Tu moramo priznati, da je mogućnost požara dosta znatna i da se on već više puta dogodio povodom zloknobnoga t. z. kratkog spoja, no uvijek samo onda, ako žicovod nije bio prema propisima izveden. Kod ostalih rasvjetnih sredstava, koja gore otvorenim plamenom, opasnost je požara još mnogo veća. Najbolje nam to pokazuje statistika požara u Pruskoj od god. 1910. Te je godine bilo od rasvjetnih sredstava

u svemu 2309 požara. Od ovih prouzrokovao je požar petrolej u 1780 slučajeva, rasvjetni plin u 330 slučajeva, a elektricitet u 199 slučajeva.

Ako i postoji neka požarna opasnost kod električnoga svijetla, to se ona daće reducirati gotovo na ništicu, ako električnu instalaciju izvede priznata i solidna instalaciona tvrtka i ako se taj uređaj iza toga podvrgne stalnom stručnom nadzoru. Najboljim je dokazom za to statistika kazališnih požara. Za posljednja tri decenija prošloga stoljeća izgorjelo je 330 kazališta, a uzrok im je bilo plinsko ili koje drugo slično svijetlo. Štete tom zgodom nastale iznosile su uz druge strahote 200 milijuna kruna, a pri tom je 15.000 ljudi zaglavilo. Otkad se pak počela uvoditi električna rasvjeta u kazališta, — prvo je bilo u Londonu god. 1882. električnim svijetlom rasvijetljeno — od onoga vremena se broj kazališnih požara tako umanjio, da je danas uopće rijetkost.

Na osnovu toga slijedi, da je električno svijetlo i obzirom na opasnost požara danas najsigurnije rasvjetno sredstvo.

Za upaljivanje električnih lampa ne treba žigica, već ih u svako doba možemo jednostavnim sklopom struje momentano rasvijetliti; isto se tako prostim rasklopom struje vrlo lako gase. Kako nepovoljno u tom stoje ostala rasvjetna sredstva! Pomislimo samo, koliko se već nesreća dogodilo gašenjem petrolejskih lampa, kojima se plamen prije ugasnuća nije uškiljio.

Kod upotrebe električnih lampa daće se lako sve u čistoći držati, ne treba onoga dosadnoga čišćenja staklenih cilindara, plinskih žižaka, fitilja i t. d.; za električno svijetlo nema brige, da će ga i najjači vjetar ugasi; njemu ne škodi ni kiša ni snijeg. Ono gori posve sigurno uz sve nepogode atmosfere, ako je onako, kako treba, instalirano.

Je li tada čudo, da se ta rasvjeta ovako raširila po čitavu kulturnom svijetu? Danas je upotrebljava čovjek u svom kućanstvu, tvorničar u radionicama, rudar duboko pod zemljom, mornar na otvorenoj pučini, a i na obali mora, liječnik za liječenje, vojska za rasvjetu brodova i njihove okolice, stanovnici mnogih gradova i mjesta za rasvjetu ulica i trgova i t. d. U samoj Njemačkoj ima već danas preko 10 milijuna električnih sijalica i 2 milijuna plamenih lampa priključeno na od prilike 1.400 javnih električnih uređaja!

Medjutim, kako ljudski um nije kadar nikada ništa savršeno stvoriti, a i ono, što stvara, mora postepeno usavršivati i dotjeravati, tako

je i sa električnim svjetlom. Moderni elektrotehnici sasvim dobro znadu, da današnja električna rasvjeta nije ideal umjetne rasvjete, kako to koji puta laici misle. Električno svjetlo naime ima također svojih nedostataka, koji se s napretkom tehnike pomalo uklanjaju, ali će trebati još dosta rada, da se postigne cilj, za kojim se ide. Tako su n. pr. dosadanje električne sijalice sa ugljenom niti imale veliku manu, da se u njima tek veoma maleni procenat ukupne električne energije, potrebite za njihovo gorenje, pretvorio u svjetlo — u naj-



Sl. 3. Rasvjeta portala električnim svjetlom.

boljem slučaju jedva 10% — a sve ostalo prešlo je u toplinu, koja se beskorisno gubila. Prema tomu je težnja stručnjaka bila, da se konstruiraju takve sijalice, koje bi što veći dio električne energije pretvorile u svjetlo te omogućile manji potrošak struje uz istu jakost svjetla. A i plamene električne lampe trebale su postepenoga razvitka, dok su postigle ono savršenstvo, u kome ih danas imamo. Osim toga konstruirane su električne lampe na posve novom principu, različitom od sijalica i plamenih lamp, samo da se električna rasvjeta što više usavrši. A

sigurno je, da će golemi broj radenika, koji je danas zabavljen s tim pitanjem, još mnogo toga pronaći, tako da je uopće i teško zamisliti, kako će tehnika električnoga svjetla izgledati samo za 100 godina. Vrlo je vjerojatno, da će tada sâm vakuum svijetliti bez ikakve druge supstancije, — a to bio bi pravi ideal električne rasvjete. Lako je moguće, da će se naši potomci čuditi našoj nespretnosti, gdje smo u jednom jedinom uređaju trebali toliku silnu mrežu bakrenih žica, da električnu energiju dovedemo do lamp, jer će oni svoje prostorije rasvjetljivati

dovodeći struju bez žica onamo, kuda će htjeti; po svoj prilici ne će tada trebati tako kompliciranih aparata i inih uredaba, kao danas, za sigurno funkcioniranje električne rasvjete.

Medjutim, kako je sve to stvar nepoznate budućnosti, o kojoj tek fantazija može da priča, to ćemo se obazrijeti samo na nedavno minulu prošlost i realnu sadašnjost i navesti jedan dio stručnjačkoga rada iz najnovijega doba, koji je radio oko usavršenja električne rasvjete, i to na području konstrukcije električnih lamp.

1. Električne sijalice.

Sijalica sa ugljenom niti.

Izum općeno poznatih električnih sijalica pripisuju mnogi Amerikancu Thomas Alva Edisonu. Ali kolikogod je Edison zaslužan za napredak znanosti, a naročito elektrotehnike, treba ipak istini za volju reći, da on nije izumitelj sijalica. Evo što o tom već god. 1892. piše jedan od prvih stručnih časopisa na svijetu „Elektrotechnische Zeitschrift” u Berlinu: „Pred više od 30 godina mogao se za lijepih ljetnih večeri po ulicama New-Yorka vidjeti čovjek srednjih godina, izrazito njemačkoga tipa. U slaboj engleštini uzvisivao je on čudesa zvjezdanoga neba i pozivao prolaznike, da uz malu odštetu pogledaju kroz 6 metara dugi dalekozor zvijske. Čim bi interes publike pao, svratio je iznova pozornost prolaznika time, da je sklopio dvije do tri sjajne lampe, koje su svijetlile uslijed struje, koju mu je podavala galvanska baterija smještena na jednom kolima.”

Taj čovjek — jamačno prvi, koji je električnim svjetlom pravio reklamu za kraljicu znanosti, astronomiju — imenom Hinko Goebel, izumitelj je električnih sijalica s ugljenom niti. Prve svoje pokuse pravio je on na osnovu Jobartova prijedloga s nitima od drvena ugljena, a tek poslije upotrijebio je bambusove niti, koje su užarene od struje svijetlile u vakuumu. Kad je god. 1880. osnovano društvo za izrabljivanje Edisonovih patenata, nije ovome odmah pošlo za rukom proizvoditi upotrebljive sijalice. Toga radi angažiralo je društvo Goebela, pak je tek od toga vremena počelo proizvoditi sijalice dobre vrsti.

Edison dakle na izumu samih električnih sijalica s ugljenom niti nema onih zasluga, koje mu se obično pripisuju, ali zato tim

veću na praktičnoj njihovoj primjeni. On je naime god. 1877. pronašao način, oko kojega su se dugo vremena mnogi elektrotehnici bez uspjeha trudili, kako se daje mnogo lampa uvrstiti u zajednički sklop električne struje, a da svaka od njih može posve neovisno o drugima svijetliti¹.

Taj izum bio je osobito važan, jer bez njega ne bi moglo biti ni govora o praktičnoj upotrebi električnih sijalica. Na osnovu toga pronalaska rasvijetlio je Edison prvi put u praksi god. 1881. na internacionalnoj elektrotehničkoj izložbi u Parizu sa znatnom množinom posve dotjeranih sijalica jedan dio izložbenoga prostora.

Od onoga vremena pa sve do danas napredovala je upotreba sijalice orijaškim koracima, tako da je ona i sada jedan od glavnih proizvoda moderne elektroindustrije. I jamačno bi još mnogo godina sijalica s ugljenom niti zadržala u električnoj rasvjetnoj tehnici svoj dominirajući položaj, kad joj ne bi bilo uzdržati neprestanu borbu utakmice s ostalim rasvjetnim sistemima, a ponajviše utakmicu sa svjetlom rasvjetnoga plina. Ekonomička njezina slaba strana u najnovije je doba sve više sili, da polagano doduše, ali zato sigurno ostavlja veliki teren, koji je preko tri decenija slavodobitno zauzimala. Sijalica s ugljenom niti radi naime vrlo neekonomično. Tako n. pr. ona od 16 svijeća, koja se u praksi najviše upotrebljava, troši uz 110 volta napetosti, od prilike 0.5 ampera struje. Poradi toga je njezin t. z. specifični potrošak za 1 svijeću :

$$\frac{110 \cdot 0.5}{16} = 3.4 \text{ watta.}$$

Najbolji fabrikati ovih sijalica troše nešto manje, ali još uvijek barem 3.4 watta. To dašto vrijedi za sasvim nove lampe. Ali pošto sijalica s ugljenom niti već dulje vremena gori, to se specifični taj potrošak²

¹ Prvi praktični korak za rješenje toga pitanja učinio je doduše ruski ženijski časnik P a v a o J a b l o š k o v god. 1876. izumom svoje e l e k t r i č n e s v i j e ć e (Vidi o nj o j : „Crte o elektricitetu i magnetizmu”, napisao O. K u č e r a, a izdala god. 1891. „Matica Hrvatska”, str. 227.) ; no taj princip dijeljenja električnoga svijetla vrijedio je samo za njegovu električnu svijeću i nije se mogao primijeniti na sijalice. Pošto je te Jabloškove električne svijeće radi znatnih nedostataka već nakon kratkoga vremena posve nestalo iz prakse, to i njegov način dijeljenja električnoga svijetla za općeno rješenje toga pitanja nije bio ni od kakva utjecaja.

² Prema tomu krivo je mišljenje, koje nalazimo često u neupućenih konzumnata, da naime stare sijalice više struje troše nego nove. Potrošak taj uistinu je samo relativno veći, naime obzirom na manji broj Hefnerovih svijeća, koje daje svijetlo stare lampe ; apsolutno taj potrošak pače postaje nešto manji.

za 1 svijeću postepeno povećava i do 40%! Razlog je tomu, što se tečajem upotrebe te lampe taloži na nutrašnjoj strani evakuiranoga njezina stakla sloj od vanredno sitnih čestica ugljena. Poradi toga ona počinje pocrnjivati, a taj crni sloj apsorbira znatan dio svjetla. Dalnja je posljedica toga, da ugljena nit biva sve tanja, odnosno njezin otpor sve veći. Budući pak lampa gori uz stalnu napetost, koju električni uredjaj podaje, obično 110 volta za rasvjetu, to se tada radi rastućega otpora — prema Ohmovu zakonu — umanjuje jakost struje, a s njome — prema Jouleovu zakonu — i množina topline, koja se u svakoj pojedinoj sekundi u njoj stvara. S time pada i temperatura same niti, tako da stare sijalice s ugljenom niti tek tinjaju mutnim, crvenkastim svjetlom.

Dobre sijalice s ugljenom niti mogu se uspješno upotrebljavati poprečno 500—600 sati; za to vrijeme umanjuje se jakost njihova svjetla dosta neznatno. Ali često lampa i znatno dulje traje, a da joj se nit ne prekine, no tada ona i rdjavo svijetli. Takovu istrošenu lampu treba bezuvjetno izmijeniti novom, jer je prištednja neznatnoga troška nabave nove lampe na štetu konzumentu i obzirom na još veći relativni potrošak struje i obzirom na loše svjetlo.

Sijalica sa metaliziranom ugljenom niti.

Da se ekonomija običnih sijalica s ugljenom niti poveća, konstruirale su neke tvrtke takve sijalice, kod kojih se ugljena nit pomoću žarnoga procesa, koji se zbiva pod visokim tlakom, tako premijeni, da ugljen poprima kovinama slična svojstva. Povodom toga može ugljena nit podnijeti višu temperaturu, a prema tomu uz isti potrošak struje daje veću množinu svjetla. Te sijalice zovu se sijalice sa metaliziranom ugljenom niti. Specifički im je potrošak struje 2 do 2,5 watta za 1 Hefnerovu svijeću, dakle znatno povoljniji, negoli kod običnih ugljenih sijalica. No kako je vrijeme trajanja tih sijalica dosta maleno, poprijeko samo 500 sati, a nabavna cijena veća od običnih sijalica s ugljenom niti, to se one u praksi mnogo ne upotrebljavaju.

Iz svega toga razabire se, da uopće sijalice s ugljenom niti imaju znatnih mana, koje su godinama priječile veću upotrebu električnoga svjetla. Hoćemo li, da ta lijepa rasvjeta postane općenim dobrom, to troškovi njezina uzdržavanja moraju ostati u ekonomski

dopuštenim granicama. To se najbolje vidjelo pod konac prošloga stoljeća, kad je A u e r izumio svoju plinsku lampu, s kojom se pomoću t. z. Auerovih čarapa postiglo nesamo mnogo jasnije, nego i daleko jeftinije svijetlo, negoli ga davahu električne sijalice s ugljenom niti. Sad je nastala između reprezentanata električne i plinske rasvjete borba na život i smrt, i već je počeo znatan dio konzumenata, koji je bio uveo električnu rasvjetu, ovu usprkos mnogih loših svojstava plinske rasvjete uopće zamjenjivati A u e r o v i m svijetlom. Utakmica, u kojoj je najviše odlučivala financijalna strana pitanja, dovela je elektrotehnike do pomisli, ne bi li se i u električnim sijalicama mjesto ugljene niti upotrijebile one iste supstancije, iz kojih je A u e r konstruirao svoju plinsku čarapu. Te su stvari vrlo trajne u vatri i mogu podnositi daleko više temperature negoli ugljen, i tako bi lampa, koja bi imala nit iz takove stvari, isijevala mnogo intenzivnije i ekonomičnije svijetlo, negoli sijalica s ugljenom niti.

Već god. 1879. načinio je J a b l o š k o v jednu vrst električne lampe, kod koje je svijetlo davala malena pločica od kaolina. To je naime tvar, koja je kao i porculan, koji se iz nje dobiva, veoma dobar izolator. Struju potrebitu za usijanje kaolina uzimao je Jabloškov iz jakoga induktora. Bila je to dakle struja osobito velike napetosti, koja je sastojala iz električnih iskara. Osim kaolina upotrijebio je Jabloškov za svoju električnu lampu i cirkonov oksid i druge neke rijetke zemlje, u kojima su sadržani u većim ili manjim količinama t. zv. vodiči drugoga reda. Ali kako je napetost takove pomoću induktora proizvedene struje životu opasna, to je ovaj nedostatak bio znatnom zapriejekom, da Jabloškova električna lampa nije mogla prodrijeti u praksu, nego se pače naskoro posve zaboravilo na ovo otkriće. Tako je tek god. 1899. nastala prva važna promjena u gradnji električnih sijalica, stvorena je naime u principu t. z.

Nernstova sijalica.

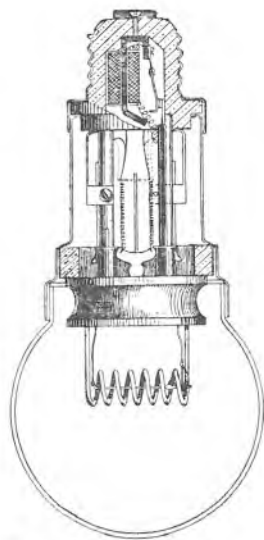
Njemački profesor N e r n s t uzeo je mjesto niti od pougljenjene celuloze, koja se danas upotrebljava u običnim sijalicama, nit od magnezijeva oksida. Kako ovo tijelo spada među t. z. vodiče drugoga reda, to ima svojstvo, da kod obične temperature prolazu električne struje stavlja tako veliki otpor, da nit njegovu ne može

struja usijati. Tek kod visoke temperature postaje magnezijev oksid dobrim vodičem.

Ovu dakle nit ili štapić trebalo je kod prvih Nernstovih lampa najprije ugrijati n. p. plamenom od žigice i tek kad se ona dovoljno tom toplinom zagrijala, tad je istom počela struju voditi i svijetliti. Posve je prirodno, da uz tu manu ne bi Nernstova lampa nikada mogla ni zamijeniti sijalice sa ugljenom niti, a kamo li uspješno konkurirati sa Auerovim plinskim svijetlom. Trebalo je dakle mnogih pokusa i istraživanja, što su ih u dogovoru sa Nernstom izvodila dva velika elektrotehnička poduzeća, i to „Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft“ u Berlinu i Ganz et Comp. u Budimpešti, dok je ova mana sretno uklonjena i lampa god. 1901. općem prometu predana.

Današnja dakle Nernstova lampa ima štapić od magnezijeva oksida, kojemu je dodano još drugih različitih zemlja. Taj štapić ugrijava se automatski jednim ogrankom električne struje, koji prolazi u obliku metalne spirale oko njega, i to do crvenila, dakle od prilike na 600—800 C. U tom stadiju postaje štapić vodičem i sada tek glavna struja počima prolaziti kroz njega, te ga za kratko vrijeme užari do bjelila, dok se istodobno nuzgredni ogranak struje automatski prekine. Prema tomu Nernstova sijalica ne počima u isti tren svijetliti, kao sijalica s ugljenom niti, čim se naime struja sklopi, nego tek od prilike 15 do 20 sekunda iza toga.

Osim onoga tijela, koje daje svijetlo, i automata, mora Nernstova lampa imati još jedan važni sastavni dio, bez koga se ona uopće ne bi dala u praksi upotrebljavati. To je naime t. z. p r e d s k l o p n i o t p o r¹. Ovaj otpor ima svrhu, da zapriječi, da povodom raznih mogućih kolebanja napetosti struje prekomjerno ne padne ili ne naraste njezina jakost, a time u savezu, da se rasvjetljujući štapić ne ugasi, odnosno ne rastali. Taj pak otpor, koji ima da bude unutar stanovitih granica regulatorom za stalnost jakosti struje, sastoji



Sl. 4. Nernstova sijalica.

¹ Vorschaltwiderstand, reducteur.

od tanke željezne spirale, koja — da ne oksidira — dolazi u staklenu cjevčicu napunjenu vodikom.

Glavna je prednost Nernstovih sijalica nad sijalicama s ugljenom niti, što ona uz istu jakost svijetla troši samo polovinu struje, koja je potrebna kod običnih sijalica. Budući dakle sijalica s ugljenom niti od 16 svijeća troši od prilike 3·4 watta po 1 svijeći, to Nernstova lampa u istu svrhu treba samo 1·7 watta.

Nadalje treba istaknuti, da štapić od magnezijeva oksida ne gori u zrakorazrijeđenom prostoru, prema tomu ne treba kod ove lampe vakuum, kakav iziskuje obična sijalica.

Nernstova sijalica ima dakako i mana. Ponajprije kod nje treba čitav — ako i mali — mehanizam, da može sigurno funkcionirati. U tom je dakle pogledu sijalica s ugljenom niti mnogo jednostavnija, a prema tomu, što je važno, i jeftinija. To ipak kod Nernstove lampe ne dolazi mnogo u obzir za prosudjivanje njezina ekonomskoga djelovanja, jer ona sama po sebi — njezin naime mehanizam — može vrlo dugo trajati. Jedino je, što se kod nje žižak mora od vremena do vremena, i to od prilike iza 300 sati gorenja, novim izmijeniti, ali cijena žišku od prilike je ista, kao i čitavoj sijalici s ugljenom niti. Za vrijeme tih uporabivih gorivih sati umanju se jakost svijetla kod Nernstove lampe od prilike za 20%.

Nadalje je znatna mana Nernstove sijalice, da ona ne počinje u onom trenutku svijetliti, kad struju sklopimo. Momentano je svijetlo takodjer jedno od dobrih svojstava električne rasvjete, te je često puta u praksi upravo nužno. Toga radi išlo se u najnovije vrijeme za tim, da se ovaj nedostatak te sijalice ukloni. Konstruirane su naime t. zv. Nernstove ekspres sijalice, koje odmah daju svijetlo, čim se struja sklopi. Kod ove ekspres sijalice imamo neku kombinaciju sijalice s ugljenom niti s običnom Nernstovom lampom. Stvar je tako udešena, da ugljena nit momentano daje svijetlo, dok Nernstov štapić, koji ova ugljena nit ugrijava, daje tek onda, kad ga ona do potrebite temperature ugrije. Kad pak taj štapić počne svijetliti, onda se ugljena nit automatski isključuje iz strujina sklopa.

Uzevši u obzir dobra i loša svojstva te sijalice, mora se priznati, da je s njezinim izumom tehnika električne rasvjete znatno unapređivala, ali još ni izdaleka nije time električno svijetlo moglo s ekonomskoga gledišta uspješno konkurirati plinskomu. Sâm grad Berlin uveo je odmah iza otkrića Nernstove lampe preko 20.000 komada u

porabu, a i drugdje se ona počela postepeno uvadjeti; ali istisnuti obične sijalice nije ona bila kadra. Još god. 1906. kaže priznati elektrotehnički stručnjak Dr. L. Graetz, profesor na univerzitetu u Münchenu: „Za mnoge svrhe, za rasvjetu ulica, restauracija, dvorana i t. d. može biti Nernstovo svijetlo korisno, ali samo u zajednici s običnim sijalicama.”

Auerova sijalica.

Daleko veći uspjeh postigao je god. 1902. bečki kemičar Auer von Welsbach. On se već god. 1898. odlučio, da u električnu sijalicu mjesto ugljene niti metne nit od ozmijuma. To je kovina, kojoj je specifična težina 22.477, dakle je to najteže danas poznato tijelo. Kovina ozmijum dobiva se redukcijom ozmijeva tetroksida. Budući da je vodljivost ozmija znatno veća negoli ugljena, to treba za Auerovu lampu praviti mnogo dulje i tanje niti, da se uz ustanovljenu napetost postigne jednaka jakost svijetla, kao i kod sijalice s ugljenom niti. No kako i najtanje niti, koje se od ozmijuma danas uopće dadu načiniti, imaju još uvijek razmjerno maleni otpor, to bi trebalo duljinu tih niti pretjerano povećati, da se dobiju sijalice, koje bi uz običajne napetosti od 110, odnosno 220 volta svijetlile običajnim jakostima svijetla. Ali takova pretjerana duljina ozmijeve niti nezgodna je s više uzroka; toga radi se ozmijeve Auerove sijalice većinom grade za malenu napetost, i to obično za 16—44 volta. A kako većina električnih uređaja proizvodi struju od 110 volta napetosti, to se ne dadu ozmijeve lampe paralelno ukopčati u strujin sklop, nego ih valja stavljati u seriju od na pr. 3 komada, što je koji put dosta nezgodno. No zato se one dadu zgodno upotrijebiti kod onakvih izvora struje, kojima je napetost malena, na pr. gdje imamo na raspolaganje akumulatorsku bateriju od malo elemenata.

Auerova lampica troši 1/3 watta energije po 1 Hefnerovoj svijeći, a gori poprečno daleko preko 1000 sati posve ekonomično. Prema tomu vidimo, da je ozmijeva sijalica mnogo zgodnija od obične sijalice s ugljenom niti, a i od Nernstove lampe. Specifični joj je potrošak struje malen, mnogo sati gori ekonomički, konstrukcije je posve jednostavne bez ikakva mehanizma — nit joj žari u evakuiranu prostoru kao i kod obične sijalice — a osim toga ima prednost nad sijalicom s ugljenom niti, da ne crni mnogo iznutra staklo tečajem dulje upotrebe.

Uz gore navedeni nedostatak te lampe, da ju naime nije moguće graditi za one napetosti struje i za one jakosti svijetla, za koje se sijalica s ugljenom niti dade lako praviti, ima ona i drugih mana. Ona je naime osjetljiva za mehaničke udarce, jer joj je nit krhka i može gorjeti samo u okomitom položaju. Nadalje nije moguće kod te lampe njezinu spiralno savinutu nit u sijalici slobodno učvrstiti, jer se kod temperature, koju povodom struje poprimi, tako umekša, da se zavoji njezine spirale presavinu. Radi toga i zbog njezine osjetljivosti prema udarcima, kojima je svaka lampa osobito na transportu izvrgnuta, mora se nit u Auerovoj lampi učvrstiti posebnim držalima uz staklenu stijenu same sijalice.

Ova je lampa prvi reprezentant nove vrsti modernih električnih sijalica, koje danas zovemo skupnim imenom sijalice s metalnom ili kovnom niti. Tek izumom ove vrsti lampa pošlo je za rukom električnoj rasvjeti i opet osvojiti dominirajući položaj među svim poznatim umjetnim rasvjetnim sredstvima, koji joj je pogotovo Auerovo plinsko svijetlo bilo otelo. Osim Auerove sijalice s metalnom niti imamo još i drugih raznih boljih vrsti, od kojih ćemo najvažnije spomenuti.

Sijalica sa cirkonovom niti.

Cirkon je kovina dosta raširena. Ima ga osobito u jugoistočnoj Norveškoj, u Rusiji i na Ceylonu, a najnovija su mu nalazišta : Nova Zelandija, Teksas i sjeverna Karolina.

Iz ovoga posebnim načinom prepariranoga cirkona prave se niti za sijalice. Specifični potrošak struje kod sijalice sa cirkonovom niti iznosi 1—1.3 watta. Lampe te prave se danas za napetost od 1.5—2.20 volta, a mogu trajati 700—1.000 sati, dok im nit ne pukne.

Tantalova sijalica.

Nit ove sijalice sastoji od kemički čistoga tantala, kovine vrlo rijetke, koja je pred više od 100 godina otkrivena kao novi elemenat. Još prije kratkoga vremena bio je tantal poznat samo u nečistom stanju, i to kao sivo, krhko i vrlo tvrdo tijelo ; a nije ga bilo moguće odijeliti od njegovih primjesa. Tek god. 1903. pošlo je za rukom kemičaru tvrtke Siemens & Halske u Berlinu W. B o l t o n u, da ga dobije posve čista. Taj čisti tantal je sjajna, teška i vrlo rastezljiva i gipka kovina,

koja se daje mehaničkim načinom rastanjiti u vrlo tanki lim, odnosno nategnuti u najfinije niti. Specifična mu je težina između 16—17, boju ima kao platina, a tvrdoće je od prilike kao čelik. Ali najvažnije svojstvo tantala — obzirom na njegovu uporabivost za konstrukciju električnih sijalica — jest vrlo visoko njegovo talište. Tantal naime imade talište nad platinom, i to — prema najnovijim istraživanjima od v. Piranija i A. R. Mayera od god. 1912. — kod 2770°C .

Ta visoka tališna temperatura omogućuje, da se fina tantalova nit u zrakorazrijeđenom prostoru daje električnom strujom užariti do najsajnijega bjelila (19540°C), a da se ne prekine, odnosno istroši. Radi toga daje se s njime postići mnogo veći intenzitet svijetla, negoli kod ugljene niti, kojoj se temperatura može povisiti najviše do 1700°C , i to na sasvim kratko vrijeme, jer se kod te temperature ugljen pretvori u prašinu i radi toga sama nit naskoro pukne.

Na osnovu tih svojstava tražena je tantalova rudača, te je nadjena u znatnim količinama u Americi i Australiji, a ima je nešto i u Evropi. Najbolje takove rudače t. z. tantaliti nalaze se u Australiji. One sadrže 50—70% tantalove kiseline Ta_2O_5 ; dok američanske rudače t. zv. kolumbiti imaju te kiseline tek 10—40%.

Iz tantalovih rudača dobiva se najprije tantalova kiselina u obliku bijelog praška. Posebnim kemičkim procesom reducira se ta kiselina na metalni tantal. Taj crni praškasti tantal staljuje se u električnim pećima u oveće sjajne gromade, koje se dalje samo mehaničkim načinom obrađuju.

Od tantala prave se 0.05—0.035 milimetara debele niti, koje dolaze u sijalicu. Samo se mora pripomenuti, da je nit, koja dolazi u tantalovu lampu, mnogo dulja od ugljene niti u običnim sijalicama.

Pomislmo, da imademo 6.4 kilograma tantala u obliku žice, kojoj je debljina 0.027 milimetara, a upotrebljava se za pravljenje 10-svijećnih tantalovih lampa uz 110 volta napetosti. Ta bi žica tada bila duga 677 kilometara, a bila bi dovoljna, da se od nje načini 1,300.000 komada 10-svijećnih sijalica¹. Sve te lampe imale bi zajedno intenzitet svijetla od 13 milijuna svijeća !

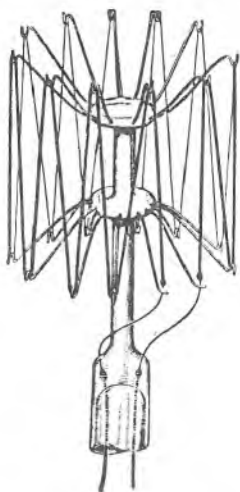


Sl. 5. Tantalova sijalica.

¹ Dakle je nit jedne 10-svijećne tantalove sijalice po prilici pol metra duga.

Budući da tantalove lampe trebaju 1.5 watta energije za 1 Hefnerovu svijeću, to bi potrošak struje za taj golemi broj svijeća iznosio od prilike 20.000 kilowatta ; za istodobno dakle njihovo gorenje trebalo bi oko 30.000 konjskih sila.

Kako tantalove lampe gore u ekonomski uporabivom stanju po-
prečno 1.000 sati, to bi, da se uzdrže sve gore navedene sijalice
u svijetljenju, trebalo 20 milijuna kilowatt sati energije. Za pro-
izvedbu pak te energije potrošilo bi se u modernom parno-dinamo-
električnom uređaju 40.000 tona ili 4.000 velikih željezničkih va-
gona punih ugljena.



Sl. 6. Neprekinuta tantalova
nit za sijalicu.

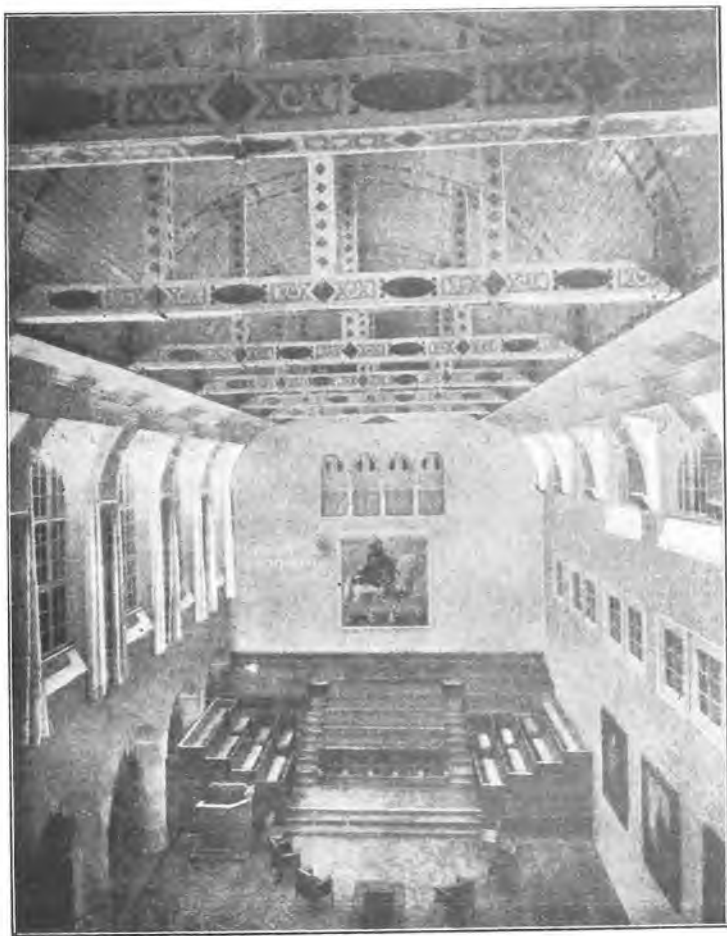


Sl. 7. Mjestimice prekinuta
tantalova nit.

Tantalove sijalice prave se danas sa 5, 10, 16, 25, 32 i 40 Hefnerovih svijeća jakosti, i to za napetost od 20—240 volta.

Kao što kod ovih električnih sijalica, tako je i kod tantalovih
nužno, da ih upotrebljavamo samo uz onu napetost, za koju su građene.
Imademo li dakle u nekom električnom uređaju struju od 110 volta
napetosti, to smijemo ovdje upotrebljavati samo sijalice, koje su kon-
struirane za 110 volta. Jedino kod ove napetosti imat će tantalova
lampa od tvornice naznačenu jakost svijetla, bit će joj normalni po-
trošak energije 1.5 watta po svijeći i trajat će prosječno 1.000 sati. Upo-
trijebimo li tantalovu sijalicu za rasvjetu kod manje napetosti struje,

negoli za koju je ona gradjena, to se intenzitet njezina svijetla za svaki procenat umanjenja napetosti umanjuje za 3—4% i potrošak watta za 1 svijeću biva veći, a lampa dulje može trajati. Poveća li se pak na-



Sl. 8. Sveučilišna aula u Jeni noću rasvijetljena tantalovim sijalicama.

petost struje u žicovodu električnoga uređaja, to se povećava i intenzitet njezina svijetla, i to za svaki pojedini procenat povećanja napetosti biva jakost svijetla za 4—5% veća ; dok potrošak watta biva za 1 Hefnerovu svijeću manji, ali zato i nit lampe prije pregori.

Prednosti, koje imade tantalova sijalica prema sijalici s ugljenom niti, jesu ove :

1. Ona troši daleko manje struje ; treba naime za 1 Hefnerovu svijeću po prilici 1.5 watta energije, dok sijalica s ugljenom niti treba oko 3.4 watta.

No treba dodati, da je cijena 1 tantalove sijalice n. pr. od 16 Hefnerovih svijeća sa 110 volta 2.40 kruna ; dok isto takova sijalica s ugljenom niti stoji samo 0.60 kruna. Uza sve to, što su sijalice s tantalovom niti 4 puta skuplje, ipak su s ekonomskoga gledišta daleko zgodnije. Evo tomu dokaza :

Pomislimo konzumenta električne struje, koji ima u svom stanu instaliranih 10 sijalica od 16 Hefnerovih svijeća. Nastaje pitanje, koliko iznose godišnji troškovi uzdržavanja električne rasvjete, ako plaća struju po 0.70 kruna za 1 kilowatt sat, a svijetli poprečno 2000 sati
a) uz lampe s ugljenom niti i b) uz tantalove lampe ?

a) Uz lampe s ugljenom niti potrošit će on struje :

$$\begin{aligned} 10 \times 16 \times 3.4 \times 2000 &= 1,088.000 \text{ watt sati} \\ &= 1.088 \text{ kilowatt sati} \end{aligned}$$

Ta struja stoji :

$$1.088 \times 0.70 = 761.60 \text{ kruna}$$

Pretpostavimo, da će konzument za to vrijeme morati tri puta izmijeniti svoje lampe novima ; to će trošak izmjene biti :

$$3 \times 0.60 \times 10 = 18 \text{ kruna}$$

Prema tomu će cjelokupni trošak te rasvjete sa sijalicama s ugljenom niti biti :

$$761.60 + 18 = 779.60 \text{ kruna}$$

b) Uz lampe s tantalovom niti potrošit će on struje :

$$\begin{aligned} 10 \times 16 \times 1.5 \times 2000 &= 480.000 \text{ watt sati} \\ &= 480 \text{ kilowatt sati} \end{aligned}$$

Ta struja stoji :

$$480 \times 0.70 = 336 \text{ kruna}$$

Budući da će konzument za to vrijeme morati samo dva puta izmijeniti svoje lampe novima, to će trošak izmjene biti :

$$2 \times 2.40 \times 10 = 48 \text{ kruna}$$

Prema tome će cjelokupni trošak te rasvjete s tantalovim sijalicama biti :

$$336 + 48 = 384 \text{ kruna.}$$

Odatle se vidi, da će konzument uz sijalice s ugljenom niti u jednoj godini za tu rasvjetu potrošiti :

$$779 \cdot 60 - 384 = 395 \cdot 60 \text{ kruna}$$

više, nego što bi potrošio, kad bi upotrebljavao lampe s tantalovom niti.

Već se na ovom jednostavnom primjeru razabire, da je za svakoga konzumenta električne struje veoma važno pitanje, koju će vrst lampu upotrebljavati u svojoj instalaciji.

2. Druga je prednost tantalovih lampi, što tantalove sijalice mnogo dulje traju, nego one druge. Lampe s ugljenom niti gore ekonomički samo 600 sati, dok tantalove lampe uz nevelike varijacije u napeposti struje gore ekonomski poprečno 1000 sati. Za to čitavo vrijeme umanju se prvobitna jakost svijetla tek nešto malo.

3. Tantaloze lampe gore jednako dobro u svakom mogućem položaju, dakle stojeći, viseći, vodoravno i koso ; a i promjena njihova položaja za vrijeme gorenja ne utječe štetno na lampu.

4. Boja svijetla tantalovih lampi gotovo je posve bijela, dok lampe s ugljenom niti — čim su malo starije — gore narančastim, pače i crvenim svijetlom. Žarenje pak topline kod njih je za više od polovice manje, negoli kod lampi s ugljenom niti.

Osim ovih prednosti prema lampama s ugljenom niti imaju one i stanovite prednosti prema ostalim vrstima sijalica s metalnom niti. Najvažnije bit će u tom pogledu, što su tantaloze lampe daleko više otporne protiv mehaničkih udara, trešnja i t. d., nego ostale lampe s metalnom niti. Toga radi tantaloze lampe veoma zgodno služe za rasvjetu tvornica, kazališta, parobroda, željeznica, tramvaja, uopće prostorija, u kojima su električne lampe izvrgnute trajnim ili periodičnim potresajima.

Konačno imaju te lampe dobro svojstvo, ako im nit najednom ili pače na više mjesta pregori, da one s time ne postaju kao druge lampe neupotrebljive, jer je redovno moguće jedan prekinuti kraj sa drugim čitavim u doticaj dovesti, nakon česa lampa i opet počinje svijetliti.

Wolframova sijalica.

Izum ove vrsti sijalica osobito je važan za razvitak moderne rasvjetne tehnike uopće, a napose električnoga svijetla, jer je s njome po mišljenju mnogih elektrotehničkih auktoriteta pronadjeno ono odavna traženo sredstvo, pomoću kojega će si električna rasvjeta

prokrčiti put i u najšire slojeve pučanstva, pa ćemo se s izumom tih lampi pobliže pozabaviti. A ovo je za nas to zanimljivije, jer ovdje glavnu zaslugu ima Hrvat, inženir kemije, Dr. Franjo Hanaman u Berlinu, moj nekadanji izvršni učenik na kr. vel. realci u Zemunu.

Položivši Hanamans odličnim uspjehom školske godine 1894/5. ispit zrelosti u Zemunu, ode u Beč, da se posveti kemičkom studiju na visokoj tamošnjoj tehničkoj školi. Iza ovdje svršenih nauka postade god. 1900. asistentom na kemičko-analitičkom zavodu profesora Vortmanna na bečkoj tehnici. Tu upozna Dr. Justa, koji je već dvije godine djelovao kao asistent na istom zavodu. Tijekom godine pripovijedao mu je Just, da je u slobodnim časovima zaposlen kod firme „Schneider und Cons.“, koja se bavila električnim izumima, te je poglavito svratila pažnju na unapredjenje električnih sijalica s ugljenom niti. Kako Justu nije pošlo za rukom, da postigne kakvi uspjeh, nagovori on Hanamana, da stupi u službu ove firme i da zajedno počnu raditi. Hanaman je vrlo rado pristao, jer ga je pitanje napretka električnih sijalica tako zanimalo, da je uopće ostavio kemički daljnji studij i počeo polaziti predavanja poznatoga elektrotehnika profesora Hoheneurga. Godine 1902. primi on dakle to mjesto i dodje na misao, da za usavršenje električnih sijalica mogu imati značenje jedino još oni kemički metalni elementi, kojima je tališna temperatura visoka. Saznavši on i Just za Auerove pokuse s ozmi-
jumom, potaklo ih je to još više na rad u tom pravcu. U ono doba bila su još nepoznata tališta od molibdena, wolframa, titana, urana, vana-
dina i torija. Ali od svih tih metala jedino je wolfram lako proizvodjati, i to redukcijom njegova oksida sa vodikom kod 700—800° C, pa su njih dvojica odmah pomislili na to, da će wolfram u tu svrhu biti naj-
zgodniji. Sad je trebalo ponajprije stvoriti nit od wolframa za sija-
licu, da se može njegovo talište i druga mu svojstva u vakuumu ispitati. U tu svrhu načinili su kemičkim putem iz klora i smjese WO_3 s uglje-
nom, lako isparivi spoj WOCl_4 . U parama toga spoja usijali su ugljene
tanke niti u prisutnosti vodika, uslijed čega se na toj ugljenoj niti kroz
redukciju i supstituciju stvorila nova nit iz wolframa. Te prve niti,
koje su sastojale iz više ili manje čistoga wolframa, dale su prve nove
lampe sa specifičnim potroškom struje od 4.5 watta. Brigu im je zada-
vala samo krhkost wolframovih niti i momentana nemogućnost fabri-
cirati lampu od 100 volta i 16 svijeća. Taj prvi proces patentirali su

mjeseca aprila god. 1903. Tomi zgodom počinili su ipak obzirom na vlastitu korist veliku nespretnost, jer su ne poznavajući patentske prilike zatražili samo patenat na metodu za pravljenje wolframa za električne sijalice, a ne za sâm materijal, dakle wolfram. Posljedice toga gorko su poslije osjetili.

Osim sada navedene metode pošlo im je za rukom praviti wolframove niti i na drugi jedan način, naime prešanjem wolframovih masa kroz hidraulička tiskala.

Ovim metodama bilo im je moguće načiniti čitav niz wolframovih sijalica sa dobrim svojstvima. Proučavajući ih došli su brzo do spoznaje, da te nove lampe vrlo lako mogu svijetliti više od 400 sati, a — što je najglavnije — uz specifički potrošak struje od 1 watta !

Interesenti tvrtke, u kojoj su zaposleni došli do ovoga znamenitoga pronalaska, nisu s njihovim radovima iz nepoznatih uzroka bili zadovoljni, pa su tako ostavili u proljeću god. 1904. njih obojica ovaj laboratorij. Sad nisu imali, gdje da rade, te su — kako mi je Hanaman saopćio — skupocjeno vrijeme potrošili utaman tražeći kapitaliste, koji bi se za stvar zauzeli i njihovo daljnje nastojanje poduprli. Ali nitko živ ne htjede u ono doba vjerovati, da je električna sijalica sa specifičnim potroškom od 1 watta moguća. Stara i poznata sudbina izumitelja ! Ta okolnost prinukala ih je, da su se molbom obratili na Hohenegga, profesora elektrotehnike na bečkoj tehnici, da njihovu novu lampu u njegovu laboratoriju fotometriraju i da im samo izda atest, da ona ekonomski povoljno gori 300 sati. On je njihovoj molbi udovoljio. Kad je njihova lampica neko vrijeme doista gorjela sa specifičnim potroškom od 1 watta, počeo se Hohenegg sâm za nju interesirati, a kroz njegovu intervenciju i poznata velika elektrotehnička firma Siemens i Halske u Berlinu. Mjeseca novembra god. 1904. došao je pače sâm ravnatelj ove tvrtke u Beč, da stvar vidi i da se s njima o budućem zajedničkom radu sporazumije. No kako je ova firma htjela izumitelje samo iscrpiti, prekinuli su oni svako daljnje pregovaranje s njome. U isto doba javi im „Vereinigte Glühlampen und Elektrizitäts Actien-Gesellschaft“ u Ujpešti kod Budimpešte, da je pripravna preuzeti fabrikaciju i izradbu te lampe uz vrlo povoljne uvjete, i tako su mjeseca veljače god. 1905. Hanaman i Just sklopili ugovor s tom firmom.

Došavši u Budimpeštu dali su se njih dvojica svim silama na posao, ali izgubljeno vrijeme i poziciju nisu više mogli nadoknaditi,

jer su kroz ovo vrijeme — dok oni nisu mogli raditi — za taj izum doznale njemačke firme, koje su ih svojom financijskom i tehničkom premoći brzo dostigle, a kasnije i prestige. Povodom toga nastala je pravna nužda, da se cijeli izum t. j. patenti skupe kao imetak posebnoga društva, koje se god. 1906. u Budimpešti pod imenom „Internacionalno društvo za wolframove lampe” konstituiralo. Od to doba pak do danas vodi sve poslove to društvo, kome je potpredsjednik do god. 1911. bio Hanaman.

To je evo kratka historija ovoga za elektrotehniku tako važnoga otkrića po pričanju samoga Hanamana. Iz nje slijedi, da su on i Dr. Just jedini izumitelji prve wolframove lampe, ali da ih je na njihovu, ako i s uspjesima okrunjenom putu, s materijalne strane konačno stiglo znatno razočaranje. Nestašica ovećih financijskih sredstava i slabo iskustvo o pravom načinu očuvanja njihove duševne svojine, doprinijelo je, da danas wolframovu sijalicu mnoga poduzeća produciraju, koja nemaju ama baš nikakvih zasluga za njezin prvobitni izum, a pravi izumitelji te lampe materijalno nisu onako nagrađeni, kako bi to njihov rad zavrijedio.

Dakle tehnički danas najsavršenija sijalica ima u evakuiranom staklenom prostoru nit od wolframa. To tijelo poznato je u metalurgiji i pod drugim imenima, napose tungstone i tungstène, dok se njegove rudače zovu wolframiti, tungsteini i t. d.

Nalazišta wolframa danas su na zemlji dosta mnogobrojna. Najviše ga ima u Australiji (Queensland, Nova Zelandija, Tasmanija itd.), zatim u sjevernoj Americi (Kolorado, Arizona, istočna Nevada i t. d.), napokon nešto na Grönlandu, u Japanu, Indiji, južnoj Braziliji, Argentini te kod nas u Evropi u Portugalu, Francuskoj, Njemačkoj, Češkoj i t. d.). Već god. 1905. proizvedeno je na čitavoj zemlji 5,778.000 kilograma wolframovih rudača !

*

Za pravljenje niti u električnim sijalicama ima danas već raznih metoda, od kojih ćemo glavne ukratko opisati :

Metoda supstitucije (Hanaman i Just). Kod ove metode stave se vrlo tanke ugljene niti pomoću električne struje u žarenje u atmosferi plinova, koja sastoji od W_2O_3 , Cl_2 i vodika. Usijana ugljena nit rastavlja pomoću vodika wolframov oksiklorid u kovinski wolfram, koji tada čitavu tu nit prevuče tankom korom. Daljnim procesom

izgori ugljen, a preostane samo cjevasta nit iz wolframa, koja onda može služiti kao nit u wolframovim lampama.

P a s t a - m e t o d a (Hanaman, Just i Auer). Kod ovoga načina miješa se fini prašak reduciranoga wolframa, dobiven iz njegove kiseline WO_3 , sa gumom, celoinodinom i t. d. u tijesto, koje se tada kroz dijamantne pipe najmanjega promjera od 0.02 milimetra preša u fine niti. Iz tih niti uklone se posebnim postupkom sve primjese, tako da na koncu ostane čista wolframova nit.

K o l o i d - m e t o d a (Dr. H. Kužel). Po toj metodi upotrebljava se za prešanje niti čisti wolfram u koloidalnom stanju. U tom je stanju wolfram kao tijesto, te se daje prešati u niti. Ove niti iz t. zv. koloid-wolframa suše se, a zatim žare s električnom strujom, dok poprime metalnu modifikaciju.

M e t o d a S i e m e n s i H a l s k e (v. Pirani). Kod ovoga načina prave se tanke niti iz smjese wolfram-nikalj. Ove niti žare se kao i kod predjašnjih metoda u vodik, da se istjera nikalj, a ostane čista nit od wolframa.

Pomoću svih sada navedenih i drugih sličnih metoda konstruirane su sijalice, u kojima svijetli wolframova nit. Te lampe dobile su različna imena, kao obična wolframova lampa (Hanaman i dr. Just)¹, sirius-lampa, monowatt-lampa, wotan-lampa, tungsram-lampa i t. d. Međutim je u najnovije doba pošlo za rukom društvu „General Electric Co” u Americi pronaći metodu, s kojom se dadu iz samoga wolframa vući žice. Ova metoda učinila je — čini se — konačni preokret u fabricaciji wolframovih sijalica. Amerikanci radili su preko 5 godina svim silama i vanrednim kapitalom oko toga problema i sretno ga riješili. Zanimljivo je čuti mišljenje Hanamanovo o tom najnovijem pronalasku. On mi piše: „Kad sam god. 1910. bio u Americi, pokazali su mi tamo njihove rezultate i od toga dana bila je naša sudbina zapečaćena. Wolframova žica bila je ideal za fabricaciju i sve ostale metode moraju u Had, jer sa žicom, koja je jevtina i elastična, ne može nijedna metoda konkurirati.” Za Evropu ima pravo izradjivanja tih lampi sa wolframovom žicom konzorcij „Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft”, „Siemens i Halske” i „Deutsche Gasglühlicht Aktiengesellschaft (Auergesellschaft)” u Berlinu, koje već od mjeseca novembra god. 1911. ove lampe s velikim uspjehom fabriciraju.

¹ Ove sijalice dolaze u trgovinu pod imenom „Dr. Just Wolframlampe”, što je nepravedno, jer je posve izostavljeno ime H a n a m a n o v o.

Otkrićem sijalica sa wolframovom žicom nestalo je važnoga nedostatka, koji su inače imale sijalice sa wolframovom niti. Te naime niti bile se radi procesa njihove fabrikacije nešto krhke, pa su se lako prekidale već na transportu iz tvornice do mjesta upotrebe; na mjestima, gdje su bile definitivno montirane, bile su osjetljive, ako se nepoprežno s njima postupalo; napokon, kad su bile izvrgnute trajnim ili čestim potresajima n. pr. u tvornicama, na željeznicama, tramvajima i t. d. Taj nedostatak sijalica sa wolframovom niti postoji pogotovo onda, kad su one u običnom stanju, dakle kad kroz njih ne prolazi struja. Kad lampe svijetle, postaje wolframova nit uslijed djelovanja struje žilava i čvršća, te podnosi mnogo laglje i znatne trešnje.



Sl. 9. Osramova lampa za vanjsku rasvjetu.

Toga radi se preporuča, da kod čišćenja ne uzimamo ove lampe iz utikača napolje, nego da prašinu i prljavost sa njih — koliko je god samo moguće — uklonimo, dok one svijetle, dakle dok kroz njih struja ide. Kod sijalica sa wolframovom žicom ove mane nema. Razumije se, da i kod njih treba paziti na manipulaciju, osobito kod sijalica do 10 i 16 Hefnerovih svijeća, kod kojih je žica vanredno tanka.

Wolframove sijalice prave se danas za napetost struje od 12.—260 volta, a sa jakošću svijetla od 1—1.000 Hefnerovih svijeća. Sijalice sa 1—5 svijeća upotrebljavaju se za malu rasvjetu, osobito kod prenosljivih lampi; sijalice od 10—50 Hefnerovih svijeća služe za običnu rasvjetu u stanovima, ulicama, trgovima radionicama i t. d.; dok se sijalice od 100—1.000 Hefnerovih svijeća upotrebljavaju na velikim trgovima, za reklamnu rasvjetu dućanskih izloga, portala i t. d.

Wolframove sijalice imaju potpuno bijelo i čisto svijetlo. Jakost njihova svijetla gotovo se ništa ne umanjuje za čitavo vrijeme njihova trajanja, koje iznosi najmanje 1.000 sati, a mnoge od njih i daleko više sati potpuno dobro svijetle. Kako im je pak specifični potrošak struje tek 1 watt, to se s njima, prema sijalicama s ugljenom niti, prištedi silna množina struje, naime od prilike 70%. Ove su jednako zgodne za struju istoga smjera, kao i za izmjeničnu. Radi svega toga imaju wolframove sijalice golemo područje, na kom su se djelomice već udomile, a djelomice će ga zauzeti, kad posve istisnu sijalicu s ugljenom

нити. Ali to ne ide odmah ; sijalice s ugljenom niti danas su još uvijek dosta u običaju. Tako se n. pr. u samoj Njemačkoj još god. 1910. prodalo 30 milijuna sijalica s ugljenom niti ! Kako pak već ima nekoliko godina, otkad su izumljene sijalice s metalnom niti, moglo bise pitati, kako da uopće već nije sasvim nestalo iz upotrebe sijalica s ugljenom niti, kad su one znatno lošije od prvih ?

Ima tomu više razloga. U prvom redu konzervativizam, koji — kao svuda, tako i ovdje — priječi promjenu iz staroga na novo. Već potreba novih investicija, koje nastaju izmjenom starih uređaba, odvraća mnoge od novotarija, pa ma ove bile i najbolje. Često su pak bržem napredovanju krivi postojeći ugovori konzumentata sa producentima ; nedostaci novih pronalazaka, koji su u početku redovito neizbježivi ; veća nabavna cijena ; posebne lokalne okolnosti i t. d. Tako je i sa uvedbom sijalica s metalnom niti, a napose sa wolframovim lampama. Njihova upotreba prilično brzo napreduje, a sigurno je, da će za koju godinu, kad cijena tim sijalicama padne, — jer danas su još uvijek dosta skupe — one iz rasvjetne tehnike barem sijalice s ugljenom niti posve istisnuti.



Sl. 10. Osramova lampa za unutarnju rasvjetu.

Intenzivne sijalice.

Sijalice s ugljenom niti prave se i danas još obično samo s intenzitetom svijetla od 5, 10, 16, 25, 32 i 50 Hefnerovih svijeća. To su naime normalni tipovi tih lampi, koji se u praksi najviše upotrebljavaju. Za veću jakost svijetla, negoli je ona, što ju daje lampa od 50 Hefnerovih svijeća, nezgodno je graditi sijalice s ugljenom niti, jer im je ekonomija vrlo nepovoljna. Tako je već n. pr. za jakost svijetla

od 200 Hefnerovih svijeća mnogo zgodnije upotrijebiti plamenu lampu, negoli sijalicu s ugljenom niti. Zato su se do nedavna za veće jakosti svijetla redovito upotrebljavale samo plamene lampe. Danas je posve drugačije. Izumom sijalica s metalnom niti, osobito pak wolframovih, omogućeno je praviti vrlo zgodno upotrebljive i dosta ekonomične lampe t. z. i n t e n z i v n e s i j a l i c e sa jakošću svijetla od 100 do 1000 Hefnerovih svijeća. Te intenzivne sijalice mogu u sada spomenutim fotometričnim granicama obične plamene lampe nesamo sasvim dobro zamijeniti, nego će ih — kako se čini — u tom području s vremenom i istisnuti. Plamene naime lampe imaju, kako ćemo poslije još bolje razabrati, dosta znatnih nedostataka. Po-



Sl. 11. Luka Gothenburg, rasvijetljena osramovim intenzivnim sijalicama.

najprije su one same, a i sav k njima potrebiti pribor, dosta skupe, tako da je već njihova nabava skopčana sa znatnim troškovima. Nadalje je uzdržavanje tih lampa radi neprestane izmjene ugljenih štapića nezgodno, a i skupo prilično. Mehanizam pak plamene lampe dosta je osjetljiv, pa se lako kvari te daje pogotovo uz nevaljani ugljen nemirno svijetlo, koje je još danas za pretežnu većinu plamenih lampa karakteristično. Svega toga nema n. p. kod osramovih intenzivnih sijalica, koje od zadnje dvije tri godine s velikim uspjehom proizvodi „Deutsche Gasglühlicht Aktiengesellschaft (Auergesellschaft)” u Berlinu. Te su intenzivne sijalice ponajprije mnogo jeftinije od plamenih lampa. Kod njih ne treba nikakve podvorbe za čitavo vrijeme njihova djelovanja, dakle one mogu preko 1000 sati gorjeti, a da ih se i ne

dirne, osim da se od vremena do vremena, ako je potrebno, očiste n. p. od prašine. To je svakako velika prednost prema plamenim lampama, kojima valja ugljen često mijenjati, treba ih čistiti, češće regulirati na propisanu napetost struje i t. d. Nadalje je i ekonomija tih intenzivnih sijalica takodjer povoljna, osobito pošto le u najnovije doba pošlo za rukom njihov specifični potrošak na struji sniziti pače na 0.8 watta za jednu Hefnerovu svijeću, tako da one i u tom pogledu mogu u gore navedenim granicama jakosti svijetla posve uspješno konkurirati sa plamenim lampama, koje imaju obične ugljene štapiće. Intenzivne sijalice ne zahtijevaju nikakvu specijalnu instalaciju kao plamene lampe. One se naime, kao i sijalice sa normalnim intenzitetom svijetla, jednostavno metnu u obični utikač¹ za struju i ostaju tamo nepromijenjene i netaknute do konca njihova trajanja. Osim toga gori svaka lampa za sebe, dakle ih ne treba ni u seriju skapčati ni sa posebnim otporom opskrbiti, kako je to nužno kod plamenih lampi. Budući da intenzivne sijalice gore sa potpuno mirnim i jednolikim svijetlom, a grade se danas sa jakošću od 200, 400, 600 i 1000 Hefnerovih svijeća, to je pomoću njih moguće svijetlo veoma zgodno prema potrebi porazdijeliti. Prema tomu nije više potrebno — kao što je to kod upotrebe plamenih lampi neizbježno — neka mjesta previše, a druga premalo rasvijetliti.

Poradi svega toga intenzivne su lampe zgodne za rasvjetu dućanskih lokala i izloga, dvorana, hotela, terasa, kolodvora, pogotovo za javnu rasvjetu ulica i trgova, a jednako se dadu dobro upotrijebiti za indirektnu rasvjetu u školama, risaonicama, biroima i t. d.

Prema tomu se već danas na mnogim mjestima plamene lampe zamjenjuju sa intenzivnim sijalicama.

Osramove intenzivne sijalice upotrebljavaju se za sve vrsti struja, dakle za struju istoga smjera, izmjeničnu i zakretnu, i to od 100 do 260 volta napetosti.

Prema tomu vidimo, da je i sa intenzivnim sijalicama u rasvjetnoj tehnici postignut znatan napredak.

Sijalice s malom jakošću svijetla.

Naprijed smo istaknuli, da se danas wolframove sijalice prave za malu rasvjetu s intenzitetom od 1—5 Hefnerovih svijeća, te se jed-

¹ Fassung (der Glühlampe), la douille.

nostavnim priključkom na žicovod nekoga električnoga uređaja do-
vode do rasvjete. Često je pak u životu poželjno, da čovjek ponese
sa sobom električnu sijalicu n. p. u džepu, na biciklu, na kolima i t. d.



Sl. 12. Džepna električna lampa sa
suhom baterijom.

U tom slučaju ne može se dakako
upotrijebiti struja običnoga n. p. grad-
skoga električnoga uređaja, jer se ne
da namjestiti žicovod, kojim bi struja
dolazila k sijalicama. Prema tomu mo-
ramo uzeti drugi izvor za električnu
energiju, a to su redovno ili t. z. suhi
galvanski elementi ili pak akumulatori.
Ovakav dakle prenosljivi maleni elek-
trični uređaj ima u posebnoj ukusno
izvedenoj kutiji malu bateriju, kratki
žicovod i električnu sijalicu montiranu
obično u blizini žarišta kakova lime-
noga konkavnoga zrcala. Služe li nam
kao izvor struje suhi elementi, to ih
možemo tako dugo upotrebljavati, dok
napetost njihove struje ne spadne ispod
propisanoga minima ; a tad ih mo-

ramo baciti, jer nisu za daljnju upotrebu, te moramo nabaviti novu
bateriju. Imademo li pak akumulatoru u tom malom uređaju, to ih,



Sl. 13. Ručna električna
lampa sa suhom baterijom.

nakon što su izbiti, možemo i dalje upotrije-
biti, samo ako bateriju ponovo nabijemo elek-
tricitetom. Dakle, kao što vidimo, upotreba
akumulatora u nekom je pogledu zgodnija za
ove prenosljive male električne uređaje, jer
nam akumulatori dugo vremena služe. Jedino je
nezgodno, da su prenosljive lampe s akumulato-
rima dosta teške, a i nabijanje akumulatora
zadaje prilično brige. Kod upotrebe suhih ele-
menata tih neugodnosti nema, ali zato je češća
nabava novih baterija skopčana sa stalnim, i
ako ne osobito velikim troškovima.

Kako baterija — bilo od suhih elemenata ili akumulatora — ne
smije biti velika, jer bi inače bila nespretna za džep, to se kod prenos-
ljivih električnih lampi upotrebljava tek nekoliko elemenata, odnosno

akumulatora. Povodom toga je i napetost struje ovakve baterije neznatna, te obično iznosi najviše do 12 volta. Kako i ovdje upotrebljavaju danas samo wolframove sijalice, to one svijetle jakošću od 1 do najviše 5 Hefnerovih svijeća; tako su naime građene. Sijalica, koja ima 3 suha elementa, daje struju od 4.5 volta, a ako n. pr. treba 0.25 ampera, to tad troši 1.1 watta; prema tomu je jakost svijetla ove sijalice od prilike 1 Hefnerova svijeća, a to je često za momentanu rasvjetu posve dovoljno.

Praktična upotreba električnih prenosljivih lampi danas je dosta velika, i to ponajviše radi poznatih prednosti, koje uopće ima električna rasvjeta. Ovakovu sijalicu može radi maloga opsega svatko nositi uza se u džepu, u igli ovratnika i t. d. Noću te prenosljive lampe u stanovima, gdje nije instalirana električna rasvjeta s jakom strujom, dobro služe za časovitu rasvjetu; ovakvu lampu može dobro upotrijebiti fotograf za pravljenje snimaka, razvijanje slika i t. d. Osobito su pak zgodne za organe javne sigurnosti, za vatrogasce, rudare, u kemičkim tvornicama i laboratorijima, u ljekarnama i drogerijama, u različnim tvornicama i skladištima lako upaljivoga ili eksplozivnoga materijala, uopće svuda, gdje obična električna rasvjeta iz koga mu drago uzroka nije uvedena.

Danas već imademo veliko mnoštvo poduzeća, što se bave proizvodnjom predmeta, koji spadaju u ovu granu elektroindustrije. U našoj monarhiji tvrtka „Franz Winklmayer, Wien, XI/1, Simmeringer Haudtstrasse 113.” sa svojim t. zv. „Juno” baterijama proizvodi solidne i u cijenama primjerene ovakve prenosljive lampe, od kojih neke predložimo na slikama.



Sl. 14. Ručna električna lampa sa akumulatorima.



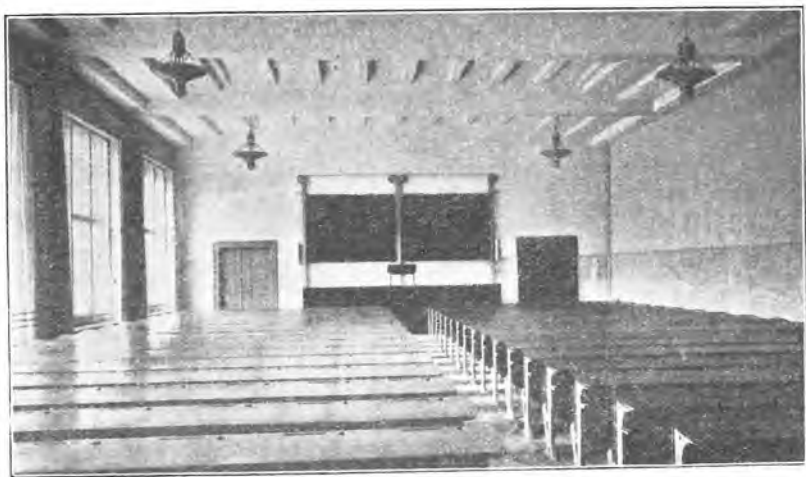
Sl. 15. Ručna električna lampa sa akumulatorima za rudare.

Sijalice cjekavsta oblika.

Danas običajne sijalice imaju pretežnom većinom kruškasti ili kruglasti oblik. Svijetlo njihovo upotrebljava se za rasvjetu onoga, što želimo s njime rasvijetliti, neposredno. No radi toga neposrednoga

djelovanja teško je — osobito kod većih prostorija, kao što su risaonice, predavaonice, radionice — postići jednoliku rasvjetu. Zato se nastoji u novije vrijeme, da se ovakve prostorije posredno rasvijetle, tako da se n. p. njihov strop obojadiše bijelom bojom, pa se pomoću intenzivnih sijalica ili plamenih lampi baca svjetlo najprije na strop, a odavle se difuzno reflektira na samu dvoranu. Tada ovo reflektirano svjetlo rasvjetljuje takvu prostoriju jednolikim oku blagim svjetlom.

Ovaj način rasvjete nije svuda zgodan, jer iziskuje osim samih svjetiljaka još druge kojekakve uredbe, koje nisu estetične u prostorijama, koje želimo rasvijetliti.



Sl. 16. Sveučilišna predavaonica u Münchenu rasvijetljena indirektno plamenim lampama.

Da se tomu doskoči, konstruirala je tvrtka Schwabe et Comp. u Berlinu nov oblik sijalica, i to cjevasti. U takvoj ravnoj cjevkastoj sijalici razapeta je ugljena nit u pravac, dok je kod običnih sijalica spiralno savijena. Poradi toga se svjetlo ovakve sijalice razdjeli na najveću površinu. Uz dovoljnu napetost struje daje se povoljan broj cjevkastih sijalica spojiti u seriju, tako da se dobiva čitav lanac. A da se svjetlo toga lanca još bolje iskoristi, opkoljen je on staklenim cijevima, koje su polovicom providjene tankim srebrenim slojem, koji služi kao zrcalo. Tim se baca svjetlo samo na jednu stranu.

Krajevi ovih cjevkastih sijalica providjeni su metalnim prstenima, koji omogućuju spoj sa dovodnim žicama za struju, i to tako, da jedna dovodna žica dolazi na jedan kraj lampe, a druga na drugi kraj. Budući da je tako svaki kraj ove duge sijalice spojen s jednim polom struje, to je kod ove vrsti lampi t. zv. kratki spoj kod same lampe nemoguć, a to je obzirom na prometnu sigurnost od velike koristi.

Cjevkastom sijalicom možemo vrlo zgodno rasvijetljiti galerije slika, pozornice u kazalištima, dućanske izloge, a u kućanstvu pisali stol, note, tipkalo glasovira i t. d.



Sl. 17. Učenički fizikalni laboratorij rasvijetljen indirektno plamenim lampama direktno sijalicama.

Koja vrst sijalica je za konzumenta električne struje naj-zgodnija ?

U predjašnjem razmatranju upoznali smo različne vrste električnih sijalica. Pa kako je broj te vrsti lampi dosta velik, a svaka od njih ima svoja dobra i loša svojstva, to je često laiku teško prosuditi, koju vrst sijalica da upotrijebi. Moramo istaknuti, da upravo o izboru vrste sijalica ovisi, da li će rasvjeta biti jeftina ili skupa. U neupućenim krugovima drži se, da je za ekonomiju nekoga uređaja najvažnije pitanje, kako su veliki troškovi proizvodnje električne struje, ako si konzument svojim vlastitim strojevima električnu energiju proizvodi, ili kako je

visoka cijena struji, ako je konzument kupuje n. pr. od kojega gradskoga električnoga uredjaja. A kako se struja u rasvjetne svrhe izrabljuje, na to se redovito ništa ili vrlo malo pazi. To je shvaćanje posve krivo. Za jevtino dobivanje električne rasvjete jednako je važna cijena struje, kao i racionalno njezino iskorišćivanje. Neka n. pr. kućna rasvjetna instalacija može biti vrlo neekonomična, ma da je cijena struje i primjerena, ako konzument upotrebljava električne sijalice, koje njegovim okolnostima ne odgovaraju.

Želimo li saznati, koja je vrst električnih sijalica u pojedinom slučaju najzgodnija, to moramo za ovo k tomu potrebito proračunavanje uzeti u obzir cijenu same lampe, broj sati korisnoga njezina trajanja, specifički potrošak struje, cijenu i napetost struje i t. d. Ali osim toga ima i drugih okolnosti, koje su iznimne, a ipak važne u toj stvari. Tako se n. pr. samo sobom razumijeva, da treba uzeti u obzir i specijalne lokalne okolnosti, da li su n. pr. sijalice u instalaciji izvrgnute uništenju ili grubom oštećenju ; da li je napetost struje stalna ili je izvrgnuta znatnom kolebanju i t. d. Postoje li navedene okolnosti, to je — obzirom na čestu potrebu nabave novih lampa — najbolje, da se uzimaju jevtine i po mogućnosti što manje osjetljive lampe. Isto je tako kod prosudjivanja ovoga pitanja važno, da li se n. pr. u kućnoj instalaciji lampe doista živahno upotrebljavaju ili one više ili manje služe kao dekoracija na lusterima i inim rasvjetnim tjelesima. U takvim slučajevima bilo bi beskorisno, da se namještaju skupe sijalice s metalnom niti ; ovdje je mnogo zgodnije, da se uzmu lampe s ugljenom niti.

Iz svega toga vidimo, da odgovor na gornje pitanje nije tako jednostavan, već da za svaki slučaj treba posebno proučavanje. Ali uz obične okolnosti, pretpostavivši naime običnu vrsti dotične lampe odgovarajuću izmjenu, stalnu napetost struje, redovito upotrebljavanje lampa u rasvjetne svrhe i t. d., dade se ta stvar lakše riješiti. Tu treba uzeti u obzir samo gore navedene redovite faktore. Ali i ovi imaju vrlo raznolike vrijednosti, pa za ovo pitanje i u tom slučaju ima raznolikih rješenja. Prema tomu moramo se i mi ograničiti samo na neke posebne slučajeve, koje ćemo sada navesti.

1. P r i m j e r. Neki javni gradski električni uredjaj podaje konzumentima struju od 110 volta uz cijenu od 60 filira za 1 kilowatt sat. U stanu konzumenta nalaze se lampe od 5, 10, 16, 25, 32 i 50 Hefnerovih svijeća. Nastaje pitanje, koju vrst lampa treba u pojedinom slučaju upotrijebiti, da troškovi uzdržavanja rasvjete budu najmanji ?

Na osnovu posebnih podataka dolazi se do slijedećega odgovora :

Za sijalice od 5 Hefnerovih svijeća najzgodnija je ovdje lampa s ugljenom niti, za sijalice od 10 Hefnerovih svijeća tantalova lampa, a za sijalice od 16, 25, 32 i 50 Hefnerovih svijeća wolframova lampa.

2. P r i m j e r. Kako bi bilo u slučaju, kad bi konzument dobivao struju od 220 volta napetosti, ali i opet uz cijenu od 60 filira za 1 kilowatt sat ?

Sada bi od sijalica od 5 i 10 Hefnerovih svijeća bile najzgodnije lampe s ugljenom niti. No mjesto 10-svijećnih sijalica s ugljenom niti, mogle bi se zgodno upotrijebiti i wolframove sijalice od 25 Hefnerovih svijeća, jer ove prouzrokuju iste troškove. Kod 16-svijećnih sijalica najzgodnije su tantalove. Kod sijalica od 25, 32 i 50 Hefnerovih svijeća najjeftinije su wolframove lampe.

Na osnovu ova dva primjera pokazat ćemo, kolike se prištednje dadu već u malenim kućanstvima postići, ako se rasvjetle zgodnim električnim lampama.

Pomislimo jednu kućnu instalaciju od 4 lampe, koje sve poprečno godišnje 5000 sati svijetle; dakle svaka od njih gori dnevno poprijeko 3.5 sata. Neka bude cijena struje 60 filira po 1 kilowatt satu, napetost njezina 110 volta, a jakost svijetla 16 Hefnerovih svijeća.

Na osnovu istih podataka, koji su upotrijebljeni za rješenje spomenutih primjera, slijedi, ako u ovom slučaju upotrijebimo mjesto sijalica s ugljenom niti wolframove sijalice, to bi iznosila apsolutna prištednja u troškovima uzdržavanja u 1 satu gorenja 1.8 filira, a u jednoj godini 90 kruna. Cjelokupni pak godišnji potrošak struje uz sijalice sa ugljenom niti bio bi :

$$\begin{aligned} 5000 \times 16 \times 3.4 &= 272.000 \text{ watt-sati.} \\ &= 272 \text{ kilowatt-sata.} \end{aligned}$$

Budući da je cijena struje 60 filira sa 1 kilowatt-sat, to bi ta struja godišnje stajala 163.2 kruna. Prema tomu, kad se umjesto sijalica s ugljenom niti upotrijebe wolframove sijalice, nastaje prištednja od 55% !

Odavle se daje lako zaključiti, kako se tek znatne svote mogu prištediti u većim uredjajima. Kad bi n. p. u nekom uredjaju sve lampe imale godišnje 1.000.000 sati gorenja, tad bi prištednja, koja bi nastala, kad bi se ovdje mjesto sijalica s ugljenom niti upotrijebile tantalove sijalice, iznosila 13.000 kruna, a kod wolframovih lampi 18.000 kruna !

Kod prištednja, što u električnim uredjajima nastaju od zgodna izbora vrsti sijalica, karakteristično je, da ove potpuno sigurno na-

staju i ne ovise o nikakvim osobitim pažnjama ili opreznostima, kao što to biva kod prištednja.

Iz svega ovoga slijedi, da se na pitanje, koja je vrst električnih sijalica za konzumenta električne struje najzgodnija, ne da općeno odgovoriti. Vidjeli smo, da točni odgovor na to pitanje ovisi o različnim okolnostima. No u glavnome se dade ipak reći, u koliko gore navedena dva primjera ne bi za praksu bila dovoljna, da je danas u većini slučajeva zgodno, ako za lampe od 5 Hefnerovih svijeća upotrebljavamo sijalice s ugljenom niti, za lampe od 10 Hefnerovih svijeća tantalove sijalice, a za lampe od 16, 25, 32 i 50 Hefnerovih svijeća wolframove sijalice. Držimo li se toga, to ćemo redovno mnogo prištedjeti. Dakako, da kod nabave električnih lampi treba nastojati, da izabrana vrst sijalica bude i dobar fabrikat. Kraj današnje velike, a često i prljave utakmice na polju fabrikacije električnih sijalica prodavaju se mnogo i vrlo loše vrsti. S ovakvim dakako lampama ne dadu se postići povoljni ekonomski rezultati.

Koliko je električnih sijalica u nekoj prostoriji potrebno za valjanu rasvjetu ?

U pitanju valjane rasvjete pojedinih prostorija dolazi nestručnjak često u nepriliku kod uvođenja električne rasvjete. On obično broj lampi i intenzitet njihova svijetla određuje onako od prilike ili se pak posve pouzdava u instalaciono poduzeće, koje štiti samo svoj vlastiti interes. Da i u tom pogledu podamo savjet našim čitateljima, navest ćemo slijedeću skrižaljku :

Naziv prostorije	Za valjanu rasvjetu potreban broj Hefnerovih svijeća po 1 m² površine poda.
1. Kuće za stanovanje:	
Spavaća soba	1.5—3
Kuhinja	2—3
Soba za stanovanje i blagovaonica	3—6
Dvorane, saloni i prostorije, u kojima se želi obilna rasvjeta	6—8
2. Trgovine i upravne zgrade:	
Skladište	2—3
Jednostavni trgovački bureau-i	4—6
Pisarne, dvorane za sjednice i t. d.	5—10

Naziv prostorije	Za valjanu rasvjetu potreban broj Hefnerovih svijeća po 1 m² površine poda.	
Risaonice	10—14	
Prostorije za prodavanje	7—12	
Prostorije za prodavanje s obilnom rasvjetom	14—20	
3. T v o r n i c e :		
Jednostavne radionice	3—6	
Radionice za finiji posao	6—8	
Radionice za preciznu mehaniku i tiskare	8—12	
Osobite radnje kao n. pr. litografija, graveurstvo, slaganje slova u tiskari i t. d.	12—15	
4. H o t e l i i r e s t a u r a c i j e :		
Kuhinje i bureau-i	3—6	
Jednostavne sobe za goste	2—4	
Elegantne sobe za goste	4—6	
Prostorije za restauraciju	6—12	
Dvorane za svečanosti, koncerte i t. d.	10—14	
Dvorane za svečanosti obilno rasvijetljene	14—18	
5. Š k o l e :		
Gomboaonice	4—6	
Školske predavaonice	5—10	
Risaonice	12—18	
6. B o l n i c e :		
Spavaonice	1.5—3	
Blagovaonice i boravišta	3—5	
Praonice rublja	2—3	
Kuhinje	3—4	
Dvorane za operaciju	14—18	
7. Z a z g r a d e s v i h v r s t i :		
Podrumi	0.5—1.5	
Hodnici i nuzgredne prostorije	1—2.5	
Nuzgredna stubišta	16—25	} za svaki kat
Glavna stubišta	25—75	
Stubišta za reprezentaciju	75—200	

Na osnovu ove skrižaljke lako nam je odrediti broj električnih sijalica i jakost njihova svijetla, koje je potrebno za valjanu rasvjetu neke prostorije. Da to razjasnimo, navest ćemo slijedeći primjer :

Neka koncertna dvorana duga je 24 metra, a široka 12 metara ; pita se, sa koliko i koje vrsti svijetla sijalica ćemo je najzgodnije rasvijetliti ? Njezina je površina 288 m^2 , to prema gornjoj tabeli treba najmanje

$$288 \times 10 = 2.880$$

Hefnerovih svijeća za njezinu valjanu rasvjetu. Uzmemo li u tu svrhu sijalice od 16 Hefnerovih svijeća, to ćemo ih slučaju trebati svega

$$2880 : 16 = 180$$

komada. Želimo li elegantniju rasvjetu, to bi prema gornjoj skrižaljci trebali

$$288 \times 14 = 4.032$$

Hefnerove svijeće

$$4032 : 16 = 252$$

sijalice po 16 Hefnerovih svijeća.

Samo je sobom jasno, da valjana rasvjeta koncertne dvorane ne ovisi samo o navedenom broju sijalica i njihovoj jakosti svijetla, već i o zgodnom njihovu namještenju, a to će ovisiti o nutarnjem arhitektonskom uređenju dvorane. Tako će se n. p. sa dva na stropu viseća luster a i velikoga broja zidnih lampa postići daleko bolji efekt svijetla, negoli da se dvorana rasvijetli, recimo, jednim jedinim lusterom, na kom bi sve te sijalice bile montirane.

2. Električne plamene lampe.

Već je sâm D a v y primijetio, da krasni i sjajni luk njegova svijetla nije trajan, ako nastaje u zraku između krajeva metalnih žica, s kojima običajemo međusobno polove galvanskih baterija spajati, i to zato, jer se te žice zbog visoke temperature plamena brzo istroše. Radi toga on je stvar tako izmijenio, da je na krajeve žica pričvrstio po jedan komad drvenoga ugljena ; ali i taj se ugljen brzo istrošio, što je za praksu vrlo nezgodno bilo. Tu manu potpuno je god. 1842. uklonio F o u c a u l t, zamijenivši ugljen od drva t. z. retortnim ugljenom, koji se dobiva prigodom proizvodbe rasvjetnoga plina. Kako se taj ugljen u Davyevu plamenu uza sve to — ako i sada polaganije — neprestano troši, to je još trebalo pronaći spravu, koja će

medjusobnu udaljenost obaju ovih ugljena prema potrebi regulirati. I tu zadaću riješio je donekle F o u c a u l t, konstruiravši ručni regulator, no mnogo mu je savršeniji bio električni regulator od god. 1858., kod kojega je ista struja, koja je proizvodila Davyev plamen, gibala i na električnom principu osnovani mehanizam regulatora. Foucaultov regulator prilično je dobro odgovarao zahtjevima, samo je imao manu, da je bio odviše kompliciran, pa se njegov mehanizam lako poremetio. Ali u tom pogledu još ni danas nije bolje, pa i ako su za ovo vrijeme upotrijebljena sva moguća svojstva električne struje za konstrukciju što jednostavnijega regulatora, ipak ni sada — gdje regulatori za plamene lampe obično pouzdano funkcioniraju — nemamo jednostavnoga regulatora.

Kako je u početku razvitka plamenih lampi struju, potrebitu za stvaranje Davyeva plamena, davala galvanska baterija, koja je u tu svrhu vrlo skupocjena i skroz nespretna, to je za daljnji razvitak električnoga svijetla sa plamenim lampama bilo bezuvjetno nužno naći sredstva, koja električnu struju jeftinije, sigurnije i zgodnije proizvode. Tek izumom dinamo-električnih strojeva, u kojima se mehanička energija pretvara u električnu, taj je cilj postignut. Pošto je nestalo i te zapreke daljnjem širenju električnoga svijetla, to je ono počelo i svestrano napredovati.

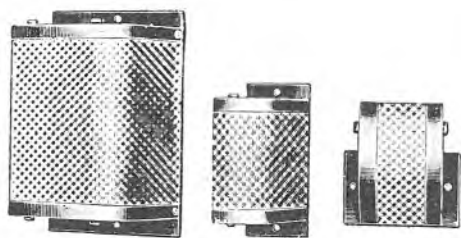
Što se tehnike plamene lampe tiče, pripomenuti nam je slijedeće : Iskustvo nam pokazuje, da kod struja istoga smjera treba napetost od po prilici 40 volta, a kod izmjeničnih struja napetost od 28 volta, da nastane Davyev plamen. Čemu je ta znatna napetost potrebna, nije još do danas sigurno protumačeno.

Kad takova struja dodje u na čas spojene, a poslije rastavljene ugljene, između kojih se nalazi maleni razmak, tad se ugljen i zrak među njima ugriju, oni se počinju žariti te se nakon kratkoga vremena usiju do bjelila. A i sâm zrak između ova dva ugljena, kojima je temperatura 2000° — 4000° C, užari se ; osim toga lete neprestance usijane čestice ugljena od jednoga pola do drugoga. Tako nastaje Davyev plamen. Obično se misli, da taj plamen daje ono intenzivno svijetlo plamen-lampama, kojemu nema premca u današnjoj rasvjetnoj tehnici ; ali nije tako. Svijetlo to potječe od krajeva ugljena u samoj lampi, koji su do bjelila užareni, jer plamen kao usijani plin samo malo svijetla isijeva. Odatle slijedi, da je kvalitet upotrebljavanoga ugljena od najveće važnosti za mirno i jednoliko gorenje ovih lampi,

za intenzitet i boju njihova svijetla i t. d. Da nam plamene lampe valjano svijetle, treba da njihov ugljen jednoliko izgara, svijetlo ne smije treptjeti, ugljeni moraju što dulje trajati, od njih ne smije ostati mnogo pepela i drugih ostataka, oni moraju imati dobru električnu vodljivost, a kraj svega toga ne smije taj ugljen biti preskup. Osobito je cijena ugljena uzrokom, da se u praksi često prodaje tako loš ugljen, da svijetlo plamenih lampa s tako rdjavim ugljenom ne može ni laika zadovoljiti.

Fabrikacija ugljena za plamene lampe u principu je doduše dosta jednostavna, ali u izvedbi postoje gdje koje dosta znatne poteškoće, koje treba preciznim radom svladati.

Ugljen plamenih lampa sastoji iz t. z. retornoga ugljena, čadje, katrana od kamenoga ugljena, što služi kao ljepilo, te različitih kemičkih primjesa, koje imaju svrhu, da produlje trajanje gorenja i



Sl. 18. Različne vrste predsklopnoga otpora za plamene lampe.

da povećaju intenzitet svijetla. Sirovi materijal, iz kojega se ugljen pravi, pomnjivo se ispituje, prije nego se kalupi. Kad je to učinjeno, tad se ugljen smrvi u prašinu, sitnu kao brašno, dodadu mu se primjese i ljepilo, i tad se sve to skupa dolazi u po-

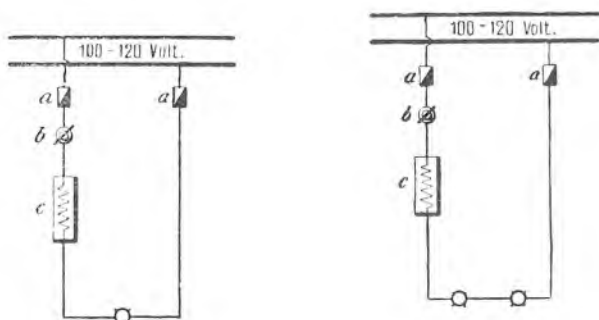
sebne strojeve, koji treba da taj čitav materijal dobro ispremiješaju. Kad je to učinjeno, tad se ova plastična masa podvrgne visokom tlaku pomoću hidrauličkih tiskala, koja ju formiraju u štapiće. Pošto ovi štapići izadju ispod tiskala, dolaze u posebne peći s visokom temperaturom i tu još više otvrdnu.

Ovaj postupak vrijedi samo za t. z. homogeni ugljen. Osim ovoga ugljena upotrebljava se danas u plamenim lampama još i ugljen sa fitiljem (Dochtkohle), koji je uvela firma Siemens Halske u Berlinu. Taj ugljen sastoji iz istoga materijala, kao i homogeni ugljen, samo ima u sredini po cijeloj svojoj dužini cjevčicu, napunjenu materijom, koja povećava električnu vodljivost ugljena, a sadrži u sebi poglavito bora, koji povoljno djeluje na mirnoću svijetla same lampe.

Ako ugljen u plamenoj lampi nije dobar, to se očituje različito. Kod ugljena sa fitiljem stvaraju se malene krugljice iz silikata, koje

spajaju Davyev plamen, a posljedica je toga, da ciči. Često se ugljen opkoli gustom pjenom, koja siže do regulatora lampe. Povodom ove pjene nastaju i opet različite nepravilnosti u izgaranju ugljena, koje nepovoljno djeluju na svijetlo.

Što se tiče vrsti struje, to nam je primijetiti, da se u plamenim lampama upotrebljava struja istoga smjera i izmjenična. Kod plamene lampe sa strujom istoga smjera stvara se na pozitivnom ugljenu, koji je redovito nad negativnim, neka vrst kratera, koji djeluje kao prirodni reflektor, te baca pretežni dio svijetla prema dolje. Kod plamenih pak lampa s izmjeničnom strujom porazdjeli se razvijeno svijetlo prilično jednoliko prema gore i dolje. To je zgodno za slučaj, kad se radi o općenoj rasvjeti nekoga prostora ; dok kad želimo, da prostor

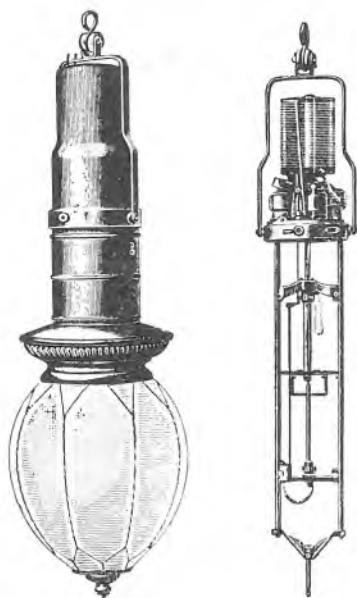


Sl. 19. Spajanje jedne i dviju plamenih lampi u strujin sklop : *a* su tališni osigurači, *b* rasklopac za struju, a *c* predsklopni otpor.

ispod takove lampe s izmjeničnom strujom bude rasvijetljen, treba nad plamen mehnuti reflektor.

Kako je već napomenuto, treba lampa s izmjeničnom strujom manju napetost među krajevima ugljena, nego lampa, koju rasvijetljuje struja istoga smjera. Prema tomu možemo u krug struje istoga smjera od 110 volta napetosti uvrstiti samo 2 plamene lampe u seriju, dok kod izmjenične struje mogu u tom slučaju doći 3 obične ili 4 male plamene lampe. Treba li pak u kom ogranku struje uvrstiti samo 1 lampu, to je potrošak energije za tu jedinu lampu kod struje istoga smjera isto tolik, kao i za 2 lampe, koje su uzastopce spojene, jer se u prvom slučaju suvišak napetosti potroši beskorisno u otporu, koji treba da dodje pred svaku plamenu lampu. Ovaj t. z. predsklopni ili umirujući otpor ima sličnu svrhu, kao i onaj kod Nernstove lampe,

da naime kolebanja jakosti struje, koja se u plamenoj lampi često mijenja, po mogućnosti što više uguši. Pomislimo, da u strujin sklop uvrstimo plamenu lampu bez takova otpora. Šta bi se tada dogodilo? U onom trenutku, čim bi ugljeni lampe došli u dodir, postao bi otpor u tom ogranku struje veoma malen. Zbog toga počeo bi najednom regulator lampe vrlo jako djelovati, pa bi naskoro otpor u luku svijetla znatno ponarastao, a jakost struje prema Ohmovu zakonu pala. Na taj način kolebala bi bez predsklopnoga otpora jakost struje između dviju granica, koje su međusobom dosta daleko; a time ne bi plamena



Sl. 20. Diferencijalna Ganzova plamena lampica za struju istoga smjera.

lampa nikako mogla mirno svijetliti. Ta kolebanja bit će — kao što je i posve prirodno — mnogo manja, kad jakost struje u plamenoj lampi ne ovisi samo o promjenama u luku svijetla, nego ako na nju djeluje i neki stalni otpor. Čim se pak kolebanja jakosti struje umanje, tad se povećava jednoličnost i mirnoća luka, što je osobito važno za valjano funkcioniranje same lampe. Toga radi bilo bi probitačno, da taj predsklopni otpor bude po mogućnosti što veći. No to ima svojih granica, jer ovakav veliki otpor troši beskorisno odviše električne energije, a to utječe nepovoljno na ekonomiju djelovanja same lampe.

Kod izmjenične struje stvar je povoljnija. Tu se naime pomoću

maloga transformatora reducira napetost od 110 volta na onu napetost, koja je dovoljna za lampu i neki maleni predsklopni otpor. Radi toga 1 lampica u pojedinom ogranku izmjenične struje troši od prilike samo onoliko električne energije, koliko je uistinu treba.

Što se tiče dimenzije ugljena u plamenim lampama, to valja napomenuti: kod struje istoga smjera izgara pozitivni ugljen od prilike dva puta brže nego negativni. Stoga bi morao uz istu debljinu pozitivni ugljen biti dva puta dulji od negativnoga, a prema tomu bi lampica postala znatno duga, kad bi se htjelo postići samo nešto veće

gorivo vrijeme. To je i razlog, zašto se u plamenim lampama sa strujom istoga smjera pozitivni ugljen uzima deblji od negativnoga, mjesto da bude dulji. Kod lampa s izmjeničnom strujom oba su ugljena jednake debljine i duljine. Ako li je plamena lampa kod izmjenične struje providjena reflektorom, to izgara gornji ugljen za nekoliko procenata polaganije nego donji. Stoga, da se postigne jednako izgaranje, gornji ugljen mora biti nešto malo tanji ili kraći.

Apsolutne dimenzije ugljena za plamene lampe različite su te ovise o dotičnoj tvornici, koja proizvodi same lampe.

Danas imamo obzirom na regulator tri glavna tipa plamenih lampa, i to lampe za glavni ogranak struje (Hauptstromlampen), lampe za nuzgredni ogranak struje (Nebenschlusslampen) i diferencijalne lampe.

Lampe za glavni ogranak struje imaju regulator sa plamenom svijetla u seriju skopčan ; stoga ove lampe reguliraju na stalnu jakost struje. Kod druge vrsti lampa nalazi se regulator u nuzgrednom ogranku od plamena. Ove dakle lampe reguliraju na stalnu napetost. A hoćemo li, da više u jedan te isti ogranak struje u seriju skopčanih lampa potpuno nezavisno jedna o drugoj gore, to treba upotrijebiti diferencijalne lampe (Hefner-Alteneck). Kod ove vrsti lampa ide jedan dio struje kroz jedan regulator, a drugi kroz plamen svijetla i drugi regulator. Ove dakle lampe reguliraju na stalni otpor.

Na ovim sada navedenim principima osnovana je obična plamena lampa, koja je od svoga postanka pak do danas dolazila na svjetsko tržište u raznovrsnim oblicima. Najpoznatiji reprezentanti njezini jesu : lampa „Ganz'ova električnoga društva” u Budimpešti, F. Križikova u Pragu, pa „Siemens-Schukert-Werke” i „Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft” u Berlinu.

Kako je općeno poznato, intenzitet svijetla, koji daje plamene lampe, vanredno je velik, a može iznositi i mnogo tisuća Hefnerovih svijeća. Ta jakost svijetla ne ovisi samo o napetosti i jakosti struje, koja protječe lampom, nego i o vrsti struje. Općeno se može reći, da je uz isti broj watta, kojim gori neka plamena lampa, intenzitet svijetla veći kod lampa, koje djeluju sa strujom istoga smjera, nego kod onih, kojima ide izmjenična struja. Ovu nam činjenicu lijepo predočuju dvije tabele :

1. Plamene lampe za struju istoga smjera :

Jakost struje u amperima	Napetost u voltima	Duljina lûka svijetla u mili- metrima	Najveća jakost svijetla u Hefnerovim svijećama.
2	40	0.8	128
3	41	1	256
4	42	1.4	392
5	43	1.7	560
6	43.5	1.9	730
7	44	2.2	920
8	44.4	2.5	1130
9	44.8	2.8	1350
10	45.2	3	1570
11	45.5	3.3	1800
12	46	3.5	2060
14	46.5	3.8	2560
16	47	4	3130

2. Plamene lampe za izmjeničnu struju:

Jakost struje u amperima	Napetost u voltima	Duljina lûka svijetla u mili- metrima	Najveća jakost svijetla u Hefnerovim svijećama
6	27	1.5	220
8	28	1.6	330
10	28	1.7	450
12	28	1.8	590
14	29	1.9	740
16	29	2.0	900
18	30	2.2	1050
20	30	2.3	1220
25	30	2.4	1630
30	32	2.5	2070

Prema tomu ove lampe, što se tiče jakosti svijetla, koje su kadre proizvoditi, zauzimaju suvereni položaj, komu danas u rasvjetnoj tehnici nema premca. No i te obične plamene lampe u najnovije su doba usavršivane mnogostruko s većim ili manjim uspjesima, premda im je temeljna zamisao, na kojoj su osnovane, ostala nepromijenjena. Zato treba da navedemo sada neke od ovih radova, koji su spomena vrijedni.

Trajno goruća plamena lampa.

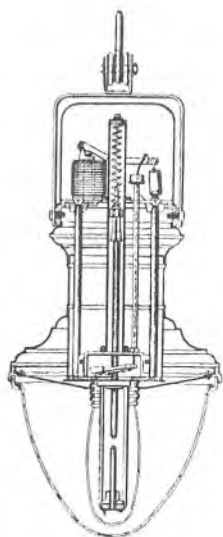
Ugljeni obične plamene lampe traju tek 8—10 sati ; nakon toga oni izgore, te ih valja zamijeniti novima. To je dosta znatan nedostatak ovih lampi. Prvo zato, jer one potroše tečajem stanovitoga vremena

znatnu količinu ugljenih štapića, a ovi su — ako uzimamo dobar fabrikat — prilično skupi. Nadalje potreba česte izmjene ugljena iziskuje posebnu osobu, koja mora te ugljene gotovo svaki dan mijenjati, a to je osobito nezgodno, gdje su plamene lampe teško pristupačne, gdje su na razgranjenom području velikoga žicovoda namještene i t. d.

Sve to ponukalo je elektrotehnike, da traže konstrukciju plamenih lampa, kojima bi ugljen mnogo dulje trajao, nego kod običnih plamenih lampa. Prvi, koji je taj zadatak uspješno riješio, bio je J a n d u s, pak zato se ta nova vrst plamenih lampa zove Jandusova ili trajno goruća plamena lampa (Dauerbrandbogenlampe). Kod nje doista je znatno spriječeno brzo izgaranje ugljena, a postignuto je tim, da se Davyev plamen gotovo posve hermetički zatvorio u posebno malo stakleno zvono. Stoga dolazi mnogo teže zrak k plamenu, a ugljeni prema tomu daleko polaganije izgaraju. Kod novijih konstrukcija te vrsti lampa mogu ugljeni trajati i do 300 sati. Tako ugljen za n. p. 1200 sati gorenja kod obične plamene lampe stoji od prilike 21.60 kruna, a kod trajno goruće plamene lampe tek 96 filira!

Tim je dakako gore navedeni nedostatak obične plamene lampe uklonjen, te se prema tomu lampe sa trajno gorućim plamenom dadu osobito zgodno upotrijebiti, gdje je njihova podvorba sa česte izmjene ugljena teška. Jednako su ove lampe prikladne za vlažne prostorije, jer u njihov mehanizam ne može tako lako dopirati vodena para, a ni drugi plinovi, jer je on posve zatvoren. To je osobito korisno za tvornice, naročito kemičke.

Nadalje te lampe nisu tako opasne za požar u prostorijama, gdje ima prašine od kakova lako upaljivoga materijala n. pr. celuloida. Konačno treba napomenuti, da je svijetlo trajno goruće plamene lampe u svom sastavu dosta slično običnom dnevnom svijetlu. Prema tomu je ono



Sl. 21. Šematična predodžba Ganzove trajno goruće plamene lampe za struju istoga smjera.



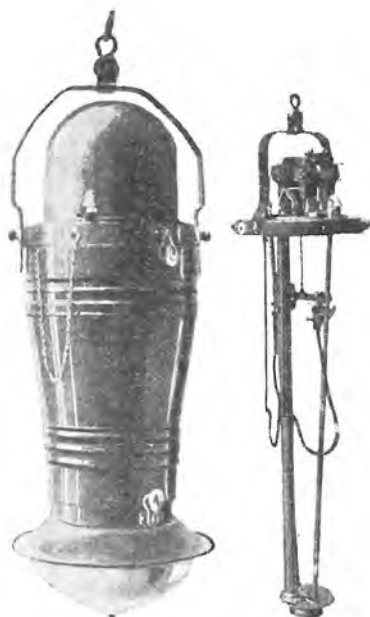
Sl. 22. Ganzova trajno goruća lampa za struju istoga smjera.

zgodno za rasvjetu u svim prigodama, u kojima je stalo do toga, da se uz umjetnu rasvjetu boje dobro raspoznaju n. pr. u tvornicama papira, dućanskim izlozima i t. d.

Osim ovih dobrih svojstava, napetost struje potrebna za gorjenje ovih lampa od prilike dvaput je tako velika kao kod običnih plamenih lampa. Prema tomu može trajno goruća plamena lampa, uz običajnu u električnim centralama proizvedenu struju sa nape-tošću od 110 volta, gorjeti sa n. pr. 80 volta u jednom zasebnom ogranku struje, dok obične plamene lampe moraju ovdje 2 u seriju biti uvrštene ; dakle konzument može samo one lampe ostaviti da gore, koje doista treba.

No ove lampe imaju i nedostataka, od čega je najvažnije, da troše 1.6 puta više struje, nego obične plamene lampe. Prema tomu se prištednje na ugljenu i na troškovima podvorbe kompenziraju tim većim potroškom struje, ako tim trajno gorućim plamenim lampama hoćemo postići isto tako jaku rasvjetu, kao običnim plamenim lampama.

Briljantna plamena lampa.



Sl. 23. Ganzova briljantna plamena lampa.

U tim lampama upotrebljava se mjesto običnoga ugljena t. z. efektni ugljen. Taj je ugljen u glavnom istih sastavina, iz kojih i obični ugljen za plamene lampe, samo je impregniran stanovitim tvarima kao n. pr. fluorovim so-lima, barijevim ili stroncijevim ok-sidom i t. d., koje su dakako tajna dotičnih tvornica, što ugljen pro-izvode. Stoga ne žari kod takovih lampa svijetlo samo ugljen, koji je do bjelila usijan, nego i pare onih supstancija, koje su ugljenu pri-dodane, i to intenzivnom bijelom, crvenom ili žutom bojom, koja do-tičnoj tvari odgovara. Te primjese čine, da je jakost svijetla briljantnih lampa mnogo veća, nego kod običnih

plamenih lampa, uz isti potrošak struje. Tako ove lampe sa žutom bojom daju dva puta tako veliku jakost svijetla, dok je onima, koje su crvene ili bijele boje, jakost 1·5 puta tako velika, kao kod svijetla običnih plamenih lampa. Ove lampe prave se danas u dva glavna tipa, i to s ugljenim štapićima, koji su u lampi jedan blizu drugoga koso namješteni — to su t. zv. *intenzivne plamenaste plamene lampe*, i u onakve, gdje ugljeni štapići, kao i kod obične plamene lampe, stoje jedan nad drugim — to su *plamene lampe sa t. z. alba-ugljenom*, koji je sastavila tvrtka Gebr. Siemens et Co. u Berlin-Lichtembergu god. 1907. Kod prve vrsti lampa nastaje svijetlo na onom mjestu, gdje su ugljeni bliže jedan drugomu, dakle na donjem kraju lampe; kod druge vrsti stvara se svijetlo na istom mjestu, kao i kod običnih plamenih lampa. Obje ove vrsti lampa imaju dobrih i loših svojstava, trebaju veću napetost struje nego obične, a upotrebljava se u njima i tanji ugljen. Radi toga i radi većega plamena izgara ugljen u njima brže i stvara više pepela.

Trajno goruća briljantna plamena lampa.

Elektrotehnička tvornica Körting et Mathiesen, akcijsko društvo u Leutzschu kod Berlina, konstruirala je novu vrst plamenih lampa t. z. *dia-lampu*, te ju nedavno iznijela na tržište. Ova dia-lampa ima glavna svojstva trajno goruće plamene lampe i briljantne plamene lampe; u njoj su naime u zatvorenom prostoru smješteni štapići od t. zv. efektnog ugljena vertikalno jedan nad drugim. Prema tomu ova trajno goruća briljantna ili efektna plamena lampa daje veliku jakost svijetla uz dugo trajanje ugljena. U tim lampama, kad rade sa strujom istoga smjera, traju ugljeni 50—80 sati, a uz izmjeničnu struju pače 100—150 sati. Specifički potrošak struje iznosi sa strujom istoga smjera 0.20—0.22 watta na 1 Hefnerovu svijeću, a kod lampa sa izmjeničnom strujom 0.25—0.30 watta na 1 Hefnerovu svijeću. Jakost svijetla im je uz struju istoga smjera 2000—4000 Hefnerovih svijeća,



Sl. 24. Trajno goruća briljantna plamena lampa.

a s izmjeničnom strujom 1200—2500 Hefnerovih svijeća. Boja je svijetla bijela s nešto malo žućkaste primjese. Na tim lampama nalazi se posebna uredba, koja omogućuje, da onaj čovjek, kojemu je dužnost, da od vremena do vremena izmjenjuje ugljene štapiće, može već izvana — dakle da ne otvara lampe — vidjeti, da li još ima dosta ugljena u lampi ili da li je već vrijeme, da se ugljeni izmijene novima. Praktična upotreba ove vrsti plamenih lampi dosta je velika. One se danas upotrebljavaju za rasvjetu ulica, kolodvora, velikih dvorana, kućnih fasada, za reklamne svrhe i t. d.

Magnetitova plamena lampa.

Kod briljantnih plamenih lampi razvijaju primjese, koje se dodavaju ugljenu, prigodom izgaranja dim i raznovrsne pare, a jer ove moraju nekuda otići, to se ne da plamen s ugljenima tako zatvoriti, da ne dodje zrak do njega. Stoga troši plamen svijetla u tim lampama mnogo ugljena, a time se i vrijeme njegova trajanja umanjuje, a prema tome nastaje i opet potreba česte izmjene ugljena. Tako dakle s ovoga gledišta nisu ni te lampe mnogo bolje od običnih plamenih lampi. Trajno goruće plamene lampe nemaju doduše toga nedostatka, ali im je zato mana veći specifični potrošak struje. Toga radi se već prilično dugo pomišljalo, ne bi li se ugljen u plamenim lampama dao zamijeniti kakvim drugim tijelom. To tijelo mora da je u krutom stanju dobar vodič elektriciteta, a i njegove pare moraju biti vodičem za plamen svijetla ; ovo tijelo ne smije brzo izgarati, da uzmogne svijetlo dugo potrajati ; napokon mora svijetlo toga tijela dati spektar velikoga sjaja i mora biti jednoliko u cijelom spektru porazdijeljeno t. j. mora biti bijele boje.

Američko društvo „General Electric Co“. — poznato nam otprije s najnovijega svoga pronalaska na polju fabrikacije wolframovih sijalica — pronašlo je nakon višegodišnjih istraživanja, da je u tu svrhu najbolji magnetit ili crni željezni oksid. To je tijelo vrlo dobar vodič, a ne mijenja se ni kod kakve temperature, ima ga obilno u prirodi i daje intenzivno jako svijetlo. Da mu bude djelovanje bolje, dodavaju se magnetitu u manjim količinama druga tjelesa na pr. titan. Elektrode za te nove plamene lampe prave se tako, da se fino smrvljeni magnetitov prašak stiskuje u tanku željeznu cijev, koja se električnim putem zatali. Budući da svijetlo kod magnetitove lampe ne potječe

od užarena ugljena, nego od samoga plamena, to se mora kod ovih lampa uzeti plamen mnogo dulji, i to 18—20 milimetara, i ta duljina mora ostati nepromijenjena. To iziskuje sasvim drugačije, i to mnogo jednostavnije reguliranje, negoli je ono kod plamenih lampa s ugljenom.



Sl. 25. Ulična plamena lampa u Marienbadu na željeznom stupu.

Kako se kod ove vrsti lampa elektrode vrlo malo troše, to one mogu svijetliti 500—600 sati. Tim pronalaskom postignut je jedan od glavnih ciljeva tehnike plamenih lampa. A kako te lampe daju i svijetlo, koje nas može prilično zadovoljiti, a troše i nešto manje struje, nego obične plamene lampe, to ima nade, da će se magnetitova lampa i u Evropi raširiti, kao u najnovije doba u Americi.

Liliput plamena lamp a.

Sa plamenim lampama, koje smo dosad spominjali, postizavaju se samo veliki intenziteti svijetla, dakle od barem nekoliko stotina do mnogo tisuća Hefnerovih svijeća. Lampe s osobitom jakošću svijetla na pr. 60.000 do 100.000 Hefnerovih svijeća služe najviše za pomorske svjetionike, za reflektore u ratnoj mornarici i t. d. ; dok lampe s intenzitetom od nekoliko stotina do od prilike 2.000 Hefnerovih svijeća služe za rasvjetu ulica, trgova, kolodvora, velikih tvornica, rudnika i t. d. Za rasvjetu manjih prostorija konstruirala je firma „Siemens Schuckert Werke“ u Berlinu novu vrst malenih t. zv. l i l i p u t - p l a m e n i h l a m p a, kod kojih se regulacija ugljena provodi jednostavnim magnetskim djelovanjem. Te lampe trebaju 80 volta napetosti, a troše 1, 2 ili 3 ampera struje. Budući da kod procjenjivanja jakosti svijetla plamenih lamp a sa strujom istoga smjera možemo aproksimativno reći, da na svaki 1 amper struje, koji lamp a troši, otpada jakost svijetla od po prilici 100 Hefnerovih svijeća, — to ove liliput-lampe daju intenzitet od 100, 200 ili 300 Hefnerovih svijeća. Oba ugljena, koja se tu upotrebljavaju, jesu obični ugljeni sa fitiljem, te je gornji 190 milimetara, a donji 65 milimetara dug, a promjer im je 5 milimetra. — Liliput-lampe dosta se upotrebljavaju, no kako funkcioniranje njihova regulatora nije sigurno te stoga već radi neznatnih mana nastaju poremećenja u rasvjeti i — što je još važnije — jer danas imamo intenzivne wolframove sijalice, koje potpuno sigurno funkcioniraju, to ova vrst lamp a pomalo nestaje iz prakse. — Pošto smo evo opisali glavne tipove modernih plamenih lamp a, pokazat ćemo u slijedećoj skrižaljci godišnje troškove za struju kod nekih vrsti ovih lamp a.

Vrst plamene lamp e	Potrošak watta za 10.000 Hefnerovih svijeća			Potrošak struje za 2 satno dnevnogore nje (730 sati na go dinu) u kilowatt- satima	Troškovi struje na godinu, ako 1 kilo- watt-sat stoji 70 filira u krunama
	Za 1 H. svijeću watta	Za svih 10.000 H. svijeća watta	Za svih 10.000 K svijeća kilowatta		
Obična lamp a	0.6	6.000	6	4.380	3.066
Trajno goruća lamp a	1.0	10.000	10	7.300	5.110
Briljantna lamp a	0.2	2.000	2	1.460	1.022
Liliput lamp a	1.1	11.000	11	8.030	5.621

Iz ove tabele razabire se, da je obzirom na troškove električne struje briljantna lampa najjevtinija, onda dolazi obična plamena lampa, zatim trajno goruća, a naposljetku liliput-lampa.

U ekonomiji neke električne instalacije ne odlučuje, — kao što smo i kod sijalica vidjeli — samo trošak struje, nego valja u ozbir uzeti i druge faktore n. pr. potrošak ugljena, način, kojim su lampe uvrštene u strujin krug, nabavnu cijenu samih lampi i t. d. Što se, recimo, ugljena tiče, to su troškovi nabave njegove već prema jakosti struje kod obične plamene lampe u 1 satu 2.4—3.6 filira, kod briljantne plamene lampe 3.6—4.8 filira, a kod trajno goruće lampe 0.12—0.36 filira. S ovoga dakle gledišta prosudjujući ekonomiju vidimo, da su najjevtinije trajno goruće plamene lampe, onda dolaze obične, a najskuplje su briljantne plamene lampe.

Bit će sada zanimljivo, da međusobno isporédimo troškove električne struje za rasvjetu sa sijalicama i sa plamenim lampama. Što se toga tiče, poslužít će nam ova skrižaljka :

Vrst sijalica	Potrošak watta za 10.000 Hefnerovih svijeća			Potrošak struje za 2 satno dnevno-gorenje (730 sati na godinu) 2 u kilowatt-satima	Troškovi struje na godinu, ako 1 kilowatt-sat stoji 70 filira u krunama
	Za 1 H. svijeću watta	Za svih 10.000 H. svijeća watta	Za svih 10.000 H. svijeća kilowatta		
Sijalica s ugljenom niti	3.4	34.000	34	24.820	17.374
Nernstova sijalica	1.0	10.000	17	12.410	8.687
Wolframova sijalica	1.7	17.000	10	7.300	5.110

Isporedimo li ove dvije skrižaljke, dolazimo do zaključka, da plamene lampe općeno konzumiraju daleko manje struje uz isti intenzitet svijetla negoli sijalice. Ali jer je intenzitet njihova svijetla redovito veoma velik, to se one uspješno dadu upotrijebiti, gdje je potrebna osobito jaka rasvjeta. U ovakovim slučajevima bila bi rasvjeta sa sijalicama skroz neekonomična, te se redovno i ne upotrebljava.

Električne lampe sa živinim parama.

a) Cooper-Hewittova lampu.

Na rasvjetnoj izložbi u Lüttichu god. 1905. izazvala je u elektrotelničkom odjelu pozornost stručnjaka nova vrst električnih lampu, koju je izložilo Westinghouseovo društvo u Parizu, a izumio ju američki ingénieur Cooper-Hewitt. Ona ima oblik odulje cilindričke cijevi, koja je na oba kraja providjena kruškastim nastavcima. Čitava je posuda dobro evakuirana i tada zataljena. U jednom kruškastom nastavku nalazi se tekuća živa, koja služi kao negativna elektroda ; druga je elektroda u drugom nastavku, a ta je obično od željeza. Dovodne platinene žice, kojima ide struja, utaljene su s jedne i druge strane u lampi, a svršavaju u živi, odnosno na onom komadu željeza. Zbog djelovanja struje, što danas još nije posve protumačeno, razvijaju se živine pare, koje dolaze do svijetljenja u cilindričnoj cijevi. Dakle kod ovih lampu susrećemo isti pojav, kao u poznatim Geisslerovim cijevima.

Duljina cjevastoga dijela lampu ovisi o napetosti struje, koja se upotrebljava, i to tako, da je n. pr. uz 100 volta napetosti struje lampu dva put tako duga kao uz 50 volta ; ta naime duljina varira izmedju 100—50 centimetara.

Kad struju sklopimo, lampu ne počinje sama svijetliti, jer ima otpor od mnogo hiljada ohma. Ako dakle želimo, da nam lampu svijetli, moramo najprije u njoj proizvesti na časak metalni kratki spoj, i to tako, da je malko zakrenemo. Time dodje nešto žive u obliku niti od negativne elektrode do pozitivne. Odmah iza toga metne se lampu u prvotni svoj kosi položaj i sad ona počne svijetliti. Kako bi se međjutim zbog prolaza struje naskoro čitava živa u lampi pretvorila u pare, to se kod svake svjetiljke nalazi posebna uredba, koja omogućuje, da se te pare ponovo kondenziraju i tako se negativna elektroda sama sobom regenerira.

Specifični potrošak električne energije veoma je povoljan kod ovih lampu, te iznosi 0.33—0.43 watta za 1 Hefnerovu svijeću. One se prave danas za napetost od 60—150 volta, a troše normalno 3.5—4 ampera struje. Vrijeme trajanja ovih lampu vrlo je veliko. Ima lampu, koje su još poslije 7.000 sati sasvim dobro svijetlile. Tečajem prvih 100 sati padne doduše jakost svijeća za 20%, ali poslije toga ostaje konstantna.

Svijetlo Cooper-Hewittove lampe ima posebnu zelenkasto-žutu boju, a upravo je čudno, čega nema kod nijednoga poznatoga rasvjetnoga sredstva, da u tom svijetlu nikada nema crvenih zraka. Stoga izgledaju svi inače crvenkasti predmeti kod svijetla ove lampe u svojoj prirodnoj boji silno promijenjeni; osobito pak ljudska koža dobiva neki sasvim neobični izgled. To je činjenica s estetskoga gledišta veoma neugodna, no kako djelovanje crvenih zraka oko najviše podražuje i umara, to se ovo svijetlo za čitanje, pisanje, risanje, za radnje precizne mehanike i ine najsuptilnije manipulacije u industrijalnim i obrtnim poduzećima, veoma zdravo i ugodno za oko.

Kao što se razabire, glavna je prednost lampas sa živinim parama, da troše vrlo malo struje, da vrlo mnogo sati u uporabivom stanju traju i što je njihovo svijetlo za oko vrlo povoljno.

Cooper-Hewittove lampe počinju se u praksi sve više upotrebljavati, i to naročito u Americi. Tako je pred koju godinu u novoj zgradi New-Yorškoga „Timesa” uvedena električna rasvjeta s ovom vrsti lampas. Ova golema zgrada visoka je 145 metara. Sve strojeve, koji se u zgradi nalaze, pokreće elektricitet. Kako je žicovod električnoga uređaja ovdje razgranjen, najbolje se razabire iz toga, da duljina samih vodova iznosi 120 kilometara, a struje se dnevno potroši preko 1000 kilowatt-sati. Osim silnih motora, koji su tu smješteni, služi ta struja i za rasvjetu zgrade, i to djelomice sa Cooper-Hewittovim lampama. Po zelenoj boji toga svijetla može se zgrada noću prepoznati iz svake točke New-Yorka. Zasad su ovdje instalirane 42 lampe sa živinim parama. Lampe su 70 cm duge, — ali od ove duljine svijetle samo 53 cm — a imaju promjer od 2.5 cm. One su na struju od 118 volta po dvije u seriji skopčane, a svaki od ovih parova troši 3.5 ampera.

b) Aronova lampas, takodjer sa živinim parama, razlikuje se od Cooper-Hewittove naročito time, što je njezino djelovanje sasvim automatsko; prema tomu ne treba je ništa nagibati ili okretati; ona djeluje u stabilnom položaju. Kod te lampe nastaje svijetlo u od prilike 50 centimetara dugoj vertikalno obješenoj cijevi. Na gornjem kraju ove cijevi nalazi se komad željeznoga lima kao pozitivna elektroda, a na donjem je kraju živa kao negativna elektroda. Upaljenje lampe zbiva se slično, kao i kod plamenih lampas, naime pomoću jednoga nuzgrednoga plamena svijetla, koji na donjem kraju lampas

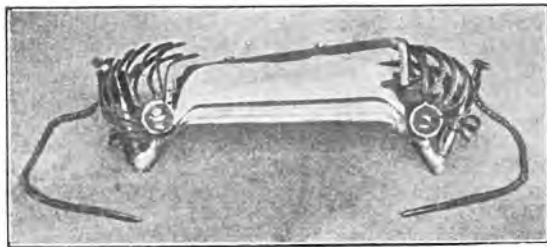
smješteni elektromagnet proizvodi i ujedno gasi, čim je živina para došla do svoga svijetljenja. Aronove lampe prave se za 40 volta napetosti struje, tako da se u struju od 110 volta mogu po dvije u seriju ukopčiti. Kod 220 volta dolaze 4 ovakve uzastopce skopčane



Sl. 26. Kvarcova lampa.

lampe u upotrebu. Imademo li struju još veće napetosti, to možemo uvrstiti odgovarajući broj Aronovih lampu u strujin sklop. Svaka od ovih lampu ima pred sobom odgovarajući otpor i posebni regulator za struju. Jakost svijetla ovih lampu stalna je i ne mijenja se ništa za vrijeme upotrebe. Srednja gorivost iznosi 2000 sati.

c) Lampa od kvarca, takodjer sa živinim parama, ali u njoj se ne stvara svijetlo u staklenoj cijevi, nego u cijevi od kvarca (Bergkristal). Kako kvarc imade daleko više talište negoli staklo, to se i živina para u takovoj cijevi dade dotjerati na mnogo višu temperaturu. Stoga temperatura živine pare u toj ci-



Sl. 27. Žižak kvarcove lampe.

jevi iznosi 5000—6000 C, i zato postaje njezino svijetlo, mjesto modro-zelenkasto, poput srebra bijelo i osobito jasno. To svijetlo sadrži, kao i svijetlo punoga mjeseca, nešto malo i crvenih zraka, pa

je kraj njega boja lica nešto plavkasta. Taj nedostatak smeta samo u lokalima, gdje se strogo pazi na pravu boju predmeta, a nipošto — u radionicama, kojima su ove lampe u prvom redu namije-

njene. Žižak lampe traje poprečno 1000 sati, a sama lampa i preko 10.000 sati. Jakost svijetla kvarcove lampe iznosi uz 3,5 ampera i 220 volta (dakle 770 watta) od prilike 3000 Hefnerovih svijeća. Prema tomu je njezin specifični potrošak struje samo oko 0.25 watta.

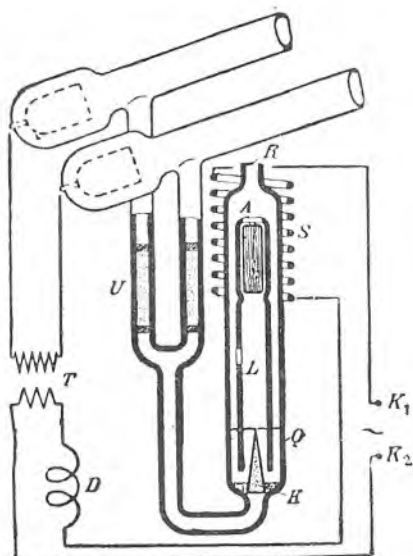
Osim toga ima i ona ostalih dobrih svojstava, naročito veliku sigurnost u funkcioniranju; ona djeluje automatski, lako ju je montirati, ima potpuno mirno svijetlo i t. d. Stoga je ona osobito zgodna za rasvjetu tvornica, visokih strojarskih prostorija, velikih dvorišta, drvara, rudnika, luka i t. d. Kako i ova lampa ne treba za vrijeme svoga funkcioniranja nikakove podvorbe, to je naročito zgodna za instaliranje na teško pristupačnim mjestima.

Mooreovo električno svijetlo.

Na početku spomenuli smo, da je već god. 1819. profesor Meinek u Halleu pomoću različitih evakuiranih cijevi s nekim — i ako slabim — uspjehom rasvijetlio svoju predavaonicu. Ovoj vrsti električne rasvjete obraćena je u novije doba i opet pažnja stručnjaka. Godine 1906. zamislio je i u praksi proveo Amerikanac MacFarlane Moore rasvjetu, koja je na istom principu osnovana, a danas poznata pod imenom Mooreovo svijetlo. Ovo svijetlo nastaje u razrijedjenim plinovima, koji su zatvoreni, slično kao i kod Geisslerovih pokusa, u prozirnim staklenim cijevima. U cijevi pušta se pomoću posebnih uredaba izmjenična ili zakretna struja, koja se može uzeti i iz običnih električnih centrala. Samo je potrebno, da se prije toga normalna njezina napetost pomoću posebnoga transformatora povisi, već prema duljini samih cijevi, na 5000 do 17.000 volta. Staklene cijevi, u koje dolaze razrijedjeni plinovi, duge su 20 do 160 metara, imaju cilindričan oblik s vanjskim promjerom do 45 milimetara, a debljina im je 1—1.5 milimetara. Ovakve duge cijevi sastavljene su od pojedinih 2.5—3 metra dugih ravnih ili zavnutih cjevkastih komada, koji se na mjestu montaže pomoću taljenja međusobno stavljaju u jednu hermetično zatvorenu dugu cijev. Kao elektrode namješteni su na krajevima cijevi šuplji valjci od grafita. Ove cijevi, montirane pomoću posebnih nosača ili držala na stropu, odnosno na stijenama neke prostorije, napune se dušikom ili ugljičnom kiselinom, koji se plinovi posebnom u tu svrhu udešenom zračnom sisaljkom razrijede do 0.2—0.1 milimetara barometričkoga pritiska, i tada se cijev potpuno zatvori. Pošto je sve to udešeno, sklopi se struja, a čitava cijev zasja lijepim mirnim svijetlom.

No treba napomenuti, kad bi taj uredjaj u praksi doista samo tako sastavljen bio, naskoro bi prestao djelovati. Poznata je naime iz fizike

činjenica, da se u evakuiranim cijevima duljim djelovanjem električne struje vakuum mijenja, dakle ne ostaje stalan, nego se postepeno umanjuje. Prolazom struje pojedine se čestice plinova sve više uzelektrizuju i na nutrašnjim stijenama same cijevi talože, a time se plin sve više razrijedjuje. Ovakve pak cijevi, u kojima se nalazi razmjerno malo razrijedjeni plin, zovu se mekane cijevi, dok cijevi s visokim vakuumom nazivamo tvrdima. Dakle svaka mekana cijev postaje s vremenom sve tvrdja. Ali kroz tvrde cijevi teško prolazi struja, prema tome one ne mogu služiti u namijenjenu im svrhu, pa ni svijetla davati. Toga



Sl. 28. Šematična predodžba strujina sklopa i ventila Mooreova svijetla.

radi je potrebno, da se ovakve cijevi provide posebnom uredbom, koja je kadra onaj stupanj razredjenosti, koji je za stano-vitu svrhu potreban, stalno uzdržati. Tek pošto je ta uredba priključena na evakuiranu cijev, može ona svojoj svrsi trajno od-govarati.

Tako je bilo i kod Mooreova rasvjetnoga uređaja. Tek kad je Moore priključio na ove rasvjetne cijevi svoj duhovito zamišljeni ventil, koji u njima uzdržava stalnu razredjenost plina, pre-dana je ova vrst rasvjete prak-tičnoj upotrebi. Ventil je u dje-lovanju posve jednostavan i si-guran ; on automatski usisava u rasvjetne cijevi veoma malene količine zraka ili kojega drugoga plina, kad razredjenost plina u njima počne preko mjere rasti, i time uzdr-žava stalnu razredjenost.

Ovako nadopunjeni Mooreov rasvjetni uređaj djeluje neogra-ničeno dugo vremena, samo mu treba potrošene plinove, n. p. iza 1000—1500 sati postepeno pomoću navedenoga ventila nadokna-djivati.

Kao što smo gore naveli, pune se Mooreove cijevi dušikom ili ugljičnom kiselinom ; u prvom slučaju daju one svijetlo žutoruži-časte boje, a u posljednjem posve bijelo. Jedno i drugo svijetlo ugodno

djeluje na oči, a osobito bijelo svijetlo tako je slično difuznom dnevnom svijetlu, da se za razmjerno kratko vrijeme počelo mnogo upotrebljavati, gdje je potrebno strogo razlikovati nuance različitih boja. Mnogobrojna industrijalna poduzeća morala su, dok nije bilo električnoga svijetla — kao što smo to već i prije napomenuli — upotrebljavati samo dnevno svijetlo, dakle nisu mogla raditi noću, a zimi su morala za mutnih dana rano prekidati posao. Pošto je nađošlo električno svijetlo, a pogotovo sada Mooreovo, dadu se ti radovi uspješno obavljati uz tu rasvjetu. Dakle Mooreovo se svijetlo već danas mnogo upotrebljava u različnim bojadisaonicama, skladištima sukna, tvornicama boja, tkaonicama, slikarskim i fotografskim atelierima, operacionim dvoranama i t. d.

Specifički potrošak struje kod žućkastoga Mooreova svijetla iznosi, kao što su to pokazala istraživanja *Wedding* ova od god. 1910., kod jednostavnih izmjeničnih struja 1.53 watta na 1 Hefnerovu svijeću, ako su cijevi duge do 40 metara; upotrebljavaju li se dulje cijevi ili zakretna struja, potrošak je samo 1.3—1 watta na 1 Hefnerovu svijeću. A za svijetlo bijelo specifični je potrošak znatno veći: iznosi od prilike 6.6 watta na 1 Hefnerovu svijeću.

Troškovi montaže Mooreova svijetla iznose na duljinu cijevi do 20 metara od prilike 1.700 kruna, a kod duljina do 160 metara oko 3.300 kruna.

Za praktično iskorišćivanje ove vrsti električnoga svijetla osnovano je pred nekoliko godina u sjevernoj Americi društvo „Moore Electrical Light Co.“, a pošto su postignuti dobri uspjesi, to je društvo svoje djelovanje prenijelo i u Evropu. Tako je god. 1910. osnovano u Berlinu društvo „Moore-Licht Aktiengesellschaft“, koje je u različnim gradovima Evrope uredilo već do danas preko 200 uredjaja s ukupnom duljinom cijevi od 12.000 metara. I u našoj monarhiji ima već nekoliko omanjih uredjaja sa Mooreovim svijetlom n. p. na tehničkim visokim školama u Beču i Brnu, u vestibulu kr. kazališta i u kr. ugarskom pokusnom laboratoriju u Budimpešti, u nekim tvornicama boja i t. d.

Potpunosti radi spomenut ćemo, da se u najnovije vrijeme pokušala električna rasvjeta pomoću sličnih uredaba kao i kod Mooreova svijetla, s jedinom razlikom, da u staklene cijevi dolazi *neon* u plinovitom stanju pod stalnim pritiskom, koji i opet regulira posebni ventil. Prednost, koju bi imala ova električna rasvjeta sa neon-

cijevima prema Mooreovu svijetlu jest, što je specifični potrošak struje mnogo manji, jer iznosi samo 0.75 watta na 1 Hefnerovu svijeću.

Iz dosadanjega našega razmatranja vidjeli smo, koliki je broj lampu u novije doba izumljen na području električne rasvjetne tehnike! A sve to dogodilo se ovoga vijeka, u prvom njegovu deceniju. Ni punih 12 godina ne dijeli nas od vremena, gdje je električna rasvjeta imala tek dva sredstva, kojima je ispunjavala svoju svrhu. Bila je to naime sijalica s ugljenom niti i plamena lampa s običnim ugljenim elektrodama. Još god. 1900. proizvela je općeno začuđenje na svjetskoj izložbi u Parizu plamena lampa, kojoj su ugljeni bili impregnirani s nekim metalnim solima. Premda je konstrukcija ove lampe značila tek neznatni napredak u rasvjetnoj tehnici, ona je ipak bila kadra posve potišti oduševljenje, koje je čas prije u interesiranim krugovima nastalo poradi *Mossanova* acetilenske lampe. A tek 20 godina poslije toga, naime god. 1910., vidjelo se na svjetskoj izložbi u Bruselju, da je na polju električne rasvjete postignut toliki napredak, da se njezino stanje s onim, kako je bilo predloženo na zadnjoj pariškoj izložbi, ni isporučiti ne može. Čitav niz novo konstruiranih električnih lampu, osnovanih na djelomice posve različitom principu, bio je dokazom, kako je neumorno velika legija električara radila oko usavršenja električne rasvjete.

No i ako se pretežni dio napretka električne rasvjete ima pripisati znatnom usavršenju električnih lampu, to nam valja istaknuti, da on djelomice potječe i od dotjerivanja svega onoga ostaloga pribora, koji je — osim lampu — za električnu rasvjetu potreban. Tako je n. pr. fabrikacija žica, napose izoliranih, tih žila kucavica, kojima tajinstveni elektricitet struji mnogostrukim ograncima iz centrale do samih lampu, danas tako dotjerana, da dobar moderni žicovod omogućuje na mnogo godina posve sigurno djelovanje svakoga električnoga rasvjetnoga uređaja. Što se pak tiče različitih vrsti rasvjetnih tjelesa, kao lusteru, lampa za stol, za zid, za ulice, trgove i t. d., to proizvodnja njihova danas tvori posebnu veliku granu elektroindustrije. Na tom području tvore se danas tako savršeni predmeti, da potpuno mogu zadovoljiti zahtjevima najraskošnije elegantne instalacije, a i onoga, koji uz neznatne novčane izdatke hoće samo da ima valjano i pouzdano rasvjetno sredstvo. To vrijedi za usavršenje uklopaca, preklopaca, osigurača, dijelnika i t. d. za struju. Sav taj veliki rad elektroindustrije

ne možemo ni u najkrupnijim potezima ovdje predočiti, jer bi nas to razmatranje odvelo predaleko na područje specijalne elektrotehnike.

Na koncu našega razmatranja istaknut ćemo nešto, kako danas stoji električna rasvjeta sa financijalnoga gledišta naprama drugim običajnim rasvjetnim sredstvima.

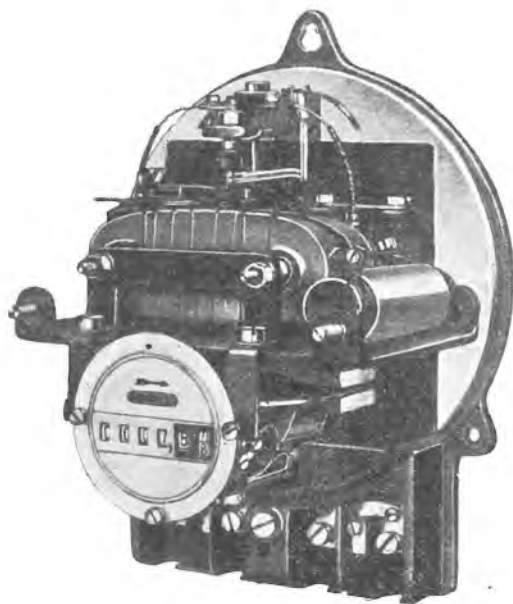
Na to pitanje možemo sada, pošto imamo wolframove sijalice, reći, da je električno svjetlo u najnepovoljnijem slučaju tek nešto malo skuplje od ostalih izvora svjetla, a napose rasvjetnoga plina i petroleja. Poznato je naime, da se električna energija u praktične svrhe stvara na dva načina, i to ili direktno pomoću prirodnih sila n. pr. vodopada, vjetra, plime i osjeke i t. d. ili indirektno pomoću ugljena, različitih vrsti ulja, benzina i t. d. U prvom su slučaju troškovi produkcije električne struje većinom¹ tako maleni, da je tim načinom dobiveno svjetlo bez sumnje jeftinije od svih ostalih rasvjetnih sredstava. U drugom pak — i to najobičnijem — slučaju pokazala su najnovija iskustva slijedeći rezultat :

Apsolutno uzevši podavaju električne plamene lampe najjeftiniju rasvjetu. Ali kako je intenzitet svjetla tih lampa velik, to se one racionalno mogu samo tamo upotrijebiti, gdje treba osobito jaka rasvjeta, a gdje se ne radi o prevelikom intenzitetu svjetla n. pr. do 1000 Hefnerovih svijeća, tu dolaze u obzir intenzivne sijalice. Kod manjih potreba, o kojima se najviše u životu radi, jest doduše plinska ili petrolejska rasvjeta sa t. zv. žarnim svjetlom (Gasglühlicht i Petroleumglühlicht) nešto jeftinija od svjetla, koju nam daju električne sijalice s metalnom niti, ako se samo uzmu u obzir cijene rasvjetnoga plina, odnosno petroleja naprama cijeni električne struje. No kod prosudjivanja troškova ne smije se gledati samo na cijenu onoga sredstva, koje svjetlo proizvodi, nego i na druge okolnosti. Idemo li dakle isporodjivati troškova n. pr. električne sijalice s metalnom niti s Auerovom plinskom lampom sa čarapastim žižcima, to treba uzeti u obzir, što stoji sijalica, a što plinski žižak ; koliko sati ona prva traje, a koliko ova druga ; za koliko se procenata kod jednoga i drugoga svjetla umanju njegov intenzitet ; što stoji izmjenjivanje čarapica, staklenih cilindara i t. d. Uzmemo li sve to u obzir, dolazimo do zaključka, da se

¹ Ima i tu iznimaka. Ako n. pr. kod vodopada nije vođena sila koncentrirana, te su stoga potrebne gradnje većega opsega, koje iziskuju znatni kapital, to kamati i amortizacija ovdje uložene glavnice kojiput nadmašuju troškove za gorivi materijal n. pr. kod parno-električnih uređaja.

cijena električne i plinske rasvjete malone posve izjednačuje. Isto ovo s malom razlikom vrijedi i za petrolejsku rasvjetu. Pogledamo li na sve ostale prednosti električnoga svijetla, to slijedi neosporiv zaključak, da danas električna rasvjeta uz normalne okolnosti nije skuplja od plinske i petrolejske.

Na koncu našega razmatranja o električnoj rasvjeti da kažemo koju o aparatima, kojima se ustanovljuje, koliko je električne energije u određeno vrijeme konzument za svoju rasvjetu potrošio, odnosno koliko ima da plati producentu struje. Obračunavanje ovo



Sl. 29. Ganzov watt-satni strojomjer za struju istoga smjera.

iznedju konzumenata i prodavača struje zbiva se obično svakoga mjeseca. Ovi aparati zovu se *strujomjeri*¹, a praktična jedinica, kojom se potrošena električna energija mjeri, jest 1 hektowatt-sat. Budući da 1 wolframova sijalica od 50 Hefnerovih svijeća troši u svakoj sekundi od prilike 50 watta, to je n. pr. 100 volta $\times$ 0.5 ampera; prema tome će ta lampa u 1 satu potrošiti 50 wat-sati struje ili polovinu 1 hektowatt-sata.

Dakle 1 hektowatt-sat

električne energije je ona množina radnje, koju u obliku električne struje konzument potroši, kad mu u stanu gore 2 wolframove lampe, svaka od 50 Hefnerovih svijeća, kroz potpuni 1 sat. Ako je cijena 1 hektowatt-satu n. pr. kao u Mitrovici 7 filira, to će konzument za ovo dobiveno svjetlo od 2 wolframove lampe od 50 Hefnerovih svijeća platiti za 1 sat 7 filira. Cijena 1 hektowatt-satu struje nije svuda jednaka. Ona je ovisna o različnim okolnostima, a u prvom redu o rentabilitetu, koji hoće producent električne energije svojim električnim

¹ Elektrizitätszähler, compteur d'électricité.

uredjajem da postigne. U Zagrebu je n. pr. cijena 1 hektowatt-satu struje 12 filira, ali zato gradska munjara konzumentu besplatno izmjenjuje sve istrošene sijalice; u Zemunu je maksimalna cijena za 1 hektowatt-sat struje 10 filira, ali ovdje daje poduzeće konzumentu određeni popust, koji je to veći, što konzument godišnje više struje troši.

Strujomjeri osnivaju se na ovom načelu: Električna struja izvršuje u svakoj sekundi radnju, koja je jednaka produktu od napetosti struje (E) i jakosti njezine, koju mjerimo u amperima (J); dakle ta radnja

$$\begin{aligned} R_1 &= E \text{ volta} \times J \text{ ampera} \\ &= E \times J \text{ volt-ampera} \\ &= E \times J \text{ watta} \end{aligned}$$

Kroz 1 pak sat izvrši struja radnju od:

$$\begin{aligned} R_2 &= E \times J \times 3600 \text{ watta} \\ &= E \times J \text{ watt-sati} \end{aligned}$$

Kroz t pak sati:

$$R_3 = E \times J \times t \text{ watt-sati}$$

Ako tu radnju izrazimo u hektowatt-satima, onda je:

$$R_3 = \frac{E \times I \times t \text{ hektowatt-sati}}{100}$$

Hoćemo li dakle, da nekim strujomjerom izmjerimo u hektowatt-satima električnu energiju, za određeno vrijeme potrošenu, to mora aparat biti tako sastavljen, da tečajem toga vremena na sve promjene napetosti i jakosti struje reagira, a osim toga, da uzme u obzir i vrijeme djelovanja struje. Ovakvi strujomjeri dosta su zamršeni, a zovu se watt-satni, hektowatt-satni ili kilowatt-satni strujomjeri, prema tomu, da li su graduirani u watt-satima, hektowatt-satima ili kilowatt-satima.

Sl. 29. predočuje nam watt-satni strujomjer, kakav u najnovije doba gradi G a n z' ovo električno akcijsko društvo u Budimpešti. On je namijenjen za struju istoga smjera. To je jedan od jednostavnijih, dosta savršenih tipova. Pogriješka, koja može kod njega nastati, iznosi prema faktičnomu potrošku električne energije najviše $\pm 1.5\%$. Vlastiti potrošak struje toga aparata iznosi u glavnom njezinu sklopu 3.4 watta, a u sporednom sklopu na 110 volta 1.4 watta. Težina mu je, ako je udešen za 3—15 ampera 2.8 kilograma; a za 3—50 ampera 3 kilograma.

Ako je u žicovodnoj mreži napetost struje stalna n. p. 110 volta, to nam strujomjer mora reagirati samo na varijacije jakosti struje i uzeti obzir na vrijeme djelovanja struje. Ovakvi strujomjeri znatno su jednostavniji, a zovu se **a m p e r s a t n i s t r u j o m j e r i**.

Najjednostavniji su pak oni strujomjeri, koji se mogu upotrebljavati u električnoj instalaciji, gdje je napetost i jakost struje, dakle potrošak električne energije, u svakoj pojedinoj sekundi stalan. To su t. z. **v r e m e n s k i s t r u j o m j e r i**.

Za konstrukciju strujomjera, kojih danas već imade vrlo mnogo, upotrebljavaju se različna poznata djelovanja električne struje. U praksi služe redovito samo elektrokemički, elektromagnetički i motorički strujomjeri.

Strujomjeri, namijenjeni privatnoj električnoj instalaciji, smještaju se između glavnoga gradskoga žicovoda i dotične kućne instalacije na kakovu suhom mjestu, obično na zidu. Oni moraju u Hrvatskoj i Slavoniji u smislu zajedničkoga ugarsko-hrvatskoga zakonskoga članka V. od god. 1907. biti obaždareni. God. 1908. izdao kralj. ugarski ministar trgovine pod brojem 107.225 naredbu, iz koje radi općega interesa donosimo slijedeće točke :

1. Svi strujomjeri, koji služe za ustanovljenje opsega količine potroška kod kupnje i prodaje električne struje, moraju biti obaždareni (§ 15. istoga zakona).

2. Privremena vrijednost baždarenja traje najviše 4 godine.

3. Sve oznake, koje dolaze na strujomjere, na teritoriju Hrvatske i Slavonije, imaju biti na hrvatskom jeziku.

4. Dopuštene pogreške pokazivanja strujomjera jesu kod opterećenja od

100%		$\pm$ 3%
50%		$\pm$ 3%
10%		$\pm$ 4%

5. Sam strujomjer smije trošiti samo 1/1.000 one struje, koju bi potrošio u dotičnom vremenu za potpuno opterećenje.

6. Baždarenje počinje u kralj. ugar. središnjem zavodu za mjere — u koliko će to uređaj i porazdjeljenje rada dopustiti — dne 12. siječnja 1909.

7. Baždarenje mjerila u neograničenoj količini počinje od 1. siječnja 1911.

8. Počam od 1. siječnja 1913. mogu se samo obaždarena mjerila ukopčati u koju mrežu.

Na osnovu svega toga, što smo dosad spomenuli o električnoj rasvjeti, posve je razumljivo, da u današnjem vijeku borbe i napretka igra veliku ulogu pitanje ustrajanja električnih centrala nesamo kod velikih nego i kod malenih naroda. Tako je ovo pitanje počelo interesirati i široke slojeve hrvatskoga naroda, pa je ta stvar i u nas osobito u zadnjim godinama znatno uznapredovala. U Hrvatskoj i Slavoniji imadu posvemašnju ili djelomičnu električnu javnu rasvjetu ova mjesta: Varaždin, Stara Pazova, Županja, Bakar, Zemun, Sisak, Pakrac, Daruvar, Zagreb, Vukovar, Karlovac, Našice, Petrinja, Križevac, Požega, Mitrovica i t. d. Ova je rasvjeta provedena ili iz vlastitih električnih centrala ili iz kojega drugoga mjesta uz upotrebu t. z. dalekovodnoga sustava. Tako na pr. Petrovaradin, Kamenica, Srijemski Karlovci i t. d. dobivaju električnu energiju iz centrale u Novom Sadu.

Taj razmjerno znatan broj električnih centrala, odnosno uređaja, koji su u zadnje vrijeme u našim gradovima i mjestima osnovani, a djelomice se oko njihova osnutka radi, pokazuje, da je naš narod umio upotrijebiti napredak elektrotehnike u svoju dobrobit. A kako su električne centrale moderni izvori, iz kojih se crpe energija potrebna za stvaranje električne rasvjete, to će ova i u nas doskora izgubiti karakter luksurioznosti i postati općeno upotrebljavanim umjetnim rasvjetnim sredstvom, kojega će zrake sijati od velikaških palača, pak sve do skromnih kolibica siromašnoga pučanstva.

Vrela.

Kod izradjivanja ove radnje poslužio sam u prvom redu obilnom svojom mnogo-godišnjom praksom i originalnim tehničkim podacima, što sam ih nabavio neposredno od samih istraživalaca i različnih svjetskih elektrotehničkih tvrtka i poduzeća. Tek u drugom redu — u koliko mi je još trebalo — posegnuo sam za stranom stručnom literaturom, koja je po mnogobrojnim časopisima, djelima i brošurama razasuta. Od ove literature napominjem :

Dr. H. Leiser: Wolfram. Eine Monographie mit einem Anhang: Die Patentansprüche über Wolfram-Glühkörper. Halle a. S., 1910.

C. Basch: Die Entwicklung der elektrischen Beleuchtung und der Industrie elektrischer Glühlampen in Deutschland. Leipzig, 1910.

Josef Herzog und P. Cl. Feldmann: Vertheilung des Lichtes und der Lampen bei elektrischen Beleuchtungen. Berlin-München, 1895.

H. Wietz und C. Erfurth: Hilfsbuch für Elektropraktiker. Leipzig, 1903.

Prof. Wilh. Biscan: Die Bogenlampe. Physikalische Gesetze. Leipzig, 1910.

Prof. Dr. Carl Heim: Die Einrichtung elektrischer Beleuchtungsanlagen für Gleichstrombetrieb. Leipzig, 1905.

E. A. Krüger: Die Herstellung der elektrischen Glühlampe. Leipzig, 1910.

Ing. Dr. H. Lux: Die wirtschaftliche Bedeutung der Gas- und Elektrizitätswerke. Leipzig, 1903.

Dr. Hans Mennicke: Die Metallurgie des Wolframs. Berlin, 1911.

C. Le Roy: Transport de force. Calculs techniques et économiques des lignes de transport et de distribution d'énergie électrique. Paris 1912.

W. B. v. Czudnochowski: Das elektrische Bogenlicht, seine Entwicklung und seine physikalische Grundlagen. Leipzig, 1906.

E. de Fodor: Materialien für Kostenvoranschläge elektrischer Lichtanlagen. Leipzig, 1888.

Fr. Kohlrausch: Die Energie oder Arbeit und die Anwendungen des elektrischen Stromes. Leipzig, 1900.

B. Monasch: Der elektrische Lichtbogen bei Gleichstrom und Wechselstrom. Leipzig, 1904.

Georg Dettmar: Elektrizität im Hause. Berlin, 1911.

H. Pohl: Der Betrieb elektrischer Licht und Kraftanlagen. Berlin 1912.

I. Rosenmeyer: Dauerbrand-Bogenlampen. Leipzig, 1904.

L. Bloch und R. Zandy: Elektrotechnische Winke für Architekten und Hausbesitzer. Berlin, 1910.

I. Herzog und C. P. Feldmann: Handbuch der elektrischen Beleuchtung. Berlin-München, 1898.

H. Spyr: Leitfaden für die Abfassung von Projekten über elektrische Licht-, Kraft- und Bahnanlagen. Leipzig, 1905.

Charles Moulon: La nouvelle industrie des lampes électriques à filaments métalliques. Bruxelles, 1911.

Th. Weil: Die elektrische Bühnen- und Effektbeleuchtung. Leipzig, 1904.

K. Laudien: Stromtarife. Leipzig, 1912.

Ing. Dr. Otto Vent: Die Metalldrahtlampe. Berlin, 1913.

Alex. Königsworther: Prinzip und Wirkungsweise der Wattmeter und Elektrizitätszähler für Gleich- und Wechselstrom. Leipzig, 1912.

H. Pohl: Die Montage elektrischer Licht- und Kraftanlagen. Leipzig, 1912.

B. Jacobi: Die Veranschlagung elektrischer Licht- und Kraftanlagen. München und Berlin, 1912.

Dr. Stanko Plivelić.

Električni akumulator.

Prva praktična korist nauke o elektricitetu počinje god. 1753. pronalaskom munjovoda, koji je u svom današnjem obliku nikao na američkom tlu kao izum Benjamina Franklina. D' Alembert karakterizirao je zasluge Franklina za znanost i njegovu domovinu heksametrom „Eripuit coelo fulmen, sceptrumque tyrannis.” Vrijednost toga izuma ne treba napose isticati, ona je danas općeno priznata.

Sve do god. 1800. nije bilo drugoga novoga otkrića na području elektriciteta, koje bi imalo kakvu osobitu vrijednost za praktični život. Radilo se doduše i uto marljivo oko razvitka ove nauke, dakako samo oko statičke munjine, jer druga vrst elektriciteta nije u ono doba bila poznata. Tek god. 1800. saopćio je Volta Kraljevskom društvu znanosti u Londonu, da je izumio spravu, kojom može na posve drugi način proizvoditi elektricitet, negoli je to onda bilo moguće. Bio je to poznati Voltin stup. Od onoga vremena pošla je nauka o elektricitetu skroz novim putem, jer je izum Voltin za razvitak elektrotehnike bio od neprocjenjive vrijednosti. Može se potpuno sigurno ustvrditi, da se elektrotehnika u tako kratkom vremenu ne bi vinula do današnje svoje veličine, da nije bilo Voltina izuma. Elektricitet naime, stvaran trenjem, influencijom i t. d. — t. z. statički elektricitet — malo je kadar služiti u praktične svrhe radi svoje velike disperzije. Već ga dvije stotine godina poznamo, a imamo tek nekoliko sprava osnovanih na njemu, kojima možemo priznati neku znatnu važnost. I suvremenici Voltini uvidjeli su veliki zamašaj njegova otkrića. Godine 1801. pozvao ga je Napoleon Bonaparte u Pariz. Tu je Volta izvodio pokuse tom novom vrsti munjine — galvanskom strujom — u prisutnosti Napoleona pred članovima Akademije znanosti. Njemu u počast kovana je zlatna kolajna i zaključeno osnovati dvije zaklade: prvu od 60.000 franaka, što se ima podijeliti onomu, koji pronadje izum, koji bi svojom vrijednosti odgovarao Franklinovu ili Voltinu; a drugu od 3.000

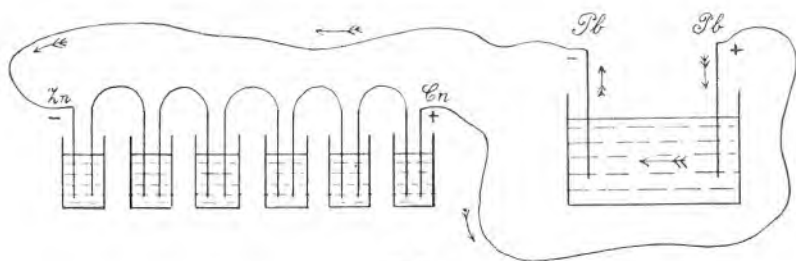
franaka, kojom će se svake godine nagraditi najbolja radnja iz podružja ove nove vrsti elektriciteta.

Od Voltina stupa do t. zv. Voltina galvanskoga elementa bio je samo jedan korak : cinkova naime i bakrena ploča dodjoše u čašu, u kojoj je bila razrijeđena sumporna kiselina ! Spoji li se sada izvan čaše bakrena ploča toga elementa sa cinkovom pomoću n. pr. bakrene žice, tada kontinuirano teče električna struja tom žicom od bakra t. z. pozitivnoga pola elementa, k cinku t. z. negativnom njegovu polu. I time je bio prvi zgodni izvor galvanske struje stvoren. Kako su naskoro fizičari primijetili nedostatke Voltina elementa, to su nastojali, da ga usavrše. Redom su nicali različne vrsti elemenata, a još i danas niču, tako da imamo već golemi broj galvanskih elemenata vlažnih i t. z. suhih, kojima je svima zajednički princip, naime pretvorba kemičke energije u električnu. Uspjesi, što ih je elektrotehnika time postigla, veliki su. Nije ovdje mjesto, da ih nabrajamo. Ali ma da galvanskim elementima moramo priznati veliki udio kod napretka moderne elektrotehnike, treba ipak istaknuti, da s njima samima — kao vrelom elektriciteta — ne bismo danas imali ni električne rasvjete, ni električnih vozila, ni električnoga prijenosa sile i t. d. Galvanski elementi dali su u tom pravcu tek poticaj marnim istraživaocima za traženje savršenih sredstava, koja omogućuju, da se elektricitet uvelike upotrebljava u praktične svrhe.

A i postanak električnoga akumulatora, s kojim kanimo u ovim recima upoznati naše čitatelje, našao je svoj poticaj u galvanskim elementima. Sekundarni elementi ili t. z. akumulatori jesu sprave, kod kojih se zbiva obratni prirodni proces, nego kod običnih galvanskih elemenata. U ove se naime sprave nakrcava električna energija — to biva kod t. z. nabijanja akumulatora. A pošto je akumulator nabit, pretvara se — kad to hoćemo — u njem nakrcana kemička energija opet u električnu, a to se zbiva kod t. z. izbijanja akumulatora. Galvanski nam dakle elemenat predodčuje neku vrst već nabitoga akumulatora, u kom električna energija nastaje od kemičkih procesa, koje prouzrokuje doticaj različne vrsti krutih, tekućih i plinovitih tjelesa ; dok je akumulator neka vrst galvanskoga elementa, u kojem električna energija nastaje od kemičkih procesa, što ih je proizvela galvanska struja, kojom smo akumulator punili.

Princip je električnoga akumulatora posve jednostavan, što će nam objasniti ovaj pokus :

Pomislino, da imademo pred sobom t. z. galvansku bateriju, skupinu dakle od nekoliko n. pr. Daniellovih elemenata ($\text{Zn} \dots \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ i $\text{Cu} \dots \text{Cu SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$). Spojimo te elemente u seriju, dakle Zn jednoga elementa sa Cu drugoga i t. d., tako da nam na kraju ostane slobodan jedan bakreni — pozitivni pol, i jedan cinkov — negativni pol ove baterije. Kad bismo te slobodne polove spojili metalnom žicom, tada bi išla kontinuirano struja od pozitivnoga pola kroz tu žicu do negativnoga i t. d. Mi to ne ćemo učiniti, nego ćemo pokus drukčije udesiti. Uzet ćemo naime staklenu otvorenu posudu, recimo, u obliku oveće čaše, pa ćemo u nju do određene visine usuti razrijedjene H_2SO_4 , a u tu kiselinu metnut ćemo razdaleko jednu od druge dvije olovne ploče (Sl. 1.).



Sl. 1.

Sad ćemo slobodne polove galvanske baterije (na slici od 6 elemenata) spojiti dvjema metalnim žicama, i to tako, da cinkov pol bude spojen s jednom olovnom pločom, a bakreni sa drugom. Iza toga će iz te galvanske baterije u pravcu streljica početi proticati galvanska struja, i to od Cu preko žice na prvu Pb ploču, odavle kroz $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ do druge Pb ploče, a odavle drugom žicom na Zn-ploču baterije i t. d.

Ako taj sklop struje neko vrijeme potraje, primijetit ćemo, kako olovna ploča, kroz koju struja u staklenu posudu ulazi (+), počinje mijenjati svoju boju. Ova promjena boje potječe od toga, što je na toj ploči djelovanjem struje nastala neka kemička promjena. Galvanska naime struja pretvorila je površinu ploče u neko smeđe tijelo, to je naime spoj kisika s olovom, koji zovemo olovni superoksid Pb O_2 . U isto vrijeme, dok je gornji sloj pozitivne olovne ploče pretvoren u Pb O_2 , nastala je promjena i na negativnoj olov-

noj ploči, ona je naime postala sjajnijom, nego što je prije bila. Time je stvoren novi galvanski elemenat :



Kemički proces, kojim je taj novi elemenat stvoren, bio je ovaj : Struja baterije od Daniellovih elemenata, što je ušla u tekućinu posude, u kojoj su bile olovne ploče, rastvorila je $\text{H}_2 \text{O}$ u H_2 i O . Vodik je prešao na negativnu elektrodu, a kisik na pozitivnu. Kako je olovo negativne ploče — kao obično — bilo nešto oksidirano, to se taj njezin kisik spojio sa vodikom u $\text{H}_2 \text{O}$, a ostalo je čisto sjajno metalno olovo ; dočim su se na pozitivnoj ploči po 2 atoma kisika spojila u Pb O_2 .

Ovakav je evo novi galvanski elemenat, električni akumulator, u najprimitivnijem obliku. On ima, kao i svaki galvanski elemenat,



Sl. 2.

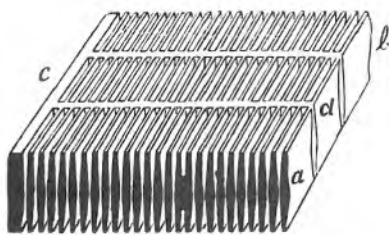
stanovitu elektromotornu silu, koja je od prilike 2 volta. On može davati galvansku struju, koja ima sva svojstva, kao i struja svakoga drugoga elementa.

Da vidimo, što se sada zbiva, kad sklopimo polove toga elementa same za sebe, dakle bez baterije Daniellovih elemenata, pomoću jedne žice (sl. 2.) ! Sad će tom žicom početi kontinuirano teći galvanska struja u pravcu strjelica. Ova akumulatorova struja rastavit će i opet $\text{H}_2 \text{O}$

u H_2 i O . Sad će se dakle stvoriti na Pb O_2 vodik, a na čistom Pb kisik. Vodik reducira olovni superoksid u olovni oksid PbO , koji se djelovanjem $\text{H}_2 \text{SO}_4$ pretvara odmah u olovni sulfat Pb SO_4 ; dok se kisik sa čistim olovom spaja u Pb O , koji se također djelovanjem $\text{H}_2 \text{SO}_4$ pretvara u Pb SO_4 . Djelovanjem dakle akumulatorske struje pretvorit će se za neko vrijeme površina obaju njegovih elektroda u olovni sulfat. Čim se to zbude, prestat će akumulator davati struju, jer su sada u njemu dva jednaka tijela u doticaju, a doticajem dvaju jednakih tjelesa ne može, kao što znamo, — nastati nikakva elektromotorna sila.

Osobito mnogo bavio se akumulatorima već u početku njihova razvitka Gaston Planté, i to od god. 1859. —1879. On je bio

i prvi, koji je primijetio, da je olovo doduše najzgodnije za akumulatore — prije su naime uzimali i ploče od drugih kovina — ali da bi ovakav akumulator, kakvi smo sada opisali, bio vrlo kratkotrajan ; on bi naime samo malo vremena mogao davati struju, jer bi mu brzo nestajalo elektromotorne sile, — dakle bila bi od njega slaba korist za praksu. Planté je naime pokazao, da akumulator moramo najprije formirati, ako ga hoćemo učiniti sposobnim za upotrebu. Radi se naime o tome : hoćemo li, da nam djelovanje akumulatora dulje potraje, moramo nastojati, da se olovni superoksid ne stvori samo na površini olovne ploče, nego da se po mogućnosti čitava ploča pretvori u superoksid. Toga radi je Planté svoje akumulatore više mjeseci uzastopce nabijao i izbijao. Kod svakoga takova procesa prodirao je oksidirajući kisik sve dublje unutra u pozitivnu elektrodu, a ovaj je pak proces pospješio Planté nešto i time, da je svoje akumulatore nabijao i u obratnom smjeru struje. Stoga stvarao se reducirajućim djelovanjem vodika sve veći i veći sloj spužvastoga olova, koje je kod svakoga novoga nabijanja kisik laglje primalo, dok se ono nije konačno sasvim pretvorilo u olovni superoksid.



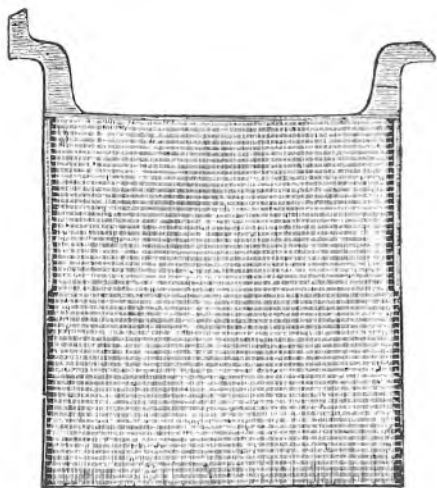
Sl. 3

Ovo dugotrajno formiranje akumulatora znatno je god. 1880. prikratio F a u r e. On je naime obje elektrode akumulatora prije nabijanja obložio slojem olovnih soli ili olovnih oksida. Ove su soli prigodom redukcije olovo direktno izlučivale, i to u spužvastoj poroznoj formi, kakova je potrebna, a da budu akumulatori kadri primiti što veću množinu električne energije. Pokazalo se, da je za to najzgodnije, ako se elektrode oblože minijem Pb_2O_4 . Ovakav Faureov akumulator ne treba uistinu formiranja. Čim je naime jednom potpuno nabit, pretvoren je minijum na pozitivnoj elektrodi — anodi, sasvim u olovni superoksid, dok je negativna elektroda — katoda, reducirana u čisto olovo.

Uza sva dobra svojstva, koja su time postigli Faureovi akumulatori, imali su oni i jednu znatnu manu. Minijum nije dobro držao na olovnim pločama. Toga radi padali su često čitavi komadi minija na dno posude. Tim se nesamo sama sobom umanjivala korisna djelatnost

akumulatora, nego su nastajali i t. z. kratki spojevi izmedju obje elektrode akumulatora, koji su ga naskoro razorili. Nadalje, jer su kod ovih akumulatora stijene od pusti (Filz) rastavljale jednu elektrodu od druge¹, to su ove stavljale struji znatan otpor i time njezinu jakost umanjivale.

Ove nedostatke Faureovih akumulatora uklonio je god. 1881. *Volckmar*. On je naime za elektrode upotrijebio olovne ploče sa okruglim ili četverouglastim rupicama u obliku rešetke. Sad se mogao minijum namazati u te rupice, pa nije mogao tako lako padati na dno akumulatorske posude. Ovakve elektrode dolaze danas u staklene



Sl. 4.

posude ili — ako su veće — u drvene olovnim pločama iznutra obložene sanduke, u kojima se nalazi smjesa kemički čiste H_2SO_4 i destilirane H_2O sa gustoćom od 1.17.

Razumije se samo sobom, da je i od toga vremena trebalo mnogo mučna i ustrajna rada, dok se električni akumulator usavršio, kako ga danas vidimo. Osobitu zaslugu ima za to jedno od najvećih svjetskih poduzeća za fabrikaciju akumulatora, naime tvornica u Hagenu, osno-

vana god. 1887., a god. 1890. pretvorena u tvrtku „Tudor Accumulatoren-Fabrik Actiengesellschaft“, što ima od god. 1897. svoju centralnu upravu u Berlinu.

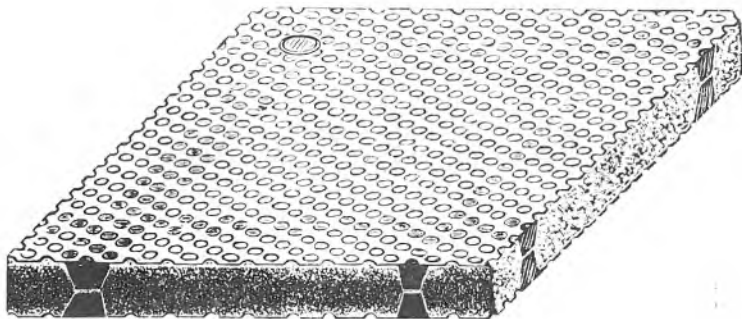
Moderni tip „Tudorova “ akumulatora izgleda ovako :

Obje ploče akumulatora imaju četverokutan oblik, one su kvadrati ili pravokutnici, te su više milimetara debele.

Pozitivnu ploču predočuje nam u prosjeku slika 3. Radi toga oblika ploče znatno je na malenom prostoru povećana površina njezina, a time i njezina djelatnost. Poprečna rebra *cd* drže u čvrstu

¹ Pustene stijene bile su zavinute i smotane u oblik spirale. Tim je bilo moguće, da se na malom prostoru upotrijebe mnogo veće olovne ploče, nego što bi se dalo, kad bi one ravne bile, a stoga je djelovanje tih akumulatora bilo povećano.

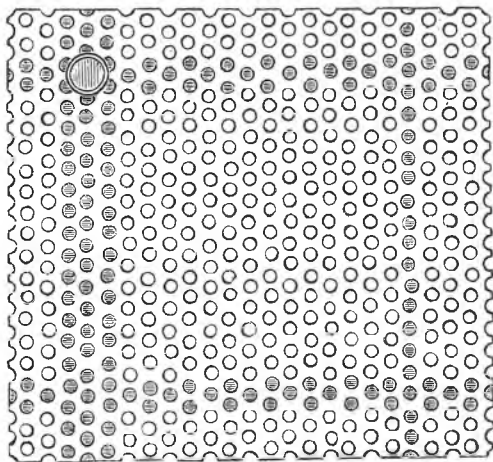
medjusobnu cjelinu ona rebra ab , koja se po duljini protežu, tako da ploča ima oblik, kako ga na slici 4. vidimo. Nastavci, što ih vidimo gore na ploči, služe za medjusobno spajanje od više ploča, odnosno



Sl. 5.

za njihovo smještenje na stijene posude, u kojoj se nalaze. Ta se ploča danas po Plantéovu usavršenom postupku formira, dok se na čitavoj njezinoj vanjskoj površini ne stvori odredjen sloj olovnoga superoksida, koji sada vanredno čvrsto prijanja uz olovnu jezgru.

Negativna ploča akumulatora sastoji od olovne mreže, kojoj su otvori dosta široki. Ta je mreža s jedne i druge strane zatvorena perforiranim olovnim limom. U šupljinu, koja je tako nastala, dolazi t. z. aktivna masa. Ona sastoji od olovnih oksida, kojima

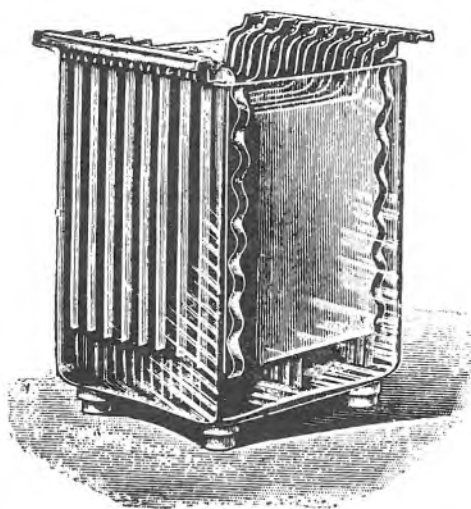


Sl. 6.

su neke tvari — tajna tvornice „Tudor” — dodane. Oksidi podržavaju tu olovnu spužvu tečajem djelovanja akumulatora u spužvastoj strukturi. Stoga se čuva poroznost te mase, koja je za dobro djelo-

vanje akumulatora tako potrebna. Ovu negativnu ploču predočuju nam slike 5. i 6.

Da se dobije što jača struja, valja u jednom akumulatoru uzeti više pozitivnih i više negativnih ploča. Pozitivne ploče spoje se same za sebe u metalnu cjelinu, a negativne i opet same za sebe. A da ploče u samom akumulatoru ne dodju u međusobni doticaj, to se izmed svake dvije ploče ture 2—3 staklena štapića, ili se — u najnovije vrijeme — one međusobno rastavljaju tankim pločama od posebne neke vrsti drva. Skupina tako sastavljenih ploča dolazi u staklene posude, a kod većih — kao što smo već i naprijed spomenuli — u dr-



Sl. 7.

vene sanduke, koji su iznutra obloženi olovnim limom. Slika 7. predočuje nam jedan takav potpuni akumulator sa staklenom posudom.

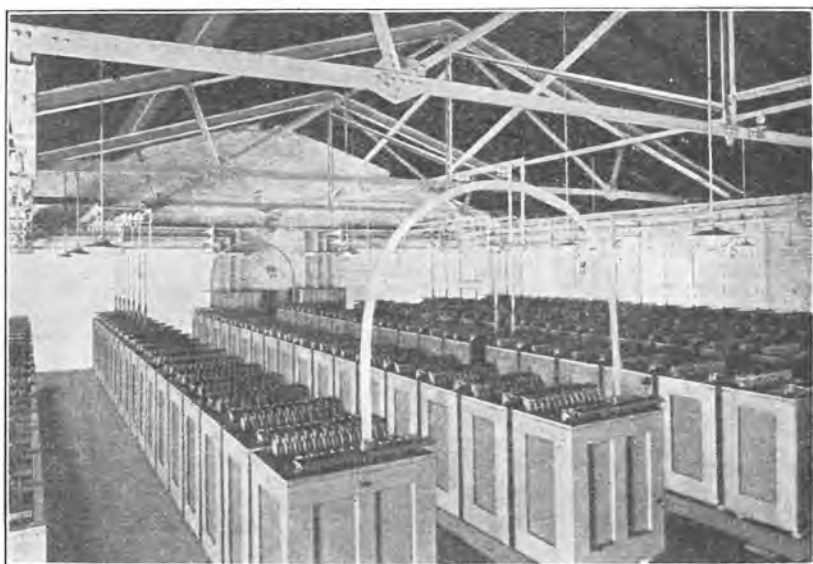
Što se veličine akumulatora tiče, oni se prave u različnim tipovima. Ima tipova s malim, srednjim i velikim pločama. Dimenzije posude Tudorova tipa sa pločama srednje veličine iznose 490, 1355 i 1095 milimetara ; a težina akumulatora iznosi 1251 kilogram bez sumporne kise-

line, a s njome 615 kilograma više, dakle u svemu 1866 kilograma ! Taj tip nosi u „Tudorovoj” tvornici oznaku I_{248} . Najmanji pak tip akumulatora, koji ta tvornica gradi, ima dimenzije 80, 215 i 315 milimetara ; težak je bez kiseline 9 kilograma, s njome 15 kilograma, a označuje se znakom I_1 . Najveći tip smije da se nabija strujom od najviše 2232 ampera, a najmanji strujom od 9 ampera.

Budući da struja jednoga akumulatora ima napetost od po prilici 2 volta, to — želimo li dobiti akumulatorskom strujom veće napetosti — moramo uzeti više akumulatora, te ih međusobno uzastopce ili u seriju spojiti, dakle sve pozitivne ploče jednoga elementa sa svim negativnim pločama slijedećega elementa i t. d. Ovakva skupina od više

akumulatora zove se akumulatorska baterija (sl. 8.). Hoćemo li dakle, da strujom akumulatorske baterije podržavamo svijetlo u električnim sijalicama n. p. od 110 volta, to treba da imamo bateriju od po prilici 60 elemenata.¹

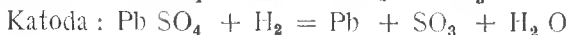
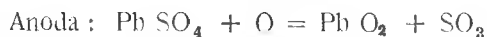
Kemički proces, koji se zbiva za vrijeme nabijanja i izbijanja u akumulatorima, nije u svim potankostima poznat. Ovdje po svoj prilici nema jedne jedine reakcije, koja bi bila jednolična, nego će biti više različitih procesa, koji uporedo teku i koji se opet dijele u različne



Sl. 8.

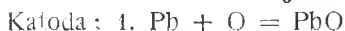
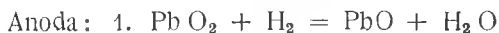
stupnjeve. Prema najnovijim istraživanjima Kohlrauscha, Heima i Strecka, čini se, da se taj zamršeni proces dade od prilike izraziti ovim kemičkim formulama.

I. Nabijanje.



¹ Obzirom na gore navedenu napetost od 2 volta imao bi broj elemenata biti samo 55; no jer se napetost svakoga akumulatora — kao što ćemo naskoro čuti — tečajem izbijanja umanjuje, to treba uzeti 60 elemenata.

II. Izbijanje.



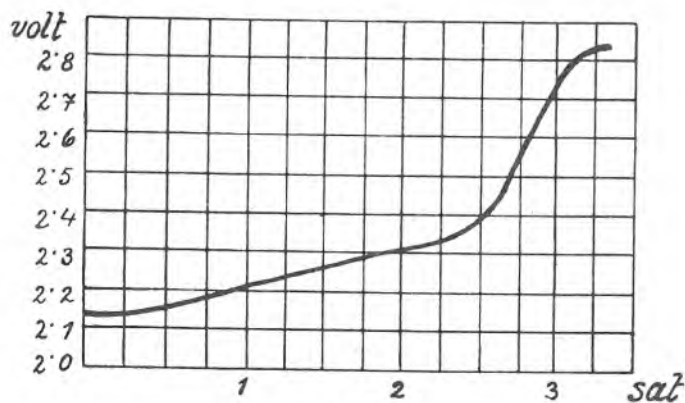
Nabijanje akumulatora.

Želimo li dakle struju nekoga akumulatora prigodom izbijanja upotrijebiti u praktične svrhe, to moramo najprije nabiti taj sekundarni galvanski elemenat — tako nazvan za razliku od običnih galvanskih t. z. primarnih elemenata, koje ne treba nabijati. Budući da akumulator ima srednju napetost od 2 volta, to mora struja, kojom ga hoćemo nabiti, imati barem nešto veću napetost, dakle najmanje 2.05 volta. Prema tomu, hoćemo li nabiti akumulatorsku bateriju od n. pr. 55 elemenata, to struja, kojom ju počinjemo nabijati, mora imati napetost od najmanje $2.05 \times 55 = 113$ volta po prilici. Uistinu pak mora ta napetost biti veća, 2.18 do 2.25 volta po elementu, radi gubitka struje nabijanja povodom nutarnjega otpora samoga akumulatora, a i radi drugih uzroka. A kako napetost akumulatora tečajem nabijanja raste, a kad je potpuno nabit, postigne kod „Tudorovih” akumulatora vrijednost od 2.75 volta, to i napetost struje nabijanja mora tečajem toga vremena — koje obično traje nekoliko sati — rasti. Tako će n. pr. za bateriju od 55 elemenata na kraju morati napetost struje, kojom je nabijamo, iznositi najmanje $2.8 \times 55 = 154$ volta.

Slika 9. predoduje nam, kako se tečajem nabijanja mijenja napetost struje „Tudorova” akumulatora sa I pločama za 3 sata.

Kao što smo razabrali, treba da kod nabijanja akumulatora pazimo na napetost struje, s kojom bateriju nabijamo ; napetost mora naime tečajem čitava trajanja nabijanja biti v e ć a od napetosti akumulatorske struje. Kad bi struja nabijanja imala jednaku napetost, kao i akumulatorska baterija, onda ne bi struja mogla ulaziti u akumulator, t. j. mi ih ne bismo mogli nabijati. Ako bi pak napetost struje nabijanja postala manja od akumulatorske, tad nesamo da ne bi ona išla u akumulator, nego bi baš obratno bilo : iz akumulatora išla bi struja u ono vrelo, iz kojega je dolazila struja nabijanja i tamo eventualno proizvodila različne nepovoljne učinke.

Moramo spomenuti, kao osobito važno, da pazimo i na najveću *j a k o s t* struje, kojom bateriju nabijamo. Tu najveću dopuštenu jakost struje navodi uvijek tvornica za svaki svoj tip. Tako je za najmanji tip I_1 tvornice „Tudor” naznačeno, da se akumulatori smiju nabijati sa najviše 9 ampera. Ako bismo dakle tu vrst akumulatora nabijali n. pr. sa 12 ampera, to bi se ploče akumulatora prije vremena istrošile. A kad bismo, recimo, takav akumulator nabijali sa 100 ampera, on bi se za par minuta pokvario i postao posve bez vrijednosti. S manjim brojem ampera, nego što je propisano, dopušteno je nabijati akumulator. To mu naime ništa ne škodi, samo se u tom slučaju produkuje vrijeme, dok se akumulator potpuno nabije. Dakle s manje



Sl. 9.

ampera trebat ćemo n. pr. nabijati 12 sati, dok bi uz propisanu za tip I_1 najveću jakost struje od 9 ampera trebali nabijati samo 10 sati.

Da saznamo, kad je akumulatorska baterija *p o t p u n o n a b i t a*, imamo više sredstava : u prvom redu služi nam kao vidljiv znak, da je baterija potpuno nabita, živahno razvijanje plinova na negativnim i pozitivnim pločama u svim elementima. Jakost toga razvijanja plinova ovisna je o jakosti struje, kojom bateriju nabijamo. Naime tečajem nabijanja akumulatora dižu se plinski mjehurići najprije na pozitivnim pločama ; tek potkraj nabijanja nastaje živahno razvijanje plinova na negativnim pločama, a na koncu nabijanja razvijaju se jako plinovi i na pozitivnim pločama. Toga radi treba dobro paziti, da se nabijanje akumulatora ne prekine prije, dok se na obje vrste ploča, dakle na pozitivnim i na negativnim, ne pokaže živahno razvijanje plinova.

Kao daljnji znak, da su akumulatori potpuno nabiti, služi nam napetost akumulatora, koja uz normalnu jakost struje nabijanja naraste na po pilici 2.75 volta u jednom elementu i takova bez znatne promjene ostane. Dakle za bateriju od n. pr. 55 elemenata znamo, da je potpuno nabita, kad nam voltmetar pokazuje, da je napetost njezine struje od prilike 152 volta. Ako smo bateriju nabijali slabijom strujom, negoli je za dotični tip akumulatora normalna, ne će ta napetost doseći 2.75 volta po elementu, nego će biti manja. U tom slučaju bit će nam mjerilom za dovršeno nabijanje razvijanje plinova, koje mora — kao što smo rekli — na obje vrste ploča biti živahno.

Konačno moramo spomenuti, da se tečajem nabijanja akumulatora mijenja i gustoća razrijedjene H_2SO_4 , u kojoj su ploče njegove; ona naime biva sve veća. Dakle ako tu gustoću mjerimo areometrom, kako i treba da bude, tada ćemo vidjeti, da će nam se areometar postepeno dizati; a kad su akumulatori potpuno nabiti, onda će stalno ostati na istom mjestu. Budući da gustoća razrijedjene H_2SO_4 u početku nabijanja iznosi obično $1.18 = 22^\circ \text{ Baumé}$, to je nabijanje dovršeno, kad gustoća ove tekućine postigne vrijednost od 1.21 ili 25° Baumé .

Izbijanje akumulatora.

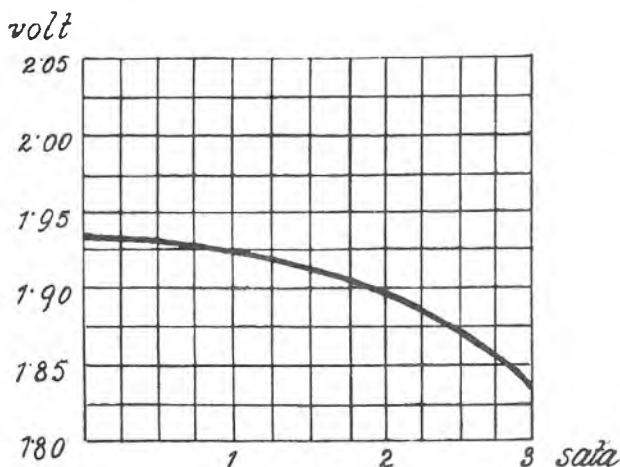
Hoćemo li električnu energiju, nabijanjem nakrcanu u akumulator, korisno upotrijebiti, to moramo akumulator izbiti. Kod nabijanja njegova pretvarala se električna energija u kemičku, dok nam se kod izbijanja pretvara kemička energija natrag u električnu. Tu će nam se prema tomu u glavnom svi procesi, koje smo primijetili kod nabijanja, zbivati sada u obratnom smislu.

Dakle, prigodom izbijanja akumulatora umanjivat će se u prvom redu napetost struje pojedinoga elementa. Čim prekinemo nabijanje, past će napetost svakoga elementa gotovo smjesti na 2.05 volta. Ovu napetost ima akumulator samo u miru t. j. kad ga poslije dovršena nabijanja ne izbijamo ili ako se iz njega izbijaju vanredno slabe struje. Ali kako počne izbijanje, tada stane napetost akumulatoške struje padati dalje. Kad je pak akumulator racionalno izbit t. j. kad je dao toliko električne energije, koliko može dati, a da ga ne izvrgnemo opasnosti, da će se pokvariti, onda moramo izbijanje prekinuti. Taj momenat nastaje, kad napetost pojedinoga akumulatora postigne za slabe struje vrijednost od 1.83 do 1.80 volta, a za jake struje

1.76 do 1.70 volta. Ispod ovih napetosti nipošto nije dobro akumulator izbijati.

Slika 10. predočuje nam grafički pad napetosti struje pojedinoga akumulatora za vrijeme izbijanja.

Isto što vrijedi za padanje napetosti struje za jedan akumulator, vrijedi i za čitavu akumulatorsku bateriju. Imademo li dakle bateriju od 55 elemenata, to će ona na koncu nabijanja imati — kako smo to gore vidjeli — napetost od 154 volta. Čim nabijanje prestane, napetost će joj pasti na $2.05 \times 55 = 113$ volta. Kad pak počnemo izbijati, padat će napetost sve više, ali polagano. A kad napetost



Sl. 10.

struje postigne vrijednost od $1.8 \times 55 =$ po prilici 100 volta, onda moramo izbijanje prekinuti.

Za izbijanja akumulatora valja nadalje paziti i na jakost struje, koju vadimo iz njega. I tu je za svaki posebni tip akumulatora dopušten određeni broj ampera, s kojim se akumulator smije izbiti. Ako je dakle za neki tip akumulatora n. pr. „Tudorov I₆” dopuštena najveća jakost struje izbijanja 54 ampera, to za izbijanja nikada ne smijemo iz akumulatora vaditi struju, koja bi bila veća od 54 ampera. Trajno izbijanje akumulatora već sa nešto većim brojem ampera istrošilo bi prije vremena elemenat. Ako bismo pak ma i samo na kratko vrijeme uzeli osobito veliki broj ampera, to bi nam se akumulator, odnosno njegova baterija, brzo uništila i postala bez vrijednosti. Oso-

bito je opasan u tom pogledu t. zv. kratki spoj čitave baterije. U tom slučaju prema Ohmovu zakonu :

$$I = \frac{E}{O}$$

jer postaje otpor O približno jednak ničici, jest :

$$I = \frac{E}{0}$$

ili :

$$I = \infty$$

Dakle gotovo neizmjereno jaka struja projurila bi na čas čitavom baterijom. A takova struja bi ju za kratki tren uništila.

Što se tiče gustoće razrijeđjene $H_2 SO_4$, dakle tekućine, u kojoj su akumulatori, to ona prigodom izbijanja biva sve manja. Dakle areometar, smješten u toj tekućini, kod izbijanja akumulatora postepeno pada t. j. sve većma uronjuje u tekućinu. Budući da je gustoća tekućine od prilike 1.21, kad je akumulator potpuno nabit, to ona tečajem izbijanja pada, dok na koncu — kad je akumulator propisno izbit — postigne vrijednost od po prilici 1.18.

Energija akumulatora.

Radnju, koju neka sila tečajem nekoga vremena izvrši, mjerimo pomoću produkta te sile sa putem, koji je hvatište te sile provalilo, i sa brojem sekunda, kroz koji je ova sila djelovala. Dakle n. pr. za silu, koja je u 1 sekundi podigla 75 kilograma 1 metar vertikalno u vis, kažemo, da je u toj 1 sekundi obavila radnju od 75 kilogram-metara, a tu radnju ili t. zv. efekt označujemo, kako je poznato, izrazom 1 konjska sila = 1 HP.

Prema tomu je na pr. :

$$1 \text{ HP-sat} = 75 \times 3600 \text{ kgm} = 270.000 \text{ kgm.}$$

$$1 \text{ KW-sat} = 1.36 \text{ HP-sat} = 367.000 \text{ kgm.}$$

$$1 \text{ W-sat} = 367 \text{ kgm.}$$

Na osnovu toga proračunato je, da na pr. srce zdravoga čovjeka obavi na dan radnju od po prilici 80.000 kgm, u 1 pak sekundi radnju od 0.9 kgm ili 0.01 HP. Tvornički radnik obavi na dan, ako radi 10 sati, od prilike 600000 kgm radnje, a to odgovara efektu od 0.21 HP ; a radnik, koji kroz isto vrijeme samo terete nosi, obavi na dan radnju od 1,000.000 kgm, dakle je efekt njegova rada 0.37 HP. Kemička energija izgaranja ugljena, kod koje se za 1 kg potroši 21 kg zraka, daje

7.000 kalorija, dakle 7000×427 ili od prilike 3.000.000 kgm. Kemička pak energija ljudske hrane na dan iznosi po prilici 5.000 kalorija ili 2.100.000 kgm. Iz toga vidimo, da radniku, koji čitav dan samo terete nosi, još uvijek preostaje dosta energije za nutarnje radnje u tijelu (na pr. djelovanje srca), za žarenje topline njegova tijela i t. d. Dakako, ako radnik u pojedinom danu obavi osobito teški posao, tako da n. pr. u danu obavi radnju od 3.000.000 kgm, onda mu u tu svrhu potrebitu energiju ne može podati samo hrana, nego ju mora uzeti iz onih tvari, koje je priroda već prema zdravlju dotičnoga čovjeka u većoj ili manjoj količini u tijelu nakrcala kao rezervu.

Električna energija mjeri se produktom jakosti struje u amperima, sa napetošću te struje u voltima i sa brojem sekunda, kroz koji je ta struja djelovala. Isto tako mjerimo i energiju nekoga vodopada sa produktom množine vode u kilogramima sa visinom, iz koje ona pada, u metrima i sa brojem sekunda, kako je dugo mjerenje trajalo. Jedinica pak električne energije je 1 watt-sekunda ili u praksi 1 tisuću watt-sekunda, što je 1 kilowatt-sekunda. Prema tomu je :

$$1 \text{ watt-sat} = 3.600 \text{ watt-sekunda}$$

$$1 \text{ kilowatt-sat} = 3.600.000 \text{ watt-sekunda}$$

A budući da je :

$$1 \text{ HP} = 736 \text{ watta},$$

to je :

$$\begin{aligned} 1 \text{ watt-sat} &= 4.9 \text{ HP-sekunda} \\ &= 367.5 \text{ kgm.} \end{aligned}$$

Jedna električna sijalica sa metalnom niti od 16 Hefnerovih svijeća, koja na 1 svijeću troši 1.2 watta, ima prema tomu efekt od 19.2 watta. Za 1 sat gorenja konzumira ona dakle 19.2 watt-sati, a tomu odgovara mehanička radnja od 19.2×367.5 kgm, a to je 7.056 kgm. Ta pak radnja, koju potroši ova električna sijalica u 1 satu, bila bi kadra n. pr. 1 čovjeka, koji je 70 kilograma težak, preko 100 metara visoko dignuti. Zaista ne bi čovjek mislio, da je tomu tako.

Na osnovu ovoga razmatranja o radnji prijeći ćemo na to, da na nekim primjerima pokažemo, koliku je radnju kadra vršiti struja nakrcana akumulatora.

Pomislmo Tudorov elemenat tipa I_2 . Stavimo pitanje, koliku je radnju kadra vršiti baterija od 3 takova elemeta tečajem izbijanja kroz pet sati ?

Za ovaj tip akumulatora garantira tvornica, da će se kraj valjane manipulacije s njime moći iz svakoga elementa nakon potpuna naboja, za vrijeme od 5 sati izbijati struja od 12 ampera. Uzmimo, da se on izbija sa srednjom napetošću od 1.913 volta, to će baterija od 3 takova u seriju skupčana elementa davati napetost od 5.739 volta. Radnja, koju ta struja vrši u 1 sekundi, prema tomu je 68.868 watta, a u 1 satu 68.868 watt-sati, a to čini u 5 sati radnju od 344.34 watt-sati. Ovomu pak odgovara mehanička radnja od 126.535 kgm. A budući da je ovakov akumulator zajedno s kiselinom težak 23.5 kilograma, a sva tri elementa 70.5 kilograma, to bi električna struja, koja se iz te baterije za 5 sati može izbiti, bila kadra ovu bateriju od 3 elementa od prilike 1.800 metara visoko dignuti.

Uzmimo sada jedan drugi primjer, i to upravo iz prakse :

U kralj. zemaljskoj kaznionici u Mitrovici ima zavodski električni uređaj akumulatorsku bateriju od 62 u seriju skupčana elementa, tipa „Tudor I₅₂.” Za tu bateriju garantira tvornica, da će u 3-satnom izbijanju davati svaki akumulator struju od 468 ampera. Kako je srednja napetost izbijanja za svaki akumulator 1.913 volta, to se čitava baterija izbija s napetošću od 118.6 volta. A radnja, koju vrši struja te baterije u 1 sekundi, jest 55.505 watta ili u 1 satu 55.505 watt-sati, a u 3 sata 166.515 watt-sati ; tomu odgovara mehanička radnja od 166.515×367.5 kgm, dakle 61.194.262.2 kgm.

Dakle tu golemu radnju vrši akumulatorska baterija kr. zemalj. kaznionice u Mitrovici tečajem svoga 3-satnoga izbijanja.

Da si predočimo, kako je ta radnja golema, navest ćemo slijedeće : Težina jednoga akumulatora ove baterije iznosi zajedno s kiselinom od prilike 420 kilograma, a težina je čitave baterije 26.040 kilograma. Tako bi cjelokupna radnja, koju obavi struja te baterije tečajem svoga 3-satnoga izbijanja, dakle njezina cjelokupna energija, bila kadra tu golemu težinu baterije dići 2.350 metara visoko !

Govoreći o radnji, koju je neki izvor struje kadar obavljati, ne pomišljamo u praksi redovno na cjelokupnu radnju, koju je struja kadra tečajem čitava trajanja svoga djelovanja izvesti, nego računamo s onom radnjom, koju ona može stalno tečajem toga vremena obavljati u svakoj pojedinoj sekundi, dakle sa t. zv. efektom. Efekt pak struje ove sada navedene baterije je 55.505 watta ili od prilike 75 HP.

Iz svega toga razabiremo, kako je silna množina energije nacrncana u razinjerno malenom akumulatoru.

Kapacitet akumulatora.

Cjelokupnu množinu elektriciteta, koja se dađe u neki akumulator nakrcati, nazivamo općeno kapacitetom toga akumulatora. U praksi ne računamo s tom množinom elektriciteta, nego s onom, koju akumulator u obliku struje prigodom propisanoga izbijanja može podati i tu množinu elektriciteta zovemo kapacitetom toga akumulatora. Taj kapacitet računa se redovno u amperskim satovima. Prema tomu, kad tvornica garantira za neku bateriju, da ima — kao ona u kr. zemalj. kaznionici u Mitrovici — kapacitet od 1404—1886 amperskih sati uz 3—10 satno izbijanje, to znači, da je svaki pojedini elemenat (uz srednju napetost izbijanja od 1.913 volta) ili čitava baterija (uz srednju napetost izbijanja od 118.6 volta) kadar odnosno kadra davati za izbijanja 3 sata neprestance struju od 468 ampera ili 10 sati neprestance struju od 188.6 ampera.

Veličina kapaciteta akumulatora ovisna je u prvom redu o cjelokupnoj površini akumulatorskih ploča. Što je površina veća, to je i kapacitet akumulatora veći ; a što je ona manja, to je i kapacitet manji. Dakle, akumulatori s malenim pločama i s malenim brojem ploča u njima imadu i maleni kapacitet ; akumulatori, kojima su ploče velike, odnosno u kojima je mnogo velikih ploča, imaju velik kapacitet, to veći, što je više ploča u akumulatoru. U drugom redu ovisan je kapacitet akumulatora u velikoj mjeri o gradnji, dakle o tehničkoj dotjeranosti akumulatorskoga fabrikata.

Kapacitet akumulatora, odnosno akumulatorske baterije, nije stalan, kako bi se prema pojmu kapaciteta očekivalo, nego raste sa brojem sati izbijanja, i to zato, što se kod današnjih akumulatora u praktičnom njihovu djelovanju ne izrabljuje čitava aktivna masa obiju elektroda, nego samo jedan njezin dio. U najboljem slučaju — a taj nastupa kod opterećenja s vanredno slabim strujama, odnosno kad izbijanje vrlo dugo traje — sudjeluje u tvorbi akumulatorske radnje od mase pozitivnih ploča najviše 75%, a od mase negativnih ploča najviše 50%. Traje li izbijanje manje sati, tada djeluje manje mase na tvorbu akumulatorske radnje. Dakle, što je kraće vrijeme izbijanja, to se manje aktivne mase korisno izrabljuje, a prema tomu to je i manji kapacitet baterije. Uzrok ovome pojavu jest izniedju ostaloga i taj, što sumporna kiselina može to lakše doći do unutarnjih čestica ploča i njih u svrhe radnje izrabiti, što dulje ona na te ploče djeluje, odnosno što dulje traje izbijanje akumulatora.

Taj porast kapaciteta akumulatora nije proporcionalan sa brojem sati izbijanja. Tako je kapacitet gore spomenute baterije uz 3-satno izbijanje 1404 amperska sata, uz 5-satno 1560 amperskih sati, uz 7-satno izbijanje 1723 amperska sata, a uz 10-satno izbijanje 1886 amperskih sati ; a za ovo je vrijeme garantovana najveća jakost struje : 468, 312, 230 odnosno 188.6 ampera.

Već prema svrsi, kojoj služe, grade se akumulatori različitih kapaciteta. Tudorova tvornica proizvodi akumulatore, koji dolaze u staklene posude, sa kapacitetom od 27—36 amperskih sati do 378—508 amperskih sati uz 3—10 satno izbijanje. Veći tipovi akumulatora, koji dolaze u drvene sanduke, imaju kapacitet od 432—580 amperskih sati pa do 6696—8216 amperskih sati uz 3—10 satno izbijanje. Za brzo izbijanje gradi Tudorova tvornica akumulatore sa kapacitetom od 19—22 amperska sata do 2923—2745 amperskih sati uz 1—2 satno izbijanje. Za posebne svrhe grade se još veće t. zv. orijske akumulatorske baterije. Tako se jedna od najvećih akumulatorskih baterija na svijetu nalazi u Stockholmu. Ona ima 138 elemenata, a kapacitet joj je 10.368 amperskih sati uz 3-satno izbijanje. Ta je dakle golemi akumulatorska baterija prigodom izbijanja kadra davati 3 sata neprestance struju, kojoj je jakost 3456 ampera, a s ovom strujom može da se kroz to vrijeme rasvijetljuje 56.635 električnih sijalica sa metalnom niti, kojima je svakoj jakost svijetla 16 Hefnerovih svijeća.

Najveći tip akumulatora, koji je dosada sagradila tvornica „Tudor”, ima oznaku I₅₆₄, a kapacitet mu je 15.228—18.684 amperskih sati kod izbijanja od 3—7 sati. Prema tomu je ovaj akumulator, kao i iz njega sastavljena baterija, kadra prigodom 3-satnoga izbijanja davati 5076 ampera !

Stupanj djelovanja akumulatora.

Pod stupnjem djelovanja nekoga akumulatora razumijevamo odnošaj između množine struje, izražene u amperskim satima, koja se može iz akumulatora tečajem izbijanja izbiti, — dakako samo tako dugo, dok napetost akumulatora spadne najviše na po prilici 1.8 volta — i one množine struje, izražene i opet u amperskim satima, koja se mora upotrijebiti, da se akumulator potpuno nabije.

Za nabijanje i izbijanje s veoma slabim strujama je stupanj djelovanja dobrih akumulatora = 1, t. j. akumulator radi sa stupnjem djelovanja od 100%.

Budući da se u praksi s ovakvim strujama ne radi, to je stvar ovdje druga. Mi već znamo, da se pri kraju nabijanja akumulatora živahno razvijaju plinovi iz njega, naime kisik i vodik. Za ovo razvijanje potrebna radnja znači čisti gubitak na struji. Osim ovoga razvijanja zbivaju se u nutrašnjosti akumulatora neke nuzgredne kemičke reakcije, koje također struju troše i stoga stupanj djelovanja umanjuju. Praktična iskustva pokazala su, da — ako akumulator izbijamo i nabijamo s normalnom strujom tečajem 3 sata — možemo od cjelokupne množine struje, koju smo morali upotrijebiti za potpuni naboj akumulatora, izbiti samo 95%. To drugim riječima znači, da je za neki akumulator, iz kojega smo na pr. izbili 100 amperskih satova, potrebno 10 amperskih sati struje, da ga ponovo potpuno nabijemo.

Prema tomu je stupanj djelovanja toga akumulatora:

$$\frac{100}{105} = 0.95$$

ili 95%.

Ali budući da je u praksi radi prometne sigurnosti potrebno, da svaki akumulator, i pošto je već potpuno nabit, još neko vrijeme na pr. 10 minuta dalje nabijamo s istom jakošću struje, t. j. — drugim riječima — jer se u praksi mora za vrijeme nabijanja svaki akumulator nešto prenapuniti, to na pr. tvornica „Tudor“ za svoje akumulatore garantira samo sa stupnjem djelovanja od 90%.

Korisni efekt akumulatora.

Odnosaj broja watt-sati struje, koju smo dobili prigodom izbijanja akumulatora, naprama onomu broju watt-sati struje, koji smo upotrijebili prigodom nabijanja, zovemo korisni efekt akumulatora.

Da vidimo sada, koliki je korisni efekt akumulatora na pr. u kr. zemalj. kaznionici u Mitrovici.

Kažimo, da svaki akumulator ove baterije nabijamo tečajem 5 sati s najvećom dopuštenom strujom od 384 ampera uz srednju napetost nabijanja od 2.15 volta, to smo za ovo vrijeme u svaki akumulator nakrcali :

$$5 \times 2.15 \times 384 = 4.128 \text{ watt-sati električne energije.}$$

Neka smo nakon toga prigodom izbijanja, koje je trajalo 7.5 sati, uzimali iz svakoga akumulatora struju od 230 ampera, uz

srednju napetost izbijanja od 1.913 volta, to smo za to vrijeme iz njega izbili :

$$7.5 \times 1.913 \times 230 = 3.300 \text{ watt-sati električne energije.}$$

Prema tomu je korisni efekt toga akumulatora :

$$\frac{3.300}{4.128} = 0.79$$

ili 79%.

Korisni pak efekt čitave akumulatorske baterije od 62 elementa isti je, ako su svi njezini akumulatori jednako dobro građeni, jer u tom je slučaju korisni efekt :

$$\frac{3.300 \times 62}{4.128 \times 62} = 0.79$$

Ovakva vrst akumulatora spada danas medju vrlo dobre fabrikate, jer samo u rijetkim prilikama polazi tvornicama za rukom sagraditi akumulator s još većim korisnim efektom. Najveći polučeni korisni efekt naime iznosi 85%.

Izbijanje akumulatora, koje se samo od sebe zbiva.

Radi nečistoća, koje se nalaze u olovu, iz koga su akumulatorske ploče građene i kojima uz najveću pažnju nije moguće posve izbjeći, nastaje gotovo u svakom akumulatoru neko izbijanje struje u njemu samomu t. j. akumulator se sam u sebi izbija sa strujom, od koje nemamo nikakve koristi. Prema tomu mora se prigodom fabrikacije, a i u praksi za manipulacije s akumulatorima, vrlo strogo paziti na to, da se pristup tuđim tjelesima i u minimalnim količinama po mogućnosti što više zapriječi.

Ako se na pr. u olovu od akumulatorovih ploča nalazi antimona, onda i ako male, ali zato konstantne množine olova prelaze uz razvijanje plinova u olovni sulfat. Time se aktivna masa prvoga već dana umanjuje za $\frac{1}{2}\%$, a poslije toga i dalje, i ako manje. Stoga se dakako umanjuje i stupanj djelovanja samoga akumulatora. Ima li pak na tim pločama većih količina antimona ili drugih kovina, to ovo štetno izbijanje akumulatora samoga od sebe biva još veće.

Jednako je vrlo važno, da H_2SO_4 i H_2O , u kojima stoje akumulatorske ploče, bude kemički posve čista ; radi toga za akumulatore možemo upotrebljavati samo destiliranu vodu. Nalazi li se u

toj s vodom razrijeđenoj sumpornoj kiselini — ma i u najmanjim količinama — platine, zlata, željeza, bakra, klora i t. d., to ove primjese vanredno štetno djeluju na djelatnost akumulatora i mogu ga daleko prije vremena — ako se u nešto većim množinama u toj tekućini nalaze — posve razoriti.

Ima li naime u akumulatorskoj kiselini malenih množina željeza ili drugih kovina — ako i manje od 1% — to ovakva kovina zaprečuje nabijanje akumulatora. Sitne ove metalne čestice idu povodom struje ovamo i onamo između ploča; na negativnim se elektrodama reduciraju, a na pozitivnim oksidiraju. Stoga se troši 30—40% struje, s kojom se akumulator nabija i izbija.

Jednako je vrlo štetno, ako se nalazi bakar u H_2SO_4 . On se naime tada za nabijanja na negativnoj ploči taloži. Ovaj tanki sloj bakra omogućuje razvijanje plinova već ispod 2 volta, a kako akumulator ima sâm napetost od 2 volta, to će se on tako izbiti, da će vodik na pobakrenom dijelu ploče uzmicati.

Nadalje treba paziti, da ni destilirana voda ni sumporna kiselina, koju nadosipavamo u akumulator, kad se njegova tekućina djelomice istrošila, nema ništa klora. Toga radi moramo ove tekućine uvijek prije sipanja u akumulator pomoću rastopine srebrova nitrata $AgNO_3$ ispitati, što se tiče klora.

Ovo ispitivanje zbiva se ovako: uzmemo jednu običnu staklenu epruvetu i tu dobro nekoliko puta isperemo s onom vodom, koju želimo, što se tiče Cl , ispitati. Iza toga napuni se tom vodom epruveta do polovice, te se u nju kapnu 2—3 kapi rastopine $AgNO_3$. Poslije toga treba da ovu smjesu H_2O i $AgNO_3$ potresemo. To činimo tako, da držeći epruvetu palcem i kažiprstom desne ruke, i to nešto ispod njezina ruba, tu epruvetu nekoliko puta udarimo o otvoreni dlan lijeve ruke. Uslijed tih, i ako neznatnih udaraca, dovoljno će se promiješati ono par kapi srebrova nitrata s vodom. Ali nipošto ne smijemo epruvetu zatvoriti na pr. palcem i tada promućkati ili inače kako vodu, koju istražujemo, dovesti u doticaj s našom rukom, jer se na njezinoj koži nalazi uvijek klora, koji bi na taj način došao u dodir s vodom, i tim bismo došli do krivog zaključka. Ostane li poslije toga, pošto smo oprezno promućkali epruvetu, voda potpuno prozirna i bistra, to je sigurno, da u njoj nema ništa klora i takova se voda može upotrijebiti za nadosipavanje akumulatorske tekućine. Ali pomuti li se ta voda, ako i malo, onako, kako

bi se pomutila, kad bismo u nju utočili nekoliko kapi mlijeka, to u njoj ma klora, te se ona nipošto ne smije upotrijebiti za nadosipavanje akumulatora.

Da saznamo unaprijed, kako izgleda pomućenje vode, u kojoj ima klora, kad u nju dodje nekoliko kapi Ag NO_3 , to možemo takav pokus načiniti u drugoj epruveti sa bunarskom vodom ili vodom iz vodovoda, koje vode redovno imaju više ili manje klora.

Isto tako, kako istražujemo vodu, koja je namijenjena akumulatorima, na klor, postupamo i sa $\text{H}_2 \text{SO}_4$. Samo moramo dodati, da ova metoda ispitivanja akumulatorske tekućine ne vrijedi za razrijeđenu $\text{H}_2 \text{SO}_4$, koja je već radila u akumulatoru. Sa rastopinom naime srebrova nitrata nije moguće klor u akumulatorskoj tekućini konstatirati. Ta se tekućina daje, što se tiče klora, ispitati samo u kemičkim laboratorijima akumulatorskih tvornica.

Zašto su akumulatorske ploče od olova ?

Na osnovu dosadanjega našega razmatranja nehotice se namiče pitanje, zašto se u akumulatorima ove vrsti, o kojima je dosada bio govor, upotrebljavaju baš olovne ploče ? Poznato nam je dobro, da se kod t. zv. primarnih elemenata upotrebljavaju kao elektrode različne kovine kao cinak, bakar, platina, željezo i t. d. i ugljen, dok smo kod akumulatora — dosada barem — čuli samo o olovnim elektrodama. Dakle mora da je neki posebni važni razlog, radi kojega akumulatorska tehnika još i danas u pretežnoj većini upotrebljava olovo. A taj razlog je ovo :

Za ploče akumulatora, dakle za njegove elektrode, daje se najzgodnije upotrijebiti ona kovina, koja može postići najviši stupanj oksidacije. Osim toga ne smije tu kovinu akumulatorski elektrolit — dakle razrijeđena $\text{H}_2 \text{SO}_4$ — istrošiti, kao što se na pr. troši cinak u galvanskim elementima. Nadalje mora kovine, koja je zgodna za akumatore, biti u obilnoj mjeri u prirodi, da nabava velike njene množine, potrebne za nakrcavanje znatne električne energije, ne bude odviše skupa.

Sva navedena svojstva ima u tako znatnoj mjeri jedino olovo od svih kovina, te se radi toga ono pretežnom većinom i upotrebljava za gradnju akumulatorskih ploča.

Akumulator prof. Hannovera.

U stručnim je krugovima odavna priznato, da Tudorovi akumulatori kraj sve znatne savršenosti imaju i nedostataka, a jedan je od glavnih, što olovo imađe veliku specifičnu težinu, ono je dakle vrlo teško. Stoga bilo bi u praksi u mnogo slučajeva poželjno, kad bi se uz ista dobra svojstva akumulatora mogla umanjiti njihova težina. Zato se pomišljalo, da se za akumulatorske elektrode upotrijebe kovine, koje su laglje od olova. No uspjeh barem dosada — kao što ćemo još pokazati — nije bio baš najbolji. Sasvim drugim putem pokušao je to pitanje riješiti dr. H a n n o v e r, profesor tehničke visoke škole u Kjoebenhavnu (Kopenhagen). Rezultati njegovih istraživanja, prvi put sredinom god. 1912. u glavnom objelodanjeni u tehničkom časopisu „Ingenioren“, daju naslućivati, da će se usprkos gore navedenoj mani današnjih akumulatora — velika specifična težina olova — u doglednoj budućnosti kod fabrikacije akumulatora ipak ostati kod olova, ali će se olovo još bolje izrabiti, nego što je današnjim metodama bilo moguće, a time će se znatno umanjiti težina olovnih akumulatora.

Profesoru Hannoveru pošlo je naime za rukom, da načini potpuno porozne olovne ploče, koje radi svoje općene šupljikavosti mogu u čitavoj svojoj masi u elektrolitičkim procesima, koji se zbivaju u akumulatoru, učestvovati. Na oko izgledaju te ploče kao obične olovne ploče, ali istražujemo li ih mikroskopski, vidjet ćemo, da su isprebušene milijunima sitnih rupica i kanala. Radi toga svoga sustava one djeluju čim dodju u doticaj s kakovom tekućinom, kao bugačica; one naime požudno upijaju tekućinu, tako da se njom skroz i skroz natope. Prema tomu je jasno, da bi ovakve olovne ploče, uzete kao elektrode u akumulatorima, daleko bolje mogle djelovati, nego danas običajne na pr. Tudorove svojom mrežastom i rebrastom konstrukcijom.

Do ovoga poroznoga olova došao je Hannover na osnovu istraživanja onih pojava, koji se zbivaju kod taljenja, odnosno kod skrućivanja kovina. Mnogi metali ne skrutnu se prigodom ohladnuća najednput, nego se skrućivanje zbiva tako, da se kod određene temperature skrutne samo jedan dio kovinske mase, a u njoj ostane u nebrojenim uskim kanalićima još uvijek dosta metala, koji je u tekućem stanju. Ovo se osobito zgodno zbiva, ako se načini slitina od dvije različne kovine na pr. olova i antimona. Ako takovu slitinu od dvije ko

vine ugrijemo do tališta lakše rastaljive kovine, u našem slučaju antimonu, to će se on rastaliti, postati tekuć, i u takovu je stanju — uz različna mehanička pomagala na pr. uz pomoć centrifugalnoga stroja — kadar antimon iz olova posve izaći, ostavivši iza sebe skroz i skroz porozno olovo u krutom stanju.

Radi ove posvemašnje poroznosti — Hannover je na svakom milimetru duljine nabrojio poprečno do 20 sitnih rupica, otvora naime ovih uzanih kanalića — dobiva ploča, načinjena iz takova materijala, vanredno veliku površinu. Površina je od prilike 50 puta veća, nego kod danas običajnih akumulatorskih ploča istih vanjskih dimenzija, dakle iste duljine, širine i debljine. A budući da je djelatnost akumulatora — kao što smo prije istaknuli — ovisna uvelike o površini olovne ploče, koja je izvrnuta djelovanju razrijeđjene sumporne kiseline, to je lako moguće, da će gradnjom takovih olovnih ploča znatno uznapredovati akumulatorska tehnika.

Prema dosadanjim pokusima došao je Hannover do zaključka, da je kapacitet akumulatora s njegovim pločama najmanje četiri puta tako velik, kao kapacitet današnje najbolje vrsti akumulatora, dakle Tudorovih.

No kako je pri prosudjivanju vrijednosti mnogobrojnih i raznovrsnih izuma, koji u naše doba kao gljive niču, potrebna velika opreznost, jer ih valja tek u praksi ispitati, to za danas ne možemo nikakav sud izreći, da li je i u koliko je elektrotehnika izumom Hannovera doista uznapredovala. A napokon je i tek kratko vrijeme proteklo od izuma njegova, da bi se danas o iskustvu s tim akumulatorima u praksi moglo govoriti.

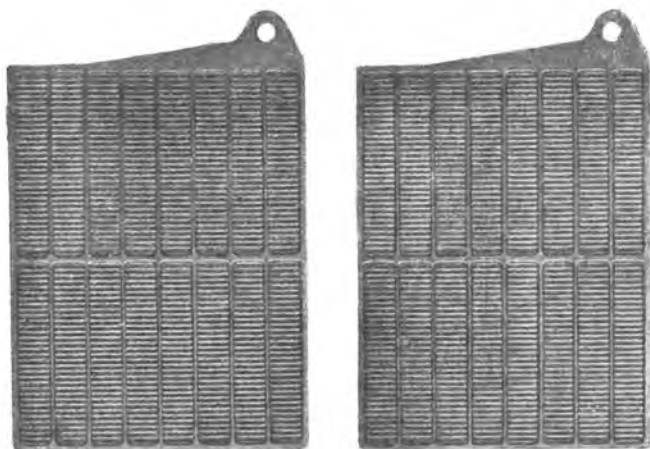
Edisonov akumulator.

Osim pomenute metode, kojoj je svrha, da se težina akumulatora uz istu djelatnost što više umanja, bilo je još i mnogo drugih. Išlo se naime i tim putem, da se sagradi tip akumulatora, kod kojega elektrolit — dakle tekućina u akumulatorima — ne sudjeluje na reakciji elektroda, nego da on samo kao dielektrično tijelo — izolator — te ploče rastavlja i omogućuje prijelaz kisika s jedne ploče na drugu zbog svoga sadržaja hidroksilnih jona.

Tako je nastao t. zv. a l k a l i č k i akumulator, u kom nema nikakve kemičke kiseline. Oko ovoga tipa akumulatora radilo je mnogo pa-

metnih glava, ali moramo odmah kazati, barem dosad bila je slaba praktična korist od čitava toga mučnoga rada. Kako je u tom neku praktičnu vrijednost — barem tako uvjeravaju američki stručni časopisi — postigao Edisonov alkalički akumulator, to ćemo ga ukratko predočiti radi potpunosti ovih redaka našim čitateljima.

Ploče Edisonova akumulatora sastoje iz rešetkâ od poniklovanoga željeza. Na prečkama rešetkâ namještene su s obje strane torbice od tankoga željeznoga lima, u koje dolazi masa, koja u akumulatoru djeluje (sl. 11.). Ta masa sastoji kod pozitivnih ploča iz niklova oksida, a kod negativnih iz željeznoga oksida. Inače pozitivna i negativna ploča, kako naša slika pokazuje, izvana su posve jednake.

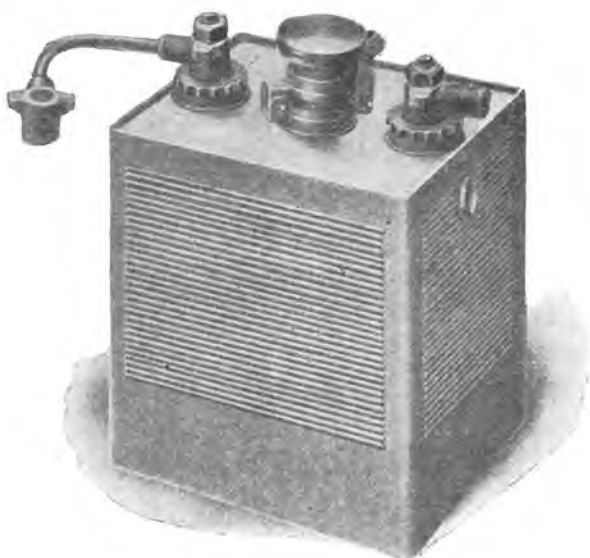


Sl. 11.

Da se elektrolitu omogući pristup k aktivnoj masi, to su ove torbice perforirane t. j. providjene velikim brojem sitnih rupica, koje ne smiju biti premalene, a ni prevelike. One naime moraju biti tako velike, da do njih lako može doprijeti elektrolit, a ne smiju biti prevelike, da aktivna masa, koja je u torbicama u obliku praška smještena, ne ispada iz njih. Pozitivne ploče izoliraju se od negativnih u Edisonovu akumulatoru t. zv. tvrdom gumom. Ovakvih pozitivnih i negativnih ploča sastavlja se nekoliko — kao i kod običnih akumulatora — u jednu zgodno vezanu cjelinu, a ta dolazi u posudu od poniklovana željeznoga lima, koja je gore zatvorena poklopcem. Kroz taj poklopac prolaze polovi samoga akumulatora, a osim toga se na

njemu nalazi jedan otvor sa kapom, kojemu je svrha, da se kroza nj sipa akumulatorska tekućina. Kapa poklopca ima jedan ventil, kroz koji izlaze napolje plinovi, što se za nabijanja ovoga akumulatora razvijaju.

Kao elektrolit upotrebljava se u Edisonovim akumulatorima 21% otopina kalijeve lužine, KHO. Kao što kod Tudorovih akumulatora moraju ploče biti posve u razrijeđenoj sumpornoj kiselini, tako i kod Edisonovih mora tekućina uvijek od prilike 12 milimetara biti nad gornjim rubom ploča. Potroši li se nešto od te tekućine, naime kalijeve lužine, to se mora odmah sipati nova u akumulator.



Sl. 12.

Prednosti Edisonovih akumulatora (sl. 12.), prema onima s olovnim pločama, bile bi ove: kod Edisonovih akumulatora je zgodno, što kod njih nema sumporne kiseline, pa stoga nema neugodnoga zaudaranja i razvijanja plinova, koji se osobito za nabijanja akumulatora iz te kiseline dižu. Nadalje mogu Edisonovi akumulatori ma kako dugo stajati na miru, dakle da se ne nabijaju, niti ne izbijaju, a da se ne pokvare. Jednako valja priznati, da je Edisonov akumulator zgodnije gradjen od Tudorova obzirom na kemičku izrabu cjelokupnoga materijala, iz koga je sastavljen.

Što se tiče kapaciteta Edisonovih akumulatora, to on nije — kako su interesirani faktori nastojali predočiti — uz istu težinu veći od akumulatora s olovnim pločama. Glavni je uzrok tomu malena napetost Edisonova akumulatora. Ovaj naime akumulator ima na početku nabijanja napetost od po prilici 1.23 volta, koja se postepeno diže, i kad je elemenat posve nabit, postigne vrijednost od 1.8 volta. Kod izbijanja pada napetost njegova, te iznosi — kad je akumulator propisno izbit — 1.15 volta. A to je upravo veliki nedostatak Edisonova akumulatora prema Tudorovu, što ima mnogo manju napetost, tako da nakon potpunoga naboja ima tek onu napetost, s kojom kod Tudorova akumulatora tek počinje nabijanje! Uzme li se ova okolnost u obzir, dolazi se na osnovu stručnih ispitivanja do neosporiva zaključka, da uistinu Tudorov akumulator ima uz istu težinu znatno veći kapacitet negoli Edisonov.

Jednako je prema vlastitim navodima tvornice, koja gradi Edisonove akumulatore, stupanj njihova djelovanja samo 72%, dok je kod Tudorovih 90%—95%.

Još je nepovoljnije sa korisnim efektom Edisonovih akumulatora. Taj iznosi tek 47%, naprama 77%, pače i 85%, što ga imadu Tudorovi akumulatori.

Uzevši sve to uobzir, kao i neke druge okolnosti, na koje se u ovim recima radi ograničena prostora ne možemo osvrnati, dolazimo do zaključka, da Edisonov akumulator — usprkos nekim prednostima prema olovnim akumulatorima — ne može uspješno konkurirati sa posljednjima. On se dađe zgodno upotrijebiti u nekim slučajevima, gdje su potrebni maleni tipovi, ali gdje su potrebni veliki akumulatori, tu on znatno zaostaje za Tudorovima.

Tudorov akumulator nije doduše ideal električnoga akumulatora, ali on je danas najsavršenija tvorevina akumulatorske tehnike i upravo radi toga zaprema suvereni položaj na tom području i zadržat će ga tako dugo, dok se ne stvori novi savršeniji tip, koji će ga svojim prednostima u praksi nadmašiti.

Tvornica Tudorovih akumulatora.

Bit će zanimljivo za naše čitatelje, da im bar u kratkim crtama predočimo djelovanje golemoga svjetskoga poduzeća, koje danas gradi najsavršenije električne akumulatore, a to je Tudorova tvornica akumulatora, akcijsko društvo u Hagenu.

Tvornica akumulatora u Hagenu osnovana je god. 1887. pod imenom Tvrtnka Müller & Büsche. Već god. 1890. pretvorena je u akcijsko društvo sa glavnicom od $1\frac{1}{2}$ milijuna maraka. Danas je ta glavnica narasla na 12 milijuna maraka akcijskoga kapitala i 3 milijuna obveznica. Godine 1897. prenesena je komercijalna glavna uprava u Berlin.

Osim tvornice u Hagenu ima tvornica Tudor u Njemačkoj svoje tvornice u Oberschönweide-u kod Berlina, u Kratuscheidu, u Westerwaldu i u Zehdericku na rijeci Havelu.

Filijalne tvornice ovoga centralnoga poduzeća nalaze se u našoj monarkiji (Hirschwang, Lavov, Prag i Budimpešta), u Rusiji (Petrograd), u Engleskoj (Manchester), u Španiji (Zaragoza), u Italiji (Melzo kod Milana), u Švicarskoj (Oerlikon), u Belgiji (Florival) i sjevernoj Americi (Philadelphia); a sve te filijalne tvornice imaju svaka svoj posebni akcijski kapital.

U njemačkim Tudorovim tvornicama zaposleno je preko 3.000 radnika, od kojih ima u samom Hagenu 1.800.

Tvornica u Hagenu nalazi se na zemljištu od 7 hektara površine, od kojih preko 2 hektara zapremaju građevine. Strojarski uređaj sastojao se u početku, dakle god. 1888., samo iz jednoga stroja od 80 HP, i bio je već do god. 1897. povećan na strojeve od 1.200 HP. God. 1907. namještene su osim toga 2 turbine sa ukupno 300 HP energije, a god. 1908. nadošlo je još strojeva sa djelatnošću od 250 HP. Već iz ovih statističkih podataka o strojevima u toj tvornici razabire se, koliko je brzo uznapredovalo njezino djelovanje. Osim parnih strojeva upotrebljava se dakako ovdje električna energija, koju tvornica ne proizvodi sama, nego je uzima od gradskoga električnoga uređaja u Hagenu.

Za fabrikaciju akumulatorskih ploča potrošeno je god. 1910. preko 20.000 tona što olova iz lijevaonica, što minija i t. d. Potreba H_2SO_4 od 62° B $\acute{\text{e}}$ bila je te godine preko 500 tona. Za gradnju drvenih stalaka i sanduka, u koje dolaze akumulatori, potrošeno je 2.000 kubičnih metara drva; a za gradnju drvenih pločica, koje se danas gotovo isključivo upotrebljavaju za izolaciju jedne olovne ploče od druge, bilo je opet potrebno 6.000 kubičnih metara drva. Osim svega toga drva trebalo je za pakovanje gotovih akumulatora, koji su naručiteljima otpremljeni, preko 120.000 kvadratnih metara jelovih dasaka.

Osim gore navedenih 1.800 radnika, koji su prošle godine bili zaposleni u toj tvornici, djeluje ovdje i oko 40 akademički obrazovanih

činovnika, 60 članova tehničkoga osoblja i od prilike 100 trgovačkih činovnika.

Poprečna nadnica, koju radnik u Tudorovoj tvornici dobiva, iznosi 6 K na dan. Najveću nadnicu od 8 K postiglo je 12% radnika, a nadnicu ispod 5 K dnevno imalo je samo 9% radnika.

Pošto je rad u svakoj akumulatorskoj tvornici opasan radi otrovanja olovom, od čega nastaju teške bolesti, upravo specifične za tu vrst radnika, to se uprava tvornice pobrinula, da sa sanitarnoga gledišta sav svoj uređaj tako izvede, da njezini radnici budu što manje izvrgnuti ovoj opasnosti. Otrovanje olovom može nastati na pr. radi olovnih para, olovne prašine i t.d. Moderne zdravstvene uredbe u toj tvornici djeluju tako uspješno, te se danas razmjerno rijetko zbivaju otrovanja olovom. Kojiput se desi, da sa neopreznosti od nečistih ruku, kojemu radniku dodje olovo kroz usta u tijelo. Zato se u tvornici obraća velika pažnja na često pranje i kupanje radničkoga osoblja. Radnici, koji imaju neposredno posla s olovom, dobivaju odijelo od uprave tvornice, koja ga daje svake nedjelje izmijeniti i onda temeljito očistiti. Radnici se moraju svake nedjelje liječnički pregledati, da se uzmognu odmah ustanoviti već i prvi simptomi otrovanja olovom. A za profilaktično sredstvo protiv otrovanja olovom dobiva svaki radnik od tvornice dnevno $\frac{1}{2}$ litre mlijeka.

Prema golemom razvitku ovoga poduzeća rastao je sve više i više i promet sa Tudorovim akumulatorima. Do konca god. 1912. sagrađile su sve Tudorove tvornice na svijetu preko 60.000 akumulatorskih baterija u vrijednosti od 500 milijuna kruna, tako da cijena svake pojedine baterije dolazi na nešto preko 8.000 kruna. Cjelokupni kapacitet tih baterija iznosio je preko 3 milijuna kilowatt-sati. Same godine 1912. proizvedeno je svih baterija s olovnim pločama u vrijednosti od 80 milijuna kruna; od te svote otpada na Tudorove akumulatore blizu 80%. A za sve te baterije potrošeno je 70.000 tona olova.

U Hrvatskoj i Slavoniji nema nijedne akumulatorske tvornice, ali je tvornica u Budimpešti za naše potrebe uredila posebni ured pod naslovom „Tudor tvornica akumulatora, dioničko društvo, inžinirski ured u Zagrebu” (Franje Josipa trg broj 9).

U Hrvatskoj i Slavoniji ima danas već preko 100 uređaja s akumulatorskim baterijama u djelovanju, koje uz 3-satno izbijanje imaju kapacitet od po prilici 3.000 kilowatt-sati. Među naše najveće akumulatorske baterije spada ona u kr. zem. kaznionici u Mitrovici i bate-

rija u gradskom električnom uređaju u Zagrebu, koja služi za pravilni pogon zagrebačkoga električnog tramwaya; ona ima 290 elemenata, a kadra je kroz 1 sat davati 370 ampera uz napetost od 550 volta, dakle 204 kilowatta struje.

Praktična upotreba akumulatora.

Na osnovu našega razmatranja o električnom akumulatoru nastaje pitanje, radi čega nagomilavamo električnu energiju u akumulator i koja nam korist od toga, da ovu tek iz druge ruke dobivenu energiju privodimo k praktičnoj primjeni?

Prije negoli na to pitanje odgovorimo, spomenut ćemo, da u praksi redovno imamo posla s akumulatorskim baterijama većega kapaciteta i da one s malim kapacitetom u elektroindustrijalne svrhe uopće ne služe. Prema tomu, želimo li jedan mali akumulator ili malu akumulatorsku bateriju s neznatnim kapacitetom nabiti, možemo kao izvor struje za nabijanje upotrijebiti bateriju od običnih galvanskih elemenata, kao što smo to naprijed, govoreći o principu električnoga akumulatora, istaknuli. Dakako, i pri tom moramo paziti na sve one propise, koje smo naveli uopće za nabijanje akumulatora. Ali valja primijetiti, da je ovaj način nabijanja akumulatora — naime sa strujom galvanske baterije — veoma nezgodan. Ponajprije nije struja nijedne galvanske baterije stalna, nego joj se jakost više ili manje mijenja; zatim je nezgodno razvijanje kojekakvih, često otrovnih plinova, koji se dižu iz galvanske baterije; nadalje je uopće čitava manipulacija s galvanskom baterijom radi različitih nečistoća prljava; a konačno bi, kod nabijanja samo nešto veće akumulatorske baterije, trebalo uzeti — da se postigne potrebna napetost struje — velik broj galvanskih elemenata, odnosno, morali bismo imati velike galvanske elemente. Zato se ovaj način nabijanja danas u praksi uopće više ne upotrebljava, osim u slučajevima, gdje nema nikakova drugoga zgodnijega izvora struje.

Želimo li dakle prikladnijim načinom nabiti akumulator, to je najbolje, da uzmemo struju iz dinamo-električnoga stroja. No kako tih strojeva imamo tri vrsti, i to koji razvijaju struju istoga smjera, zatim izmjeničnu struju i napokon zakretnu struju — to moramo odmah istaknuti, da su za nabijanje akumulatora upotrebljivi jedino oni dinamo-električni strojevi, koji razvijaju struju istoga smjera

Sizmjeničnom ili zakretnom strujom nije moguće direktno nabiti akumulator. Razlog je tomu jednostavan: jedino struja, koja teče kontinuirano istim smjerom, može izvesti u akumulatoru one kemičke procese, koji su potrebni za transformaciju električne energije u kemičku; a struja, koja svoj smjer mijenja, i to u svakoj sekundi mnogo puta, nije kadra toga učiniti, jer u koliko bi, recimo, jedan impuls struje u jednom smjeru u akumulatoru proizveo stanoviti elektrolitički proces, to bi taj proces slijedeći impuls struje, koji bi trenutak poslije toga nadošao, neutralizirao.

Nadalje moramo spomenuti, da ni svaki dinamo stroj, ako i daje struju istoga smjera, nije zgodan za nabijanje akumulatora. Najbolji su za to dinamo strojevi sa nuzgrednim spojem (Nebenschlussmaschine), jer samo kod njih ne može nam se dogoditi ono dosta nezgodno poremećenje dinamo stroja, da nam se naime polovi preobrate. Ovo pak preobraćenje polova dinamo stroja moglo bi tada nastupiti, kad bi zbog veće napetosti akumulatorske baterije kojim slučajem struja iz ove prešla u dinamo stroj. Može se dogoditi, da radi umanjenja broja okretaja spadne napetost struje dinamo stroja ili da taj stroj najednom stane na pr. od skliznuća ili prekinuća remena, koji podržava transmisiju između dinamo stroja i onoga stroja, koji ga pokreće, recimo, parnoga. U tom bi slučaju nadvladala napetost akumulatorske struje i prešla u dinamo stroj. Dakako, da za taj slučaj imamo kod svakoga tehnički dotjeranoga uređaja automatskih rasklopaca, koji tada sami od sebe prekinu savez između baterije i dinamo stroja; no ti rasklopci — kao većinom i sve elektrotehničke uredbe, koje automatski funkcioniraju — ne djeluju apsolutno pouzdano. Preobraćenje pak magnetičkih polova nemoguće je kod dinamo strojeva sa nuzgrednim spojem, radi posebnoga načina, kojim su žice oko tih polova, odnosno oko armature stroja, opletene. Kod ovih dinamo strojeva, sve kad bi se i akumulatorska struja izbila u električni taj stroj, to se time nikako ne bi mogli promijeniti njegovi polovi, jer bi ta struja išla istim onim smjerom, kojim ide i struja, koju stroj sam razvija.

Da u akumulatorsku bateriju prigodom nabijanja uzmogne dosta ići struja onakve napetosti i jakosti, kakova je u pojedinim stadijima nabijanja potrebita, to moramo imati različne sprave i uredbe, kojima možemo tu napetost, odnosno jakost, prema potrebi mijenjati. U prvom redu valja da u tu svrhu imamo voltmetre i ampermetre, dakle sprave za mjerenje napetosti i jakosti struje; u drugom redu

treba da imamo otpore načinjene od spirala na pr. od novoga srebra ili sastavljene iz stanovitoga broja električnih lampa sijalica i t. d.

Konačno moramo spomenuti, da kod velikih električnih uređaja, kod kojih se za tim ide, da napetost struje na krajevima akumulatorske baterije prigodom izbijanja trajno ostane stalna, kako je to na pr. potrebno za električnu rasvjetu, moramo imati još jednu spravu, naime t. z. rasklopac za elemente¹. Ta sprava ima svrhu, da nam tečajem izbijanja — jer napetost struje pojedinih elemenata postepeno biva manja — u strujin krug uvrštava po redu t. z. rezervne elemente, koji imaju izgubljenu napetost nadoknadivati. Tečajem pak nabijanja baterije ima nam ta sprava — jer napetost pojedinih elemenata postepeno raste — ove elemente, koji su već postigli propisanu napetost, a to će biti najprije rezervni elementi, po redu iz strujina kruga izvršivati. Ako li je električni uređaj tako izveden, da se za vrijeme nabijanja baterije ona istodobno u žicovodnu mrežu i izbija, to moramo imati dva rasklopca za elemente ili t. z. dvostruki rasklopac za elemente². Taj rasklopac može u isti tren obje sada navedene zadaće obavljati, dakle se dađe upotrijebiti kod istodobnoga nabijanja i izbijanja akumulatorske baterije.

Što se nabijanja akumulatora s izmjeničnom ili zakretnom strujom tiče, — danas imamo naime i mnogo ovakvih električnih centrala, koje razvijaju samo takve struje, na pr. u Zagrebu, Zemunu, Mitrovici, i t. d. — to doduše ne možemo direktno, kao što smo spomenuli, s takvom strujom akumulatora nabiti, ali zato je to posve dobro moguće indirektnim načinom. Posebnim uredbama moramo ovakvu izmjeničnu ili zakretnu struju pretvoriti najprije u struju istoga smjera, a tada tek s ovom strujom nabijati akumulator. Ovakvih uredaba, koje služe za transformaciju jedne vrsti struje u drugu, imamo danas više. Ponajprije moramo spomenuti t. zv. obični pretvarač za struju (Umformer). To je naime kombinacija jednoga elektromotora za izmjeničnu, odnosno zakretnu struju, s jednim dinamostrojem za struju istoga smjera. Postupak je s ovim pretvaračem posve jednostavan: izmjeničnu ili zakretnu struju nekoga električnoga uređaja priključimo na taj elektromotor, koji dolazi onda u rotaciju, a okretanje njegovo prenosi se na dinamostroj, koji tada počinje razvijati struju istoga smjera, a s njom se sada dadu akumulatori nabiti. Ali mo-

¹ Zellschalter, commutateur des piles secondaires.

² Doppelzellschalter, double commutateur des piles secondaires.

ramo nadodati, da se prigodom takve transformacije jedne vrsti struje u drugu uvijek nešto gubi od električne energije; a koliko, to ovisi o savršenosti dotičnoga pretvarača. Osim ovoga pretvarača može nam dobro poslužiti cijev Cooper-Hewittove električne lampe sa živinim parama, spojena s malim transformatorom i t. d. S ovom uredbom možemo direktno izmjeničnu ili zakretnu struju pretvoriti u struju istoga smjera. Taj pretvarač radi sa korisnim efektom od po prilici 85%. Jednako se može postići direktna pretvorba izmjenične ili zakretne struje u struju istoga smjera pomoću elektrokemičkih pretvarača, kojih danas imamo više, ali je svima princip djelovanja zajednički. Ovo je djelovanje u tom, da elektroda na pr. od aluminija postavljena u neki elektrolit propušta napolje iz ovakva aparata od izmjenične ili zakretne struje samo one impulze, koji idu u istom smjeru. Dakako, da se time ove struje pretvaraju u struju istoga smjera, s kojom se mogu akumulatori nabijati. Prigodom takve transformacije gubi se vrlo mnogo od jakosti prvobitne struje, tako da ovi pretvarači rade sa još manjim korisnim efektom na pr. samo od 50% ili još manje.

Sad ćemo navesti nekoliko glavnijih praktičnih upotreba akumulatora, iz kojih ćemo razabrati, da često imademo vrlo veliku korist od akumulatora, i ako tu tek iz druge ruke dobivenu električnu energiju privodimo k primjeni.

Kako nam je poznato, veliki električni uređaji sipaju danas svoje blagotvorno djelovanje već i po mnogim našim gradovima. Oni nam proizvode električno svjetlo, giblju nam ravnovrsne motore, sve pomoću električne struje, koja se u njima razvija. Električne centrale ili su vlasništvo pojedinih gradskih općina ili privatnih poduzeća. Svrha privatnih centrala skroz je trgovačka; poduzeća naime električnu struju prodavaju, i to sa što većom korišću. A i gradske, trgovišne, seoske općine, koje su vlasnice takvih električnih uređaja, moraju doduše ponajprije ići za tim, da ustrojenjem električne centrale privеду znamenitu jednu tehničku tekovinu općenoj i posebnoj koristi svojih stanovnika, ali i one moraju nastojati, da im centrala u svaku ruku radi ekonomički, a radi toga treba nastojati, da se u tim centralama proizvedena električna struja što bolje unovči. To se u praksi daje postići na dva načina, i to ili pomoću visine jedinične cijene, uz koju se struja prodaje ili da se troškovi proizvodbe električne energije što više reduciraju. Što se prvoga sredstva tiče, to ono ne može služiti kao jedino sredstvo ekonomskoga djelovanja električnoga ure-

djaja, jer se cijena 1 hektowatt-satu ili kilowatt-satu struje ne smije pretjerano dizati, hoće li se postići popularizacija električne energije t. j. njezina što mnogostranija upotreba u širokim slojevima. Hoćemo li dakle postići što ekonomičnije djelovanje nekoga električnoga uređaja, to uprave električnih centrala moraju nastojati, da troškove proizvodbe električne energije što više umanje, a to se daje često postići samo pomoću akumulatorskih baterija, osobito kod centrala, koje proizvode struju istoga smjera.

Uzrok je tome ovo :

Svaki električni uređaj djeluje, kao što je obilno iskustvo pokazalo, najpovoljnije, dakle i najjeftinije tada, ako je uvijek potpuno opterećen t. j. kad se energija, koju su kadri njezini dinamoelektrični strojevi proizvoditi, doista u punoj mjeri upotrebljava u vanjskoj vodnoj mreži, dakle kod konzumenata struje. Ali to teško u praksi nastupa, jer potreba električne struje kod konzumenata silno varira, kako u pojedinim satovima dana, tako i u pojedinim mjesecima godine.

Znatniji dnevni potrošak svijetla počinje u satovima ujutru ; poslije toga danju rijetko tko treba svijetlo (osim na pr. u podrumima, u fotografskim radionicama i t. d.) ; tek podvečer nastaje potreba svijetla ; ona biva rapidno sve veća, jer ga osim privatnih stanova mnogo trebaju trgovine, gostionice i drugi javni lokali ; poslije osam sati — kad se dućani zatvaraju — već treba manje svijetla, a poslije 11 sati noću, kad većina ljudi spava, gostionice se i kazališta počinju zatvarati, treba još vrlo malo svijetla. Stoga će silno, i to analogno varirati i konzum električne struje, koja to svijetlo proizvodi. Što se pak tiče različenoga doba godine, to se i ovdje pokazuju velike razlike u potrebi svijetla. Ljeti, kad su dani dugi, treba ga mnogo manje, nego zimi, kad su dani kratki. Tako se znade, da je potreba svijetla najveća mjeseca prosinca, i to obično na dan pred Božić, naime na badnjak. Dakle, ako neka električna centrala proizvodi energiju jedino ili pretežno samo u rasvjetne svrhe, to će njezini strojevi biti vrlo različito opterećeni. Tečajem dana bit će najviše opterećeni oko 7 sati u večer, a tečajem godine mjeseca prosinca. Upotrebljava li se ta struja i u motoričke svrhe, to varijacije opterećenja postaju doduše manje, ali su ipak takove, da još uvijek znatno utječu na ekonomiju uređaja.

Recimo n. pr., da je najveći konzum nekoga električnoga uređaja bio 36.000 kilowatta u sekundi, to će on morati imati dinamostrojeve

koji bi — uzevši potrebitu rezervu u obzir — bili kadri proizvoditi najmanje 48.000 kilowatta u sekundi. Kod potpunoga opterećenja mogao bi tada ovaj uređaj tečajem jednoga dana proizvoditi 48.000 kilowatta $\times$ 24 sata = 1,152.000 kilowatt-sati. Poprečni potrošak struje iznosi zimi najviše 225.000 kilowatt-sati na dan ili 22%, dok ljeti samo 5% od energije, koju su strojevi toga uređaja kadri razvijati. Dakle uopće bi taj uređaj poprečno bio samo sa 10% opterećen, dok bi mu 90% služilo kao rezerva! Takova bi električna centrala radila skroz neekonomično, te se njezinu vlasniku ne bi rentirala.

Sasvim je drugačije, ako se u ono doba, kad je potreba struje najmanja, jedan dio struje, koju strojevi razvijaju, upotrijebi za nabijanje akumulatorske baterije. Tu se naime baterija može zgodno nabijati na pr. od 9 sati ujutru do 2 sata poslije podne i od 12 sati u noći do 6 sati ujutru. Kad se ovako baterija dnevno nabija, onda struja, nakrcana u akumulatore, može u doba dnevnoga najvećega konzuma potpomoći djelovanje električnih strojeva, ako se s njima paralelno sklopi. Stoga treba električni uređaj, koji ima na raspolaganje odgovarajuću akumulatorsku bateriju te je racionalno nabija i izbija, ponajprije mnogo manje dinamoelektrične strojeve, koji sami za sebe ne bi bili kadri maksimalno opterećenje u žicovodnoj mreži preuzeti, a osim toga se ovi električni generatori dadu mnogo jednostavnije izrabiti. Tako bi za gore navedeni slučaj, gdje su bili bez akumulatorske baterije potrebni strojevi od 48.000 kilowatta efekta, bili uz upotrebu odgovarajuće akumulatorske baterije dovoljni strojevi s efektom od najviše 20.000 kilowatta!

Upotreba dakle akumulatora kod električnih centrala veoma povoljno utječe na njihov rentabilitet. A da je tomu tako, najboljim je dokazom, što se za to akumulatorske baterije sve više počinju upotrebljavati. Tako ima gradski električni uređaj u Münchenu 21 akumulatorsku bateriju sa cjelokupnim kapacitetom od 21.000 kilowatt-sati uz 3-satno izbijanje; električni uređaj grada Hamburga ima 22 baterije sa kapacitetom od 37.000 kilowatt-sati; električni uređaji pak grada Berlina imaju pače 55 akumulatorskih baterija sa kapacitetom od 81.000 kilowatt-sati.

Razumije se, da se ove akumulatorske baterije ne moraju baš uvijek nalaziti u samoj električnoj centrali; one mogu biti namještene po različnim dijelovima grada kao predstanice ili kod samih konzumenata struje kano priključne baterije.

Važnost akumulatorskih baterija nije velika samo u ekonomskom pogledu nekoga električnoga uređaja, nego su one osobito korisne i kao momentana rezerva za slučajeve, kad nenadano s nepredvidljivih uzroka nastane prekid u djelovanju električnih strojeva. Ovakav prekid struje, pogotovo kad ona služi u rasvjetne svrhe, može biti od vrlo fatalnih posljedica na pr. u kazalištima, bolnicama, kaznionicama, koncertnim dvoranama i t. d. U takvim prostorijama mogu prigodom prekida svijetla nastati upravo katastrofalni učinci. Tu akumulatorska struja, koja je pri ruci i koju je vrlo lako priključiti na rasvjetni žicovod, dolazi u dobar čas.

A i kao rezerva za javnu gradsku rasvjetu može akumulatorska baterija biti vrlo korisna. Tako je na pr. mjeseca ožujka god. 1911. počela nad New-Yorkom rano poslije podne bijesiti silna sniježna mećava, koja je za nekoliko trenutaka obavila ulice orijaškoga grada gustom tamom. Jedino pomoću akumulatorskih baterija, kojih je gradski električni uređaj imao 44 sa kapacitetom od 32.000 kilowatt-sati, bilo je moguće momentano udovoljiti svim potrebama svijetla, koje su nastale sa sniježne mećave.

Nadalje akumulatorske su baterije vrlo potrebne većim privatnim električnim uređajima noću na pr. u hotelima, kaznionicama, bolnicama i t. d. Kako na takvim mjestima u pojedinim prostorijama treba čitavu noć svijetla, to bi za ono nekoliko lampa, koje čitavu noć gore, morali dinamoistrojevi biti u pogonu, a mašinista i drugo osoblje, potrebno kod tih strojeva, budno. U tim slučajevima može veoma zgodno podavati struju akumulatorska baterija, koja se danju nabija. Ona može tada sama automatski podavati struju u to doba noći.

Osim kod običnih električnih uređaja dađe se akumulatorska baterija zgodno upotrijebiti, gdje se električna energija razvija pomoću vodopada, snage vjetrova, plime i osjeke i t. d. Korist ovakvih električnih uređaja često bi bila iluzorna, kad oni ne bi upotrebljavali akumulatorske baterije. To se osobito dobro pokazuje na pr. u Danskoj, gdje danas ima veliki broj uređaja, kod kojih se električna energija razvija pomoću motora, što ih tjera vjetar. Samo pomoću akumulatorskih baterija rade ovakve anemoelektrične centrale u mnogo slučajeva vrlo ekonomično.

Akumulatorske su baterije vrlo dobro sredstvo, da se u električnom žicovodu, u kom se često naglo mijenja opterećenje, uzdrži stalna na-

petost struje. To osobito vrijedi za žicovode električnih tramvaja i željeznica, kojih bi djelovanje bez akumulatora redovno bilo vrlo nepravilno i za promet nesigurno. Uzrok je tomu ovaj : Pomislimo tramvajsku žicovodnu mrežu, kroz koju ide struja istoga snijera, što je proizvodi dinamostroj. Uz srednje opterećenje ove mreže obično je napetost struje 500 volta. Nastane li potrošak struje u toj mreži momentano veći na pr. ako se više tramvajskih kola sa razliĉnih stajališta po gradu poĉne u isto doba gibati, to će napetost struje naglo pasti. Stoga će se umanjiti brzina tramvajskih motora onih kola, koja su na drugim prugama po gradu već u gibanju, a to može biti vrlo nepriliĉno za sam tramvajski promet. Obratan će se sluĉaj desiti, ako istodobno veći broj tramvajskih kola stane. Potrošak struje u tramvajskoj žicovodnoj mreži bit će ĉasovito manji, a za to će napetost struje dinamostroja, koji je u elektriĉnoj centrali, naglo narasti. Posljedica toga bit će nenadano povećanje brzine onih tramvajskih kola, koja su po gradu u gibanju, — a to može opet proizvesti koje-kakove nezgode u tramvajskom prometu. Jedno i drugo nije upravljao kola kadar zaprijeĉiti svojim sredstvima za reguliranje struje.

Sasvim je drugaĉije, ako se u žicovodnu tramvajsku mrežu uvrsti akumulatorska baterija na pr. od 250 elemenata, koji su u seriju skopĉani. Ova baterija ima tad napetost od 500 volta. Spojimo li tu bateriju paralelno sa dinamostrojem u elektriĉnoj centrali, jedan naime njezin pol, kao i kod dinamostroja, sa zemljom, a drugi pol, kao i kod dinamostroja, sa nadzemnom tramvajskom žicom, to ne će moći nastupiti ovakve nagle varijacije napetosti struje u tramvajskoj žicovodnoj mreži. Povisi li se naime sa prije navedenoga uzroka napetost struje u tramvajskom žicovodu iznad 500 volta, to će se poĉeti baterija nabijati iz tramvajske mreže. Za ovo nabijanje potrebita struja zaprijeĉit će automatski daljnji porast napetosti struje, odnosno onemogućit će nenadano povećanje brzine onih tramvajskih kola, koja su po gradu u gibanju. Spadne li u tramvajskom žicovodu napetost struje ispod 500 volta, to će se sada — jer elektriĉna struja ide uvijek sa mjesta veće napetosti na mjesta manje napetosti — poĉeti struja akumulatorske baterije izbijati u tramvajsku mrežu, a to će onemogućiti, da se umanji brzina tramvajskih motora onih kola, koja su u gibanju.

Dakle vidimo, da akumulatorska baterija u oba sluĉaja podupire djelovanje dinamoelektriĉnih strojeva u centrali i tim omogućuje,

da se za vrijeme čitava tramvajskoga prometa uzdrži u njegovu žicovodu stalna napetost struje, što je osobito važno za sigurno funkcioniranje toga općeno raširenoga električnoga vozila.

Slični slučajevi nastupaju i kod električnih željeznica, i to kod industrijalnih i namijenjenih općem prometu osoba i tereta. I ovdje nastaju sa raznolikoga gibanja pojedinih vlakova različite varijacije u napetosti, odnosno jakosti struje, a te se varijacije pomoću akumulatorskih baterija jednako kompenziraju, kao i kod električnoga tramvaja.

Naprijed smo istaknuli, da akumulatorske baterije omogućuju ekonomsko djelovanje gradskih električnih centrala, koje u prvom redu služe u rasvjetne svrhe. Upotreba njihova još je i s druge strane kod uređaja, koji rade sa strujom istoga smjera, od znatne koristi, i to opet radi toga, što se pomoću akumulatorskih baterija daje uzdržati stalna napetost u žicovodnoj mreži, a time i stalni intenzitet svijetla svih električnih lampa, koje u gradu gore. Ukopča li se naime naglo u gradsku žicovodnu mrežu, koja služi za rasvjetu, veliki broj električnih lampa, to potrošak struje postane naglo veći, a napetost struje naglo manja. Radi umanjene napetosti struje spadne jakost svijetla električnih lampa, što je neugodno za konzumente struje. Čim se to u električnoj centrali primijeti, mora se odmah zgodnim reguliranjem struje umanjena napetost dotjerati na propisanu, tada opet naraste jakost svijetla električnih lampa na normalnu vrijednost. Budući da se takve varijacije u napetosti struje, osobito u velikim gradovima, radi raznolike potrebe pojedinih konzumenata struje, tečajem svake večeri mogu često zbivati, to i električne lampe, priključene na takov električni uređaj, ne će davati mirno stalnoga intenziteta svijetlo, nego će ono češće titrati, a to nesamo da nije ugodno, već ni zdravo za naše oči.

Ovoj mani električnih rasvjetnih uređaja daje se vrlo lako doskočiti, gdje se radi sa strujom istoga smjera, i to opet pomoću akumulatorskih baterija. Ta će struja ovdje isto tako onemogućivati nagle varijacije napetosti struje električnih strojeva, a s njima u savezu i nastala kolebanja intenziteta svijetla električnih lampa, kao što i kod električnih vozila, o kojima je naprijed bilo govora. Kod rasvjetnih električnih uređaja, koji rade s izmjeničnom ili zakretnom strujom, nastoji se doskočiti pomoću drugih sredstava toj znatnoj mani, koju može imati tehnički nedotjerana električna rasvjeta.

Sada prelazimo na veliko područje moderne tehnike, na kom je električni akumulator razvio tako korisno i mnogostrano djelovanje, te danas ovo područje bez njega ne možemo ni zamisliti, naime na različne vrsti električnih vozila, koja su tek upotrebom akumulatora mogla postići savršenstvo, na kome ih danas gledamo. Princip upotrebe akumulatora ovdje je slijedeći: Električna energija, koju nam razvijaju dinamostrojevi pomoću parnih strojeva, nadalje strojeva, u kojima izgaraju različne vrsti ulja — u prvom redu *Dieselovi* motori — pa koju dobivamo pomoću vodene snage, sile vjetera i t. d., treba danas posebni žicovod, da joj djelovanje s jednoga mjesta na drugo prenesemo. Ima doduše već nekih pokusa, gdje je bilo moguće električnu energiju za obavljanje mehaničkih radnja prenijeti na stanovite udaljenosti bez ikakva žicovoda, no ovi su pokusi za danas još samo od teoretskoga interesa, jer upotreba njihova nije još ni izdaleka došla do toga, da bi je u praksi mogli primijeniti. U mnogo je raznovrsnih slučajeva ipak već danas baš potrebno energiju prenositi iz jednoga mjesta na drugo bez žica i upravo u tom su pogledu akumulatori veliku uslugu pružili razvitku tehnike. Jedino pomoću akumulatora daje se danas uspješno prenositi električna energija. Treba samo akumulatorsku bateriju u električnoj centrali nabiti, a onda se električnom energijom nakrcana baterija daje vanredno zgodno upotrijebiti za pokretanje različne vrsti vozila. Akumulatorskom se dakle strujom već danas pokreću direktno tramvaji, električni automobili, željeznice za opći promet i one u industrijalne svrhe na pr. u rudnicima, električni nadvodni i podvodni čamci; akumulatori se počinju upotrebljavati i kod zračnih vozila, dakle zrakoplova, aeroplana i t. d. Pisac ovih redaka opisao je ovo golemo područje u radnji „Električna vozila“, u III. knjizi „Novovjekih izuma“, u izdanjima „Matice Hrvatske“ za god. 1910., pa obraćamo pažnju naših čitatelja na tu radnju, u kojoj će naći opširno opisanu upotrebu akumulatora za pokretanje vozila.

Akumulatori nam nadalje služe kod hidroelektričnih uređaja, gdje se električna energija razvija pomoću vodopada. Ima naime dosta uređaja, gdje se energija vode samo danju iscrpljuje, jer su samo danju u djelovanju tvornice, koje tu u električnu energiju pretvorenu snagu vodopada upotrebljavaju, dok noću — jer tvornica ne radi — za nju nemaju primjene. U takvim uređajima opet dobro dolaze akumulatori. Vodena energija, pretvorena pomoću turbina u

električnu, može se noću u akumulatoru nakrcavati, a onda danju izrabljivati.

Nadalje se električni akumulator mnogo upotrebljava u galvanoplastičkim radionicama, dakle kod pozlaćivanja, posrebrivanja, pobakrivanja, poniklovanja i t. d. raznih predmeta pomoću galvanske struje. Kako je za to redovno potrebna malena napetost struje na pr. od 4—6 volta, a znatna njezina jakost, to je sa znatnim poteškoćama skopčana direktna primjena struje, koju razvijaju dinamostrujevi. Oni se naime grade obično na mnogo veće napetosti, dakle počam tek od na pr. 65 volta. Budući da se zgodnim skapčanjem akumulatorskih elemenata u bateriju daje veoma lako postići struja od onakve napetosti i jakosti, kakva je za galvanoplastiku potrebna, to se danas za nju vrlo mnogo upotrebljavaju samo akumulatori.

Akumulatori s velikim uspjehom služe i za elektromedicinske svrhe, na pr. galvanokaustične, rasvjetne, za pokretanje Röntgenovih uređaja i t. d. Prije nego što su akumulatori bili usavršeni, upotrebljavali su liječnici samo obične galvanske baterije ; danas su te baterije na tom području potpuno iščezle, a zamijenio ih je mnogo zgodniji električni akumulator.

Velika je upotreba akumulatora i u fizikalnim i kemijskim laboratorijima, dakle u naučne svrhe i za predavanja. Svaki od učitelja fizike dobro znade, s kakvim je neprilikama skopčana upotreba električne struje iz običnih galvanskih baterija. Mnogi zanimljivi i važni pokusi radi ove struje ne mogu nikako uspjeti ili slabo. Ima tomu više razloga : ponajprije galvanske baterije daju struju, kojoj se jakost silno mijenja, dakle ta struja nema stalni intenzitet ; nadalje je razvijanje te struje skopčano s neugodnim smradom, koji nastaje od kojekakvih redovito i otrovnih plinova, što se dižu iz baterija, i ti plinovi mnogo štete donose ostalim fizikalnim aparatima, koji su u laboratorijima, jer ih nagrizuju ; zatim je struja običnih galvanskih elemenata vrlo skupa, jer se u njima troši znatna množina cinka i t. d. Na osnovu toga jasno je, da je mnogomu učitelju fizike i kemije znatno odlanulo pri duši, kad je iz svoga laboratorija mogao galvanske elemente kao sredstvo proizvodbe potrebne mu električne energije izbaciti, dobivši modernu akumulatorsku bateriju, koju može kraj današnjega velikoga broja električnih uređaja nakon iscrpljenja vrlo lako opet nabiti.

Veoma je prikladna upotreba akumulatora i u rasvjetnoj tehnici, kao što smo to pokazali u prvom članku ove knjige, gdje je govor o

električnoj rasvjeti uopće. Akumulatori dadu se naime zgodno upotrijebiti kod električnih ručnih lampa n. pr. u rudnicima, za t. zv. rasvjetu za nuždu, koja je od prijeko potrebe u javnim lokalima, bolnicama, kaznionicama i t. d.

Konačno možemo spomenuti, da akumulatori ne dolaze samo dobro u velikim javnim i privatnim električnim uređajima, nego ih vrlo uspješno može upotrijebiti gotovo svaki posjednik i malenoga električnoga uređaja. Tu može njihova korist biti na ekonomiju uređaja tako odlučna, da bi svatko, tko namjerava na svoj trošak urediti vlastiti uređaj, morao najprije posavjetovati se sa nepristranim elektrotehničkim stručnjakom, ne bi li zgodno u uređaju mogao upotrijebiti električni akumulator. Kako dosadnja iskustva pokazuju, obilno će se naknaditi vlasniku električnoga uređaja troškovi skupčani s nabavom akumulatorske baterije različnim prištednjama, koje će time nastati uz racionalno rukovodjenje uređaja.

Time smo, dakako, spomenuli tek najglavnije upotrebe akumulatora u praksi, no već iz ovoga jamačno je svaki od naših čitatelja došao do spoznaje, da je moderna elektrotehnika izumom akumulatora dobila sredstvo, pomoću kojega je još uspješnije mogla razviti svoje djelovanje na korist općene civilizacije.

Vrela.

Pri izradjivanju radnje „Električni akumulator“ poslužio sam se u prvom redu svojom višegodišnjom praksom i originalnim tehničkim podacima, koje sam direktno nabavio od različitih elektrotehničkih firma ove struke. Napose ovdje ističem svjetsku tvrtku „Tudor“ Accumulatoren-Fabrik Actiengesellschaft, Berlin-Budimpešta i predstojnika njezina inžinirskoga ureda u Zagrebu gosp. ing. B. Njemirovskoga u Zagrebu, koji su mi dali sve potrebite podatke s velikom pripravnosću, na čemu im ovdje izričem svoju zahvalnost. Tek u drugom redu posegnuo sam za stranom stručnom literaturom, od koje na* pominjem ovo :

W. Bein : Elemente und Akkulatoren, ihre Theorie und Technik. Leipzig, 1908.

Johns. Zacharias : Die Akkulatoren zur Aufspeicherung des elektrischen Stromes, deren Anfertigung, Verwendung und Betrieb. Leipzig, 1901.

F. Grünwald : Die Herstellung und Verwendung der Akkulatoren in Theorie und Praxis. Leipzig, 1913.

Fritz Förster : Die elektrotechnische Praxis. Band I., Leipzig, 1900.

Dr. H. Beckmann : Gegenwärtiger Stand der Technik stationärer und transportabler Akkulatoren. Turin, 1911.

F. E. Kretzschwar: Die Krankheiten des stationären elektrischen Blei-Akkumulators. München-Berlin, 1912.

E. Sieg: Die Akkumulatoren. Leipzig, 1900.

C. Heinke: Handbuch der Elektrotechnik. Leipzig, 1911.

M. Kammerhoff: Der Edisonakkumulator, seine technischen und wirtschaftlichen Vorteile gegenüber der Bleizelle. Leipzig, 1910.

B. Rinke: Einführung in die Elektrotechnik. Physikalische Grundlagen und technische Ausführungen. Leipzig, 1908.

Prof. Ing. R. Edler: Die Dreireihenladung der Akkumulatoren ohne Verwendung eines Spezialschalters. Wien, 1913.

K. Zickler: Lehrbuch der allgemeinen Elektrotechnik. Leipzig, 1910.

Prof. Dr. C. Heim: Die Akkumulatoren für stationäre elektrische Anlagen. Leipzig, 1906.

A. Luscher: Praktische Anleitung für Bau,, Behandlung und Reparatur von transportablen Akkumulatoren. Leipzig, 1910.

Dr. Stanko Plivelić.

Sadržaj.

	Strana
Dr. Oton Kučera: Najnoviji izvor jakih električnih struja: dinamo izmjenične struje	3
1. Osobite pojave i zakoni izmjeničnih električnih struja	4
2. Dinamo izmjenične struje. Različni tipovi	35
3. Osobiti učinci izmjenične struje	53
4. Dinamo izmjenične struje kao motor. Elektro-motori izmjenične struje	58
5. Dinamo izmjenične struje i električno prenošenje radnje	67
Dr. Stanko Plivelić: Električna rasvjeta.	83
1. Električne sijalice	93
2. Električne plamene lampe	122
3. Električne lampe sa živim parama	136
4. Mooreovo električno svijetlo	139
Dr. Stanko Plivelić: Električni akumulator	149
