

PRŮVODCE VĚDOU A UMĚNÍM.

PŘÍRUČNÍ KNIHOVNA VZDĚLAVACÍ. Redigují: univ. prof. dr. FRANT. KREJČÍ, professor JIŘÍ JANDA, professor RUDOLF NOVOTNÝ, učitel JOSEF ČERNÝ a odb. učitel JOSEF MÜLLER. ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

Sv. III.

Professor DR. JAR. JENIŠTA:

ELEKTŘINA A JEJÍ UŽITÍ.

Díl I.



S 22 obrázky.



N^o 177

V PRAZE. 1909.

Nákladem Zemského Ústředního Spolku Jednot Učitelských v král. Českém.
V komisi knihkupectví Josefa Rašína v Praze VII. — Tiskem Družstva knih-
tiskárny v Zábřeze.

Úvod.

Základní jednotky mechanické.

Dříve než přejdeme k vlastnímu výkladu o výrobě elektřiny a o jejích účincích, musíme se seznámiti se základními vlastnostmi elektrického proudu i s jednotkami, jimiž se měří. K tomu však je nezbytna znalost základních mechanických jednotek, pročež nejprve tomu budiž několik slov věnováno.

Nynější naše soustava fyzikálních jednotek spočívá na třech jednotkách, jež volíme za základní a jež jsou: jednotka délky (*cm*), hmoty (*g*) a času (*sek*); podle toho nazýváme pak také soustavu všech jednotek, na tyto základní se vztahujících, soustavou *cm-g-sekundovou*. Jednotkou délky [*l*] jest **1 cm**, t. j. stý díl vzdálenosti dvou omezujících čárek na základním měřítku (metru) platinoiridiovém, v Paříži chovaném, při 0° C. Tato míra byla původně definována jako desetimiliontý díl kvadrantu zemského, tak že by mělo přesně platiti: kvadrant = 10^9 *cm*, ale ve skutečnosti je kvadrant poněkud větší. — Jednotkou hmoty [*m*] jest **1 g**, t. j. tisící díl hmoty válce platinoiridiového (kilogramu), rovněž v Paříži cho-

vaného, jenž byl definován jako hmota 1 dm^3 vody při 4° C . — Jednotkou času $[t]$ jest **1 vteřina** t. j. 86.400. díl středního slunečního dne.

Všechny ostatní veličiny v mechanice užívané můžeme snadno převést na tyto tři základní, a abychom ihned poznali, v jakém vztahu k nim jsou, užíváme symbolického označení, zvaného **rozměrem**, z něhož často ihned též vidíme, jak se dá příslušná veličina vypočísti. Tak na př. pravíme, že rozměr rychlosti jest $[lt^{-1}]$, což vyplývá ze známé definice rychlosti, že je to dráha za vteřinu uražená. Jednotkou rychlosti jest pak dráha 1 cm v 1 vteřině uražená, pro kterou zvláštního označení neužíváme. — **Zrychlení** $[lt^{-2}]$ jest přírůstek rychlosti v 1 vteřině a jednotkou jest takové zrychlení, jímž těleso v klidu jsoucí nabude za vteřinu rychlosti $1 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$.

Nejdůležitější jednotky mechanické jsou jednotky síly, práce a efektu pracovního. Síla mechanická rovná se součinu hmoty toho tělesa, na které působí, a ze zrychlení, které mu uděluje; je tedy její rozměr $[lmt^{-2}]$. Jednotkou síly jest **1 dyna**, t. j. síla, která hmotě 1 g udílí zrychlení $1 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$. Nejznámější silou, s kterou ustavičně jsme ve styku, je tíže zemská, která každému padajícímu tělesu udílí zrychlení $981 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$. Je tedy síla, kterou 1 kg hmoty je přitahován k zemi, rovna 981.000 dyn čili 0.981 megadyny , zavedeme-li 10^6 dyn jako **1 megadynu**.

O práci mluvíme, pohybuje-li síla hmotou nějakou po určité dráze; rovná se tedy práce součinu ze síly a dráhy $[l^2mt^{-2}]$. Jednotkou práce jest **1 erg**, t. j. práce

1 *dyny* podél 1 *cm*; poněvadž však je to jednotka příliš malá, zavádíme jednotku desetmillionkrátě větší, kterou zoveme **1 joule**; je tedy $1 \text{ joule} = 10^7 \text{ ergů}$. Velmi často užívá se též za jednotku práce **metrakilogramu**, t. j. práce potřebné k zdvižení 1 *kg* do výše 1 *m*, kterážto jednotka se rovná 9·81 *joule*.

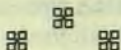
Effektem pracovním nazýváme práci, vykonanou za vteřinu [l^2mt^{-3}]. Absolutní jednotkou jest 1 *erg* za vteřinu, ale pro účely praktické užíváme opět jednotky větší, totiž 1 *joule* za vteřinu, kterou jmenujeme **1 watt**. Effekt pracovní měří se však dosud ještě velmi hojně (zejména u parních strojů) též **koňskou silou** (1 HP), která jest definována jako práce 75 *mkg* za vteřinu, tak že se rovná 736 *wattům* čili přibližně $\frac{3}{4}$ *kilowattu*, označíme-li 1000 *watt* jako **1 kilowatt**. — V technické praksi užívá se jednotky *joule* velmi zřídka; místo ní bere se **1 wattsekunda**, jež rovná se právě 1 *joule*. Podle toho tedy **1 watthodina** = 3600 *joule*, 1 *kilowatthodina* = 3,600.000 *joule*.

Pojem práce nabývá zvlášť důležitého významu v pojmu **energie**, kterou rozumíme schopnost hmoty konati nějakou práci. Této schopnosti nabývá těleso buď svým pohybem (energie pohybu, aktuální nebo kinetická) nebo svou polohou v určitém poli silovém, na př. gravitačním, magnetickém, elektrickém (energie polohy, potenciální nebo statická). Jednotkou pak energie jest jednotka práce, *erg* nebo *joule*.

Mechanické veličiny dají se tedy velmi snadno převést na jednotky základní, ale hůře je tomu s veličinami jinými. Chceme-li i tyto uvést v určité vztahy s oněmi jednotkami základními, musíme najít experimentálně jejich souvislost. Tak na př. pro množství tepla nedovedeme si

s počátku představiti vůbec vztahu k základním jednotkám; ale pokus nám ukáže, že množství tepla jest úměrno množství energie, jelikož lze vhodným uspořádáním teplo měniti v energii mechanickou anebo obráceně. Provede-li se pak pokus přesně kvantitativně, ukáže se, že na 1 kalorií, t. j. ono množství tepla, jímž 1 g vody se ohřeje o 1°C , je potřebí vynaložiti práci asi $0\cdot425\text{ mkg}$, čili že 1 kalorie jest ekvivalentní $4\cdot2\text{ joule}$.

Podobným způsobem můžeme najíti vztahy také mezi jednotkami mechanickými a elektrickými nebo magnetickými, ale hned zde budiž důrazně na to upozorněno, že tím se nijak nepřiblížíme k poznání podstaty elektriny nebo magnetismu, nýbrž že vztahy ty jsou pouze důsledkem toho, že zjevy elektrické nebo magnetické vzbuzují mechanické pohyby, jež jsou snáze měřitelný.



I. Základní pojmy magnetické.

Chceme-li vykládati o elektrině v praxi zejména technické, můžeme úplně pominouti elektrinu statickou, buzenou třením, a dbáti jen elektriny kinetické. Elektrický proud může vzniknouti buď energií chemickou (v článcích, akumulátorech), tepelnou (v thermočláncích) anebo energií mechanickou (u strojů magnetoelektrických). V praktickém životě nejvíce užíváme pro výrobu elektriny strojů magnetoelektrických, jež se zakládají na vzájemném působení proudu a magnetu, pročež vyložím nejprve základní vztahy magnetické.

Každý magnet, jak známo, má dva póly, severní a jižní, jež můžeme poznati podle vzájemných účinků: stejnojmenné póly se odpuzují, nestejnojmenné se přitahují a to silou, jež se dá vypočítati podle zákona C o u l o m b o v a:

$$f = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Zde m značí množství magnetická, jež na sebe působí, r vzdálenost obou množství a μ konstantu úměrnosti, kterou můžeme voliti libovolnou. Volíme-li ji pro vzduch (přesněji pro vzduchoprázdnost) rovnu 1, dostaneme z téže rovnice ihned i jednotku magnetického množství, tak že můžeme říci, že ten pól obsahuje v sobě

jednotku magnetického množství, jenž na jiné stejně veliké množství působí ve vzduchu ze vzdálenosti 1 cm silou 1 *dyny*. Rozměr této jednotky jest $\left[\frac{3}{l^2} m^{\frac{1}{2}} t^{-1} \right]$.

Zákon tento platí však jen pro působení jediného pólu opět na jediný pól, což ve skutečnosti nikdy není přesně splněno, poněvadž každý magnet má dva stejně silné póly nestejnomyenné. Přibližně je tomu tak jen tehdy, když jsou magnety dosti dlouhé, tak že můžeme zanedbat vliv druhých pólů, jež nejsou k sobě přibližovány. Pro působení celého magnetu nemůže tedy býti rozhodující pouze množství jeho magnetismu, nýbrž magnetický moment M , jenž se rovná součinu z množství magnetického a délky magnetu l (rozumí se ovšem délky redukované, t. j. vzdálenosti obou pólů od sebe, jež se rovná $\frac{5}{6}$ skutečné délky celého magnetu), a má tedy rozměr $\left[\frac{5}{l^2} m^{\frac{1}{2}} t^{-1} \right]$.

Velmi důležitým pojmem jest *intenzita magnetická* I (též specifický magnetismus), definovaná jako magnetický moment jednotky objemové $\left(I = \frac{M}{V} \right)$. Podle

Kohlrausche je největší magnetická intenzita ocelového magnetu do syta zmagnetovaného 750 abs. jedn., a největší vůbec dosažitelná hodnota (u elektromagnetů) měří 1500 abs. jedn.

Prostor, který magnet nějaký obklopuje a v němž účinky tohoto magnetu dají se poznati, nazýváme *magnetickým polem*. Tak na př., jelikož pozorujeme, že rozkývaná magnetka na kterémkoliv místě povrchu zemského se ustálí jen v jediném, určitém směru, mu-

síme předpokládati, že je to projevem nějakého magnetu, jehož pole prostírá se po celé naší zeměkouli. Toto magnetické pole je vytvořeno naší zemí, jež se chová úplně jako veliký magnet, jehož póly nejsou příliš daleko od pólů zeměpisných. Pro srovnávání pak polí magnetických zavádíme intensitu pole magnetického H jakožto sílu, jež působí na jednotkové množství magnetické, a pravíme, že pole má jednotkovou intensitu tam, kde na jednotkové množství působí silou 1 *dyny*;

z toho vychází ihned rozměr $\left[l^{-\frac{1}{2}} m^{\frac{1}{2}} t^{-1} \right]$. Jednotka pole magnetického nazývá se **gauss**. Kolem libovolného magnetu jest intensita pole v různých místech různá, tím menší, čím je vzdálenost od magnetu větší. Takové pole nazýváme nestejnorodým, nehomogenním. Na rozdíl od toho pole, kde intensita je všude stejná a které zoveme homogenním, stejnorodým. Takovým stejnorodým polem jest magnetické pole zemské, aspoň v nepřilíš velkém rozsahu.

Podle názorů Faradayových vytvořuje tedy každé magnetické těleso kolem sebe magnetické pole, v němž magnetický pól se snaží pohybovati se určitým směrem, jenž udává zároveň směr silového pole. Čáry pak, které v každém místě udávají směr magnetického pole, nazýváme silovými čarami, jichž tvar může býti velmi rozmanitý a jež vesměs jdou od severního pólu k jižnímu. Jimi dá se též určovati intensita magnetického pole; myslíme-li si totiž místo siločar trubice silovými čarami omezené o určitém průřezu, stanovíme tuto intensitu počtem trubic připadajících na 1 cm^2 , tak že, má-li nějaké pole magnetické intensitu 5 abs. jednotek, můžeme také říci, že každým cm^2 prochází pět silových trubic. Z jednot-

kového pólu vychází tedy 4π siločar a z pólu o množství m počet $4\pi m$ siločar. Homogenní pole je pak charakterisováno tím, že silové trubice probíhají vzájemně rovnoběžně o průřezu stále stejném, kdežto v nehomogenním poli má trubice průřez tím větší, čím jest intensita pole menší.

Zjevy, jež v magnetických polích vznikají, vykládáme si tím, že silové trubice mají snahu podélně se zkrátiti a napříč roztáhnouti podobně jako napiatá kaučuková vlákna, čímž celé okolí uvádí se v jakési napětí.

Dosud nevšimli jsme si toho, zda ústředí, v němž magnet působí, má nějaký vliv na vzniklou sílu a na intensitu pole. Provedenými pokusy se poznalo, že vliv takový skutečně existuje a to značný. Zákon Coulombův zní :

$$f = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

a právě konstanta μ charakterisuje ústředí, jímž siločáry procházejí. Pro vzduch (přesněji pro vakuum) $\mu = 1$, u jiných hmot může však býti větší nebo menší než 1. Veličinu μ zoveme permeabilitou (též magnetickou vodivostí anebo koeficientem magnetické indukce) a je to číslo, jež udává, kolikrát je intensita magnetického pole v určitém tělese, zvaná též magnetickou indukcí B , větší než intensita magnetického pole ve vzduchu H , tak že $B = \mu H$, z čehož plyne $\mu = \frac{B}{H}$.

Je-li μ větší než 1, prochází tělesem více siločar než vzduchem, těleso je paramagnetické, je-li μ menší než 1, je těleso diamagnetické. Permeabilita není však neměnlivá, nýbrž závisí velmi mnoho na intensitě pole magnetického zejména u železa, niklu a j.

(u látek ferromagnetických), kde se vzrůstající intenzitou pole s počátku stoupá, ale pak značně klesá, což bývá zpravidla pro určitý druh železa znázorněno křivkou.

Chceme-li tedy udržeti nějaké homogenní pole magnetické, nesmíme do něho vložit měkké železo, neboť toto, sbírajíc do sebe siločáry, způsobuje nestejnorodost pole. Takové měkké železo jeví se pak proti okolí jako magnet o intenzitě I , tak že při stejnoměrné magnetisaci vychází z 1 cm^2 povrchu $4\pi I$ siločar. Jelikož však měkké železo jeví se magnetem jen proto, že má v sobě na 1 cm^2 více siločar než prostředí okolní, jest

$$4\pi I = B - H, \text{ čili}$$

$$B = H + 4\pi I.$$

Dělíme-li celou rovnici H a položíme-li jako dříve

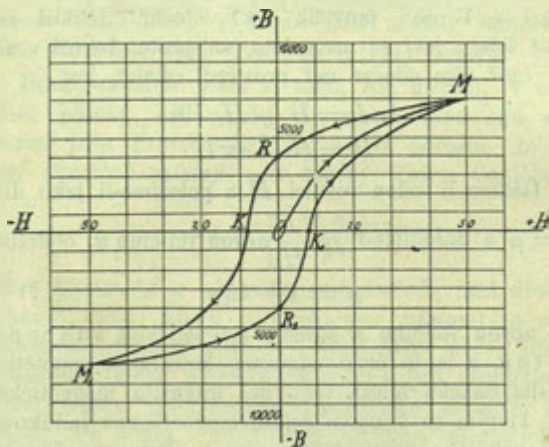
$\frac{B}{H} = \mu$ a dosadíme-li za $\frac{I}{H}$ novou veličinu κ , obdržíme:

$$\mu = 1 + 4\pi\kappa.$$

Tuto novou veličinu κ zoveme magnetickou susceptibilitou, a je to číslo udávající, kolikrát je magnetická intenzita daného železa větší než intenzita magnetického pole, kterým se v onom železe magnetismus indukoval; stejně pak jako permeabilita není to číslo pro dané železo a vůbec látky ferromagnetické konstantní, nýbrž měnlivé podle intenzity magnetického pole.

U látek ferromagnetických objevuje se však jiný, v praxi velmi důležitý úkaz, zvaný hysteresis. Permeabilita závisí totiž nejenom na okamžité velikosti intenzity pole magnetického, nýbrž i na tom, jaká byla tato intenzita v okamžiku předcházejícím, což se projevuje tím, že magnetická indukce B má při stejné intenzitě pole H hodnotu větší nebo menší podle toho, blížíme-li

se k oné intenzitě z hodnot vyšších nebo nižších. Závislost tuto nejlépe můžeme znázorniti graficky (obr. 1.); ve vodorovném směru nanášíme intenzitu pole H , ve směru svislém magnetickou indukci B . Je-li železo k pokusu vzaté s počátku úplně nemagnetické, stoupá indukce magnetická se vzrůstající intenzitou pole dle křivky OM . Když však na př. při intenzitě pole 50 abs. jednotek počneme zase znenáhla tuto intenzitu zmenšovati, ne-



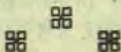
Obr. 1.

klesá indukce dle téže křivky OM , nýbrž dle křivky hořejší MR a při intenzitě \ominus jednotek neklesne na nullu, nýbrž udrží se ve velikosti OR (pro druh železa, jenž jest obrázkem charakterisován, bylo by to skoro 4000 abs. jednotek), kterou nazýváme remanentním magnetismem. Obrátíme-li pak směr magnetického pole, klesne s počátku indukce rychle na 0, k čemuž jest potřebí intenzity pole OK (v narýsovaném případě asi

— 8 abs. jednotek), která sluje silou koercitivní, poněvadž odpovídá jakési síle v železe, která chce indukci magnetickou zachovati. Potom nabývá indukce stále větších hodnot záporných, až dostoupí při — 50 abs. jedn. hodnoty — 7000 abs. jednotek. Když pak zase postupně měníme intensitu pole od — 50 do + 50 jednotek, nabývá indukce v železe hodnot zobrazených křivkou $M_1 R_1 K_1 M$, až dostoupí téže hodnoty jako při původním největším vzrůstu. Podrobíme-li tedy kus železa takovému kruhovému magnetickému procesu, mění se indukce podél uzavřené křivky, kterou nazýváme kličkou hysterézní (Hysteresisschleife). Znalost této křivky je v technické praxi velmi důležitá; plocha její při oceli je velká, kdežto při měkkém železe velmi malá.

Jak rušivě hysteresis působí, poznáme z této úvahy. Magnetování železa si vykládáme seřazováním molekul; při tomto seřazování se ovšem molekuly o sebe trou, čímž vzniká teplo. Je-li proud stálý, není toto oteplení příliš patrné, mění-li se však rychle za sebou, tu i při měkkém železe, kde vzniklé teplo není s počátku veliké, přece stálými přírůstky teplo vzrůstá tak, že železo se za krátko značně ohřeje, což má veliký význam hlavně u magnetoelektrických strojů. —

Magnetické pole může však býti vzbuzeno nejen magnetem, nýbrž i proudem elektrickým, i přejdu nyní k stručnému výkladu základních zákonů elektrického proudu, jež platí vždy, ať proud vzniká způsobem jakýmkoliv.



II. O proudu elektrickém.

Víme, že při elektrickém proudu v uzavřeném proudovodu přechází elektrina od místa k místu, a to od místa vyšší potenciální energie (čili vyššího potenciálu anebo napětí) k místům potenciálu nižšího právě tak, jako voda může téci jen s míst vyšších na místa nižší. Příčinu pak, pro kterou se rozdílné potenciály při jakémkoliv zdroji elektriny nevyrovnají, nazýváme elektromotorickou silou daného zdroje, která na obou svorkách (pólech) zdroje udržuje onen rozdíl potenciálů, jenž podmiňuje elektrický proud.

Vedeme-li proud blízko magnetky, vychýlí se magnetka dle známého Ampèrova pravidla pravé ruky, jež zní: Položíme-li pravici dlaní k magnetce obrácenou na proudovod tak, aby prsty šly směrem proudu, odkloní se magnetka severním pólem k palci. Podle této odchylky dá se pak stanoviti zcela jednoduše směr proudu.

Patrně tedy, že každý drát, jímž proud protéká, vytváří kolem sebe magnetické pole (viz později podrobněji) a ve zvláštních případech dá se intensita jeho velmi jednoduše vypočítati. Biot a Savart stanovili zde určitý zákon pro elementární proudy, t. j. proudy

přímočaré, nekonečně krátké, kterých ovšem nemůžeme realizovati, poněvadž proudy elektrické lze vytvořiti jen ve vodičích uzavřených konečné délky. Elementární tento zákon zní:

$$H = c \cdot \frac{i \sin \varphi}{r^2},$$

kdež H značí intensitu pole magnetického, i intensitu proudu procházejícího elementárním vodičem délky l , r vzdálenost bodu, v němž intensitu pole hledáme, od elementárního proudu a φ úhel, jež svírá vodič s touto vzdáleností. Je-li proudovodič ve tvaru kruhu, dá se elementární zákon velmi snadno aplikovati, a pak

$$H = c \cdot \frac{2\pi i}{r},$$

kdež r znamená poloměr toho kruhu a c jako dříve konstantu, kterou můžeme libovolně voliti. Volíme-li ji rovnu 1, máme intensitu i již zcela přesně určenu a to v jednotkách elektrických, pro něž zákon Biot-Savartův je východištěm. Z toho pak plyne ihned tato definice absolutní jednotky pro intensitu proudu: Proud má intensitu rovnou 1, když protéká kruhovým vodičem o poloměru 1 *cm* způsobuje ve středu pole magnetické o intenzitě 2π absol. jednotek. Pro praktické účely zavádí se však jednotka desetkrát menší, jež sluje

1 ampère, tak že $1 \text{ ampère} = \frac{1}{10}$ absol. jednotek o

rozměru $\left[\frac{1}{l^2} m^{\frac{1}{2}} t^{-1} \right]$.

Avšak takovéto stanovení 1 *ampère* pro praksi bylo by velmi obtížné a nepřesné, i sáhlo se později k jiným účinkům, elektrolytickým, jimiž se dá intenzita proudu

velmi přesně stanoviti podle prvního zákona Faradayova, jenž zní: Množství iontů proudem vyloučených jest úměrno intensitě proudu a době, po kterou prochází. A tak tedy je nyní 1 *ampère* definován jakožto intensita stálého proudu, který v 1 vteřině vyloučí 1·118 mg stříbra.

Známe-li jednotku intensity proudové, známe již také jednotku elektrického množství rozměru $\left[l^{\frac{1}{2}} m^{\frac{1}{2}} \right]$, neboť intensita je množství elektřiny za vteřinu proudovodem procházející. Praktickou jednotkou je 1 **coulomb**, který právě jako 1 *ampère* jest desetinou jednotky absolutní; vzájemný vztah mezi jednotkou množství a intensity jest dán rovnicí:

$$1 \text{ coulomb} = 1 \text{ ampèresekunda.}$$

Prochází-li drátem proud o intensitě i , jenž jest udržován rozdílem potenciálů V na koncích drátu, jest práce, kterou proud vykonává,

$$P = Vit,$$

kdež t značí dobu vyjádřenou ve vteřinách. Z toho lze pak ihned stanoviti, že rozdíl potenciálů na koncích drátu se rovná 1 tehdy, když proud jím procházející v 1 vteřině vykoná práci 1 *ergu*. Rozměr této jednotky jest

$\left[l^{\frac{3}{2}} m^{\frac{1}{2}} t^{-2} \right]$. V praxi zavádí se jednotka stomillionkrát větší, zvaná **volt**, tak že 1 *volt* = 10^8 abs. jednotek.

Poněvadž pak 1 *ampère* = $\frac{1}{10}$ abs. jednotky, vídíme, že práce za vteřinu vykonaná 1 *watt* = 1 *volt* · 1 *ampère*, tak že v elektrotechnice velmi často místo *watt* slycháme **voltampère**.

Práce, kterou koná proud procházející vodičem, jeví se v oteplení. Anglický fysik Joule měřil toto oteplení, způsobené určitou intenzitou proudovou tím, že dráty umístil v kalorimetru vodním a určil zvýšení teploty. I našel, že množství tepla a tedy i práce P jest úměrna čtverci intenzity proudové a době, po kterou proud procházel, t. j.

$$P = \text{konst. } i^2 t.$$

Poněvadž však veškerá práce proudu spotřebovala se jen na toto oteplení, lze přímo psáti

$$V i t = \text{konst. } i^2 t,$$

z čehož plyne

$$V = \text{konst. } i$$

Vidíme tedy, že intenzita proudu drátem procházejícího je přímo úměrna potenciální difference na koncích drátu. Konstanta úměrnosti v zapsaném vzorci záleží pak jenom na drátě samotném a nazývá se jí odporem R , tak že píšeme:

$$V = R i,$$

což je známý zákon Ohmův, patřící k nejdůležitějším zákonům o proudu elektrickém.

Odpor závisí jen na vodiči samotném (kromě u plynů) a závislost ta je vyjádřena vztahem

$$R = \rho \cdot \frac{l}{q},$$

kdež l znamená délku drátu, q jeho průřez a ρ specifický odpor, t. j. odpor válce o průřezu 1 cm^2 a délce 1 cm . Reciprokou hodnotu odporu zoveme vodivostí a podle její velikosti rozeznáváme dobré a špatné vodiče; nejlepšími vodiči jsou kovy a z nich zase na prvním místě stříbro a měď.

Mění-li se temperatura vodičů, mění se i odpor a podle toho, jak se mění, rozeznáváme vodiče dvojitýho druhu; mezi vodiče prvního druhu patří takové vodiče, jichž odpor je přímo úměrný teplotě (při vzrůstu teploty vzrůstá), kdežto vodiči druhého druhu jsou ty, jichž odpor jest teplotě nepřímo úměrný (při vzrůstu teploty klesá).

Odpor pak při různých teplotách se dá přibližně stanoviti podle vzorce:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t),$$

značí-li R_t hledaný odpor při teplotě $t^\circ \text{C}$, R_0 odpor při 0° a α určitou konstantu, zvanou teplotním koeficientem odporu.

Jinak dělíme vodiče také na vodiče třídy první a druhé podle toho, co se s nimi děje, prochází-li jimi proud. Vodiče třídy první se proudem zahřívají, kdežto vodiče druhé třídy se vždy rozkládají, pročez nazývají se též elektrolyty. Do první třídy patří všechny kovy, uhel, selen a také ještě některé hmoty nekovové, do druhé pak třídy všechny chemicky složené kapaliny, pokud vůbec proud vedou. Rozdělení toto je skoro totožné s rozdělením předešlým, založeným na změně odporu při vzrůstu teploty; u vodičů první třídy totiž odpor s teplotou vzrůstá, vyjímaje uhel, jenž se chová jako vodiče třídy druhé, u nichž při vzrůstající teplotě odpor klesá.

Ze zákona Ohmova plyne též definice absolutní jednotky odporu o rozměru $[lt^{-1}]$, ale té se v praxi neuzívá, nýbrž jednotky tisícemillionkrát větší zvané **ohm**, takže $1 \text{ ohm} = 10^9$ absol. jednotek. Vodič nějaký má pak odpor 1 *ohmu*, když jím při rozdílu potenciálním

1 *voltu* prochází proud o intenzitě 1 *ampère*. Poněvadž však dá se odpor nějakého vodiče snadno určití z jeho rozměrů, je nyní 1 *ohm* mezinárodním usnesením definován jinak, a to jako odpor sloupce rtuťového 1·063 *m* dlouhého o průřezu 1 *mm*² při teplotě 0° C, kterýžto sloupec váží 14·4521 *g*. A když takto jest nyní *ohm* jednoduše definován, může se již i jednotka elektromotorické síly nebo rozdílu potenciálního definovati mnohem pohodlněji, tak že 1 *volt* je ta elektromotorická síla, která ve vodiči o odporu 1 *ohmu* vzbuzuje proud intenzity 1 *ampère*.

Pro praktické upotřebení neužíváme sloupců rtuťových jako odporů, nýbrž různých drátů, jichž specifický odpor bývá zpravidla určen jakožto odpor drátu délky 1 *m* a průřezu 1 *mm*², tak že je 10.000krát větší než specifický odpor dříve definovaný (odpor válce o základně 1 *cm*² a výšce 1 *cm*). Dráty o určitém odporu sestavujeme pak v přístroje, zvané *rheostaty*, jimiž můžeme do proudovodu vpínati větší nebo menší odpor.

Jiná důležitá veličina je *k a p a c i t a* vodiče, kterou rozumíme ono množství elektřiny, jímž vodič určitý se nabije na potenciál jednotkový. Označíme-li kapacitu *C* a množství elektřiny *Q*, platí

$$C = \frac{Q}{V}$$

při čemž kapacita *C* má rozměr [*l*⁻¹*t*²]. Absolutní jednotka jest ohromně veliká i zavádí se jednotka praktická 1 **farad**, jakožto kapacita vodiče, jenž se množstvím 1 *coulomb* nabije na potenciál 1 *volt*. Z toho plyne, že 1 *farad* = 10⁻⁹ absol. jednotek, ale přes to je to ještě příliš veliká jednotka, tak že zpravidla užíváme jednotky ještě millionkrátě menší, zvané **mikrofarad**, která se rovná 10⁻¹⁵ absol. jednotek.

V jednoduchém, nerozvětveném proudovodu protéká všude proud o stejné intensitě. Naskytne-li se však proudu několik cest, rozvětví se dle jednoduchých vět, jež známe pod jménem vět Kirchhoffových a jež znějí:

1. Intensita proudu úhrnného (nerozvětveného) rovná se součtu intensit proudových ve všech jednotlivých větvích.
2. Pro každý uzavřený vodič jest úhrnná elektromotorická síla E rovna součtu všech součinů z intensity a odporu jednotlivých částí čili součtu všech potenciálních diferencí na koncích jednotlivých částí.

Větu první můžeme též psáti obecněji ve tvaru: $\sum i = 0$, oz číme-li proudy přitékající jako kladné a odtékající jako záporné, neboť skutečně v každém místě proud i musí právě tolik proudu přitékat jako odtékat. Druhou větu píšeme pak ve tvaru $E = \sum ir$, kdež E značí úhrnnou elektromotorickou sílu.

Z uvedených vět dá se velmi dobře určití rozdíl mezi spojením vodičů vedle sebe a za sebou.

Spojme nějaký zdroj elektřiny několika dráty o různých odporech za sebou. Pak celým proudovodem protéká proud o stejné intensitě i a podle 2. věty Kirchhoffovy elektromotorická síla zdroje

$$E = iR_1 + iR_2 + iR_3 + \dots \quad \text{čili}$$

$$E = i(R_1 + R_2 + R_3 + \dots) = iR.$$

Spojíme-li však několik vodičů vedle sebe (paralelně), rozdělí se proud v tolik větví, kolik je vodičů. Podle 1. věty Kirchhoffovy platí

$$i = i_1 + i_2 + i_3 + \dots$$

podle 2. věty pak

$$V = i_1 R_1 + i_2 R_2 + i_3 R_3 + \dots,$$

značí-li V rozdíl potenciálů mezi body rozvětvovacími. Intensitu i lze však vyjádřiti též podle zákona Ohmova

$i = \frac{V}{R}$, značí-li R úhrnný odpor, a když pak tento

zákon spojíme s 1. a 2. větou Kirchhoffovou, můžeme

psáti:

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} + \dots,$$

z čehož plyne:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Můžeme tedy ze vzorců právě vyvozených vysloviti toto důležité pravidlo: Při spojení vodičů (nikoliv zdrojů elektriny) za sebou úhrnný odpor rovná se součtu jednotlivých odporů a při spojení vedle sebe úhrnná vodivost rovná se součtu vodivosti jednotlivých.

Z vět Kirchhoffových vyplývá též pravidlo o výhodném spojování zdrojů elektrických v batterie: je-li vnitřní odpor zdrojů značný, spojují se vedle sebe, je-li však vnitřní odpor malý a vnější veliký, spojují se za sebou.

Po dlouhou dobu znám byl toliko proud vzniklý články galvanickými, ale r. 1831 poznal Faraday, že v uzavřeném vodiči indukuje se určitá elektromotorická síla, když se pohybuje buď sám vodič v blízkosti nějakého magnetu anebo obráceně magnet v jeho blízkosti. Dále poznal, že i drát, jímž prochází proud, vzbuzuje v blízkém vodiči elektromotorickou sílu, když se jím pohybuje aneb když se mění jeho intensita proudová. Velikost této elektromotorické síly vyjadřujeme zákonem indukčním, jenž zní: Elektromotorická síla indukovaná v uzavřeném proudovodiči je rovna počtu siločar vodičem tím v jedné

vteřině protáých. To můžeme též vyznačiti differenciálním kvocientem počtu siločar N podle času t , tak že $E = \frac{dN}{dt}$.

Směr proudu touto elektromotorickou silou ve vodiči vzbuzeného dá se stanoviti podle zákona *Lenzova*, že totiž indukovaný proud je vždy namířen proti té změně, kterou byl sám způsoben, snaže se tak zachovati stav, jaký byl dříve. Při proudech vzniklých magnetoindukci dá se pak směr proudu ještě pohodlněji stanoviti *pravidlem pravé ruky*: Postavíme-li pravici tak, aby siločáry magnetického pole vcházely do dlaně a aby palec ukazoval ve směru pohybu daného proudovodiče, pak ostatní prsty udávají směr indukovaného proudu.

Intensitu proudu indukovaného můžeme snadno vypočísti podle zákona *Ohmova*, známe-li odpor vodiče R ,

$$\text{tak že} \quad i = \frac{1}{R} \frac{dN}{dt}.$$

Avšak nejenom magnetickým polem indukuje se proud, nýbrž i obráceně zase proudem indukuje se magnetismus. Pustíme-li totiž proud drátem, vytvoří se — jak již na počátku bylo uvedeno — kolem něho magnetické pole, jehož siločáry mají tvar soustředných kruhů. Stočíme-li tento drát v kruh, tu v každém místě jeho siločáry zase mají tvar kruhů, jichž roviny však nejsou již na různých místech k sobě rovnoběžny, nýbrž směřují vesměs ke středu drátěného kruhu. Užijeme-li pak místo jediného kruhu více závitů kruhových, tak že se vytvoří drátěná spirála, pak siločáry nemají sice již tvar kruhů, ale přece tvar uzavřených čar, jež uvnitř spirály jdou rovnoběžně s osou a vytvářejí tedy homogenní pole magnetické. Intensita pole magnetického v takovémto cívce, zvané *solenoid*, je tím větší, čím více

závitů má spirála na 1 *cm* a čím silnější proud jí probíhá; dá se vypočítati dle vzorce

$$H = \frac{4\pi}{10} \frac{ix}{l},$$

značí-li *i* intensitu proudu v *ampèrech*, *x* počet závitů a *l* délku solenoidu v *cm*. Součin z počtu závitů a intensity proudu v *ampèrech* nazýváme počtem ampèrezávitů anebo též silou magnetomotorickou. Známe-li intensitu pole a průřez solenoidu *q*, můžeme vypočísti i počet siločar *N* daným solenoidem procházejících, neboť

$$N = \frac{4\pi}{10} \frac{ix}{l} q$$

Má-li solenoid železné jádro o permeabilitě μ , bude jím procházeti μ krát více siločar, stane se tedy indukce magnetické (elektromagnet), tak že počet siločar

$$N = \frac{4\pi}{10} \frac{ix\mu}{l} q$$

a indukce

$$B = \frac{4\pi}{10} \frac{ix\mu}{l}$$

Vzorce tyto platí přesně v celém rozsahu jen tehdy, není-li solenoid přímý, nýbrž stočen v kruh, tak že vložené jádro tvoří uzavřený železný prsten, jímž všechny siločáry všude prostupují vzájemně rovnoběžně. Z těchto vzorců vypočítává se zpravidla počet ampèrezávitů, jež jest důležité znáti při konstrukci strojů dynamoelektrických.

Napišme vzorec pro *N* v jiném tvaru:

$$N = \frac{0.4\pi\mu \cdot ix \cdot q}{l} = \frac{ix}{\frac{l}{0.4\pi\mu q}}$$

Všimneme-li si jmenovatele $\frac{l}{0.4\pi\mu q}$ vidíme, že je velmi podobný jmenovateli v zákoně Ohmově, kterážto podobnost stane se tím nápadnější, zavedeme-li $0.4\pi\mu = \frac{1}{q'}$, jakožto specifickou vodivost magnetickou. Pak můžeme podle zákona Ohmova psáti

$$\frac{l}{0.4\pi\mu q} = q' \cdot \frac{l}{q} = R',$$

značí-li R' magnetický odpor, zvaný též reluktancí.

Dosadíme-li tuto hodnotu do výrazu pro N , plyne :

$$N = \frac{i\pi}{R'},$$

kteroužto rovnici můžeme čísti takto : Počet siločar (zvaný často též tokem siločar) procházejících určitým prostorem rovná se magnetomotorické síle dělené magnetickým odporem.

Rovnice tato, pro vnější svou podobu zvaná též Ohmovým zákonem pro magnetismus, výborně se osvědčuje zejména při strojích dynamoelektrických, vypočítáváme-li magnetomotorickou sílu (čili počet ampèrezávitů) nutnou, aby se v daném magnetickém kruhu vytvořilo pole určité intensity. Tento magnetický kruh u dynam není jednotný, neboť magnetické siločáry (viz na př. na obr. 2.) vycházejí z magnetu, procházejí vzduchem, vstupují do armatury a odtud prošedše po druhé vzduchem, vstupují zase do magnetu, čímž teprve je kruh uzavřen. Zde se tedy skládá magnetický kruh celkem ze čtyř částí, z nichž každá obecně má jinou délku, jiný průřez i jinou permeabilitu.

Abychom určili magnetomotorickou sílu, pišme hořeš rovnici ve tvaru:

$$ix = \frac{Nl}{0.4\pi\mu q} = 0.8 \frac{l}{\mu} \cdot \frac{N}{q};$$

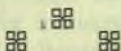
za $\frac{N}{q}$ lze dosaditi indukci B a tedy:

$$ix = 0.8 \frac{Bl}{\mu}.$$

Pro každou část magnetického kruhu změří se tedy průřez, z něhož se určí indukce B , a délka l dráhy, kterou siločáry prostupují.

Je-li známo B , lze podle empirické křivky (o níž byla zmínka učiněna na str. 11) určití příslušné μ a pak tedy pro náš případ, kde magnetický kruh se skládá ze čtyř částí, platí:

$$ix = 0.8 \left(\frac{B_1 l_1}{\mu_1} + \frac{B_2 l_2}{\mu_2} + \frac{B_3 l_3}{\mu_3} + \frac{B_4 l_4}{\mu_4} \right)$$



III. O strojích na proud stejnosměrný.

Měl-li by se vytvořiti indukovaný proud o konstantní elektromotorické síle, musil by se nějaký vodič pohybovati rovnoměrně v homogenním poli magnetickém tak, aby stále protínal stejné množství siločar. To však dalo by se provésti jen nesnadno a vzniklá elektromotorická síla by byla velmi nepatrná, tak že při všech v praxi užívaných strojích magnetoelektrických užívá se úpravy jiné, jejíž princip nyní budiž vyložen.

Představme si kruhový vodič, který se pohybuje stálou úhlovou rychlostí ω v homogenním magnetickém poli kolem osy kolmé ke směru magnetického pole. Na počátku pohybu budiž vodivá klička postavena rovinou svou kolmo ke směru magnetického pole, tak že jí prochází největší počet siločar N_0 . Je-li intensita pole H a plocha kličky q , jest $N_0 = Hq$. Po době t otočí se vodič o úhel $\alpha = \omega t$, a množství siločar nyní jím procházející dáno je rovnicí $N = N_0 \cos \omega t$. Je tedy elektromotorická síla tímto otáčením vzbuzená $E = \frac{dN}{dt}$ a dosadíme-li, obdržíme:

$$E = \frac{d(N_0 \cos \omega t)}{dt} = -N_0 \omega \sin \omega t,$$

při čemž rychlost otáčení $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n$, značí-li T periodu čili dobu jedné otočky a n počet obrátek za vteřinu. Na znamení nemusí se zde hleděti a tak tedy

$$E = 2\pi n N_0 \sin \alpha$$

a intensita proudu při stálém odporu R je dána vzorcem :

$$i = \frac{2\pi n N_0 \sin \alpha}{R}$$

Jak patrně, není tedy ani elektromotorická síla ani intensita stálá, neproměnná, nýbrž mění se periodicky a to tak, že maximální hodnoty nabývá pro $\sin \alpha = \underline{+1}$ čili pro $\alpha = 90^\circ, 270^\circ$ atd., t. j. pro

$$t = \frac{T}{4}, \frac{3T}{4}, \dots (2n + 1) \frac{T}{4}$$

a minimální hodnoty pro $\sin \alpha = 0$ čili pro $\alpha = 0^\circ, 180^\circ$, atd., t. j. pro

$$t = \frac{T}{2}, \frac{2T}{2}, \dots n \frac{T}{2}$$

Ze vzorce uvedeného vychází na jevo, že elektromotorická síla závisí mezi jiným též na počtu siločar N . Ale jak jsem uvedl již dříve, daleko větší množství siločar prochází železem než vzduchem a proto je tedy výhodno, když onu smyčku, ve které se proud indukují, navineme na železné jádro, zvané *kotvou* nebo *armaturou*, která se pak otáčí v magnetickém poli, vytvořeném silným magnetem. K pólům tohoto magnetu přidělávají se obyčejně pólové nástavky vhodného tvaru tak, aby co nejvíce obklopovaly kotvu.

Otáčíme-li železným jádrem a tím i drátěnou smyčkou, indukují se proudy nejen v této smyčce, nýbrž i v železném jádře, kteréžto druhé proudy zoveme vířivými či Foucaultovými. Tyto proudy jsou však velmi škodlivé; mohou totiž velmi značně vzrůst a tím velice silně zahřejí kotvu. Takové pak zahřátí jednak znamená ztrátu energie, jednak je škodlivé pro izolaci drátů, a proto snažíme se zmenšiti je co nejvíce. I zmenšujeme je tím, že jádro neděláme z massivního železa, z jediného kusu, nýbrž ze železných plechů, jež stlačujeme dohromady k sobě, vkládajíce mezi ně vrstvy papíru nebo nějakého jiného isolačního materiálu, anebo lakujíce je; takovouto úpravou je sice siločarám ponechán volný průchod, za to však vířivé proudy jsou zadržovány.

Podle toho, co již bylo řečeno, vytváří se v jediném závitě otáčejícím se v homogenním poli magnetickém elektromotorická síla, jež od určité hodnoty maximální klesá k hodnotě minimální a pak zase vzrůstá periodicky úplně stejnoměrně. Rovněž tak intensita proudu ve vnějším vedení mění se periodicky podobným způsobem, tak že vždy proud z maximální hodnoty v jednom směru přejde přes nullu na maximální hodnotu ve směru druhém a pak zase zpět; takovýto proud zoveme střídavým a jen takový dá se přímo vyvozovati pohybem vodiče v homogenním poli magnetickém. Avšak i když ve vodiči pohybovaném lze dosáti proudu střídavého, přece ve vnějším vedení je možno tento proud převést ve stejnosměrný, užijeme-li vhodného zařízení, zvaného komutátorem. Chceme-li vyrobiti elektrický proud, jehož bychom mohli upotřebiti v praxi technické, neužijeme ovšem jen jediného závitu, nýbrž celých cívek, v nichž se indukují proudy střídavé, které se komutátorem přeměňují na stejnosměrné a pak odtud teprve se převádějí do vnějšího vedení.

Než přejdu k podrobnějšímu výkladu, zmíním se tu stručně o prvních strojích magnetoelektrických na výrobu proudu elektrického. Když Faraday r. 1831 objevil, jak vznikají proudy indukované, byly hned na to již r. 1832 vynalezeny první stroje pro vyvinování takových proudů. Prvním strojem toho druhu byl stroj Dal-Negrův, jenž se skládal z několika cívek, pevně stojících, k nimž se přibližovalo a pak zase oddalovalo v pravidelném postupu tolikéž magnetů; tím vznikal proud indukovaný, jenž se mohl odváděti z cívek do vnějšího vedení. U tohoto stroje byl pohyb magnetů postupný, ale ještě téhož roku v přístroji Pixiově nahrazen byl pohybem otáčivým, jehož se nyní při strojích magnetoelektrických užívá výhradně. Zařízeno to bylo tak, že ocelový magnet ve tvaru podkovy byl postaven svisle a mohl se otáčeti okolo osy jdoucí mezi oběma jeho rameny. Nad magnetem byly dvě cívky se železným jádrem ve stejné vzdálenosti od sebe jako póly magnetu a v nich otáčením magnetu indukovaly se proudy. Na obou cívkách navinut byl drát tím způsobem, aby indukovaným proudem vznikal magnet s póly nesoubhlasnými, čímž vznikající proud se sesiloval.

Nemusí se však otáčeti magnet, nýbrž místo něho mohou býti pohyblivé cívky, jež tvoří armaturu čili kotvu, která se otáčí v magnetickém poli permanentního nepohyblivého magnetu. Při otáčení vzniká tu střídavý proud, přibližně podle funkce sinové se měnící, který ovšem (jelikož se cívky pohybují) můžeme vésti do vnějšího proudovodu poněkud nesnadněji. Volné konce obou cívek připojíme totiž ke dvěma kroužkům na téže ose připevněným a od sebe izolovaným, k nimž přiléhají sběrací kartáčky (buď uhelné nebo z drátů měděných) a od těchto teprve můžeme potom proud odváděti.

Nejjednodušší kommutátor u takovýchto strojů je ten, že se užije jediného kroužku, jenž jest izolující vložkou

rozdělen ve dvě polovice, k nimž připojeny jsou volné konce drátu. Ke každé polovici je přitisknut jeden sběrací kartáček, jichž spojnice padá do směru magnetických siločar. Pak tedy, jakmile při otáčení přijdou cívky do polohy axiální (t. j. právě nad póly magnetu), přeruší se proud a při dalším pohybu se v cívkách obrátí; současně však ještě nastává ta změna, že kartáčky s jedné polovice kotoučku přejdou na druhou, tak že ve vnějším vedení prochází proud stále v témž směru.

Ale přece nevzniká zde takový proud stejnosměrný, jaký dostáváme z článků galvanických, t. j. takový, u něhož elektromotorická síla i intensita je stále stejná. U strojů magnetoelektrických, opatřených kommutátorem, elektromotorická síla se mění podle počtu proťatých siločar, stoupá od hodnoty nullové k určitému maximu, klesá k nulle, stoupá k témuž maximu jako dříve atd., tak že ve vnějším vedení obdržíme proud přerušovaný (intermittující).

Místo jediného páru cívek lze užití několika párů a ovšem též stejného množství magnetů, při čemž kommutátor musí se skládati z tolika částí od sebe izolovaných, kolik cívek má stroj. Při provedených strojích se však ukázalo, že pracují daleko lépe bez kommutátoru, vydávající ovšem proud střídavý, tak že se jich pak užívalo skoro výhradně jen k osvětlování (na př. majáků a pod.), kde střídavý proud nebyl na závadu.

Místo obyčejných cívek, na nichž drát jest vinut kolmo k ose cívky, užil roku 1857 Siemens dlouhé cívky válcové, na níž dráty byly navinuty do výřezu ve směru osy cívky. Tato cívka pohybovala se mezi póly podkovovitých magnetů, jichž několik bylo postaveno za sebou tak, aby tvořily rozměrnou podkovu, která přikrývala cívku po celé délce.

Roku 1866 Wild poprvé zvolil elektromagnety ke vzbuzení magnetického pole místo magnetů permanentních. Stroj jeho se skládal ze dvou částí: první byl obyčejný menší stroj magnetoelektrický, z něhož se vyrobený usměrněný proud vedl k elektromagnetům stroje druhého, mezi nimiž se pohybovala Siemensova indukční cívka válcová; trvalé magnety stroje prvního měly nosivost 169 *kg*, kdežto elektromagnety druhého stroje 5000 *kg*. Z toho lze již poznati velikou výhodu elektromagnetů; vytvářejí pole magnetické daleko silnější, jsou mnohem lacinější a nemění své účinnosti, kdežto trvalé magnety ztrácejí časem svou magnetičnost a musí se znovu magnetovati.

Ještě většího zlepšení dosáhlo se však r. 1867 principem dynamoelektrickým, jonž skoro současně byl objeven Siemensem a Wheatstonem. Podle tohoto principu stačí, když stroj pro výrobu elektřiny jest opatřen pouze elektromagnety, jež vždy mají v sobě určité residuum čili magnetismus remanentní. Tímto residuem při otáčení armatury indukují se nejprve zcela slabé proudy, které se usměrní a vedou kolem elektromagnetů; tím zesílí se i pole magnetické, jež pak může indukovati již proudy silnější a tak se to stupňuje dále, až intensita pole magnetického dostoupí maxima a tím se též dosáhne největší výkonnosti stroje.

Do elektromagnetů musí se vésti proud usměrněný, ale jak jsem vyložil již dříve, tento usměrněný proud nemá stálé intensity, nýbrž periodicky z nullové hodnoty stoupá a pak zase klesá k nulle, tak že také intensita magnetického pole se mění, stoupajíc a klesajíc až k určité hodnotě, která je závislá na době, po kterou trvá přerušování proudu (vznikající izolující vložkou na kommutátoru) a na tom, jakým způsobem jest magnetismus

v jádře elektromagnetů udržován. Zmagnetujeme-li elektromagnet a pak přeručíme proud magnetující, udrží se mnohem více magnetismu, je-li elektromagnet opatřen kotvou (t. j. měkkým železem, přiloženým k jeho pólům), než je-li bez kotvy. U strojů dynamoelektrických nemůže ovšem armatura těsně přiléhati k elektromagnetům, jelikož se musí mezi nimi pohybovati; ale přece lze zlepšiti účinky těchto strojů tím více, čím více bude armatura vyplňovati pole magnetické. To je velmi dobře splněno u armatury prstenové, známé pode jménem *prstenu Grammova* nebo *Pacinottiho*, kde vhodným uspořádáním dosahuje se skutečně proudů stejnosměrného o elektromotorické síle skoro neproměnné.

Představme si železný prsten, na němž je navinut závit drátu. Pohybuje-li se tento prsten v magnetickém poli, indukuje se v drátě elektromotorická síla, která při jedné otočce změni dvakráte směr, procházejíc nullovou hodnotou ve směru kolmém k siločarám, t. j. ke směru magnetického pole, poněvadž tam při pohybu v čase nekonečně krátkém nenastává změna v počtu prořatých siločar. Tento směr sluje neutrálním pásem. Místo jediného drátu můžeme užiti i cívky, jejíž konce připojíme ke dvěma polovicím kotoučku, izolující vložkou od sebe odděleným, k nimž přiléhá podobně jako u strojů dříve uvedených sběrací kartáček; pak rozdíl potenciální mezi oběma kartáčky rovná se síle elektromotorické v každém okamžiku indukované. Kartáčky musí býti postaveny ve směru neutrálního pásu. Spojíme-li oba kartáčky vnějším vedením, vznikne proud sice stejnosměrný, ale o intensitě měnící se od určité maximální hodnoty až k nu'le, podobně jako se mění elektromotorická síla. Toto kolísání elektromotorické síly i intensity dá se však zde značně omeziti, užijeme-li místo jediné cívky

cívek více. Představme si na př. na železném prstenu osm takových cívek, stejným směrem vinutých, jež jsou na obvodu kruhu od sebe vzdáleny 45° . Kotouček sběrací, zvaný kolektorem, rozdělen je též na osm dílů od sebe vzájemně izolovaných a v neutrálním páse jsou opět umístěny kartáčky. Konce každé cívky jsou vedeny vždy ke dvěma sousedním výsečím kolektoru a to tak, že sousední konce dvou vedle sebe položených cívek jsou spojeny s touž výsečí. Otáčíme-li pak armaturou, rozděluje ji v každém okamžiku spojující obou kartáčků ve dvě symmetrické polovice, z nichž v každé indukuje se elektromotorická síla stejně veliká, ale opačného znamení. V tom okamžiku, kdy každý kartáček točí současně na dvou sousedních výsečích kolektoru, jsou dvě proti sobě stojící cívy, spojeny na krátko, tak že na obou stranách kotvy zbývá pouze po třech cívkách, jichž elektromotorické síly se spolu skládají v elektromotorickou sílu minimální, nejmenší ze všech, jež daný stroj při určité nezměněné rychlosti otáčení může dáti. Naproti tomu, pohne-li se kotva z této polohy tak, aby neutrální pás (a tedy i kartáčky) padal právě doprostřed mezi sousední cívky, jest úhrnná elektromotorická síla rovna součtu elektromotorických sil ze všech čtyř cívek a je maximální ze všech, jež stroj skytá.

Při této úpravě je tedy poměr mezi minimální a maximální silou elektromotorickou tím bližší jednotce, t. j. proud je tím rovnoměrnější, čím je počet cívek větší.

Přibližně se to dá vypočítati takto: Je-li počet všech cívek na armatuře $2n$, skládá se minimální elektromotorická síla z elektromotorických sil $n - 1$ cívek, kdežto maximální z elektromotorických sil všech n cívek. Je-li největší elektromotorická síla v jedné cívce E , jest úhrnná minimální síla elektromotorická

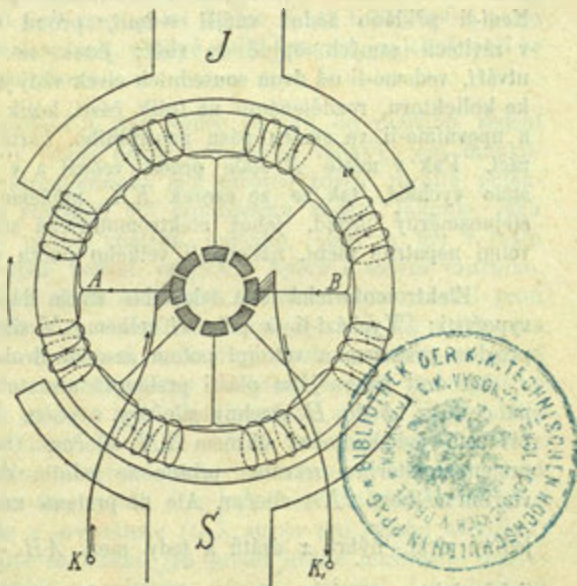
$$E_{\min} = E \left(\sin \frac{\pi}{n} + \sin \frac{2\pi}{n} + \dots + \sin \frac{(n-1)\pi}{n} \right)$$

a úhrnná maximální elektromotorická síla

$$E_{\max} = E \left(\sin \frac{\pi}{2n} + \sin \frac{3\pi}{2n} + \dots + \sin \frac{(2n-1)\pi}{2n} \right)$$

Z toho pak se dá snadno vypočísti poměr minimální elektromotorické síly k maximální, jenž při 6 cívkách rovná se 0·87, při 8 cívkách 0·92 a při 36 cívkách 0·998, tedy již velmi přibližně 1. Patrně tedy, že dosáhneme proudu o elektromotorické síle tím stálejší, čím více cívek a výsečí kolektoru užijeme; ale přes to přese vše jsou v takovém proudu změny v elektromotorické síle a tedy i v intensitě, byť i byly jen velmi nepatrné. Proud takového druhu nazývá se undulačním a můžeme se o jeho existenci přesvědčiti, když jej vpuštíme (bez přerušovače) do primární cívky induktoru, do jehož sekundární cívky zapneme telefon; tu počet undulačí bude se jeviti výškou tónu a jejich velikost intensitou tónu.

Že skutečně elektromotorické síly v jedné polovici armatury se vždy sčítají, plyne z jednoduché úvahy. Představme si magnetické pole, jehož siločáry jdou od severního pólu *S* k jižnímu *J* (obr. 2.). V tomto poli pohybuje se železný prsten, složený z jednotlivých k sobě stlačených a izolovaných desek (aby se zabránilo proudům Foucaultovým), a na něm stejným směrem je navinuto na př. 8 cívek, jež tvoří dohromady jeden spojitý celek. V tomto prstenu indukuje se magnetismus a to vždy na části proti severnímu pólu magnetismus jižní a proti jižnímu pólu magnetismus severní. Je-li prsten z hodně měkkého železa, pozbude magnetismu brzy, jakmile se



Obr. 2.

vzdálí od indukujícího pólu, tak že se vždy i při rotaci jeví prsten jižně magnetickým proti severnímu pólu a severně magnetickým proti jižnímu pólu. Lze tudíž pro zjednodušení výkladu předpokládati, že železné jádro stojí a že jen drátěné cívky se po něm pohybují. V těchto cívkách vznikne tedy proud a jeho směr se dá stanovit podle pravidla Lenzova, jak je naznačeno na obrázku šipkami.

I vidíme, že v hořejší celé polovici jde proud jedním směrem, v dolejší pak polovici druhým směrem; rozhraní

pak obou těchto směrů jest v neutrálním pásu AB . Není-li přidáno žádné vnější vedení, proud vznikající v závitech samých úplně se ruší; jinak se však věc utváří, vedeme-li od dvou sousedních cívek vždy jeden drát ke kolektoru, rozdělenému na tolik částí, kolik je cívek, a upevníme-li ve směru pásu neutrálního kartáčky sběrací. Pak v místě A stále proud vchází a v místě B stále vychází, tak že ze svorek KK_1 můžeme odbíratí stejnosměrný proud, jehož elektromotorická síla se jen velmi nepatrně mění, užijeme-li velkého počtu cívek.

Elektromotorická síla takového stroje dá se takto vypočísti: Vychází-li z pólu S celkem N siločar, jež projdou prstenem a vstoupí potom zase do druhého pólu J , pak drát na vnějším plášti prstenové armatury protne na cestě z A do B všechny siločáry v počtu N a tedy při celé jedné otočce úhrnem $2N$ siločar. Otočí-li se prsten za vteřinu n krát, protne se jedním drátem za vteřinu celkem $2Nn$ siločar. Ale na prstenu není pouze jediný drát, nýbrž x drátů a tedy mezi AB $\frac{x}{2}$ drátů, jichž elektromotorické síly se sčítají. Jest tudíž úhrnná elektromotorická síla mezi A a B dána vzorcem:

$$E = 2Nn \frac{x}{2} = Nnx$$

Elektromotorická síla je dána v absolutních jednotkách, jsou-li ostatní veličiny udány též v absolutních jednotkách, i musíme hodnotu tu násobiti 10^{-8} , abychom dostali elektromotorickou sílu ve *voltech*, tak že

$$E = Nnx \cdot 10^{-8} \text{ volt.}$$

Z tohoto vzorce můžeme vypočísti kteroukoli veličinu, jsou-li ostatní dány; tak na př. má-li stroj při

20 obrátkách za vteřinu a při 500 drátech na armatuře míti 120 *volt*, musí počet siločar $N = 1,200.000$ a podle toho musí se pak vhodně voliti magnet, v jehož poli se prsten pohybuje.

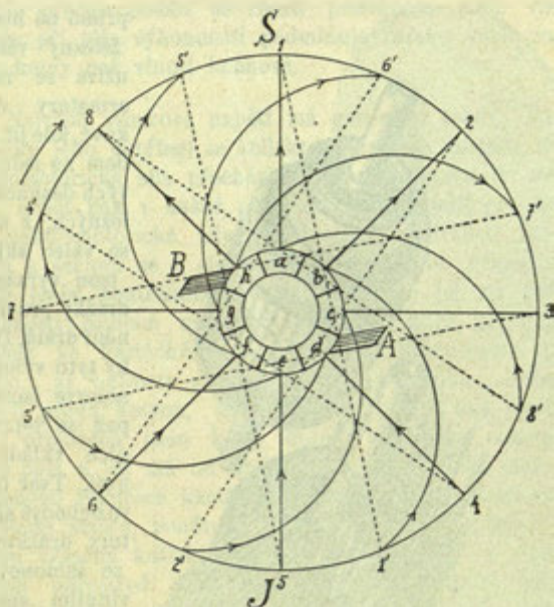
Nevydává-li stroj vůbec proudu do vnějšího vedení (je-li tedy vnější odpor nekonečně veliký), jest indukovaná elektromotorická síla zároveň rovna rozdílu potenciálů na svorkách čili svorkovému napětí. Jakmile však prochází proud vnějším vedením, staví se mu v cestu nejen odpor vedení vnějšího, nýbrž i vedení vnitřního, totiž odpor cívek samotných, čímž svorkové napětí proti předchozímu se zmenší. Je-li odpor cívek R_1 a intensita proudu v cívkách i_1 (při stroji vyobrazeném je to právě polovička intensity i ve vnějším vedení), je napětí ve vnitřním vedení jaksi spotřebované rovno $R_1 i_1$, tak že svorkové napětí $e = E - R_1 i_1$. Svorkové napětí je tedy při uzavřeném proudovodu menší než elektromotorická síla, a to tím menší, čím je proud silnější. Z toho také plyne, že z generátoru (t. j. stroje pro výrobu elektřiny) vždy může se dostat jen proud určité maximální intensity, závislý na vnitřním odporu, takže, i kdybychom svorky spojili na krátko, t. j. silným drátem o odporu téměř nullovém, nemá vzniklý proud intensitu nekonečně velikou, nýbrž jeho intensita je dána vzorcem $i = \frac{E}{R_1}$.

Ovšem musíme se při generátorech moderních přece co nejvíce varovati krátkého spojení, protože se vnitřní odpor volí nyní velice malý, tak že by vzniklý proud o velmi značné intensitě snadno mohl poškoditi vinutí.

Prstencové armatury, jichž pro výrobu elektrických proudů užil Gramme, mají značné výhody; tak na př. sousední závit cívek i při značné elektromotorické síle

nemají velikého rozdílu potenciálního, tak že izolace drátů je tu velice snadná; dráty navinuté pohybují se velmi blízko u magnetů, tak že armatura vyplňuje pole velice dokonale a dosahuje se takto silné indukce a pod. Avšak Grammův prsten má také velkou nevýhodu, a to tu, že části drátů, které jsou na vnitřní straně prstenu, nemají pro indukování proudu vůbec významu, jelikož neprotínají žádných siločar, tak že jenom zbytečně kladou odpor vzniklému proudu.

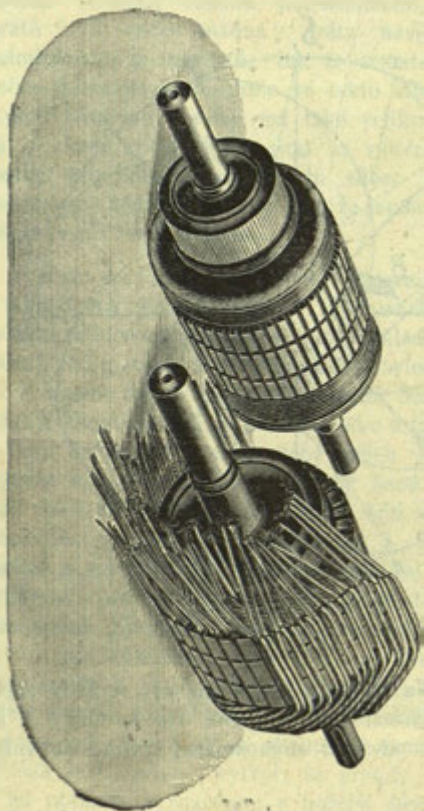
Tuto nevýhodu podařilo se odstraniti armaturou bubnovou, kterou sestrojil Hefner-Alteneck a které se nyní nejvíce užívá. Tato armatura skládá se ze železného válce, jenž je po délce po celém plášti ovinut drátem a otáčí se v silném magnetickém poli těsně mezi pólovými nástavky. Vinutí skládá se podobně jako u Grammova prstenu z řady drátěných cívek, jichž jeden konec jest veden k jedné výseči kolektoru a druhý hned k vedlejší. Spojení všech cívek dohromady může býti velmi různé; nejjednodušší spojení je patrné z obr. 3. Na tomto obrázku díváme se na bubnovou armaturu zředu, kde jest upevněn kolektor s osmi výsečemi ($\alpha - h$), jelikož je navinuto celkem osm závitů. Silné čáry značí vedení drátů na přední ploše bubnu od kolektoru, odkudž jdou dráty přes oblinu válce k zadní ploše, kteréžto spojení je vyznačeno čarami tečkovanými. Jsou-li siločáry magnetického pole namířeny směrem od shora dolů a otáčíme-li armaturou ve směru ručiček hodinových, vytvoří se proudy toho směru, jak je na obrázku vyznačeno; v hořejší části armatury procházejí totiž proudy od přední plochy bubnu k zadní, v dolejší části pak od zadní plochy k přední. Když pak sledujeme směr proudu, vidíme, že k výseči d na kolektoru přicházejí 2 dráty, jež oba do něho proud přivádějí, a k výseči protilehlé h dva dráty, jež proud



Obr. 3.

odtud odvádějí. Na těchto místech postaví se tedy zcela obdobně jako u armatury prstencové dva kartáčky A, B , od nichž můžeme odváděti stejnosměrný proud do vnějšího vedení.

Bubnová armatura má tu výhodu, že se skutečně u ní využije skoro všeho drátu k indukci proudu (vyjímajíc malé poměrně kousky na přední a zadní základně válce); vinutí je sice obtížnější, ale dá se předem provést na šablonách, které se pak prostě na železný válec nastrčí. Místo hladké armatury (kde dráty jsou navinuty



Obr. 4.

přímo na hladký železný válec), užívá se raději armatury drážkové, kde již předem na jednotlivých deskách železných, z nichž se válec skládá, jsou vyraženy drážky pro upevnění drátů. Drážky tyto vyloží se nejprve izolací a pak se teprv do nich vkládá vinutí. Tvar takové bubnové armatury drážkované se šablonovým vinutím spatřujeme na obr. 4.; v levo jest již armatura hotová, kdežto v pravo vidíme, jak se jednotlivé cívky vkládají do připravených drážek.

Prstenové armatury mají ovšem i proti armaturám bubnovým některé značné výhody (na př. upevnění vinutí a hlavně oprava jeho je mnohem jednodušší), ale

přes to přece opouští se vinutí prstencové stále více, protože při téže výkonnosti podmiňuje daleko větší rozměry kotvy než vinutí hubnové.

Největší svorkové napětí má generátor tehdy, když kartáčky jeho dotýkají se kolektoru na těch místech, kde elektromotorická síla přechází z jednoho směru do druhého, neboť pak v každé polovici celého vinutí pro sebe jsou elektromotorické síly v jednotlivých cívkách téhož směru a sečítají se v elektromotorickou sílu výslednou. Je to směr neutrálního pásu a najdeme jej na stroji v činnosti jsoucím nejpohodlněji tím, když připojíme voltmetr ke kartáčkům a pak jimi posunujeme tak dlouho, až voltmetr ukazuje největší výchylku. Neprochází-li proud kotvou, je neutrálním pásem ona rovina, jež je proložena osou kotvy kolmo ke směru magnetického pole a jež má od obou pólůvých nástavků stejnou vzdálenost. Spojnice kartáčků nemusí ovšem spadatí vždy do tohoto směru, poněvadž kartáčky musí býti přitlačeny k těm výsečím kolektoru, jež jsou spojeny s dráty, ležícími uprostřed obou pólů čili v neutrálním pásu. Nejsou-li pak spojovací dráty vedeny radiálně, nýbrž jiným směrem, což zejména jest pravidlem u armatur hubnových, může poloha kartáčků býti naprosto jiná než směr neutrálního pásu.

Jakmile však uzavře se vnější spojení a kotvou protéká také proud, vytvoří se v kotvě vlastní magnetické pole, které s polem hlavního indukujícího elektromagnetu skládá se v pole výsledné, tak že pak toto výsledné pole (směru poněkud jiného než původní) indukuje v armatuře elektromotorickou sílu. Tu pak nepadá již neutrální pás do směru roviny symmetrické mezi oběma póly, nýbrž posune se poněkud ve směru rotace arma-

tury a proto také v témž směru se musí posunouti i kartáčky, aby se dosáhlo největšího svorkového napětí.

Má-li výkonost některého stroje dynamoelektrického býti co možno největší, neužívá se již jen jediného magnetu čili jediné dvojice pólové, nýbrž magnetů několika, jež jsou symmetricky postaveny tak, že vždy vedle sebe a proti sobě jsou nesouhlasné póly. Podle toho rozeznáváme pak stroje čtyřpólové, šestipólové a t. d., obecně vícepólové. Při těchto strojích je vždy mezi dvěma sousedními póly místo, kde vinutí kotvy neprotíná žádných siločar, kde tedy elektromotorická síla indukovaná rovná se nulle. Při čtyřpólovém stroji je tedy elektromotorická síla v jednom závitě za jediné otočení čtyřikrát rovna nulle, jelikož jsou dva pásy neutrální, i můžeme místo dvou užití čtyř kartáčků, postavených vhodně k oněm pásům, podobně jako u stroje dvoupólového.

Úhrnná elektromotorická síla dá se zase vypočítati podle jednoduché úvahy. Je-li počet siločar z jednoho pólu vycházejících N , protne každý drát na cestě od jednoho kartáčku ke druhému všechny siločáry a to za $\frac{1}{4n}$ vteřiny, vykoná-li stroj ve vteřině n obrátek. Za vteřinu protne tedy každý drát $4Nn$ siločar a jelikož mezi dvěma kartáčky je $\frac{x}{4}$ drátů, jest úhrnná elektromotorická síla všech těchto drátů

$$E = 4Nn \cdot \frac{x}{4} = Nnx \text{ abs. jednotek, čili}$$

$$E = Nnx 10^{-8} \text{ volt.}$$

Vidíme, že v tomto vzorci úplně schází počet pólů a že elektromotorická síla mezi dvěma sousedními kar-

táčky je stejně veliká jako u stroje dvoupólového. Dva sousední kartáčky jsou jako svorky jednoho článku a takových článků má $2p$ -pólový stroj celkem p , jež můžeme spojit vedle sebe, čímž výsledná elektromotorická síla se nemění. Výhodou takového spojení jest, že lze ve vnějším vedení užiti proudů o značné intensitě, protože armaturou prochází pak jenom její $2p$ -tý díl. Avšak velmi dobře lze se též obejít bez tak velikého počtu kartáčků, když přímo výseče kolektorové vhodně spolu spojíme. Při $2p$ -pólových strojích spojí se vždy spolu p výsečí kolektoru a pak stačí k odebrání proudu jen dva kartáčky.

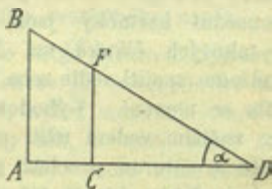
Avšak ze stroje $2p$ -pólového lze obdržeti též elektromotorickou sílu p -krátě větší, danou vzorcem

$$E = pNnx \cdot 10^{-8} \text{ volt},$$

a to tehdy, když se vhodným vinutím polovice všech cívek na armatuře spojí za sebou; to lze provésti jak u strojů prstenových, tak u bubnových.

Jak jsem uvedl již dříve, původní stroje magneto-elektrické měly ocelové permanentní magnety, v jejichž poli se armatura otáčela. Stroje takové byly drahé a poměrně málo účinné; účinnost jejich však vzrostla, když místo ocelových magnetů užilo se při nich elektromagnetů, jež samostatným magnetoelektrickým strojem menším byly buzeny. U takovýchto strojů jest elektromotorická síla naprosto nezávislá na vnějším odporu a je stále stejná, dokud proud, jenž magnety sytí, má tutéž intensitu, a dokud generátor sám stejně rychle se otáčí. Svorkové napětí právě jako u obyčejného článku galvanického jest ovšem tím větší, čím je větší vnější odpor, což vysvitne nejjasněji z obrázku, jímž vyznačujeme zákon Ohmův

(obr. 5.). AB budiž elektromotorická síla E , AC vnitřní odpor R_i a CD odpor vnější R_e . Pak $\operatorname{tg} \alpha$ je měrou intenzity proudu, jenž probíhá ze zdroje o elektromotorické síle E vedením o celkovém odporu $R_i + R_e$ (vnitřním a vnějším odporu dohromady), neboť



Obr. 5.

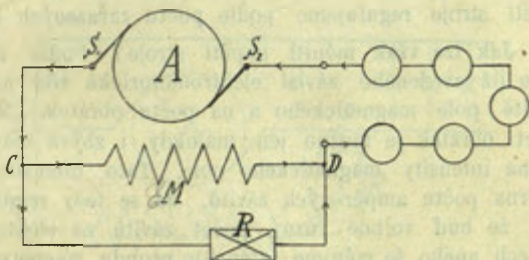
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{AB}{AC + CD} = \frac{E}{R_i + R_e} = i$$

Svorkové napětí e je pak dáno úsečkou CF i vidíme, že je tím větší, čím je vnitřní odpor menší anebo vnější odpor větší. Při vnějším odporu nekonečně velíkém přímka BD byla by rovnoběžna s AD , tak že $CF = AB$ čili $e = E$ (elektromotorická síla rovná se svorkovému napětí článku otevřeného) a $\alpha = 0$ (vnějším ani vnitřním vedením neprochází proud). Intensita proudu ovšem při vzrůstajícím vnějším odporu stále se zmenšuje.

Když však objeven byl princip dynamoelektrický, ukázalo se, že remanentní magnetismus v elektromagnetech stačí úplně k tomu, aby indukoval v armatuře nejprve proudy zcela slabounké, které vedeny jsouce kolem elektromagnetů sesilují jejich pole až k určité hodnotě maximální, při níž indukuje se pak v armatuře největší elektromotorická síla. Každý stroj dynamoelektrický skládá se ze tří podstatných částí: z armatury, ve které proud elektrický vzniká, z elektromagnetů, jež skytají potřebné pole magnetické a konečně z vnějšího vedení, v němž proud ze stroje vycházející koná práci. Tyto jednotlivé části mohou býti různě spolu spojeny a podle toho ro-

zeznáváme 1.) spojení obecné čili za sebou (seriové), 2.) spojení vedle sebe (derivační) a konečně 3.) spojení smíšené (compoundní). Toto trojí spojení nejlépe je patrné ze schematických obrázků 6., 7. a 9.

Všimněme si nejprve spojení **seriového**, kde všechny tři hlavní části stroje dynamoelektrického jsou spojeny za sebou v jeden kruh proudový. (Obr. 6.).



Obr. 6.

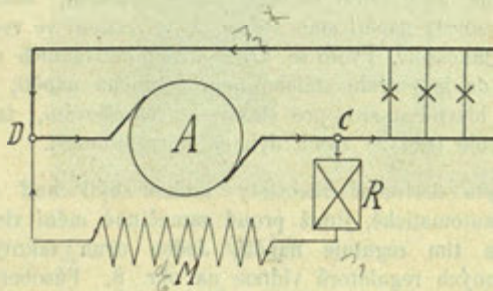
Proud vychází tu z armatury A ze svorky S_1 , jde do elektromagnetu M a odtud vnějším vedením zpět ke svorce S_2 a do armatury. U těchto strojů při malém vnějším odporu je celý proud velmi silný, jak plyne jednoduchým výpočtem ze zákona Ohmova; pak ovšem i elektromotorická síla je značná a svorkové napětí poměrně těž. Zvětší-li se vnější odpor, roste s počátku poněkud i svorkové napětí (jak je viděti z obr. 5.), ale poněvadž při tom současně klesá intensita celého proudu, zeslabí se intensita magnetického pole, což má za následek zmenšení elektromotorické síly a tedy i svorkového napětí. Platí tedy pro stroje seriové toto pravidlo: Intensita proudu při vzrůstajícím vnějším odporu stále

klesá, svorkové napětí naproti tomu s počátku málo stoupne, ale pak ustavičně klesá, až konečně při vnějším odporu nekonečně velícím rovná se nulle. Těchto strojů nedá se užiti tam, kde se jedná o udržení stejného napětí i při proudech různé intensity a proto při většině centrál nejsou takovéto stroje postaveny. Za to však hodí se tam, kde elektrické lampy jsou zaplány za sebou, poněvadž tam jedná se o stejnou intensitu proudovou, mají-li lampy klidně hořeti. Té pak dosáhneme, když napětí stroje regulujeme podle počtu zařazených lamp.

Jak lze však měniti napětí stroje? Podle vzorce dříve již uvedeného závisí elektromotorická síla na intensitě pole magnetického a na počtu obrátek. Měniti počet obrátek je možno jen málokdy, i zbývá tedy jen změna intensity magnetického pole. Tato intensita jest úměrna počtu ampèrových závitů, dá se tedy regulovati tím, že buď volíme různý počet závitů na elektromagnetech anebo že měníme intensitu proudu magnety procházejícího. Počet závitů dá se měniti tím, že celé vinutí na elektromagnetech rozdělíme v několik skupin, z nichž libovolný počet vpínáme do vedení. Intensitu proudu, magnety napájejícího, můžeme pak nejjednodušeji měniti rheostatem R , který je paralelně zaplán k elektromagnetům. Tím se proud v místech CD rozvětjuje, tak že, vkládáme-li v rheostatu větší odpor, intensita proudu i elektromotorická síla ve vedení vzrůstá (dle věty Kirchhoffovy).

Druhý druh jsou stroje **derivační**, při nichž vinutí elektromagnetů je paralelní s vnějším vedením, tak že jsou syceny pouze jednou větví proudu. Zde proud vychází z armatury A a v místě C se rozvětjuje, tak že jde jednak vnějším vedením k druhému rozvětvovacímu bodu D a tudy zpět do armatury, jednak přes rheostat R do elektromagnetu M a také k bodu D

(obr. 7.). Celý proud v armatuře vznikající rozdělí se tedy ve dvě větve, z nichž jedna o intensitě i_1 prochází vinutím elektromagnetů a vytvořuje tak pole magnetické, druhá pak o intensitě i_2 přechází do vnějšího vedení. V jakém poměru jsou k sobě intensity těchto větví, záleží podle druhé věty Kirchhoffovy na jejich odporech; čím jest odpor vnější větší, tím je větší intensita proudu kolem elektromagnetů protékajícího, tak že magnetické pole je silnější a tím ovšem jak elektromotorická síla,



Obr. 7.

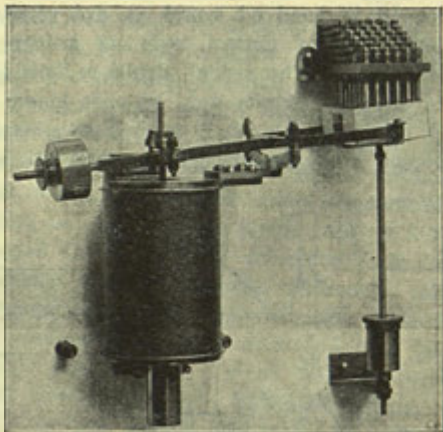
tak i svorkové napětí větší. Je zde tedy případ podobný tomu, který jsem uvedl při strojích, jež mají elektromagnety buzeny zvláštním samostatným zdrojem, neboť svorkové napětí při vzrůstajícím vnějším odporu neustále vzrůstá, s počátku rychle a potom pomalu, až konečně je skoro konstantní. Intensita ve vnějším vedení je při malém vnějším odporu poměrně malá, poněvadž magnety jsou slabé, je-li však odpor větší, intensita stoupá, poněvadž vlivem silnějšího pole magnetického stoupá elektromotorická síla, až konečně při určitém vnějším odporu dostoupí intensita maxima a při dalším zvětšování odporu již stále klesá k nulle.

Proud, jenž prochází vinutím elektromagnetů, dá se vy-
počítati ze vzorce $i_1 = \frac{e}{R_m + r}$, značí-li e svorkové napětí,

R_m odpor vinutí a r měnitelný odpor v rheostatu R , jež nazýváme rheostatem derivačním. Klesne-li z jakéhokoliv důvodu svorkové napětí e , musí se i_1 zvětšiti, aby se opět dosáhlo dřívějšího napětí, a to se dá provésti zcela jednoduše derivačním rheostatem, jehož odpor zmenšíme. Je-li tento rheostat dobře vyměřen, může se jím udržovati napětí stále stejné, ať je zatížení ve vnějším vedení jakéhokoliv. Proto se užívá strojů derivačních všude tam, kde je potřebí stálého neproměnného napětí, jako na př. hlavně u sítí pro elektrické osvětlování, tak že tyto stroje jsou ze všech dynam nejrozšířenější.

Tyto derivační rheostaty mohou býti buď ruční anebo automatické, jimiž proud samočinně mění vložený odpor a tím reguluje napětí. Jeden druh takovýchto samočinných regulátorů vidíme na obr. 8. Působení tohoto přístroje je zcela jednoduché: změní-li se napětí proudu, klesne v solenoidu železné jádro, které je zavěšeno na jednom konci vahadla. Tím zdvihne se druhý konec vahadla, na němž jest upevněna nádobka se rtutí, a tato rtuť spojí na krátko více nebo méně kontaktů regulačního odporu podle toho, jak vysoko se zdvihne miska. Takovéto zařízení hodí se výborně tam, kde se mění rychlost poháněcího stroje a tím i počet obrátek dynamu, anebo kde kolísá zatížení.

Aby se proudu z armatury využítkovalo co nejvíce, musí intensita i_1 , jdoucí do elektromagnetů, býti co možno malá. Za tím účelem volí se pro vinutí na elektromagnetech drát poměrně slabý, jenž se ovšem musí navinouti v závitech velmi četných, aby se dosáhlo toho

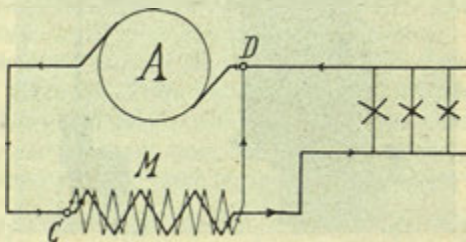


Obr. 8.

počtu ampèrových závitů, jehož je nutně potřeba k vytvoření silného magnetického pole. Dá se tedy již podle toho rozeznati stroj derivační od seriového, který právě naopak má kolem elektromagnetů poměrně málo závitů drátu silného, aby intensita ve vedení se zbytečně nezmensila.

Třetí konečně druh jsou stroje **kompoundní** čili stroje s vinutím smíšeným, u nichž je spojení seriové sloučeno se spojením derivačním. Zvěděli jsme, že při strojích seriových svorkové napětí se vzrůstajícím vnějším odporem klesá, kdežto u strojů derivačních se vzrůstajícím vnějším odporem stoupá, i lze vhodným spojením vinutí seriového a derivačního toho dosáti, že svorkové napětí je nezávislé na vnějším odporu. Schema stroje

kompoundního podává obraz 9. Proud v armatuře A vzniklý rozdělí se hned od svorek ve dvě větve; jedna větev, hlavní, silným drátem vede se kolem elektromagnetů M a do hlavního vedení, druhá vedlejší odbočující od bodu C tenkým drátem vede se opět kolem elektromagnetů a pak zase v bodě D spojuje se s větví hlavní. Avšak spojení kompoundní může se provésti ještě tak,



Obr. 9.

že jeden rozvětvovací bod je sice zase na svorce D , ale druhý za seriovým vinutím kolem elektromagnetů; tím však princip stroje se nemění. V obou případech jde proud v hlavním i vedlejší vinutí týž směrem; rozdíl je jen v tom, že v prvním případě je vedlejší vinutí paralelní s vinutím hlavním, kdežto v druhém případě je paralelní s odporem vnějším v síti. Stroje kompoundní možno poznati ihned podle toho, že kolem elektromagnetů jsou závity dvojího druhu: silné od vinutí hlavního, seriového, a slabé od vinutí derivačního.

Spojením kompoundním dosáhlo se toho, že není třeba žádného derivačního rheostatu k regulování napětí, jelikož stroj se reguluje úplně sám. To poznáme z této úvahy: Stroj pracuje s určitým napětím; vložíme-li do

vnějšího vedení více elektrických lamp vedle sebe, zmenší se vnější odpor a hlavním vedením seriovým bude procházeti proud o větší intensitě, jímž by se mělo magnetické pole elektromagnetů zesílit. Avšak zvětšením intensity proudové v hlavní větvi klesne současně intensita ve větvi vedlejší ve vedení derivačním (dle věty Kirchhoffovy), tak že by tím zase se mělo magnetické pole zeslabiti. Když pak počet obou závitů, seriových i derivačních, vhodně volíme, můžeme toho dosáti, že ono zesílení a zeslabení pole, jež by mělo vzniknouti, vzájemně se ruší, tak že intensita pole magnetického a tím i svorkové napětí zůstává konstantní. Skutečně také lze konstruovati stroje compoundní, u nichž kolísání svorkového napětí nečiní více než 1—2% úhrnného obnosu. Zdálo by se tedy, že jest nejvýhodnější užívatí jen strojů compoundních, jelikož svorkové napětí zůstává tu konstantní beze všeho regulování, a přece nejrozšířenější jsou jen stroje derivační. Důvod hlavní je ten, že nabíjení akumulatorů, jež jsou nezbytnou součástí každé centrály pro stejnosměrný proud, dá se prováděti pohodlně a bezpečně jen stroji derivačními; zároveň také derivační dynama dají se spolu velmi jednoduše paralelně spojovati, je-li potřebí dodávati větší množství energie do vnějšího vedení.

Proud elektrický procházející vnějším vedením koná práci; tato práce za vteřinu čili pracovní efekt rovná se součinu ze svorkového napětí vyjádřeného ve voltech a z intensity proudové, vyjádřené v ampèrech. Tento efekt je však pouze vnější a nazýváme jej efektem užitečným na rozdíl od efektu úhrnného, jenž se skládá z tohoto efektu užitečného a z onoho, jenž se spotřebovává v magnetech a v armatuře. Poměr užitečného efektu k efektu celkovému nazýváme elektrickou

účinností stroje. Vidíme tedy, že první ztráta z celkového efektu je způsobena tím, že závity elektromagnetů i cívky armatury se oteplují proudem, který jimi prochází. Oteplování toto podle zákona Jouleova jest přímo úměrno odporu vodiče a čtverci intensity proudu, nelze mu tedy úplně zabrániti, ale přece lze je velmi značně umenšiti vhodnou volbou odporů. Rovněž tak vzniká ještě ztráta při přechodu proudu z kolektoru do kartáčků; u kartáčků měděných je ztráta tato nepatrná, tak že se může zanedbat, ale za to u uhlíkových kartáčků může dostoupiti někdy dosti značné výše.

Avšak nás zajímá nejen elektrická účinnost stroje, nýbrž také účinnost mechanická, t. j. poměr mezi efektem elektrickým a efektem mechanickým, jímž se dynamo uvádí v činnost. Jelikož pak efekt elektrický je dvojnásobný, celkový a užitečný, je přirozeno, že i mechanická účinnost je dvojnásobná; první udává poměr mezi celkovým efektem elektrickým a mechanickým efektem motoru, druhá pak mezi užitečným efektem elektrickým a mechanickým efektem motoru. Tuto druhou účinnost nazýváme též účinností komerční.

Elektrická účinnost dynamy činí při velikých strojích až 96%, jsou-li tyto stroje plně zatíženy, t. j. je-li intenzita ve vnějším vedení taková, jaká pro ono dynamo má býti. Komerční účinnost je pak u novějších konstrukcí mezi 80 až 90%, z čehož je patrné, že dynamy využívají se energie dodaná velmi dobře.

Že veškerá mechanická práce motoru neobjeví se ve formě energie elektrické a že tedy mechanická účinnost je vždy dána číslem menším než 1, pochopíme snadno, uvážíme-li všechny ztráty, jež mohou nastati. Při otáčení armatury stává se jádro na každém místě střídavě kladně

a záporně elektrickým, tak že siločáry mění v něm ustavičně směr a to ve dva směry protivné tolikrát za jednu otočku, kolik pólů má stroj. Při tomto přemagnetování konají železné molekuly práci, jejíž měrou jest hysterésní klička, uvedená již dříve na obr. 1., a jež je tím větší, čím je železo tvrdší. Proto se užívá při konstrukci dynamoelektrických strojů pro jádro armatury železa co nejměkčího. Ztráty hysterésí podmíněné vznikají — byť i v míře velmi malé — také na pólových nástavcích.

Další příčinou ztráty energie jsou proudy vířivé čili Foucaultovy, o nichž bylo promluveno již dříve a jež vznikají indukcí v jádře armatury. Zabraňuje se jim tím, že se jádro skládá z jednotlivých izolovaných plechových desek k sobě stlačených. Avšak tyto vířivé proudy vystupují dosti zřetelně v měděných drátech, jež jsou vinuty na armatuře. Jakmile totiž je stroj v činnosti a ve vnějším vedení koná práci (čili je zatížen), magnetické pole stane se nestejnorodým a tím v drátech, zvláště silnějších, vznikají vířivé proudy. I v pólových nástavcích tvoří se tyto proudy, jimž se zabraňuje zde stejně jako u armatury tím, že se nehotoví z jediného souvislého kusu železa.

Kromě uvedených ztrát elektrických a magnetických dlužno uvést ještě ztráty mechanické, způsobené zejména třením v ložiskách a třením sběracích kartáčeků.

Všechny ztráty, jež jsem tu vyjmenoval, přeměňují se v teplo, kterým se jednotlivé části stroje znenáhla oteplují, tak že jejich temperatura je vyšší než temperatura okolí. Čím stroj déle pracuje, tím více vzrůstá jeho temperatura, až konečně dostoupí takové výše, že množství tepla vyvozeného rovná se onomu množství, jež povrch stroje vyzařuje do okolí, čímž se dosáhne určité

ustálené teploty. Tato teplota je tím větší, čím jsou větší úhrnné ztráty, a tím menší, čím je větší povrch stroje, kterým vzniklé teplo se odvádí do okolního vzduchu. Výhodou je, že přílišné zahřátí zejména kotvy se umenšuje větrem vznikajícím při otáčení stroje a to tím více, čím rychleji se stroj otáčí.

Avšak zvýšení teploty stroje nad okolní teplotu nesmí být libovolně veliké, poněvaž přílišným zahřátím porušila by se izolace a stroj by se zkazil. Z toho vidíme, že zahřátí stroje podmiňuje též velmi značně jeho velikost. Čím má být oteplení menší, tím větší musí být stroj, aby vyzařovací plochy byly hodně veliké. Pro stroje stabilně postavené klade se obvykle podmínka, aby oteplení nebylo větší než $50-60^{\circ}\text{C}$.

Dosud jsme předpokládali, že armatura protíná všech N siločar, jež vycházejí z magnetů, tvořících pole magnetické. Ve skutečnosti se to však nestává, neboť značná část siločar rozprostírá se do sousedního vzduchu, rozptyluje se, tak že nijak nepřispívá k zvětšení elektromotorické síly dynama. Tento rozptyl jest u různých typů různý i musí se k němu bedlivě přihlížeti při výpočtu ampérových závitů pro konstrukci dynama, a to tak, že se musí pro elektromagnety voliti větší počet siločar N_m než je počet N_a , jež protíná armatura a jenž má vliv na vzniklou elektromotorickou sílu. To se dá provést dvojím způsobem: buď se pro elektromagnety volí větší průřez anebo se elektromagnety udělají ze železa o větší permeabilitě, než jakou má železné jádro

v armatuře. Poměr siločar $\frac{N_m}{N_a}$ nazývá se koeficientem

rozptylu a je při moderních nejlepších strojích pouze 1·1, kdežto u starých strojů hodnota jeho stoupala až k 1·5,

Je-li nějaké dynamo v továrně provedeno, musí se nejprve vyzkoušet, zda dává skutečně ten efekt, pro jaký jest určeno, a zda se při delším pohonu příliš nezahřeje; dále se musí zkoumati, jak se chová při různém zatížení a konečně musí se určit jeho účinnost.

První a druhé měření dá se provéstí nejjednodušeji; necháme stroj po několik hodin v pohybu a pak určíme efekt jeho vhodnými přístroji, o nichž později se zmíním, a oteplení změříme teploměry anebo vypočteme ze změny odporu.

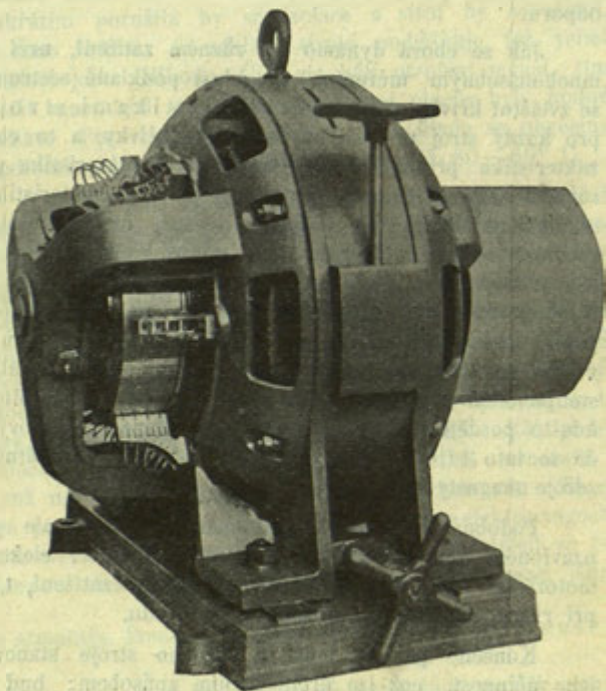
Jak se chová dynamo při různém zatížení, určí se mnohonásobným měřením, na jehož podkladě sestavují se zvláštní křivky zvané charakteristikami stroje; pro každý stroj určí se obyčejně dvě křivky, a to charakteristika při chodu na prázdnou a charakteristika při různém zatížení. Chceme-li rýsovat první charakteristiku, rozeženeme stroj (bez vnějšího vedení) určitou stálou rychlostí otáčecí a měříme, jak stoupá elektromotorická síla se vzrůstající intenzitou proudu napájejícího magnety. Narýsujeme-li pak podle toho křivku na souřadnicový papír, nanášejíce v jednom směru intenzitu proudu a v druhém elektromotorickou sílu, vidíme, že s počátku stoupá elektromotorická síla skoro úměrně s intenzitou, kdežto později mnohem pomaleji. Při dynamech seriových dá se tato křivka určití jen tehdy, užijeme-li zvláštního zdroje magnety sytícího.

Podobně určí se druhá charakteristika, ale při uzavřeném vnějším vedení, kde opět se měří elektromotorická síla, jak se mění při různém zatížení, t. j. při různé intenzitě ve vnějším proudovodu.

Konečně pak se musí u každého stroje stanovití jeho účinnost, což lze určití dvojím způsobem: buď se

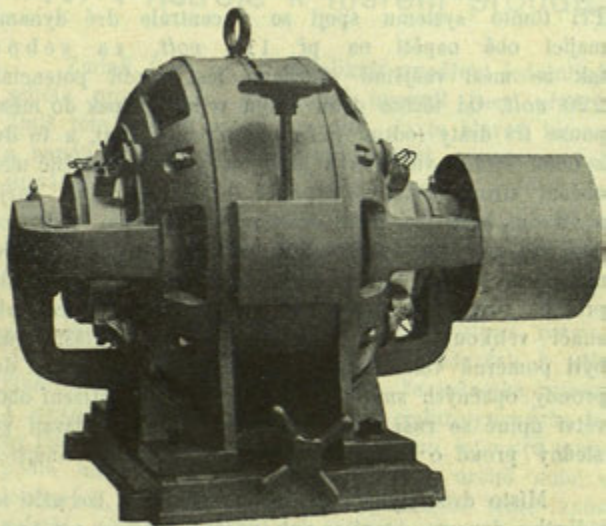
přímo měří jak efekt motorem dodaný, tak efekt dynamem vydaný, anebo se měří jen jeden z těchto efektů a pak se stanoví ztráty ve stroji vzniklé.

Proud z elektrické centrály se nejjednodušeji odvádí tak, že od obou svorek dynamoelektrického stroje o napětí na př. 120 *volt* vychází hlavní vedení ze dvou drátů se skládající, od něhož paralelně na libovolných místech odbočují vedení vedlejší, do nichž teprve se vpínají lampy nebo motory a pod., vyžadující stejného



Obr. 10.

napětí třeba 110 *volt*. V tomto případě říkáme, že k rozvodu proudu jest užito dvojvodiče. Tento systém je sice nejjednodušší, ale pro větší vzdálenosti je též velmi drahý, neboť hlavní přívodní dráty, které musí snést velmi intenzivní proudy, musí býti velice silné, aby ztráta napětí nebyla příliš veliká. Ukázalo se, že dvojvodič se



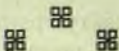
Obr. 11.

hodí jen pro menší instalace na vzdálenost asi 800 *m*. Typ dynama na stejnosměrné proudy vidíme na obr. 10. Dynamo toto má kartáčky pevně postavené; aby však bylo možno postavit je přece do neutrálního pásu, jsou pohyblivé elektromagnety, jež se dají poněkud stáčet

pomocí svislého šroubu. Šroubem dolejším pošínuje se stroj po základní desce, čímž se dá napnouti řemen, jak dalece je potřeba.

Aby bylo možno i větší prostory zásobovati elektrickým proudem stejnosměrným bez zbytečného plýtvání materiálem, užívá se nyní většinou trojvodiče, jehož myšlenka pochází od Edisona a Hopkinsona. Při tomto systému spojí se v centrále dvě dynamy, mající obě napětí na př. 110 *volt*, za sebou, tak že mezi vnějšími svorkami jest rozdíl potenciálů 220 *volt*. Od těchto dvou strojů vedou se pak do města pouze tři dráty (odtud jméno tohoto systému), a to dva z obou svorek vnějších a jeden ze svorky společné mezi oběma stroji. Přístroje vpínají se tu mezi drát vnější a střední, tak že také dostávají napětí jen 110 *volt* jako dříve. Obě vnější vedení mohou míti nyní průřez menší, tak že již tím se ušetří materiálu a kromě toho pro oba stroje jsou pouze tři dráty místo čtyř, což také značí velikou úsporu. Střední drát pak zvlášť může býti poměrně velmi slabý, poněvadž jím probíhají dva proudy opačných směrů, které při stejném zatížení obou větví úplně se ruší a při nestejném zatížení dávají výsledný proud o intenzitě menší než v drátech vnějších.

Místo dvou dynam za sebou spojených lze užiti též jediného dynamy, které se pak nazývá dynamem trojvodičovým. Tvar jeho vidíme na obr. 11.; jest opatřeno dvojím vinutím na kotvě a dvěma kolektory, odkudž odvádí se proud do vnějšího vedení zcela podobně jako v případě předešlém.



IV. Přístroje k měření proudu.

Zmínil jsem se již několikrát o měření jednotlivých veličin proudových, ale dosud neuvedl jsem přístrojů, jimiž toto měření se dá provést. Je to hlavně intensita a napětí proudu, jež nutno vždy měřiti, a proto na každé rozváděcí desce, kde jsou umístěny různé přepínače a vypínače pro spojování a přerušování proudu, bývají také vždy umístěny přístroje pro měření oněch veličin, zvané *ampèremetry a voltmetry*.

Intensita proudu může se určití přístroji rozmanitými podle toho, jakých účinků proudových k jejímu měření užijeme. Tak na př. víme, že jednotka intensity 1 *ampère* je definována z účinků elektrolytických; bylo by tedy možno vůbec počítati průměrnou intensitu proudu podle množství iontů proudem tím v určité době vyloučených, ale pro technickou praxi se tento způsob nehodí, ačkoliv je velmi přesný, protože v praxi jedná se často o rychlé stanovení okamžité hodnoty proudové a nikoliv průměrné. Za to však dají se velmi dobře měřící stroje elektrické založené na jiném principu touto methodou (voltametriky) graduovati.

Jiné účinky proudu jsou magnetické; podle zákona Biot-Savartova stoupá intensita pole magnetického úměrně s intensitou proudu, a jelikož intensita pole magnetického

má vliv na odklon magnetky v tomto poli postavené, lze z tohoto odklonu souditi též o intensitě proudu. Přístroje na tomto principu založené jsou *bussoly a galvanometry* a užívá se jich hlavně pro jemnější měření. Proudů velice slabé měříme zpravidla galvanometry zrcadlovými, u nichž lze citlivost tak stupňovati, že je možno měřiti proudy až o intensitě 10^{-11} ampère. Galvanometry dělíme hlavně ve dva druhy: u jednoho z nich, staršího, vychyluje se z normální polohy pohyblivá magnetka působením proudu, procházejícího pevnými závity, u druhého druhu však, jež zavedl Deprez d'Arsonval, vede se proud do cívky pohyblivé, která je v magnetickém poli silného pevného magnetu a v něm se vychyluje z původní polohy více nebo méně podle toho, jak silný proud jí prochází. Tento druhý galvanometr má proti prvnímu četné výhody; jeho pole magnetické, vytvořené silným magnetem, je totiž tak mohutné, že působení zemského magnetismu nebo proudů elektrických v blízkém okolí procházejících anebo konečně i železa blízko položeného nemá rušivého účinku při měření intensity proudové, kdežto u galvanometrů s magnetkou všechny tyto okolnosti mohou míti vliv dosti značný, tak že nutno při nich dbáti veliké opatrnosti. Galvanometrů s otáčivou cívkou užívá se i v technické praxi nyní velmi mnoho; aby však měření intensity se dalo prováděti co nejjednodušeji, jsou opatřeny stupnicí, na níž ručička s pohyblivou cívkou pevně spojená ukazuje intensitu hned v ampèrech, pročež nazývají se takovéto přístroje *ampèremetry*.

Vedle takových přístrojů užívá se však dosud ještě přístrojů jednodušších, z nichž nejznámější skládá se z pevné svisle postavené cívky, drátem ovinuté, do níž zasahuje lehounké železné jádro. Jakmile prochází cívkou

proud, vtáhne se jádro do jejího vnitřku a to tím hlouběji, čím je proud silnější; intensitu proudu lze pak též čísti na stupnici přímo v ampèrech. Tento přístroj má také tu výhodu, že se ho dá užití jak pro proud stejnosměrný, tak i pro proud střídavý; jenom je třeba určití pro střídavý proud jinou stupnici, která se musí dokonce změnit i při různé frekvenci střídavého proudu.

Za to však na frekvenci proudu úplně jsou nezávislé přístroje, u nichž se neužívá žádných cívek ani stočených drátů, které tedy nemají znatelné samoindukce (což později bude vyloženo); přístroje takové sestaveny jsou od firmy Hartmann a Braun ve Frankfurtě a zakládají se na tom, že drát určité délky, probíhá-li jím proud buď stejnosměrný nebo střídavý jakékoli frekvence, zahřeje se a poněkud se prodlouží, kteréžto prodloužení jest úměrno intensitě proudu. Učiní-li se pak vhodné opatření, aby toto prodloužení dalo se pozorovati na graduované stupnici, můžeme také ihned určití intensitu proudu v ampèrech.

U těchto přístrojů, kde jedná se o rychlé měření, musí býti postaráno o to, aby ručička na galvanometru nebo magnetka sama dlouho nekolísala kolem rovnovážné polohy, nýbrž co nejrychleji se ustálila; musí se tedy její pohyb tlumiti, což se děje různým způsobem. U galvanometrů, v nichž pohybuje se magnetka, obklopuje se tato pohyblivá část měděným obalem, v němž při pohybu indukují se proudy Foucaultovy, které onen pohyb magnetky rychle tlumí, tak že často magnetka zastaví se hned bez kývání v příslušné rovnovážné poloze. Takové galvanometry zoveme *periodickými*.

U galvanometrů s pohyblivou cívkou jest o útlum pohyblivé části postaráno již tím, že cívka je těsně obklopena pevným magnetem, který má týž účinek jako

měděný obal v předešlém případě, tak že zvláštního tlumícího zařízení není již zapotřebí. U ostatních pak ampèremetrů bývá obyčejně tlumení vzduchové. Osa ručičky, ukazující na stupnici, bývá totiž na spodní části pod stupnicí pevně spojena s obnutou pákou, která na konci jest opatřena malou destičkou jako pístem, jenž vniká do duté trubice na jednom konci uzavřené. Pohne-li se ručička, vniká destička hlouběji do trubice, čímž vzniká tak značný útlum, že se ručička zastaví skoro ihned bez kolísání ve správné rovnovážné poloze.

Na jednom ampèremetru přímo do proudovodu vepjatém nelze měřiti s dostatečnou přesností proudy různé intensity, na př. od 0 do 1 *ampère* a zároveň od 0 do 10 *ampère*; když však proud rozvětvíme dříve, než jej vedeme do ampèremetru, lze tomu odpomoci. Připojíme-li totiž k svorkám ampèremetru do proudovodu vepjatého nějaký drát, rozvětví se proud ve dvě větve, v nichž intensity proudové mají se k sobě v nepřímém poměru jejich odporů (podle vět Kirchhoffových). Čím menší volíme tedy odpor připojeného drátu, jež zoveme *shuntem*, tím silnější proud jím proběhne a tím menší bude intensita proudu procházejícího ampèremetrem. Určíme-li přesně poměr odporů shuntu a ampèremetru, můžeme ampèremetrem měřiti přímo intensitu proudu v celém vedení a to v různých intervalech podle toho, jaké shuntů volíme. Tak na př. měří-li ampèremetr, přímo do hlavního vedení vepjatý, intensitu pouze od 0 do 1 *ampère*, lze po paralelním vepětí odporu devětkrát menšího, než jest odpor ampèremetru, měřiti tímž přístrojem proudy až do 10 *ampère*.

Známe-li odpor galvanometru a intensitu proudu jím procházejícího, určíme snadno podle zákona Ohmova i rozdíl potenciální na svorkách; lze tedy galvanometru

užívati též jako voltmetru, t. j. jako přístroje měřícího ve voltech rozdíl potenciální mezi určitými body celého proudovodu. Z toho je patrné, že voltmetr se nemůže vložit po hlavního vedení přímo, nýbrž paralelně k těm bodům, jichž rozdíl potenciální chceme měřiti. Aby pak toto rozvětvení proudu působilo co nejméně rušivě na daný uzavřený proudovod, volí se odpor voltmetrů vždy dosti veliký, čímž původní intensita proudu se příliš mnoho nemění. Konstrukce voltmetrů může býti zcela podobná jako u ampèremetrů, jen odpor jejich volí se značně větší; stupnice pak je přímo určena již ve voltech.

Téhož voltmetru lze pak vhodnou úpravou užití opět k měření v různém rozsahu, jak nejlépe vysvitne z příkladu. Nějaký voltmetr mějž vlastní odpor 1 *ohm*; prochází-li jím proud o intensitě 1 *ampère*, zastaví se ručička na stupnici v určitém místě, udávajícím napětí 1 *volt*. Kdyby toto místo bylo až na konci stupnice, nebylo by možno tímto přístrojem měřiti větších diferencí potenciálních, ale, je-li ve větvi voltmetrové vložen rheostat s různými odpory, lze vpínáním těchto odporů měniti rozsah měření. Tak na př. zapneme-li v rheostatu do proudu odpor 9 *ohmů*, jest úhrnný odpor voltmetrové větve 10 *ohmů*, tak že, prochází-li jí proud opět o intensitě 1 *ampère*, ustálí se sice ručička zase na témž místě jako dříve, ale určuje nyní rozdíl potenciální 10 *volt*. Zapneme-li v rheostatu odpor 99 *ohmů*, lze měřiti tímž přístrojem napětí proudu až do 100 *volt* atd., z čehož vidíme, že i voltmetru — podobně jako ampèremetru — lze užívati při velmi různém rozsahu měření. Různé odpory potřebné bývají pak velmi často k oběma přístrojům již trvale na rozváděcích deskách připojeny a rozsah stupnice dá se měniti pouhým zastrčením kolíčku do příslušného otvoru. Tak na př. zastrčíme-li kolíček do

otvoru označeného číslem 10, znamená to, že veškeré údaje stupnice na přístroji nanesené dlužno násobiti 10, abychom obdrželi správnou hodnotu.

Důležité je také znáti efekt stroje nebo proudu vůbec. Při stejnosměrném proudu je to velmi jednoduché; jelikož totiž efekt se rovná součinu z intenzity v ampèrech a z napětí ve voltech, stačí pouze na ampèremetru a voltmetru odečísti intensitu a napětí proudu, obě čísla spolu znásobiti a tím dostaneme ihned výsledek ve wattech. Avšak u proudů střídavých nelze efekt stanoviti způsobem tak jednoduchým a proto se užívá zvláštních samostatných přístrojů pro přímé měření efektu, jež slují *wattmetry*; jejich princip bude vyložen později.

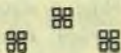
Jakmile elektrická energie rozvádí se z centrály do města, kde používají jí i soukromníci, je nutno, aby se dalo u každého jednotlivce určití, kolik energie bylo spotřebováno a kolik má tedy za dodanou energii zaplatiti. Za tím účelem sestrojeny jsou přístroje, které zoveme *elektrickými počítadly*. Takových přístrojů je nyní sestrojeno již velmi mnoho; mezi nejstarší a nejznámější z nich patří počítadlo *Aronovo*. Skládá se ze dvou kyvadel stejné délky, z nichž každé působí na vlastní hodinový stroj; s oběma pak stroji je spojena pouze jediná ručička, která se uvádí v pohyb jen při různé rychlosti obou kyvadel. Dokud tedy na obě kyvadla působí jen tíže zemská, t. j. dokud kývají stejně rychle, ručička se vůbec nepohybuje. Jedno kyvadlo je zcela obyčejné, druhé však místo obvyklé čočky má cívku z jemného drátu, pod níž jest umístěna druhá cívka z drátu silného. Prochází-li oběma těmito cívkami proud a to tak, aby pohyblivá cívka byla ve vedlejším vedení, změni se doba kyvu druhého kyvadla, kterážto změna jest úměrna součinu z napětí a intenzity proudu pro-

cházejícího. Tím dostane se do pohybu ručička (poněvadž první kyvadlo kývá sice stále stejně, ale druhé různě, tak že vzniká rozdíl kyvu mezi oběma), a dráha jí uražená je tím větší, čím větší je onen součin čili efekt proudu a čím je delší doba, po kterou proud prochází. Můžeme tedy zde měřiti energii proudovou přímo ve wattsekundách (joulech) nebo watthodinách a pod. Počítadla v praxi užívaná bývají obyčejně opatřena několika číselníky, z nichž jeden udává třebas desetiny, druhý jednotky, třetí desítky atd. určité energie, na př. kilowatt hodiny.

Vedle Aronova počítadla, jež hodí se stejně dobře i pro proudy střídavé, jsou ještě četné jiné přístroje na jiných principech založené; tak na př. *Edisonovo* počítadlo zakládá se na účincích elektrolytických, počítadlo *Thomson-Houstonovo* na principu motoru atd.

Je-li ve vedení napětí stálé, neproměnné, lze místo watthodin určovati pouze ampèrehodiny, k čemuž jsou sestrojeny přístroje poněkud jednodušší. Tak na př. u počítadla Aronova stačí vedle obyčejného kyvadla pouze jediná dostatečně široká cívka pevná vepjatá přímo do vedení hlavního, v níž se pohybuje kyvadlo opatřené dole ocelovým magnetem; pak rozdílem mezi dobami kyvu obou kyvadel stanoví se přímo spotřeba elektrického množství v ampèrehodinách.

Cena elektrické energie v různých městech je různá; v Praze na př. platí se za 1 *kilowatt hodinu* pro svícení 60 h a pro účely motorické 30 h.



V. Akkumulátory.

Pozorujeme-li, jak mnoho energie elektrické se spotřebuje během dne v nějakém okrsku, napájeném z centrály elektrickým generátorem, poznáme, že v různých dobách denních je spotřeba tato různá. Tak na př. slouží-li generátor i k pohonu motorů i k osvětlování, je přirozeno, že ve dne spotřebuje se proud skoro výhradně jen k pohonu strojů a v noci zase skoro výhradně jen k osvětlování, ale za to v prvních hodinách večerních má napájet nejen lampy, nýbrž i stroje, k čemuž ovšem je potřebí hojně elektřiny, tak že v té době jsou nároky na dynamoelektrický stroj velmi značné. Podobného cosi můžeme pozorovati i při zásobování města vodou; v některých dobách je potřebí značného množství vody, jindy zase poměrně jen nepatrného. Kdyby veškeré množství vody v kterémkoliv okamžiku potřebné mělo se dodati přímo jen čerpadly samotnými, musila by tato čerpadla býti hodně veliká, což by mělo za následek, že by zařízení vodárny bylo příliš drahé. Stroje samy pak pracovaly by velice nestejně, neboť plně zatíženy by byly jen v době největší spotřeby vody.

Avšak tomu lze u vodáren snadno odpomoci. Ze známé spotřeby vody v jednotlivých dobách určí se množství průměrně potřebné a stroj pak volí se takových rozměrů, aby dodával právě toto průměrné množství. Není-li tolik vody potřebí, kolik stroj dodává, vytlačuje

se voda zbývající do velikých nádržek, reservoirů, odkudž pak při zvýšené spotřebě příslušné množství zase samo se vypouští. V tomto případě pracují pak stroj čerpací i reservoir paralelně, dodávající dohromady vodu do potrubí rozváděcího.

Lze tedy snad nestejnou spotřebu energie elektrické vyrovnati také podobným způsobem? Zajisté, a k tomu nutně potřebujeme též nějakých nádržek, v nichž by se energie elektrická uchovala. Takové nádržky zoveme *akkumulátory* a energie elektrická uchovává se v nich tím, že se přeměňuje v energii chemickou.

Pustíme-li stejnosměrný proud do vhodného voltamtru, naplněného zředěnou kyselinou sírovou, poznáme, že na anodě (tam, kde proud do elektrolytu vchází) vyvine se kyslík, na kathodě pak (kde proud vychází) vodík. Obě elektrody byly původně stejné, platinové, nyní však jsouce polarisovány, t. j. jsouce obklopeny jednak kyslíkem, jednak vodíkem, jsou vlastně různé a dávají tak vznik určitému rozdílu potenciálnímu, jenž se projeví, spojíme-li obě elektrody drátem.

Pokus provádí se nejjednodušeji tak, že pomocí kommutátoru nebo přepínače buď připojujeme elektrody voltamtru k baterii článků nebo k jinému zdroji původnímu, buď je spojujeme vzájemně spolu, při čemž vkládáme zároveň do tohoto spojení galvanometr. Necháme-li nejprve po nějakou dobu proud z batterie procházeti voltamtrům a pak kommutátorem otočíme, vychýlí se magnetka galvanometru a zůstane vychýlena potud, pokud jsou nějaké plyny kolem elektrod. Patrně tedy, že voltametr stal se tu článkem, jež zoveme článkem *sekundárním*, a vydává proud, jehož směr dá se určití z úchylny magnetky podle pravidla Ampèreova; dřívější

anoda stane se pólem kladným, kathoda pak pólem záporným, tak že v sekundárním článku samém probíhá proud směrem opačným než při původním spojení.

Při spojení sekundárního článku nezůstává však magnetka stále stejně odchýlena, nýbrž úchylka se zmenšuje, což ukazuje, že proud slábne, až konečně úplně ustane. Důvod toho lze snadno najít. Víme, že při spojení každého článku nastává uvnitř elektrolytu chemická akce; tak se tedy děje i zde, zředěná kyselina sírová se rozkládá a vytváří se vodík a kyslík, vodík přechází na kladný pól článku sekundárního (elektrodu platinovou obklopenou kyslíkem), kyslík pak na záporný pól (elektrodu platinovou obklopenou vodíkem), čímž se umenšuje polarisace obou elektrod a proud tedy slábne.

Je přirozeno, že sekundární proud trvá tím déle, čím více jsou elektrody polarisovány. To pak záleží na dvou okolnostech: 1. na tom, jak dlouho a jak silný původní proud procházel a tedy jak mnoho iontů vůbec vyloučil; 2. na tom, jak mnoho z vyloučených iontů se na elektrodách usadilo. Může totiž hojně kyslíku i vodíku uniknouti prostě do vzduchu a pak tyto ionty nemají vlivu na trvání sekundárního proudu. Chceme-li tedy sekundárních článků užití s výhodou v praxi, musíme se postarati o to, aby elektrody byly co nejvíce polarisovány. Pak nehodí se k tomu ovšem elektrody platinové, na nichž zmíněné již plynné prvky nesnadno se udržují, nýbrž takové látky, které s kyslíkem a vodíkem tvoří nějaké vhodné, trvalé sloučeniny. I našel Gaston Planté, že se k tomu hodí nejlépe olovo, a objevil zároveň metodu, kterou lze desky olověné co nejvíce polarisovati. Původní Plantéův akumulátor skládal se ze dvou desek olověných položených do zředěné kyseliny sírové; pustí-li se pak do takového akumulátoru

primární proud čili nabíjí-li se, nastává tu chemická akce, desky olověné se pozměňují a to tak, že jedna pokrývá se vrstvou kysličníku olovičitého, kdežto druhá uchycuje v sobě hojně vodíku. Byla-li tato druhá elektroda před tím okysličená, což snadno může nastati, stála-li déle na vzduchu nebo i jiným způsobem, vylučující se vodík redukuje kyslík této desky, jež se pak přemění v čisté olovo. Přerušíme-li potom spojení s primárním proudem a spojíme-li elektrody mezi sebou čili vybijíme-li akkumulátor, utrpí tím každá deska jakousi mechanickou změnu, neboť její povrch se stává porovitější, tak že pak při novém nabíjení chemická akce nepozměňuje desek již jen na povrchu, nýbrž jde hlouběji do vnitřku. Tím se akkumulátor formuje, a jak se ukázalo, je zvláště výhodno, když po vybití nabíjí se opět směrem opačným, pak zase vybíjí, načež opět se nabíjí směrem původním a tak se to opakuje mnohokrát, až konečně olovo na kladné elektrodě skoro úplně je přeměněno na kysličník olovičitý. Je-li pak takovýmto způsobem Planťův akkumulátor zhotoven čili zformován, stačí vždy jen jediné nabíjení, aby dosáhl své plné výkonnosti.

Práce s vylíčeným formováním spojená byla velmi zdlouhavá a proto s radostí uvítán byl vynález Kamila Faurea, jímž úprava akkumulátoru byla podstatně zjednodušena. Faure opatřil totiž povrch desky olověné miniem (Pb_3O_4) i jinými kysličníky olova a obalil je plstí, aby tato nanesená hmota nespadla, čímž dosáhl toho, že akkumulátor nepotřeboval buď vůbec žádného formování anebo jen zcela krátkého.

Princip Faureův zůstal platný až do nynějška a jen způsob provedení se změnil. Hlavní změna spočívá v tom, že místo plných desek olověných užívá se pouze olověných mříží, do nichž účinná hmota (tak se nazývá směs

různých kysličníků olova) se klade. Různé továrny užívají pak různého provedení akumulátorů, i zmíním se zde aspoň o nejzvláštnějších.

Tak na př. akumulátory Boesovy mají u desek pouze rámec olověný, kdežto vnitřek skládá se celý jen z účinné hmoty; výhoda spočívá v tom, že lze tu nabídnouti daleko větší množství energie elektrické než u akumulátorů obyčejných, ale za to mohou se s prospěchem hotoviti poměrně jen v malých rozměrech, poněvadž veliké desky, nemajíce pevného podkladu, snadno se bortí a lámou. Té vady jsou již mnohem více prosty akumulátory Gulcherovy, které sice mají též jen olověný rámec, ale u nichž vnitřek je utvořen aspoň z olověných drátů, propletených skleněnou vlnou, do kteréhožto pletiva se vpravuje účinná hmota.

Nejrozšířenější však u nás a v Německu jsou akumulátory Tudorovy, jež od r. 1890 hotoví se v akci-ové továrně v Hagenu za vedení firmy Siemens a Halske. V naší říši jsou továrny na akumulátory tohoto systému ve Vídni a v Pešti. Popíši je tedy zde poněkud podrobněji. Podkladem pro obě desky je čisté olovo, ale obě provedením liší se velmi značně od sebe. Kladná elektroda je deska litá z jednoho kusu olova tak, že v průřezu má tvar dvojstranného hřebenu s užoučkým středním pruhem olověným. Tyto desky zovou se *E*-desky na rozdíl od *H*-desek, které ani tohoto středního pruhu nemají, tak že se skládají z jednotlivých tenounkých destiček po celé šířce akumulátorové desky spolu nesouvisících. Oba druhy desek musí ovšem býti ztuženy příčnými pruhy olověnými, aby se neohýbaly. Uvedená úprava pozitivní desky má ten význam, že se tím dosáhne velmi velkého povrchu účinného, dokonce i šestkrát většího, než je povrch stejně veliké plné desky.

Kyselina sírová rozkládající se proudem elektrickým působí na velikou plochu, tak že se dá formování velmi snadno provést podle metody Plantéovy; po několika nedělích je celý proces ukončen a deska je pokryta vrstvou kysličníku olovičitého, jenž velmi pevně lepe k vlastnímu jádru olověnému a neodpadává od něho tak, jako vrstva kysličníku nanesená mechanickým způsobem, což se často děje u jiných systémů.

Záporná elektroda lije se též, ale ve tvaru mříže, jejíž otvory vyplňují se klejtem olověným. Tato deska neformuje se zvlášť, nýbrž teprve po spojení akumulátoru a při prvním jeho nabíjení mění se její kysličník olověný v houbovitě olovo.

Olověné desky lijí se hned tak, že po obou stranách mají výběžky, jimiž jsou zachyceny na okraji nádoby. Kromě toho vždy na jedné straně desky onen výběžek jest otočen směrem vzhůru, aby desky stejného druhu mohly se pohodlně spolu spojit. Neužívá se totiž pouze jediné desky kladné a jediné záporné, nýbrž desek několika, a to vždy záporných o jednu více než kladných; stejnojmenné desky jednoho akumulátoru spojí se pak všechny dohromady olověnými lištami, které se přilepují k zmíněným již výběžkům. Lišta tato pro kladné desky je na jedné straně a pro záporné desky na druhé straně akumulátoru. Aby vnitřní odpor akumulátoru byl co nejmenší, dávají se jednotlivé jeho desky hodně blízko k sobě; při tom však se musí dbáti toho, aby nenastalo uvnitř kapaliny mezi deskami krátké spojení, jímž by se akumulátor velmi brzy úplně zničil. Proto tedy vkládají se mezi sousední desky skleněné trubičky, aby se zabránilo jejich dotyku.

Desky k jednomu článku patřící vkládají se do skleněných nebo také do dřevěných nádob, jež uvnitř

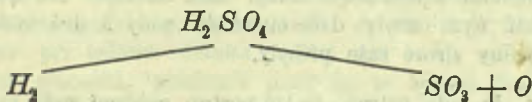
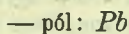
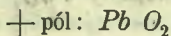
jsou vybity olovem; nádoby tyto postaveny pak bývají na skleněných nohách. Kapalinou, již se olovené akumulátory plní, je zředěná kyselina sírová.

U akumulátorů Tudorových účinná hmota na kladné elektrodě získává se jen formováním, proto při delším užívání vrstva tato stále se zvětšuje, čímž ovšem jednotlivé části její se znenáhla uvolňují a odpadávají. Má-li akumulátor vydržeti co nejdéle, musí se tomuto odpadávání brániti, což lze provésti tím, že se užije kyseliny sírové ne příliš zředěné. Co se týče velikosti akumulátorů, může býti velmi rozmanitá; to vysvitne nejlépe z toho, uvedu-li, jakých nejmenších a největších typů v technické praxi se užívá. Nejmenší akumulátory váží 13 *kg*, kdežto největší 4100 *kg*.

Většina akumulátorů nyní užívaných hotoví se z desek olovených; bylo sice navrženo též několik konstrukcí z jiného materiálu, ale většinou se neosvědčily. Pouze ještě Edisonův akumulátor osvědčuje se v praxi velmi dobře i zasluhuje, aby byl zde uveden. Skládá se z tenkých desek z ocelového plechu, do kterých jsou vyříznuty obdélníkové otvory, které jsou vyplněny účinnou směsí stlačenou do tvaru briket. Jeden druh desek je vyplněn jemně práškovanou sloučeninou železnatou, jejíž přesné složení není známo veřejnosti (nejspíše asi směs tuhy a kysličníku železitého), a druhý druh desek sloučeninou niklovou $Ni(OH)_4$. Kapalinou je louh draselnatý (KOH). Elektromotorická síla jednoho takového článku je pouze 1·3 *volt*, je tedy proti elektromotorické síle oloveného akumulátoru (skoro 2 *volly*) mnohem menší, za to však článek sám je poměrně velice lehký, tak že při stejné váze elektrod lze u Edisonových akumulátorů nahromaditi větší množství energie elektrické. Akumulátorů těchto užívá se dosud hlavně jen v Americe, ale lze

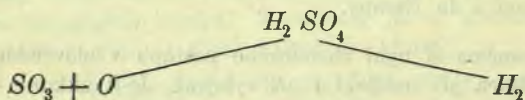
doufati, že po dalším ještě jich zdokonalení dostanou se s úspěchem i do Evropy.

Všimněme si nyní chemického postupu v olověném akumulátoru při nabíjení i při vybíjení. Je-li akumulátor zformován, je na pozitivní desce kysličník olovičitý $Pb\ O_2$, znatelný tmavohnědou barvou, a na záporné desce houbovité olovo barvy šedé. Spojíme-li obě desky dohromady, čili vybíjíme-li akumulátor, rozkládá se zředěná kyselina sírová a nastává chemická akce, kterou můžeme si představití těmito vzorci:



Na kladném pólu vodík spojí se s kyslíkem účinné hmoty, čímž se vytvoří voda H_2O a z kysličníku olovičitého vznikne kysličník olovnatý PbO . Ten spolu s kyselinou sírovou H_2SO_4 spojí se na síran olovnatý $PbSO_4$, při čemž se opět vytvoří jedna molekula vody. Na záporné elektrodě spojí se SO_3 s vodou na kyselinu sírovou H_2SO_4 , která opět s kysličníkem olovnatým (vytvořeným z olova a vyloučeného kyslíku) dá dohromady síran olovnatý $PbSO_4$ a vodu H_2O . Přeměňují se tedy obě elektrody na síran olovnatý a elektrolyt řidne, neboť celkem z roztoku ubudou vždy dvě molekuly kyseliny sírové, kdežto vody zase o dvě molekuly přibude.

Nabíjíme-li potom zase akumulátor, kladný jeho pól musí býti anodou a záporný kathodou. Je tedy pak postup tento:



Z rozložené kyseliny sírové přechází H_2 na katodu a tvoří se síranem olovnatým čisté olovo Pb a kyselinu sírovou H_2SO_4 ; druhá pak část SO_4 rozloží se v SO_3 , jež ihned s vodou se spojuje na H_2SO_4 a v kyslík O , jenž přechází na anodu, kde se síranem olovnatým a přibranou vodou vytvoří kysličník olovičitý PbO_2 a kyselinu sírovou. Jsou tedy elektrody zase tytéž jako před vybíjením a elektrolyt nabyl zase dřívější své hustoty, neboť nyní ubyly dvě molekuly vody a dvě molekuly kyseliny sírové zase přibyly.

Je tedy patrné, že lze postup nabíjení nebo vybíjení sledovati též hustoměry, jimiž se měří hustota kyseliny sírové. Tak na př. užijeme-li při novém článku určitého typu kyseliny sírové o hustotě 1·147 (čili podle stupnice Beauméovy 19°), stoupne při nabíjení hustota na 1·157 čili na 20° B, tak že obdržíme asi 22procentní roztok, kdežto při normálním vybití klesne na 1·138 čili na 18° B. Pod tuto hustotu se nemá nikdy vybíjeti, neboť pak se již kazí účinná hmota. Čísla zde uvedená nejsou ovšem stejná pro každý akumulátor; leckdy užívá se hned při prvním naplnění kyseliny mnohem hustší (na př. až 25° B), ale tu vždy již továrna, jež akumulátory dodává, sama udá, jaká je při příslušném typu největší a nejmenší přípustná hustota. Toto sledování postupu při nabíjení a vybíjení je velmi jednoduché, jen nutno míti vhodné hustoměry, aby se mohly vložiti mezi desky akumulátorů.

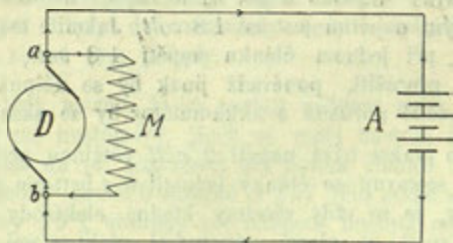
Jinak dá se vybíjení a nabíjení pozorovati podle klesání a stoupání napětí. Při nabíjení vystoupí napětí jednoho článku až na $2\cdot7$ volt; další nabíjení přes tuto hodnotu je pak již úplně zbytečné, což se projevuje i tím, že po elektrodách vystupují vzhůru ve značném množství bublinky plynů, které se již nemohou slučovat s účinnou hmotou; v tomto případě se zdá, jakoby se veškerá kapalina prudce vařila. Přestane-li se nabíjeti, klesne po nějaké době napětí asi na $2\cdot2$ volt; když se pak akumulátor vybíjí, klesá napětí s počátku zvolna, potom však rychleji a kleslo by až na nullu, čímž by se akumulátor vybil nadobro. Avšak jedná-li se o udržení akumulátoru po delší dobu, nesmí nikdy napětí klesnouti příliš hluboko a jak se ukázalo, nejnižším ještě přípustným napětím jest asi $1\cdot8$ volt. Jakmile tedy ukáže voltmetr při jednom článku napětí $1\cdot8$ volt, musí se vybíjení přerušiti, poněvadž jinak by se účinná hmota velmi značně porušila a akumulátor by se zkazil.

Pro praksi bývá napětí 2 volt většinou příliš malé a proto sestavují se články jednotlivé v batterie za sebou a to tak, že se vždy všechny kladné elektrody jednoho článku spojí se všemi zápornými elektrodami článku druhého silnou olověnou lištou. Proto se v batteriech postavují již jednotlivé články tak, aby střídavě vždy v tutéž stranu mířily elektrody kladné, záporné, kladné atd. Takovéto batterie musíme ovšem nabíjeti zdrojem, jehož elektromotorická síla je větší než maximální napětí celé batterie.

Z toho, co již bylo řečeno, je patrné, že k nabíjení lze užiti jen strojů na proudy stejnosměrné a to nejlépe dynam derivacních. Kdyby se totiž stalo, že by se rychlost dynama seriového nebo compoundního z jakéhokoliv důvodu zmenšila, tak že by klesla tím jeho elektro-

motorická síla, mohla by elektromotorická síla akumulátorové baterie býti větší než elektromotorická síla nabíjecího dynama. Pak by ovšem žádný proud nabíjecí nešel do akumulátorů, nýbrž naopak proud z akumulátorů šel by do dynama, čímž by se magnety přemagnetovaly. A i kdyby potom rychlost otáčecí u dynama vzrostla zase na normální velikost, zůstaly by magnety přemagnetovány a vyráběl by se proud směru opačného, jenž by akumulátory vybíjel.

Proto nejpohodlněji lze užití dynam derivačních, u nichž podobných obav není. To je velmi dobře patrné z obr. 12.; zde D představuje dynamo derivační s vi-



Obr. 12.

nutím M kolem elektromagnetů a A baterii akumulátorů. Je-li elektromotorická síla dynama větší než akumulátorů, vychází proud ze svorky a a jde jak ve vnějším vedení, tak ve vinutí M směrem šipkami vyznačeným; převyšší-li pak elektromotorická síla baterie elektromotorickou sílu dynama, jde proud ve vnějším vedení sice opačným směrem, ale kolem elektromagnetů směrem týž, tak že magnety zůstanou magnetovány stále stejně. Nelze-li užití dynama derivačního, nýbrž je-li k ruce

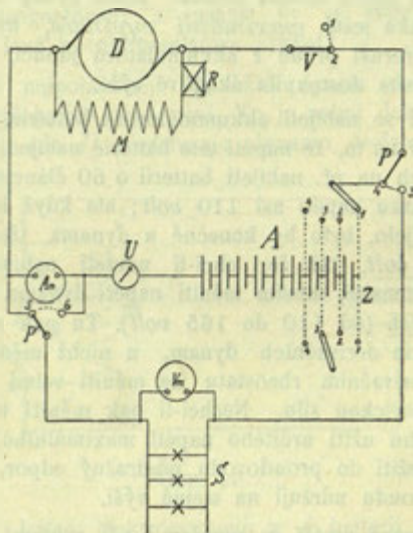
pro nabíjení jen dynamo seriové nebo compoundní, musí se do proudovodu zapnouti *minimální vypínač*, který automaticky vypne proud, když by napětí akumulátorové batterie počalo převyšovati napětí dynama.

Akkumulátory smějí se nabíjeti i vybijeti jen určitě silným proudem, poněvadž by se příliš silným proudem porušovala jejich účinná hmota; proto bývají do vedení vřazeny také ještě *maximální vypínače*, které automaticky přeruší proud z akumulátorů jdoucích, když by jeho intensita dostoupila škodlivé výše.

Má-li se nabíjeti akumulátorová batterie, nesmí se zapomínati na to, že napětí této batterie nabíjením stoupá. Měl-li bych na př. nabíjeti batterii o 60 článcích, stačilo by s počátku napětí asi 110 *volt*; ale když by se delší dobu nabíjelo, bylo by konečně u dynama třeba napětí asi 165 *volt*, tak že, chci-li udržeti nabíjecí proud o stálé intensitě, musím měniti napětí dynama v uvedených mezích (od 110 do 165 *volt*). Tu pak je též patrna výhoda derivačních dynam, u nichž měněním odporu v derivačním rheostatu lze měniti velmi pohodlně elektromotorickou sílu. Nechci-li pak měniti napětí dynama, mohu užiti určitého napětí maximálního, ale pak musím vložit do proudovodu předdražný odpor, jímž intensitu proudu udržuji na stejné výši.

Zajímavě utváří se poměry i při vybíjení akumulátorů. Dejme tomu, že nějaká batterie má sloužiti k osvětlování a že je tedy v síti potřebí napětí 110 *volt*. Jsou-li akumulátory čerstvě nabity, t. j. je-li jejich elektromotorická síla asi 2·2 *volt*, stačí pro osvětlování pouze 50 článků, které by však při minimální ještě přípustné elektromotorické síle skýtaly pouze 90 *volt*, tak že by pak již pro lampy nepostačovaly. Při tomto minimálním napětí (1·8 *volt*) je potřebí 61 článků k tomu,

aby lampy svítily plnou intenzitou, i musí tedy batterie míti aspoň 61 článků a k tomu ovšem vhodné zařízení, aby se při klesající elektromotorické síle mohly nové a nové články zařazovati. Pak ovšem je přirozeno, že nejvíce se vybijí oněch 50 článků, které jsou stále zaplány, kdežto ostatních 11 rezervních článků vybijí se mnohem



Obr. 13.

méně podle toho, kdy byly do proudovodu vepiány. Když se pak batterie opět nabíjí, není potřebí rezervní články nabíjet tak dlouho jako články ostatní, nýbrž dobu kratší. K vypínání nebo zapínání jejich při nabíjení i při vybíjení užívá se nyní jednoduchého přístroje, který zoveme *dvojitým zařazovačem* (Doppelzellenschalter).

Princip jeho a způsob užívání, jakož i nabíjení a vybíjení akumulátorů jsou patrný z obr. 13. Tu značí D dynamo, jehož elektromotorická síla dá se regulovati derivačním rheostatem R , a A značí baterii akumulátorů, u níž poslední tři články jsou rezervní a dají se zařazovačem Z vpínati nebo vypínati z proudu. Hořejší část zařazovače je pro nabíjení, dolejší pak pro vybíjení akumulátorů; poněvadž pak je důležité, aby se mohlo v každé chvíli konstatovati, zda se akumulátory vybíjejí či nabíjejí, je do proudovodu vřazen ještě ukazatel proudu U , jednoduchý galvanometr, na němž z výchylky magnetky v jednu nebo druhou stranu ihned poznáme směr proudu. Proud posílá se do sítě S , kdež ho lze na př. užiti k napájení lamp nebo k pohonu motorů a pod. Napětí tohoto proudu měří se voltmetrem V_m . Ampèremetr A_m měří buď intensitu proudu v síti anebo intensitu proudu z akumulátorů podle toho, jak je postaven přepínač P' .

Všimněme si nyní, jak různě lze užiti naznačeného uspořádání. Je-li vypínač V postaven na kontakt 1 , je dynamo úplně vypnato a do sítě vchází proud jen z akumulátorů, jehož intensitu můžeme měřiti ampèremetrem A_m , postavíme-li přepínač P' na kontakt 5 . Voltmetr V_m udává nám napětí proudu i můžeme tedy v té době, kdy napětí je příliš nízké, spodní částí zařazovače Z jednotlivé rezervní články vpínati do proudu. (Na obrázku je zařazen jeden článek rezervní). Za tím účelem musí ovšem dolejší páka zařazovače býti spojena s vedením jdoucím do sítě, což není na obrázku vyznačeno.

Chceme-li naopak zase akumulátory vyřaditi z proudu, posuneme vypínač V na kontakt 2 , přepínač P na kontakt 3 a pohyblivou páku spodního dílu zařa-

zovače Z na izolující kontakt. Pak jde proud z dynamu jenom do sítě a jeho intensitu můžeme měřiti, přesuneme-li přepínač P' na kontakt 6.

Třetí konečně případ může nastati tehdy, když vypínač V spočívá na kontaktu 2 a přepínač P na 4. Pak proud z dynamu jde jak do akumulátorů, tak do sítě, do kteréž zároveň dodávají proud i akumulátory. Jsou-li páky zařazovače postaveny tak, jak je naznačeno na obrázku, jsou nabíjeny proudem z dynamu všechny rezervní články, kdežto do sítě vysílá proud jen jediný článek rezervní. Tento třetí případ bývá v praxi nejčastější, neboť zde dynamo a akumulátory pracují vedle sebe. Chce-li se pak proudu z dynamu užiti výhradně jen pro nabíjení akumulátorů, nutno pouze posunouti spodní část dvojitého zařazovače na izolující kontakt, aby z akumulátorů žádný proud nemohl vycházeti do sítě, tak že pak vlastně máme tu jen jednoduchý zařazovač pro nabíjení, pomocí kterého rezervní články necháme nabíjeti jen kratší dobu podle toho, jak byly vypotřebovány. Zařazovače jsou buď ruční tvaru kruhového nebo podélného, buď samočinné (zejména při vybíjení), kde se při zmenšení napětí v síti automaticky vždy přiřadí jeden článek rezervní.

Z toho, co bylo uvedeno, vyplývá jasně veliká cena akumulátorů pro elektrické centrály. Jsou to skutečně jakési reservoiry, jimiž se vyrovnává nestejná spotřeba proudu v různých dobách denních. Ale akumulátory konají též výtečné služby při paralelním spojení s takovým dynamem, které nestejně bývá zatěžováno; takové pak batterie zoveme *nárazovými* (Pufferbatterie). Příkladem velmi nestejně zatěžovaného stroje je dynamo-elektrický stroj pro pohon tramwayových vozů. Stane-li se, že náhodou vyjedou současně vozy z několika stanic,

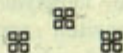
stoupne intenzita proudu v celém vedení velmi značně; jelikož pak se zpravidla užívá dynam derivačních, má to za následek, že jejich elektromotorická síla klesne, tak že proud jdoucí do sítě mění se velmi značně, což výkonnosti stroje samého nijak není na prospěch. Když však je k dynamu paralelně zapjata dostatečně veliká batterie akumulátorová, vydává tato proud ihned, jakmile elektromotorická síla dynamu klesne třeba jen o málo, a napětí v síti nemůže tedy klesnouti nikdy pod napětí batterie. Když by pak zase naopak v síti klesla intenzita proudu a tím by se zvětšila elektromotorická síla dynamu, převezme batterie sama část proudu z něho, tak že zatížení jeho je co možno konstantní.

K srovnávání různých typů akumulátorových je důležité znáti jejich *kapacitu*, t. i. veličinu udávající, kolik elektriny mohou při vybíjení vydati; kapacitu tuto vyjadřujeme obyčejně v ampèrehodinách. Má-li tedy nějaký akumulátor kapacitu 100 *ampèrehodin*, znamená to, že může vydávati po 100 hodin proud intenzity 1 *ampère*, nebo po 50 hodin proud 2 *ampère* atd.; při tom se ovšem nesmí překročiti maximální přípustná intenzita vybíjecí, jež pro každý typ bývá továrnou samou již uvedena. Avšak žádný stroj nevydá tolik energie, kolik mu jí bylo dodáno; tedy ani akumulátor o kapacitě 100 *ampèrehodin* nebyl by dostatečně nabit, kdybychom jej nabíjeli na př. po 20 hodin proudem o intenzitě 5 *ampère*, t. j. kdybychom mu dodali právě to množství elektriny, které má potom vydati. Musili bychom jej rozhodně nabíjeti buď delší dobu anebo proudem silnějším, tak že množství dodané elektriny bylo by větší. Poněvadž střední napětí při nabíjení a vybíjení nebývá stejné, nevolí se za míru výkonnosti poměr obou množství elektrických, vydaného a dodaného, nýbrž poměr energie, vydané

akkumulátorem při vybíjení, k energii, dodané mu při nabíjení, kterýžto poměr zoveme *výkonností* nebo *užitkovým efektem* (Nutzeffekt). Energii vyjadřujeme zde obyčejně ve watthodinách. Kdybychom na př. nějaký akumulátor nabíjeli po 5 hodin proudem o intenzitě 3 *ampère*, při čemž střední napětí akumulátorů by bylo 2·2 *volt*, byla by energie k nabití potřebná 33 *watthodiny*. Vybíjení dalo by se proudem 6 *ampère* při průměrném napětí 1·9 *volt* a trvalo by 2·3 hodiny, tak že vydaná energie by měřila 26·2 *watthodiny*. Pak tedy užitkový efekt je poměr obou vyšších čísel a udává se zpravidla v procentech; v příkladě uvedeném je to 79·5%. Při zdokonalených typech novějších dá se vždy zaručiti efekt mezi 75—85%.

Uvedl jsem již dříve, že nejmenší akumulátory Tudorovy v technické praxi užívané váží 13 *kg*, kdežto největší 4100 *kg*. Velmi zajímavé je povšimnouti si při nich některých bližších údajů o vybíjení a nabíjení. Nejmenší akumulátory mají maximální intenzitu proudůvou, přípustnou jak při nabíjení tak i při vybíjení, 6 *ampère*, kteroužto intenzitou mohou se vybíjeti při průměrném napětí 2 *volt* po 3 hodiny. Je tedy energie nahromaděná rovna 36 *watthodinám*, tak že na 1 *kg* úhrnné váhy připadá energie asi 2·7 *watthodin*. Největší akumulátory směji se nabíjeti proudem až o intenzitě 6253 *ampère* a vybíjeti dokonce až intenzitou 10212 *ampère* po 1 hodinu. Je tedy kapacita těchto akumulátorů rovna 10212 *ampèrehodinám* a energie nahromaděná při průměrném napětí 2 *volt* měří 20424 *watthodin*. Váží-li pak tento akumulátor 4100 *kg*, připadá tu na 1 *kg* úhrnné váhy asi 5 *watthodin*, t. j. skoro dvakrát tolik, co u akumulátorů nejmenších. Z toho je tedy patrné, že daleko výhodnější jest — vzhledem k váze

a k vydané energii — typ větší než typ menší, ale těchto typů větších nedá se tak snadno všude užiti. Pro velikou svou váhu hodí se jenom k pevnému postavení v centrálách, kdežto pro pohon automobilů, člunů a pod. nutno voliti akumulátory lehčí, aby mrtvá váha vozů zbytečně se nezvětšovala. Proto také snaží se různé továrny zhotoviti akumulátory, u nichž na 1 *kg* váhy připadalo by co nejvíce nahromaděné energie, ale výsledky dosud plně neuspokojují. U zmíněných již akumulátorů Edisonových lze na 1 *kg* váhy nahromaditi asi šestkrát více energie než u akumulátorů olověných, t. j. asi 31 *watthodin*.



VI. O proudu střídavém.

Jak jsem uvedl již při strojích na proudy stejnosměrné, dostáváme z těchto strojů původně proudy střídavé, jež teprve vhodným zařízením přeměňujeme na stejnosměrné. Střídavým proudem rozumíme pak takový proud, který procházejí nějakým vodičem uzavřeným mění se směrem i intenzitou periodicky a pravidelně. Zákon, dle něhož se proud mění, může být různý; pro jednoduchost budeme však v dalším výkladě předpokládati, že se změny dějí podle zákona *sinusového*, že jsou to změny harmonické, jak uvedeno již i v oddíle III. pro pohyb závitu drátěného v homogenním poli magnetickém kolem osy kolmé ke směru siločar. Nazveme-li nyní indukovanou elektromotorickou sílu e , platí:

$$e = 2\pi n N_0 \sin \alpha \cdot 10^{-8} \text{ volt.}$$

Je-li T perioda pohybu, lze psáti:

$$\alpha = \frac{2\pi}{T} \cdot t = 2\pi nt \quad ,$$

a tedy
$$e = 2\pi n N_0 \sin 2\pi nt \cdot 10^{-8} \text{ volt.}$$

Je-li na železném jádře navinuto x závitů místo jednoho, jest elektromotorická síla v libovolném okamžiku dána vzorcem:

$$e = 2\pi n x N_0 \sin 2\pi nt \cdot 10^{-8} \text{ volt.}$$

Tato elektromotorická síla mění se z nuly k určité hodnotě maximální, odtud přes nullu klesá k záporné hodnotě maximální a zase periodicky stoupá atd. Nullová hodnota elektromotorické síly je v pásu neutrálním mezi magnety, kdežto maximální hodnota je ve směru kolmém k tomuto pásu. Maximální hodnotu vypočteme, dosadíme-li

$$t = \frac{T}{4} = \frac{1}{4n}, \text{ tak že}$$

$$e_{\max} = \pm 2\pi n x N_0 \cdot 10^{-8} \text{ volt.}$$

Při strojích na proudy střídavé není potřeba nějakého kommutátoru, nýbrž konce cívky odvedou se prostě ke dvěma kroužkům, izolovaně připevněným ko hřídeli, k nimž přitlačeny jsou sběrací kartáčky. Jsou-li tyto kartáčky spojeny ve vnějším vedení jednoduchým drátem o odporu R (bez samoindukce), probíhá jím proud, jehož intensita i je v každém okamžiku dána vzorcem:

$$i = \frac{e}{R} \text{ ampère. Jelikož pak jest elektromotorická síla}$$

periodicky proměnná, mění se tímže způsobem i intensita proudu a počet těchto změn ve vteřině závisí na rychlosti, jakou se armatura otáčí. Je-li počet obrátek ve vteřině čili (u strojů dvojpólových) frekvence rovna n , změní se intensita i elektromotorická síla od nuly k nulle za vteřinu $2n$ -krát. Graficky se dá průběh takového elektromotorické síly i intensity vyjádřiti dvěma sinusoidami, jež obě vždy v témž místě procházejí nullovou polohou a o čtvrt vlny později zase současně hodnotou maximální; říkáme tedy, že proud i napětí mají *stejnou fázi*.

Navineme-li na železné jádro ještě další cívky, tu v každé z nich indukuje se zcela podobně elektromoto-

rická síla harmonicky proměnná, ale nikoli v tutéž dobu, nýbrž zpožděně. Představme si na př., že na jádro jsou navinuty dvě cívky o 90° od sebe odchýlené, tak že v témž okamžiku, kdy elektromotorická síla v první cílce dosáhne maxima, jest elektromotorická síla v druhé cílce rovna nulle. Lze tedy elektromotorickou sílu v obou těchto cívkách vzájemně vyjádřiti pro libovolný okamžik t těmito vzorci:

$$e_1 = 2\pi n x N_0 \cdot \sin 2\pi n t \cdot 10^{-8} \text{ volt}$$

$$\text{a } e_2 = 2\pi n x N_0 \cdot \sin 2\pi n \left(t - \frac{T}{4} \right) \cdot 10^{-8} \text{ volt.}$$

Z těchto vzorců tedy plyne ihned, že v tom okamžiku, kdy jedna elektromotorická síla dostoupila maxima, je druhá minimální, rovna nulle, a graficky dají se obě vyznačiti sinusoidami, vzájemně proti sobě posunutými o čtvrt doby kmitové čili o $\frac{\pi}{2}$. Při této úpravě pro odvádění proudu bylo by třeba čtyř od sebe izolovaných kroužků a ovšem též čtyř sběracích kartáčeků.

Leč ani dvěma cívkami nemusíme se ještě spokojiti, nýbrž můžeme na železné jádro navinouti libovolný počet cívek, čímž ovšem stoupne jak počet kroužků, tak i sběracích kartáčeků. Tak na př. volíme-li celkem čtyři cívky pravidelně po obvodě kruhu rozdělené, tu elektromotorické síly prvních dvou dají se vyjádřiti vzorci shora uvedenými, pro zbývající pak dvě cívky platí:

$$e_3 = 2\pi n x N_0 \cdot \sin 2\pi n \left(t - \frac{T}{2} \right) \cdot 10^{-8} \text{ volt}$$

$$\text{a } e_4 = 2\pi n x N_0 \cdot \sin 2\pi n \left(t - \frac{3T}{4} \right) \cdot 10^{-8} \text{ volt.}$$

Srovnáme-li vzájemně cívky 1. a 3. nebo 2. a 4., vidíme, že vždy pro dvě protější cívky současně nastává elektromotorická síla minimální (nullová) a současně pak zase maximální, ovšem s různým znamením, tak že není potřeba užití 8 kotoučků, nýbrž pouze čtyř, a to tak, že proti sobě stojící cívky jsou paralelně vždy opačnými konci připojeny k týmž kroužkům. Při tomto spojení obdržíme pak střídavý proud *dvojfázový* místo čtyřfázového, k jehož vedení je třeba čtyř drátů. Avšak zejména při armaturách bubnových lze užití toliko tří drátů, poněvadž k zpětnému vedení proudu z obou párů cívek postačí toliko jeden drát. Tímto drátem neprochází však intenzita dvojnásobná, jak by se na první pohled zdálo podle obdoby proudů stejnosměrných, nýbrž intenzita menší, což plyne z této úvahy. Budiž maximální hodnota intenzity proudové (amplituda) v každé cívce i_0 ; pak v prvním páru cívek jest intenzita v každém okamžiku dána vzorcem:

$$i_1 = i_0 \sin 2\pi n t \quad \text{čili} \quad i_1 = i_0 \sin \omega t$$

a v druhém páru vzorcem:

$$i_2 = i_0 \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

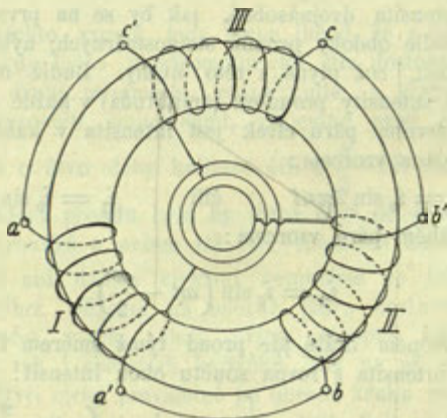
Ve společném drátě jde proud týmž směrem i jest výsledná intenzita i rovna součtu obou intenzit:

$$\begin{aligned} i &= i_1 + i_2 = i_0 \left[\sin \omega t + \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \right] \\ &= 2i_0 \sin (\omega t - 45^\circ) \cdot \cos 45^\circ \end{aligned}$$

$$\text{čili} \quad i = i_0 \sqrt{2} \cdot \sin (\omega t - 45^\circ)$$

Vidíme tedy, že jest intenzita proudu společným drátem procházejícího pouze 1.41krát větší než v drátě, jímž prochází jedna větev proudová.

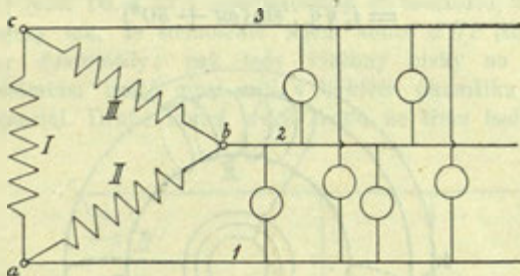
V novější době užívá se však většinou proudů tří-fázových, poněvadž vedení proudu děje se tu poměrně nejmenším počtem drátů a tedy nejlaciněji. Třífázový proud obdržíme, když na armatuře železné umístíme tři cívky odchýlené od sebe o 120° , jichž konce spojíme celkem se 6 od sebe izolovanými kroužky. Pak ovšem bylo by třeba k vedení takového proudu 6 drátů, ale vhodným uspořádáním lze jejich počet i počet kroužků zmenšiti na polovici. Spojíme totiž cívky navinuté dohromady a podle toho, jak je spojíme, rozeznáváme spojení *síťové* čili *trojúhelníkové* a spojení *hvězdové*.



Obr. 14.

Všimněme si nejprve spojení trojúhelníkového (obr. 14. a 15.). Tři cívky *I II III* jsou navinuty na armatuře a jsou spolu tak spojeny, že konec *a'* cívky odvedený ke kroužku je zároveň spojen s počátkem *b* cívky *II*, jejíž

konec b' je zase spojen s druhým kroužkem a počátkem cívky III , která podobně je připojena ještě k třetímu kroužku a k počátku a cívky I . Pak body $a'b$ (a podobně i $b'c$ a $c'a$) mají vždy též potenciál, tak že napětí mezi aa' je stejné jako mezi ab a stačí tedy jen jeden kroužek. Totéž platí i pro ostatní spojovací místa, tak že stačí celkem jen tři kroužky, od nichž proud se



Obr. 15.

odvádí pouze třemi dráty. Jsou-li všechny cívky takto za sebou spojeny, neprotéká strojem žádný proud, neboť součet všech indukovaných elektromotorických sil rovná se nulle. Platí totiž, značí-li e_0 maximální elektromotorickou sílu :

$$e_1 = e_0 \sin \alpha, \quad e_2 = e_0 \sin(\alpha - 120^\circ),$$

$$e_3 = e_0 \sin(\alpha - 240^\circ)$$

a úhrnná elektromotorická síla

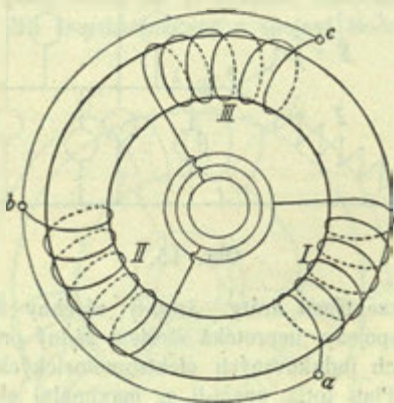
$$e = e_1 + e_2 + e_3 = 0;$$

podobně i výsledná intensita všech tří fází rovná se nulle.

Je-li maximální rozdíl potenciální v jedné cívce e_0 , pak také rozdíl potenciální v síti, t. j. mezi body ab nebo bc

nebo ac , rovná se e_0 . Jinak je tomu však s intenzitou. Intenzita proudová ve vnějším vedení je výslednicí dvou proudů, které v uzlových bodech se sbíhají. Je-li amplituda obou těchto větví stejná, je výsledná intenzita i rovna rozdílu obou původních proudů (poněvadž oba proudy mají směr opačný), tak že:

$$\begin{aligned} i &= i_1 - i_2 = i_0 \sin \omega t - i_0 \sin (\omega t - 120^\circ) \\ &= i_0 \sqrt{3} \cdot \sin (\omega t + 30^\circ) \end{aligned}$$



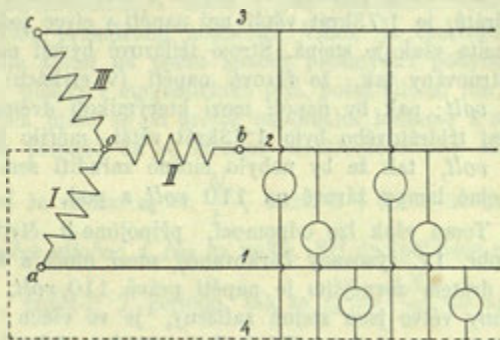
Obr. 16.

Při spojení síťovém je tedy napětí v síti rovno napětí v jednotlivých cívkách čili napětí fázovému, kdežto intenzita proudová je 1,73krát větší než intenzita v cívce.

Užívá-li se proudu třífázového pro pohon motorů třífázových, jsou všechny větve stejně zatíženy, poněvadž všemi stejně musí jít proud k onomu motoru; když však se ho užívá k osvětlování, zařazují se lampy

vždy mezi kterékoli dva dráty vnějšího vedení, tedy na př. mezi 1, 2 nebo 2, 3 nebo 1, 3, při čemž ovšem zatížení jednotlivých větví může býti nestejně. Takovýmito přístroji, zapiatými jen do jediné větve proudové, probíhá jednoduchý proud střídavý, jehož intensita se mění podle zákona sinusového.

Druhé spojení je *hvězdovité*. Tu opět tři cívky *I II III* (obr. 16. a 17.) jsou navinuty na armatuře, ale jsou spojeny tak, že stejnohlé jejich konce *a b c* jsou spojeny dohromady; pak tedy všechny cívky na jednom spojovacím místě musí míti v každém okamžiku stejný potenciál. Druhé konce cívek vedou ke třem izolovaným



Obr. 17.

kroužkům a společný bod všech cívek může býti rovněž spojen drátem se čtvrtým kroužkem, tak že pak má stroj celkem čtyři kroužky a čtyři dráty k odvádění proudu do vnějšího vedení. Avšak tento čtvrtý kroužek a drát může býti vynechán, zejména dodává-li se proud pro pohon motorů, protože pak jsou všechny větve stejně

zatíženy a drátem od společného bodu všech cívek nejde vůbec proud; potom ovšem může i čtvrtý kroužek odpadnouti. Jsou-li však větve nestejně zatíženy, jako bývá zvláště při osvětlování, přibírá se tento čtvrtý kroužek, což má význam ještě jiný, jak vysvitne z této úvahy. Je-li napětí v jedné cívce (mezi společným bodem o a druhým koncem a nebo b nebo c) e_0 , pak je napětí mezi body a a b čili napětí e v síti rovno rozdílu obou napětí $e_1 - e_2$. Platí tedy:

$$\begin{aligned} e &= e_0 \sin \omega t - e_0 \sin(\omega t - 120^\circ) \\ &= e_0 \sqrt{3} \cdot \sin(\omega t + 30^\circ) \end{aligned}$$

Z toho je patrné, že napětí v síti, užije-li se jen tři drátů, je 1·73krát větší než napětí v cívce jednotlivé, intenzita však je stejná. Stroje třífázové bývají nejčastěji konstruovány tak, že fázové napětí (v cívkách) obnáší 110 *volt*; pak by napětí mezi kterýmikoli dvěma dráty vedení třídrátového bylo 1·73krát větší, měřilo by totiž 190 *volt*, tak že by nebylo možno zařaditi sem přímo obyčejné lampy žárové na 110 *volt* a pod.

Tomu však lze odpomoci, připojíme-li čtvrtý drát (na obr. 17. rýsovaný čárkovaně), mezi nímž a kterým-koli drátem zevnějším je napětí právě 110 *volt*. Dokud všechny větve jsou stejně zatíženy, je ve všech větvích rovnováha a střední vodič je bez proudu; jakmile však v jedné větvi je zatížení větší (na př. rozsvítí-li se v ní více lamp), protéká touto větví více proudu než oběma ostatními, čímž rovnováha se poruší. Pak střední vodič není již bez proudu, nýbrž probíhá jím proud, a to o intenzitě tím větší, čím je větší rozdíl mezi zatížením větví. Kdyby na př. byla zatížena pouze jediná větev proudová a druhé by byly úplně volny, protékal by středním neutrálním vedením plný proud té jedné větve.

Při těchto obou spojeních proudu třífázového mohou býti lampy nebo kterékoliv jiné přístroje zařazeny do proudu zcela podle libosti buď hvězdovitě, nebo síťovitě.

Proudy ve spojení síťovém nebo hvězdovitěm nazýváme proudy vícelázovými *spoutanými* (verkettete Mehrphasenströme); třífázový proud spoutaný zove se obyčejně proudem *točivým*, čehož význam bude vyložen v oddíle o motorech jednajícím.

V dosavadních výkladech mluvil jsem často o elektromotorické síle a o intenzitě střídavého proudu; z definice střídavého proudu však víme, že obě tyto veličiny nejsou konstantní, nýbrž proměnné, i musíme tedy vždy pod elektromotorickou silou i pod intenzitou rozuměti jen určitou průměrnou hodnotu. Víme, že elektromotorická síla závisí na počtu siločar protačtých; pohybuje-li se vodič nějaký v magnetickém poli, počet siločar jím procházejících mění se od určité maximální hodnoty k nulle. V tomto případě dá se střední elektromotorická síla e_s

vypočísti ze vzorce $e_s = \frac{N_0}{t}$, značí-li t dobu, za kterou klesl počet siločar z N_0 na nullu. Při dvojpólovém stroji $t = \frac{T}{4}$, značí-li T periodu, tak že $e_s = \frac{4N_0}{T} = 4nN_0$.

Elektromotorická síla jediného závitu v libovolném okamžiku je dána vzorcem:

$$e = 2\pi n N_0 \sin 2\pi nt,$$

tak že maximální hodnota

$$e_0 = 2\pi n N_0$$

Srovnáme-li tuto rovnici s rovnicí pro střední elektromotorickou sílu, vidíme, že

$$e_s = e_0 \cdot \frac{2}{\pi} = 0.64 e_0,$$

t. j. střední elektromotorická síla rovná se maximální síle elektromotorické, násobené 0.64.

Totéž platí i pro intensitu proudovou, která rovněž periodicky od určitého maxima klesá k nulle a pak zase stoupá, tak že v každém okamžiku má jinou hodnotu.

Zde podobně platí: $i_s = i_0 \cdot \frac{2}{\pi} = 0.64 i_0$.

Tuto střední intensitu proudovou lze nejkratěji určit takto: Střední intensitou rozumíme množství elektriny, jež během určité doby průměrně v jednotce časové procházelo vedením. Je-li intensita proudová v kterémkoliv okamžiku $i = i_0 \sin \omega t$, je množství prošlé v čase nekonečně krátkém dáno výrazem $i dt$, tak že střední intensita pro půl periody

$$i_s = \frac{1}{\frac{T}{2}} \int_0^{\frac{T}{2}} i dt.$$

Dosadíme-li za i , plyne:

$$i_s = \frac{2i_0}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} \sin \omega t dt = \frac{2i_0}{T\omega} \cdot \left| -\cos \omega t \right|_0^{\frac{T}{2}} = \frac{4i_0}{T\omega}$$

Místo ω lze psát $\frac{2\pi}{T}$, tak že $i_s = \frac{2}{\pi} \cdot i_0$, jak i svrchu bylo uvedeno.

Tyto střední hodnoty nazýváme středními hodnotami *galvanometrickými* na rozdíl od *effektivních* čili dynamoelektrických hodnot proudových. V praxi technické užívá se totiž zpravidla k měření proudů střídavých elektrodynamometrů nebo dříve již popsaných ampèremetrů, zakládajících se na tepelných účincích proudu.

Elektrodynamometry, sestojené od W. Webera, skládají se z pevné cívky ve tvaru rámečku, v jejímž středu jest upevněna menší druhá cívka pohyblivá téhož tvaru, tak že se může v první otáčeti. Pustíme-li do první cívky proud o intensitě i_1 a do druhé o intensitě i_2 , působí na pohyblivou cívku síla, která jest úměrna pouze součinu obou intensit $i_1 i_2$. Pustíme-li do obou cívek též proud i , jest ona síla úměrna čtverci intensity i^2 , tak že se nezmění, ani když se směr proudu obrátí. Známe-li intensitu proudu, můžeme určití elektrodynamickou sílu, kterou obě cívky na sebe působí; známe-li pak obráceně onu sílu (kterou snadně změříme úhlem, o který se pohyblivá cívka otočila), můžeme určití zase intensitu proudu, a to třeba i proudu střídavého, poněvadž směr proudu tu nijak nerozhoduje.

Při elektrodynamometru měří se tedy vlastně přímo čtverec intensity proudové a při ampèremetru, založeném na tepelných účincích proudu, rovněž, poněvadž, jak již v II. oddíle bylo uvedeno, oteplení proudem elektrickým vzniklé jest úměrno odporu drátu a čtverci intensity. Oba tyto přístroje jsou úplně nezávisly na směru proudu a tedy hodí se dobře pro měření proudu střídavého: jejich pohyblivé části a ručičky s nimi spojené měly by tedy vždy ukazovati výchylku úměrnou čtverci *okamžité* intensity proudové, ale setrvačnost těchto částí způsobuje, že ručičky ukazují na určitý, stálý stupeň, úměrný čtverci střední intensity i_s^2 . Tato střední hodnota se dá

těž snadno vypočítati. Okamžitá intensita proudu dána je vzorcem $i = i_0 \sin \omega t$, značí-li i_0 jako dříve maximální intensitu proudovou. Hodnoty $\sin^2 \omega t$ jsou pro ωt od 0 do π úplně stejné jako od π do 2π , tak že lze za střední hodnotu celé periody vzít pouze střed z poloviční periody. Všechny úhly mezi 0 a π ležící dají se po dvou tak spojit, že úhlu ωt v první čtvrti přísluší

úhel $\omega t + \frac{\pi}{2}$ v druhé čtvrti, tak že střední hodnota takovéto dvojice je dána vzorcem:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \left[i_0^2 \sin^2 \omega t + i_0^2 \sin^2 \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \right] \\ &= \frac{1}{2} i_0^2 (\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t) = \frac{1}{2} i_0^2 \end{aligned}$$

Poněvadž pak ωt může být jakýkoliv úhel v první čtvrti, platí uvedená rovnice všeobecně a tedy

$$i_s^2 = \frac{1}{2} i_0^2 \quad \text{čili} \quad i_s = \frac{1}{\sqrt{2}} i_0 = 0.707 i_0$$

Podobně i efektívni síla elektromotorická

$$e_s = \frac{1}{\sqrt{2}} e_0 = 0.707 e_0.$$

Tyto hodnoty pak nám uvedené měřicí stroje určují jako střední hodnoty intensity nebo elektromotorické síly.

Dosud jsme předpokládali, že střídavý proud prochází ve vnějším vedení jednoduchým rovným drátem, protože jen pro takovýto případ lze intensitu proudu počítati podle zákona Ohmova $i = \frac{e}{R}$, značí-li R odpor onoho drátu. Jakmile však prochází střídavý proud ně-

jakým závitem drátu nebo celou cívkou, vznikají úkazy mnohem složitější, které pro střídavý proud mají ne-smírnou důležitost.

Slyšeli jsme již dříve, že v uzavřeném vodiči vzniká určitá elektromotorická síla, pohybuje-li se tento vodič v poli magnetickém. Tato elektromotorická síla dává vznik proudu indukovanému, jejž zoveme magnetoindukovaným. Avšak indukovaný proud lze vytvořiti též jiným způsobem, elektroindukcí.

Protéká-li na př. uzavřeným proudovodem A proud o intenzitě i , vzniká kolem něho magnetické pole, které všude jest úměrno této intenzitě, tak že i počet siločar, které protínají nějaký vodič v blízkosti prvního proudovodu, je této intenzitě úměrný. Je-li tedy nedaleko proudovodu A druhý proudovod B , prochází jím určitý počet siločar N závislý na intenzitě proudu, tak že $N = Ki$, značí-li K konstantu úměrnosti, která nezáleží na intenzitě i , nýbrž na geometrickém tvaru a poloze obou proudovodů. Změní-li se proud i v čase dt o obnos di , změní se také počet siločar o dN a jelikož indukovaná elektromotorická síla rovná se změně siločar protatých vodičem v 1 vteřině, plyne, že

$$e = \frac{dN}{dt} = K \frac{di}{dt}.$$

Vzniká tedy v uzavřeném vodiči B indukovaný proud zvaný sekundární, o jehož velikosti vedle intensity proudu primárního rozhoduje též konstanta K , která sluje *koefficientem vzájemné indukce*. Tento proud při uzavření nebo zesílení proudu primárního (čili ve vodiči A) prochází jedním směrem, kdežto při zeslabení nebo přerušení proudu druhým směrem, což se dá nejsnáze určití podle zákona Lenzova,

Mysleme si však nyní místo dvou proudovodů pouze proudovod jediný A . Proud jím procházející vytvořuje pole, jehož siločáry protínají plochu proudovodu aspoň jedenkrát. Zapneme-li tedy proud anebo zvětšíme-li jeho intensitu, protíná plochu vodiče více siločar, tak že musí vzniknouti indukovaný proud, který podle Lenzova zákona snaží se zachovati stav, jaký byl dříve, totiž zmenšiti počet siločar. Je tedy jeho směr opačný směru proudu indukujícího čili primárního. Proud tento na rozdíl od proudu dříve uvedeného, jenž byl indukován ve vnějším vodiči, zoveme proudem *samoindukovaným* čili *extra-proudem*.

Jeho elektromotorická síla dá se opět vypočísti ze změny siločar, jichž počet N jest úměrný intensitě proudu, totiž $N = Li$. Platí tedy:

$$e = - \frac{dN}{dt} = - L \frac{di}{dt};$$

znaménka záporného nutno zde užiti proto, že proud vzniklý má směr opačný proudu primárního. Konstanta úměrnosti L záleží pouze na tvaru vodiče a nazývá se *koefficientem samoindukce* anebo často i jen *samo-*

indukcí. Dá se vypočísti ze vzorce $L = \frac{dN}{di}$, tak že pro jediný závit nebo jediný vodič je koefficient samoindukce dán počtem siločar jednotkou proudovou vytvořených.

Z rovnice $e = - L \frac{di}{dt}$ lze pak definovati pohodlně absolutní jednotku koefficientu samoindukce; pravíme totiž, že vodič nějaký má absolutní jednotku samoindukce, když změna intensity proudové o 1 absolutní

jednotku v jedné vteřině indukuje v něm absolutní jednotku elektromotorické síly. Za technickou jednotku volíme pak samoindukci takového vodiče, v němž změnou intenzity proudové o 1 *ampère* indukuje se elektromotorická síla 1 *volt*; jednotku tuto nazýváme **1 henry**, kteráž jest — jak z definice patrně — rovna 10^9 absolutním jednotkám o rozměru $[L]$, tak že obráceně 1 absolutní jednotka $= 10^{-9}$ *henry*. Jednotka tato je pro obvyklé případy příliš veliká i užívá se jednotky tisíckrátě menší, zvané **millihenry**.

V kapitole II. (str. 21) určil jsem počet siločar procházejících solenoidem o průřezu q , je-li do něho vloženo železné jádro permeability μ , totiž

$$N = \frac{4\pi}{10} \cdot \frac{i x \mu}{l} q.$$

Vyjádříme-li intenzitu proudovou v jednotkách absolutních místo v ampérech, obdržíme

$$N = 4\pi \frac{i x \mu}{l} \cdot q$$

Můžeme tedy vypočísti zcela jednoduše koeficient samoindukce takového solenoidu, uvážíme-li, že při x závitěch elektromotorická síla samoindukce se x -krátě zvětší, tak že

$$e = - x \frac{dN}{dt} = - L \frac{di}{dt},$$

z čehož plyne:

$$L = x \frac{dN}{di}.$$

Platí tedy:

$$L = x \frac{d}{di} \left(4\pi \frac{i x \mu}{l} q \right) = 4\pi \frac{x^2 \mu}{l} q \cdot 10^{-9} \text{ henry},$$

z čehož vidíme, že ani v tomto případě koeficient samoindukce nezávisí na intensitě proudu, nýbrž pouze na počtu závitů připadajících na jednotku délkovou, na průřezu solenoidu a zároveň i na permeabilitě μ . Jelikož pak permeabilita pro látky ferromagnetické a zejména pro železo není stálá, není ani koeficient samoindukce pro solenoid s takovým jádrem konstantní, nýbrž měnlivý, tak že v praktických případech musíme za něj voliti nějakou střední hodnotu.

Při stejnosměrném proudu nevznikají samoindukované proudy v uzavřeném proudovodu, poněvadž, je-li i

stálé, jest $\frac{di}{dt} = 0$. Jakmile však procházejí takovým vo-

dičem nebo cívkou střídavé proudy, jichž intensita i směr se neustále mění, vznikají extraproudy často velmi silné, které v každém okamžiku jsou namířeny proti proudu primárnímu a tím jej seslabují. Není tu tedy intensita

proudu dána již jednoduchým vzorcem $i = \frac{e}{R}$, značí-li

R odpor ve vedení, nýbrž je menší, tak jako kdyby k odporu R přistupoval ještě zvláštní, nový odpor, jenž má původ svůj v extraproudech vzbuzených. Celkový tento odpor zoveme *impedancí* a jeho velikost dá se jednoduše určit.

Protéká-li nějakou cívkou proud $i = i_0 \sin \omega t$, způsobuje samoindukce L této cívky elektromotorickou sílu,

namířenou proti proudu původnímu, jež se rovná — $L \frac{di}{dt}$

$= - Li_0 \omega \cos \omega t$. Má-li tedy proud i touto cívkou vůbec probíhati, musí míti elektromotorickou sílu rovnou této elektromotorické síle samoindukce, ovšem s opačným znaménkem, tak že

$$e_1 = L \frac{di}{dt} = Li_0 \omega \cos \omega t.$$

Součin
$$L\omega = \frac{2\pi}{T} L = 2\pi nL$$

nazýváme odporem induktivním čili *induktancí* a měříme jej jako odpor obyčejný v ohmech.

Má-li pak stejný proud $i = i_0 \sin \omega t$ protékatí cívku o obyčejném Ohmově odporu R , musí mítí elektromotorickou sílu

$$e_2 = i_0 \sin \omega t \cdot R,$$

tak že úhrnná elektromotorická síla, jež překoná i odpor induktivní i odpor Ohmův, jest

$$e = e_1 + e_2 = i_0 (L\omega \cos \omega t + R \sin \omega t).$$

Položíme-li $L\omega = R \operatorname{tg} \varphi$, plyne:

$$e = i_0 R (\cos \omega t \cdot \operatorname{tg} \varphi + \sin \omega t)$$

čili
$$e = i_0 R \frac{\sin(\omega t + \varphi)}{\cos \varphi}$$

Při tom
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{L\omega}{R},$$

tak že
$$\cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}}$$

a dosadíme-li tuto hodnotu do vzorce pro e , plyne

$$e = i_0 \sqrt{R^2 + L^2 \omega^2} \cdot \sin(\omega t + \varphi).$$

Z tohoto vzorce vidíme, že elektromotorická síla a intensita proudu nenabývají současně maximálních a minimálních hodnot, nýbrž že je mezi nimi *fázový rozdíl* φ , který je určen rovnicí $\operatorname{tg} \varphi = \frac{L\omega}{R}$; čím je větší vliv

samoindukce, tím je tento fázový rozdíl větší a blíží se hodnotě 90° , pro kterou by při maximální síle elektromotorické byla intenzita minimální a obráceně.

Kdyby nebylo samoindukce, pak $L = 0$ a tedy $e = i_0 R \sin \omega t$, což je známý tvar zákona Ohmova.

Píšeme-li $i = i_0 \sin(\omega t + \varphi)$, platí

$$i = \frac{e}{\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}}.$$

Z toho vidíme, že intenzita střídavého proudu je tím menší, čím je koeficient samoindukce L větší a čím je větší frekvence proudová. Při velmi rychlých elektrických proudech střídavých může indukční odpor $L\omega$ nabýti tak veliké hodnoty, že Ohmův odpor R lze proti němu úplně zanedbat. Rovněž tak mizí téměř odpor Ohmův proti induktivnímu v cívkách, jichž koeficient samoindukce je značně veliký. Jsou to cívky, které mají jádro z velmi měkkého železa, aby permeabilita byla co největší, a ovinuty jsou silným drátem, tak že jejich Ohmův odpor je nepatrný. Takováto cívka pouští tedy stejnosměrný proud velmi nepatrně zeslabený (jelikož Ohmův odpor je velmi malý), za to však střídavý odpor skoro vůbec nepropouští, poněvadž impedance je velmi značná. Odtud také dostaly tyto cívky jméno: zoveme je cívkami *tlumícími* nebo též *reakčními*; německé pojmenování je Drosselspulen, cívky škrtící, poněvadž proud střídavý zeslabují čili — technicky řečeno — přiškrcují. Mluvíme-li tedy o vedení proudu střídavého, musíme vždy rozeznávat, jedná-li se o vedení skoro úplně bez induktivního odporu (jako na př. při osvětlování) či o vedení se značným odporem induktivním, protože různým vedením se intenzita a průběh proudu velice mění, což je nápadný rozdíl proti proudu stejnosměrnému.

Do vedení střídavého proudu může však býti vepjat též nějaký kondensátor o kapacitě C a tím se odpor vedení opět velmi značně změní.

V oddíle II. (str. 17) určena byla kapacita nějakého vodiče vzorcem $C = \frac{q}{V}$, z čehož plyne $q = C \cdot V$, t. j.

množství elektriny je přímo úměrno rozdílu potenciálního, při čemž konstantou úměrnosti je kapacita C . Vložíme-li tedy kondensátor nějaký (dvě desky kovové, oddělené od sebe izolující vrstvou) o kapacitě C do proudovodu, jehož elektromotorická síla, daná vzorcem $e = e_0 \sin \omega t$, mění se v době dt o de , přechází do kondensátoru v každém okamžiku množství elektrické $idt = Cde$, z čehož plyne rovnice pro intensitu i proudu, jenž do takového kondensátoru vtéká nebo zase z něho vytéká:

$$i = C \frac{de}{dt}$$

Dosadíme-li za e výše uvedenou hodnotu pro střídavý proud, dostaneme:

$$i = Ce_0 \omega \cos \omega t = Ce_0 \omega \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

Vzniklý proud je tedy opět sinusový, ale ve fázi předchází o $\frac{\pi}{2}$ čili o čtvrt periody před napětím. Maxi-

mální jeho hodnota i_0 nastává pro $\sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = 1$, tak že $i_0 = Ce\omega$. Srovnáváme-li tento vzorec se zákonem Ohmovým, vidíme, že odporu jest obdobný výraz $\frac{1}{C\omega}$, který určuje odpor, jež určitá kapacita klade střídavému

proudu. Tento odpor je tím menší a tedy vedením probíhá tím silnější proud, čím je kapacita a frekvence proudu větší. Kdyby bylo $\omega = 0$, t. j. kdyby proud probíhající vedením, do něhož je kondensátor zapjat, byl stejnosměrný, pak by bylo $i = 0$, proud by byl přerušen. Zde tedy zase vidíme značný rozdíl mezi proudem střídavým a stejnosměrným: kdežto stejnosměrný proud může procházeti jen vedením úplně uzavřeným, může střídavý proud procházeti i proudovodem neuzavřeným, přerušeným izolující vrstvou kondensátoru.

Představme si nyní, že nějaký střídavý proud má procházeti vedením, jež obsahuje jednak obyčejný odpor Ohmův, jednak určitou samoindukci a jednak kapacitu. Aby intenzita jeho byla $i = i_0 \sin \omega t$, musí pro překonání Ohmova odporu býti elektromotorická síla $e_1 = i_0 \sin \omega t \cdot R$; pro překonání odporu induktivního musí býti $e_2 = L\omega i_0 \cos \omega t$ a konečně pro překonání odporu, jež klade kondensátor musí býti elektromotorická síla e_3 , která se vypočte z předcházejícího. Vidíme, že

$$de = \frac{1}{C} i dt,$$

a dosadíme-li za i ,

$$de = \frac{1}{C} i_0 \sin \omega t \cdot dt.$$

Integrujeme-li, vyjde:

$$e_3 = -\frac{1}{C\omega} i_0 \cos \omega t$$

Aby tedy proud o intenzitě i mohl procházeti všemi odpory, musí se úhrnná elektromotorická síla rovnati součtu všech jednotlivých elektromotorických sil, t. j.

$$e = e_1 + e_2 + e_3 = i_0 \left[R \sin \omega t + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right) \cos \omega t \right]$$

Dále můžeme postupovati stejně jako v předešlém případě. Položíme

$$L\omega - \frac{1}{C\omega} = R \operatorname{tg} \varphi,$$

tak že

$$e = i_0 R \frac{\sin(\omega t + \varphi)}{\cos \varphi},$$

při čemž

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R}.$$

Z toho pak plyne:

$$\cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2}},$$

tak že

$$e = i_0 \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

Z toho vychází na jevo, že odpor, jež tu musí překonávati střídavý proud, dán je výrazem

$$\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2}.$$

Jestliže $\omega L = \frac{1}{C\omega}$ čili $L = \frac{1}{C\omega^2}$, zruší se členy v závorce a odpor kladený proudu střídavému rovná se pouze

jednoduchému odporu Ohmovu. Lze tedy vhodnou volbou samoindukce a kapacity dosáhnouti toho, že při střídavém proudu o intensitě rozhoduje pouze odpor Ohmův.

Ze vzorce pro e je též viděti, že elektromotorická síla nemá téže fáze jako intensita, nýbrž předchází nebo zpožďuje se za intensitou podle toho, zda φ je kladné či záporné. O tom pak zase rozhoduje — jak patrně ze

vzorce pro $\operatorname{tg} \varphi$ — rozdíl $L\omega - \frac{1}{C\omega}$; je-li tento rozdíl roven nulle, dostáváme zase vztah právě uvedený

$L = \frac{1}{C\omega^2}$, pro kteroužto hodnotu tedy $\varphi = 0$, tak že

v tomto případě mezi intensitou a elektromotorickou silou není vůbec rozdílu fázového. Význam toho vysvitne při stanovení výkonnosti strojů na střídavé proudy a později také zvláště při výkladu elektrických kmitů zejména při telegrafii bezdrátové.

Měření pracovního efektu u strojů stejnosměrných je velmi jednoduché; udával-li by na př. na rozváděcí desce voltmetr napětí 110 *volt* a ampèremetr intensitu 9 *ampère*, byl by efekt stroje roven součinu těchto hodnot, t. j. 990 *watt* čili skoro 1 *kilowatt*. U strojů na střídavé proudy lze však efekt proudu stanovití již nesnadněji. Víme, že práce rovná se součinu z intensity, napětí proudu a času; pak tedy práce dP v nekonečně krátké době dt vykonaná jest:

$$dP = i e dt.$$

Za okamžité hodnoty intensity a napětí lze dosaditi: $i = i_0 \sin \omega t$ a $e = e_0 \sin(\omega t + \varphi)$, neboť, jak již dříve bylo uvedeno, mezi intensitou a napětím proudu jest obecně fázový rozdíl φ . Pak tedy

$$dP = i_0 \sin \omega t \cdot e_0 \sin(\omega t + \varphi) dt.$$

Úbrnnou práci za celou periodu obdržíme integrací, tak že

$$\begin{aligned} P &= \int_0^T i_0 e_0 \sin \omega t \cdot \sin(\omega t + \varphi) dt \\ &= i_0 e_0 \int_0^T (\sin^2 \omega t \cdot \cos \varphi + \sin \omega t \cdot \cos \omega t \sin \varphi) dt \\ &= i_0 e_0 \left[\frac{t}{2} \cos \varphi - \frac{\sin 2 \omega t}{4 \omega} \cos \varphi + \frac{\sin^2 \omega t}{2} \cdot \sin \varphi \right] \\ &= \frac{1}{2} i_0 e_0 T \cdot \cos \varphi \end{aligned}$$

Z toho tedy vychází, že effekt pracovní

$$W = \frac{1}{2} i_0 e_0 \cos \varphi.$$

Zde značí i_0 a e_0 maximální hodnoty proudové, avšak těch přímo měřiti nemůžeme, nýbrž stanovíme jenom hodnoty střední, které, jak jsem již dříve uvedl, jsou

$$i_s = \frac{i_0}{\sqrt{2}} \quad \text{a} \quad e_s = \frac{e_0}{\sqrt{2}}.$$

Tudíž

$$W = i_s e_s \cos \varphi \text{ watt,}$$

t. j. effekt střídavého proudu rovná se součinu ze střední intensity, středního napětí a *fázového činitele*, kterýmž jménem se označuje cosinus fázového rozdílu, $\cos \varphi$. Z tohoto důležitého vzorce je viděti, jak mnoho záleží na fázové differenci; čím je větší, tím je effekt proudu menší, tak že, má-li se dosáti efektu co největšího, musí

úhel φ býti co nejmenší. Prochází-li proud vedením, které má jen nepatrnou samoindukci (jako je na př. rovně napařovaný drát nebo žárovky nebo obloukové lampy elektrické), jest efekt proudu velmi značný, neboť fázový činitel rovná se skoro 1; naproti tomu však, je-li v proudovodu značná samoindukce (na př. solenoid se železným jádrem), může fázový rozdíl měřiti skoro 90° a tedy efekt skoro nullu. Chceme-li tudíž určiti správně efekt proudu střídavého, nestačí nám znáti pouze efektivní napětí a intensitu, nýbrž musili bychom k tomu znáti ještě i fázový rozdíl. Proto je výhodnější užití přístrojů, které přímo tento efekt měří a které zoveme *wattmetry*.

Wattmetr pro střídavé proudy jest elektrodynamometr, jehož pevná, nepohyblivá cívka jest ovinuta silným drátem o malém odporu, kdežto cívka pohyblivá skládá se z četných závitů tenkého drátu. Má-li se tímto přístrojem měřiti spotřeba proudu v nějakém vodiči, zapne se cívka pevná, zvaná cívkou proudovou, přímo do hlavního vedení, kdežto konce cívky pohyblivé připojí se ke svorkám onoho vodiče, v němž spotřebu měříme, tak že tato cívka je ve vedení paralelním. Do tohoto vedení vkládá se ještě značný odpor bez samoindukce; takové odpory bývají obyčejně v rheostatech kolíčkových a zhotovují se tím způsobem, že se drát vine *bifilárně*. Ohne se totiž drát, jež máme na cívku navinouti, v prostředku a potom se navíjí tak, že jeho obě polovice leží stále vedle sebe; pak tedy oběma těmito polovicemi prochází proud nestejného směru, čímž vznikající proudy samoindukované se ruší a cívka neskýtá induktivního odporu.

Obě cívky ve wattmetru působí na sebe silou, jež jest úměrna v každém okamžiku intensitě jejich proudu; intensita proudu v pohyblivé cívce je však úměrna roz-

dílu potenciálů na koncích měřeného vodiče a je s ním v téže fázi, je-li vložený *neinduktivní* odpor tak veliký, že lze vliv samoindukce zanedbávat. Pak je tedy vzájemné působení obou cívek úměrno okamžitým hodnotám intenzity a napětí, ale vlivem mechanické setrvačnosti ukazuje ručička střední hodnotu, tak že lze na stupnici odečísti přímo efekt proudu $i_0 e_0 \cos \varphi$.

Rozváděcí desky pro proud střídavý bývají opatřeny nejen ampèremetry a voltmetry, nýbrž i wattmetry, tak že tu přímo můžeme změřiti intensitu, napětí i efekt stroje. Jsou-li pak tyto veličiny dány, lze vypočítati i fázový činitel, neboť

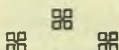
$$\cos \varphi = \frac{W}{i_0 e_0},$$

a z toho úhel φ , fázovou difference mezi intenzitou a napětím proudu.

Fázový rozdíl je však možno určit i přímo, a to přístroji, jimiž se dá pozorovati celý průběh buď intenzity nebo napětí proudového, a ne pouze jejich střední hodnoty. Při podrobném zkoumání stroje záleží totiž také velice na tom, zda vyrobený střídavý proud je skutečně harmonicky proměnný, k čemuž nutno užití přístrojů, jež mají co nejmenší vlastní setrvačnost. Takovým přístrojem jest *oscillograf*, který se skládá z velice tenounké smyčky drátěné, do níž se vpouští proud, který chceme zkoumati. Smyčka jest opatřena uprostřed malým zrcátkem a je napiata mezi póly magnetu; jakmile jí počne procházeti proud, stáčí se její rovina, sledujíc pro nepatrnou setrvačnost ihned všechny změny proudové. Vrhne-li se pak na zrcátko úzký proužek světelný, objeví se na stínítku, kam dopadá odražené světlo, čára světelná, kterou můžeme rozvinouti v periodickou křivku,

pohybujeme-li stínítkem napříč k této čáře. Místo tohoto přímého pozorování užívá se však raději fotografie; odražené světlo vrhne se na váleček potažený filmem fotografickým a na něm pak, otáčí-li se váleček rychlostí úměrnou pólové rychlosti alternátoru, objeví se křivka proudová. Když pak podobný oscillograf vložíme do vedlejšího, paralelního proudovodu, udává nám obdobná křivka průběh napětí proudového. Zařídíme-li vše tak, aby křivky od obou oscillografů vykreslily se na stejném filmu, lze po srovnání obou křivek určití přímo fázový činitel.

Místo oscillografu užívá se za týmž účelem *Braunovy roury*, o níž více bude promluveno při záření elektrickém; v té proudem elektrickým vychyluje se svazek paprsků katodových, což zase lze fotografovatí obdobným způsobem jako při oscillografu.



VII. O strojích na proud střídavý.

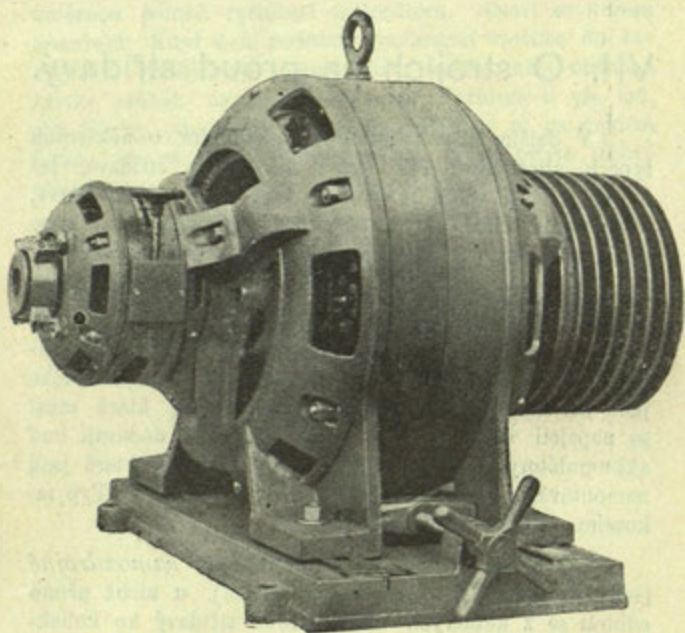
V dalším aspoň stručně se zmíním o některých typech alternátorů čili strojů na proudy střídavé, jež můžeme dělit velmi rozmanitě, buď podle vinutí kotvy, nebo podle toho, zda kotva stojí či se pohybuje, nebo podle způsobu, jak se mění magnetické pole a pod.

Všechny alternátory skládají se z drátěných cívek, v nichž se proud indukuje a jež nazýváme podobně jako u dynam kotvou, armaturou nebo též induktorem, a z magnetů, které proud indukují. Pro vytvoření magnetického pole užívá se výhradně jen elektromagnetů, které musí se napájeti stejnosměrným proudem, jež dodávají buď akumulátory, anebo nejčastěji malá dynamy, která jsou namontována na tomže hřídeli jako alternátor. Typ takového generátoru ukazuje obr. 18.

Zvláštního druhu jsou alternátory *samozdrojné* (selbsterregende Wechselstrommaschinen), u nichž přímo odbírá se z některých cívek proud střídavý ke kolektoru, kde se usměrní a odtud teprve vede k elektromagnetům.

Cívky jsou navinuty na železném jádře, čímž dosáhne se — podobně jako u dynam — daleko mohutnějších účinků indukčních. Jelikož však indukovaný střídavý proud mění rychle magnetismus tohoto jádra, vystoupí tu velmi nápadně hysterese magnetická, kterou

se železné jádro silně zahřeje. Toto zahřátí, jež značí ztrátu užitečné energie stroje, je tím větší, čím je větší počet změn pólových za vteřinu, a proto nesmí se tedy v praxi voliti počet těchto změn libovolně veliký, nýbrž



Obr. 18.

je nutno omeziti se na číslo poměrně malé (50 až 100 změn pólových ve vteřině čili 25 až 50 period).

Proudům Foucaultovým zabránuje se stejně jako u strojů na stejnosměrné proudy tím že se neužívá že-

lezných částí v celistvosti, zhotovených z jediného kusu, nýbrž že se hotoví z jednotlivých od sebe izolovaných plechů.

Pole magnetické bývá u alternátorů tvořeno zpravidla více magnety, čehož důvod je velmi jednoduchý. Střídavý proud obvykle užívaný má 100 pólových změn ve vteřině čili 6000 v minutě; k tomu musil by konati stroj dvojpólový 3000 obrátek v minutě, kdežto při stroji čtyřpólovém stačí pouze 1500 obrátek, při osmipólovém jen 750 obrátek v minutě.

Pro stroje na výrobu střídavého proudu lze užití těchto konstrukcí jako pro dynamo na proudy stejnosměrné, jenom že odpadá kolektor, který se nahradí sběracími kroužky. To je značná přednost strojů na střídavé proudy, neboť kolektor u dynamo je část stroje, jež se nejvíce opotřebovává, nejčastěji se musí vyměňovati a kromě toho tvoří největší překážku pro dosažení vysokého napětí. Má-li totiž proud z dynamo vycházející býti co nejstejněměrnější, musí počet výsečí na kolektoru býti hodně veliký, ale pak jsou jednotlivé destičky jeho tak blízko u sebe, že přes nejpečlivější izolaci přece by vysoké napětí mezi sousedními destičkami se vyrovnávalo.

Chceme-li na př. dosíci jednoduchého proudu střídavého, užije se dvou kroužků, k nimž se vedou dráty od dvou závitů proti sobě ležících; pro proud třífázový užije se tří kroužků, k nimž se připojí dráty tak, jak vyznačeno bylo na obr. 14. nebo 16. Lze tedy z takovýchto strojů, jichž armatura může býti buď prstencová nebo bubnová, odváděti velmi pohodlně proud vícefázový a kromě toho lze z nich současně ještě odbíratí též proud stejnosměrný, jsou-li vedle kroužků opatřeny též samostatným kolektorem. Takovýchto strojů užívá se však nyní poměrně již jen velmi zřídka jako samostatných generátorů, a to

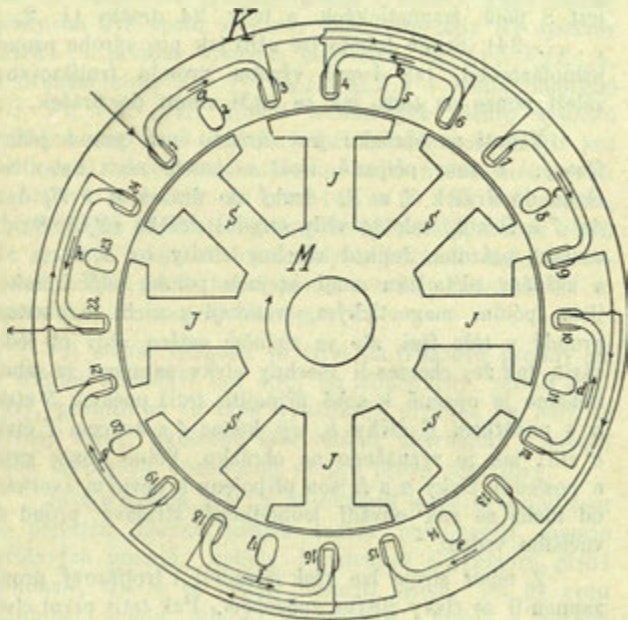
nejspíše ještě jen pro malé typy. Za to však hojně se jich používá jakožto přeměňovačů proudu, jimiž lze buď proud stejnosměrný přeměnit na střídavý anebo daný střídavý v jiný střídavý o jiném počtu fází, anebo konečně střídavý v jednoduchý proud stejnosměrný. Tyto přeměňovače skládají se buď z jediného stroje anebo ze dvou, upevněných na společném hřídeli. V prvním případě, má-li se na př. přeměnit proud stejnosměrný ve střídavý, přivádí se do kolektoru stroje stejnosměrný proud, tak že se stroj rozběhne jako motor na stejnosměrné proudy. Z určitých bodů vinutí na armatuře vedou se pak dráty k sběracím kroužkům, odkudž odvádí se střídavý proud o žádaném počtu fází. Užijeme-li pak dvou strojů dohromady spojených a chceme-li na př. trojfázový proud přeměnit na stejnosměrný, musí jeden stroj býti motor trojfázový, jenž dodaným proudem se rozběhne a otáčí armaturou druhého stroje, jednoduchého dynama, z jehož kartáčeků ke kolektoru přitisknutých lze pak odvésti proud stejnosměrný do vnějšího vedení.

Obsluha popsaného generátoru na proud střídavý je jednodušší než obsluha dynama, neboť alternátor nemá kolektoru, jenž je choulostivou částí stroje, jež tedy nutno opatrovati a na němž dlužno vždy také starati se o správné postavení kartáčeků, aby se zabránilo jiskření. Ovšem i při alternátoru opotřebují se kartáčky, dotýkající se kroužků, ale v míře mnohem menší.

Při strojích na vysoké napětí hledíme však pokud možno vyhnouti se i těmto sběracím kroužkům a hledíme odbíratí proud z pevných svorek, což se dá provésti tím způsobem, že se kotva postaví nehybně, kdežto systém magnetů se otáčí uvnitř kotvy. Proud pro magnety potřebný dodává se ze zvláštního zdroje a to do dvou

kroužků na hřídeli izolovaně upevněných, od nichž pak se vede pomocí kartáčků do elektromagnetů. Vinutí na elektromagnetech jest obvyčejně provedeno tím způsobem, že vedle sebe jsou póly nestejnomenné.

Schéma takového stroje podává obr. 19. Vnější



Obr. 19.

částí je kotva, K vnitřní magnety M ; obě tyto části jsou složeny z jednotlivých od sebe izolovaných plechů, aby se zabránilo proudům Foucaultovým. Elektromagnety

jsou střídavě vedle sebe severně a jižně magnetické a jsou opatřeny širokými pólovými nástavky v těch místech, kde stojí proti kotvě. Kotva sama skládá se ze železného prstenu, který na svém vnitřním obvodu jest opatřen drážkami, a to v počtu třikráte větším, než je počet pólů magnetických. U stroje na obrázku vyznačeného jest 8 pólů magnetických a tedy 24 drážky (1, 2, 3, 24). Stroje tohoto lze užiti jak pro výrobu proudu jednofázového, tak i pro výrobu proudu trojfázového; záleží pouze na tom, jak se vloží vinutí do drážek.

Vinutí na obrázku jest určeno pro proud jednofázový. V tom případě vloží se jeden závit nebo celá cívka do drážek 1 a 3, druhý do drážek 4 a 6, další do 7 a 9 atd., tak že vždy střední drážka (2, 5, 8 . . .) zůstane prázdná. Jelikož všechny závity ($a, b, c h$) v každém okamžiku mají stejnou polohu vůči indukujícím pólům magnetickým, vznikají v nich indukované proudy v téže fázi, ale ve stejném směru vždy ob jeden závit, tak že, chceme-li všechny cívky zapnouti za sebou, musíme je opačně k sobě připojiti, totiž počátek 3 cívky a s počátkem 6 cívky b , její konec 4 s koncem 7 cívky c atd., jak je vyznačeno na obrázku. Volné konce první a poslední cívky a a b jsou připojeny k pevným svorkám, od nichž se pak odvádí jednoduchý střídavý proud do vnějšího vedení.

Z téhož stroje lze však odváděti i trojfázový proud, zapnou-li se cívky jiným způsobem. Pak totiž první cívka vloží se do drážky 1 a 4, druhá do drážky 3 a 6, třetí do drážky 5 a 8, čtvrtá do drážky 7 a 10 atd., až poslední (při osmipólovém stroji) do drážky 23 a 2. Není tedy žádná drážka vynechána a každá cívka oběma svými konci leží nad stejnými místy dvou vedle sebe stojících opačných pólů magnetických. Proběhne tudíž každou

cívkou celá perioda proudová, když se magnety otočí tak, že na místo jednoho pólu severního přijde zase nejbližší následující pól severní. Poněvadž pak nad každým pólem jsou tři drážky a tedy i tři cívky, indukují se v sousedních cívkách proudy o 120^0 ve fázi posunuté, tak že dostaneme výsledný proud třífázový, když všechny cívky ob dvě spolu spojíme. Obdržíme tedy tři systémy cívek; v prvním systému jsou cívky *I, IV, VII, X*, v druhém cívky *II, V, VIII, XI* a v třetím konečně *III, VI, IX, XII*. Konce jednotlivých těchto systémů můžeme vésti k 6 pevným svorkám, ale pohodlnější jest užití opět spojení buď síťového nebo hvězdovitého jako u otáčivé armatury na obr. 14. a 16. Za tím účelem, chceme-li na př. dosíci spojení hvězdovitého, konce všech tří systémů spojí se dohromady a počátek každého systému připojí se k jedné pevné svorce. Podobně lze to upravit i při spojení síťovém.

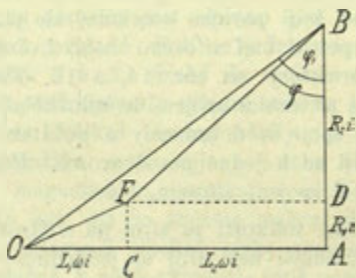
Při stejné velikosti je stroj na třífázové proudy asi o třetinu účinnější než stroj na jednoduchý proud střídavý, protože se tu lépe využítuje prstenu, na nějž se navíjejí cívky. Skutečně také většina alternátorů v novější době užívaných konstruuje se pro proud trojfázový.

Jako u dynam, tak i u alternátorů jedná se o účinnost co největší. Dokud nebyla známa podrobnější theorie střídavých proudů, nebyly konstrukce alternátorů příliš dokonalé, tak že se nedaly hotoviti stroje, jež by svou účinností mohly zápoliti s dynamy; avšak v novější době dosaženo je již takové dokonalosti, že elektrická účinnost jejich obnáší 85 až 96 $\frac{0}{100}$, t. j. právě tolik jako u dynam.

Elektromotorická síla alternátorů dá se měniti stejně jako u dynam změnou intensity pole magnetického; ukládá se tedy do proudu napájecího magnety rheostat,

jímž se dá v určitých mezích měniti intensita proudu a tedy i intensita pole magnetického a elektromotorická síla alternátorů.

Je-li stroj zatížen, jest ovšem jeho svorkové napětí jiné než elektromotorická síla čili svorkové napětí stroje nezatíženého. Souvislost obou těchto veličin dá se nejednodušeji zobraziti diagramem, znázorněným na obr. 20., předpokládáme-li, že koeficient samoindukce daného stroje při různém zatížení má stálou hodnotu. Induko-



Obr. 20.

vaná elektromotorická síla E je přeponou OB pravoúhlého trojúhelníka, jehož jednou odvěsnou AB je součet vnitřního a vnějšího Ohmova napětí (t. j. napětí, překonávajícího pouze Ohmův odpor) a druhou odvěsnou OA je součet vnitřního a vnějšího napětí induktivního (t. j. napětí nutného k překonání induktivního odporu $L\omega$). Úsečka OC je induktivní napětí vnitřní, jež se rovná $L_1 \omega i$, a úsečka CA jest induktivní napětí vnější rovnající se $L_2 \omega i$. Podobně AD a DB jest Ohmovo napětí vnitřní a vnější ($R_1 i$ a $R_2 i$), tak že skutečně

$$E = i \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + \omega^2 (L_1 + L_2)^2}.$$

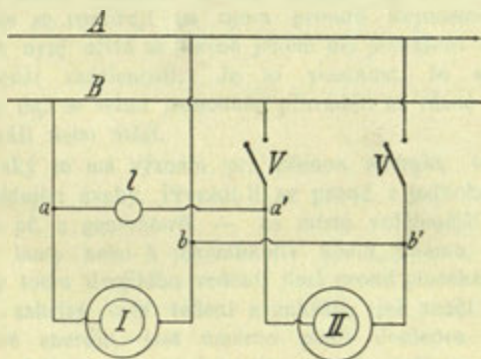
Úhel $OBA = \varphi_1$ je fázový rozdíl mezi elektromotorickou silou a intenzitou, neboť $\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{(L_1 + L_2) \omega}{R_1 + R_2}$. Abychom pak dostali svorkové napětí, sestrojíme ze stran CA a AD pravoúhelník, jehož čtvrtý vrchol je F ; pak spojnice FB představuje svorkové napětí e , neboť z trojúhelníku FBD plyne, že $e = i \sqrt{R_2^2 + L_2^2 \omega^2}$. Úhel pak $FBD = \varphi$ je fázový rozdíl mezi svorkovým napětím a intenzitou, neboť $\operatorname{tg} \varphi = \frac{L_2 \omega}{R_2}$. Úsečka OF

představuje ztrátu napětí způsobenou strojem samým, tak že tento jednoduchý diagram poučí nás nejlépe o důležitých hodnotách stroje. Z tohoto diagramu též vidíme, že rozdíl mezi elektromotorickou silou a svorkovým napětím není přímo roven ztrátě napětí ve stroji, jak tomu bylo u dynama. Rozdíl napětí je největší, když je fázový rozdíl $\varphi = 90^\circ$; pak vnější Ohmovo napětí rovná se nulle a svorkové napětí rovná se vnějšímu napětí induktivnímu, dosahující nejnižší své hodnoty. Naproti tomu je tento rozdíl velmi malý, když fázový rozdíl ve vnějším proudovodu je velmi malý, eventuálně rovný nulle; pak svorkové napětí FB je rovno vnějšímu Ohmovu napětí a vnější napětí induktivní rovná se nulle, což je splněno na př. tehdy, když alternátor napájí pouze žárovky.

V případech uvedených je svorkové napětí menší než elektromotorická síla. Avšak v určitém případě na rozdíl od strojů na proudy stejnosměrné může nastati také ten velmi zajímavý zjev, že svorkové napětí je dokonce větší než elektromotorická síla; to stane se tehdy, je-li fázový rozdíl záporný, jsou-li do proudovodu zaplány kondenzátory o takové kapacitě, že hodnota pro $\operatorname{tg} \varphi$ vychází záporná.

Jak z pojmu střídavého proudu je patrné, nelze k alternátorům připojit akumulátory, v nichž by se nahromažďovala energie elektrická, kterou by bylo možno vyrovnávat nestejnou spotřebu elektřiny v různých dobách denních. Jeví se tu tedy nezbytným užívání více strojů, z nichž při malé spotřebě elektřiny dodává proud pouze jediný, kdežto při velké spotřebě musí jich pracovat více a současně musí dodávat proud do sítě. Při dynamech není ta věc nesnadná, neboť je potřebí pouze u obou strojů, jež se mají paralelně spojit, dosáti téhož svorkového napětí. Nesnadnější však je věc při alternátorech, neboť zde nezáleží pouze na napětí, nýbrž také na fázi. Až do r. 1884 se soudilo, že stroje na střídavé proudy nedají se vůbec rovnoběžně k sobě připojit, ale podrobným zkoumáním se ukázalo, že takovéto připojení je přece možno, hledí-li se k tomu, aby oba stroje spojené měly stejné napětí, stejný počet obrátek a aby byly ve stejné fázi. Nejobtížnější zdá se stanoviti stejnost fází, ale i to lze stanoviti poměrně jednoduše pomocí *fázové lampy*, jejíž připojení je patrné z obr. 21. Zde značí *I* a *II* dva alternátory, jež paralelně jsou připojeny k síti *AB*; alternátor *II* je prozatím vypínačem *V* vypíat. Svorky *b* *b'* jsou spojeny spolu přímo, svorky *a* *a'* jsou pak připojeny k fázové lampě *l*. Oba stroje nejprve zregulují se tak, aby jejich elektromotorická síla byla stejná a aby také počet obrátek u obou byl co možno stejný. Není-li tento počet obrátek naprosto stejný a jsou-li oba stroje jinak úplně stejně konstruovány, jsou proudy z těchto strojů vycházející poněkud ve fázi posunuty a lampa *l* brzy se rozsvítí, brzy zhasne, kteréžto střídání je tím častější, čím více se liší rychlost obou strojů. Podobný úkaz nastává v akustice, když současně rozezvučíme dvě ladičky, výškou tónu poněkud od sebe se lišící; pak slyšíme rázy zvukové, které jsou úplně

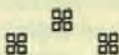
obdobny tomuto rozsvěcování a zhasínání lampy. Když pak u obou strojů je dosaženo správného počtu obrátek, je střídání ono zcela pomalé a pak užijeme toho okamžiku, kdy lampa l zhasne, k zapětí vypínače V ; neboť lampa uhasne pokaždé, když obojí napětí je ve stejné fázi, kdežto, je-li rozdíl 90° , lampa svítí nejjasněji. Tím je tedy okamžik stejné fáze správně určen a od té doby zůstanou oba stroje stále ve stejné fázi, tak že výsledný efekt obou strojů současně pracujících rovná se tu součtu efektů strojů jednotlivých. Místo lampy fázové nebo paralelně s ní lze připojit voltmetr, jenž udá vhodný okamžik k zapětí druhého alternátoru tehdy, když ukazuje napětí nullové.



Obr. 21.

Úpravy zde popsané užívá se jen při nižších napětích; při vyšších musí se buď několik fázových lamp zapnouti do proudovodu za sebou anebo, což je nejčastější, každý ze strojů má od svorek odvedeno zvláštní primární vinutí samostatné (malý transformátor), kdežto

sekundární vinutí, v němž obě vinutí primární indukují proudy, je pro oba stroje společné. Do proudovodu sekundárního je pak zaplata fázová lampa, podle níž zase jako v případě předchozím lze správně druhý stroj k síti připojit.



VIII. Transformátory.

Jak jsem již uvedl, mají střídavé proudy proti stejnosměrným tu značnou nevýhodu, že nelze jejich energii přeměňovati v chemickou a v té formě ji uchovávat v akumulátorech. Avšak za to mají střídavé proudy jinou vlastnost takové důležitosti, že čím dále, tím více se rozšiřují na ujmu proudů stejnosměrných, kterých nyní užívá se hlavně jenom při přenášení energie na menší vzdálenosti. Je to vlastnost, že střídavé proudy dají se velmi jednoduše převáděti na různé napětí, buď vyšší nebo nižší.

Jaký to má význam pro přenos energie, vysvitne z následující úvahy. Převádí-li se proud z jednoho místa — na př. z generátorů — na místo vzdálenější k napájení lamp nebo k jakémukoliv účelu jinému, nutno užiti k tomu dvojitého vedení, jímž proud protéká; tento proud zahřívá celé vedení a zahřátí, jež značí ztrátu užitkové energie, jest úměrno podle Jouleova zákona odporu drátu a čtverci intensity proudu drátem procházejícího. Jak je přirozeno, jedná se nám vždy o to, aby ztráta ona byla co nejmenší, a to lze uskutečniti dvojím způsobem: buď zmenšením odporu anebo zmenšením intensity. Odpor lze zmenšiti tím, že volíme dráty o větším průřezu, ale to nelze činiti v praxi libovolně, neboť při drátech velmi silných zvětšil by se tím náklad na instalaci tou měrou, že by energie dodávaná přišla pak draže,

než kdyby ony ztráty zůstaly. Proto může se oekonomicky přenášeti energie takovýmto způsobem jen asi na vzdálenost 1000 *m*, nejvýš 1500 *m*, a to ještě jen trojvodičem. — Avšak ztráty lze umenšiti ještě druhým způsobem, totiž tím, že se napětí proudové zvětší a tím současně ovšem intensita jeho zmenší.

To nejlépe osvětlí příklad nějaký. R. 1891 proveden byl velikolepý přenos energie z Lauffenu na Neckaru do Frankfurtu nad Mohanem na vzdálenost 175 *km*; přenášelo se tu skoro 200 koňských sil čili asi 140 *kilowatt*. Kdyby se bylo užilo obyčejného napětí 220 *volt*, byla by intensita proudu vedením procházejícího asi 636 *ampère* podle vzorce $i = \frac{W}{e}$. Připustíme ve vedení ztrátu 10% efektu, t. j. 14000 *watt*; podle zákona Jouleova musí tedy $Ri^2 = 14000$ čili $R = \frac{14000}{i^2}$.

Víme, že $R = \rho \frac{l}{s}$, značí-li ρ specifický odpor (u mědi 0·017), l délku vedení (zde 350 *km*, ježto nutno počítati vedení tam i zpět) a s průřez drátu, který chceme vypočísti. Najdeme tedy

$$s = \frac{\rho l}{R} \text{ čili } s = \frac{\rho l i^2}{14000} = \frac{0\cdot017 \cdot 350000 \cdot 636^2}{14000}$$

a z toho pak $s = 172000 \text{ mm}^2$. To značí, že by bylo potřebí pro toto vedení užití tyčí měděných o průměru asi 47 *cm*, což ovšem naprosto se nedá splniti. Aby však bylo přece možno přenéstí žádanou energii se ztrátami poměrně malými, nutno zmenšiti intensitu proudu a to nelze jinak, než že se zvětší napětí proudové. Kdyby se posílal do dálky proud o stejném efektu, ale o napětí stokráte větším, bude intensita proudu stokráte

menší, totiž pouze 6.36 ampère a síla drátu, v němž ztráty zase budou obnášeti jen $10^0\%$, bude dokonce desettisíckrát menší, t. j. asi 17 mm^2 . Takovéhoho drátu o průměru asi 5 mm lze ovšem již snadno užiti, ale pak jedná se ještě o to, jak možno dosíci proudů tak vysokého napětí. Ty lze vyrobiti buď přímo ve strojích na střídavý proud anebo také lze je přeměnit z nižšího napětí pomocí transformátorů. Avšak vysoko napiatých proudů není možno užiti přímo k napájení lamp nebo i jiných přístrojů, nýbrž nutno napětí to zase snížit; pro toto snížení je pak ještě i ten důvod, že vysoké napětí je nebezpečné životu lidskému. Pokusy se totiž stanovilo, že lidské tělo snese ještě beze škody proud o intenzitě jedné setiny ampère. Odhadneme-li odpor lidského těla v tom případě, když se špičkami prstů dotýkáme vedení, asi na 50000 ohm , je nejvyšší ještě přípustné napětí $e = Ri = 500\text{ volt}$. Tím ovšem není řečeno, že by proud elektrický nemohl zabít i při nižším napětí, neboť záleží tu ještě na celé řadě jiných okolností, jež odpor těla lidského snižují; tak na př. je zaznamenáno, že r. 1897 zabit byl člověk střídavým proudem o napětí pouze 115 volt .

Vysoké napětí lze přeměnit na nízké velmi pohodlně pomocí transformátoru. Transformátory pro střídavý proud jsou indukční přístroje, v nichž do primárního vinutí vede se proud střídavý, který v sousedním vinutí sekundárním indukuje proud napětí buď vyššího nebo nižšího podle toho, v jakém poměru jsou závity na obou cívkách. Předpokládejme, že cívka primární i sekundární je navinuta na témž železném jádře. Do primární cívky budiž puštěn proud o intenzitě $i = i_0 \sin \omega t$, jenž vytvoří pole magnetické, které se také mění podle zákona sinusového, tak že počet siločar v každém okamžiku $N = N_0 \sin \omega t$. Toto měnlivé pole magnetické

indukuje v obou cívkách jak primární, tak sekundární proud, jehož elektromotorická síla je dána vzorcem

$$E = - \kappa \frac{dN}{dt} \cdot 10^{-8} \text{ volt.}$$

Je-li tedy počet závitů cívky primární κ_1 a sekundární κ_2 , jest elektromotorická síla v obou těchto cívkách

$$E_1 = - \omega \kappa_1 N_0 \cos \omega t \cdot 10^{-8} \text{ volt}$$

a

$$E_2 = - \omega \kappa_2 N_0 \cos \omega t \cdot 10^{-8} \text{ volt.}$$

To jsou hodnoty v každém okamžiku měnlivé, z nichž však snadno lze najít hodnoty efektívni, dělíme-li totiž hodnoty maximální odmocninou ze dvou; plyne tedy, dosadíme-li $2\pi n$ za ω :

$$E_{1s} = \sqrt{2} \pi n \kappa_1 N_0 \cdot 10^{-8} \text{ volt} = 4.44 n \kappa_1 N_0 \cdot 10^{-8} \text{ volt}$$

$$E_{2s} = 4.44 n \kappa_2 N_0 \cdot 10^{-8} \text{ volt.}$$

Svorkové napětí proudu poslaného do primární cívky má dvojí úlohu; jednak musí překonávat právě vypočtenou elektromotorickou sílu E_{1s} , jednak také Ohmovo napětí primární cívky; toto napětí při nezátíženém transformátoru (t. j. tehdy, když ze sekundární cívky se neodvádí proud) je velmi malé, poněvadž odpor měděných drátů cívky primární volí se vždy velmi malý v zájmu výkonnosti a malého zahřívání transformátoru. Kromě toho proud v primární cívce při prázdném chodu čili při nezátíženém transformátoru je velmi slabý, neboť elektromotorická síla E_{1s} indukovaná změnou siločar je proti danému svorkovému napětí ve fázi o 180° zpožděna, tak že působí proti němu a propouští jen tolik proudu, kolik je ho potřeba k vytvoření indukujícího pole magnetického. K tomu stačí proud o intensitě velmi malé, a když ani odpor primární cívky není značný, můžeme

Ohmovo napětí při prázdném chodu položití rovno nulle. Pak tedy indukovaná elektromotorická síla E_{1s} je přímo rovna a protisměrná svorkovému napětí e_1 připojeného zdroje. U sekundární cívky svorkové napětí e_2 rovná se též její elektromotorické síle E_{2s} v tom případě, když sekundární cívka je nespojena.

Pak tedy plyne:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{e_1}{e_2} = \frac{z_1}{z_2}.$$

Vzorec tento jest ovšem jen přibližný, jelikož platí jen tehdy, když Ohmovo napětí rovná se nulle, což je případ ideální, neboť ve skutečnosti při dobrých konstrukcích svorkové napětí liší se od elektromotorické síly o 1·2 až 3%. Kromě toho platí přesně jen pro nezátížený transformátor, ale hlavní věc ukazuje vždy, že totiž poměr elektromotorických sil jest závislý na poměru počtu závitů primárních a sekundárních $\frac{z_1}{z_2}$. Poměr

tento sluje *koefficientem transformačním* a může být větší nebo menší než jedna anebo roven jedné. Je-li větší než 1, jest e_1 větší než e_2 , t. j. proud z alternátoru dodávaný se transformuje na napětí nižší, je-li naproti tomu koefficient onen menší než 1, jest e_2 větší než e_1 , t. j. proud se transformuje na napětí vyšší.

Zvláštní případ je ten, kdy koefficient transformační rovná se 1, tak že $e_1 = e_2$. Zde se nejedná tedy o žádnou transformaci proudovou, ale přece užívá se takových přístrojů, aby jednotlivé proudovody byly na sobě nezávislé. Primární cívka takového transformátoru připojí se totiž k hlavnímu vedení proudovému a přístroje, jež se mají proudem napájet, vloží se do sekundárního vedení transformátoru; nejsou tedy zde přístroje napájeny přímo

proudem z generátoru vycházejícím, nýbrž proudem sekundárním z transformátoru, který se proto nazývá též někdy *sekundárním generátorem*.

Největší důležitost mají však transformátory, jichž koeficient transformační je větší nebo menší než jedna. U těch je důležité též vědět, v jakém poměru jsou intensity proudu primárního a sekundárního. Předpokládejme, že ztráty efektu proudového při transformaci jsou tak nepatrné, že je lze zanedbat. Pak tedy efekt proudu primárního rovná se efektu proudu sekundárního čili $e_1 i_1 = e_2 i_2$ (při nezatíženém transformátoru), z čehož

plyne $\frac{i_1}{i_2} = \frac{e_2}{e_1} = \frac{x_2}{x_1}$, t. j. intensity proudů mají se k sobě

v nepřímém poměru napětí čili v nepřímém poměru počtu závitů obou cívek. Na první pohled zdálo by se tedy, že z transformátoru lze odvádět proud jen určité intensity, což by pro praxi nemělo významu, neboť na př. v síti pro osvětlování není počet lamp svítících stále stejný a tedy také ne intenzita proudu, jenž má vycházeti ze sekundární cívky transformátoru. Ale není tomu tak; ze sekundárního vinutí lze odbírat proudy libovolné intensity, pokud to dovoluje průřez drátů, neboť podle zatížení transformátoru intenzita proudu primárního sama se zřídí.

Kdyby železné jádro transformátoru byla pouhá rovná tyč nebo i otevřená podkova, nevyužítkovalo by se plně magnetické pole, neboť z krajů vycházely by siločáry do okolního vzduchu rozptylující se, tak že by intenzita pole magnetického na krajích byla značně menší než uprostřed. Nutno tedy tomuto rozptylu pokud možno zabrániti a to výborně se podařilo nejprve firmě Ganz a spol. v Pešti, jejíž transformátory dočkaly se neobyčej-

ného rozšíření. Za jádro transformátoru je zvolen obvod magnetický úplně v sebe uzavřený buď tvaru prstencového nebo pravoúhelníkového, který na jedné straně jest ovinut závity primárními, na druhé pak závity sekundárními. Prochází-li primárním vinutím proud, indukované siločáry procházejí uzavřeným obvodem magnetickým, nerozptylují se tedy skoro nic do vzduchu a téměř všechny účinkují na sekundární cívku.

Avšak rozptyl siločar není jedinou ztrátou, která transformátorem je způsobena. Právě tak jako při generátorech na proud stejnosměrný a střídavý vznikají i zde v železném jádře proudy Foucaultovy, jimž zabráňuje se stejně, jak častokrát již dříve bylo uvedeno, totiž skládáním jádra z jednotlivých plechů od sebe izolovaných.

Proudy, jež primární i sekundární cívkou procházejí, jsou střídavé, měníce jak intensitu, tak i směr; následek toho je, že se jádro velmi rychle přemagnetovává, což zase má v zápětí ztráty způsobené hysterésí. Těmto ztrátám zabráňuje se tím, že se volí železo hodně měkké, jehož koercitivní síla je malá, a kromě toho vpouští se do primární cívky proud o malém poměrně počtu změn za vteřinu, jak také již u alternátorů bylo vyloženo; proto v nynější době konstruují se alternátory pro proudy nejvýš o 50 periodách čili o 100 změnách pólových ve vteřině. Ztráty způsobené hysterésí a proudy Foucaultovými zoveme krátce ztrátami v železe na rozdíl od ztrát v mědi, jež jsou způsobeny Jouleovým teplem v primárním i sekundárním vedení. Tyto umenšují se co nejvíce tím, že se odpor závitů drátěných volí poměrně malý. Tyto všechny ztráty dohromady způsobují, že efekt proudu odváděného ze svorek sekundárního vinutí je menší než efekt proudu, dodávaného primárnímu vinutí, čím je poměr obou těchto efektů bližší jedné, tím je lepší

účinnost transformátoru, která se vyjadřuje v procentech podobně jako výkonost strojů dynamoelektrických.

Účinnost tato η dá se stanovití vzorcem

$$\eta = \frac{W}{W + F + T},$$

značí-li W získaný efekt, F ztráty v železe a T ztráty v mědi čili teplem Jouleovým; závisí však velmi značně také na zatížení, neboť, kdežto při malém zatížení jest účinnost třeba jen 30⁰/₀, je při úplném zatížení, t. j. tehdy, když transformátor vydává plný efekt, pro který je konstruován, účinnost ona 90—96⁰/₀. Nové typy transformátorů mají vesměs účinnost kolem 96⁰/₀ (dokonce až 98⁰/₀), tak že pouze asi 4⁰/₀ (ba v nejpříznivějším případě jen 2⁰/₀) dodané energie přicházejí na zmar. Kromě toho záleží těž na tom, zda do sekundárního vinutí jsou zařazeny odpory neinduktivní či induktivní; při odporu neinduktivním, sytí-li na př. transformátor žárovky, jest účinnost větší než při zatížení induktivním, při pohonu motorů a pod.

Při transformátorech nutno hleděti též k tomu, aby se příliš nezahřívaly, neboť tím by se snadno mohla porušiti izolace cívek, jimiž prochází vysoko napjatý proud, a tím by se transformátory zničily; z toho důvodu a kromě toho i proto, aby izolace byla dokonalejší, vkládají se transformátory do oleje, čímž obdržíme *transformátory olejové*. K tomu musí ovšem býti vybrán olej zvláště dobrý, aby zvýšením teploty sám nechytil a aby zůstal dobrým izolátorem.

S počátku byly firmou Ganzovou konstruovány transformátory s jádrem prstencovým, ale poněvadž konstrukce tato je dosti nepohodlná a nákladná, užívá se nyní raději jiné konstrukce, skládající se ze dvou čtver-

cových nebo kulatých tyčí, jež vedle sebe jsou postaveny a nahore i dole jsou spojeny dohromady měkkým železem, tak že zase vytvoří uzavřený obvod magnetický. Tyče ony jsou střídavě ovinuty cívkou primární a sekundární anebo cívka sekundární je navinuta uvnitř a nad ní cívka primární. Také může to býti upraveno tak, že na jedné tyči je navinuto vedení primární a na druhé sekundární. Vinutí na celém transformátoru nebývá provedeno v celistvosti, nýbrž navíjejí se pouze jednotlivé menší cívky, které se na železné jádro nastrčí a pak se jejich konce spojí dohromady. Výhoda při tomto uspořádání je ta, že při náhodném poškození izolace v některém místě není třeba celý transformátor převinovati, nýbrž stačí vyjmouti pouze onu cívku, na níž se poškození stalo, a nahraditi ji cívkou jinou. Je-li pak možno jednotlivé cívky libovolně spolu spojovati, lze dosáti v sekundárním vinutí různého napětí, neboť různým připojením cívek k sobě (vedle sebe nebo za sebou) lze měniti koeficient transformační a tím ovšem i výsledné napětí.

Zajímavé jsou také malé transformátory, jichž se užívá velmi hojně zejména pro svícení lampami obloukovými (viz také v druhém díle). Obvyklé napětí v městské síti (na př. v Praze) obnáší 120 *volt*; lampy obloukové na střídavý proud vyžadují však pro správné svícení pouze kolem 30 *volt*, tak že jednotlivě se nemohou přímo vepnouti do proudovodu, nýbrž buď jen tři za sebou anebo jedna s velikým předražným odporem. V menších místnostech není však tří lamp potřebí a tu výborně poslouží zmíněný malý transformátor, zvaný *divisor*. Od sekundárního vinutí (jež je zde totožné s vinutím primárním) nejsou totiž dráty odvedeny ke svorkám jen na konci, kam se přivádí proud primární, nýbrž ještě ze dvou míst jiných, jimiž sekundární vinutí je

děleno na tři stejné části; pak tedy pustíme-li do primárního vinutí proud o napětí 120 *volt*, lze mezi dvěma sousedními svorkami téhož vinutí, které však tu působí jako vinutí sekundární, odváděti proud o napětí 40 *volt*, do něhož lze potom obloukovou lampu vřaditi již přímo pouze s malým předražným odporem.

U většiny transformátorů je železné jádro uprostřed a jest obklopeno vinutím primárním i sekundárním; transformátory takové služí *jádrové* (Kerntransformatoren) na rozdíl od *plášťových* (Manteltransform.), při nichž cívky jsou uvnitř a kol kolem jsou obklopeny železem; tento typ je však mnohem méně častý než první.

Výkonnost transformátoru udává se v kilowattech; řekneme-li tedy, že nějaký transformátor má efekt 100 *KW*, značí to, že lze z něho odbíratí proud při sekundárním napětí 120 *volt* o intensitě až 833 *ampère*, ale ovšem jen tehdy, když do vedení jsou vepíaty přístroje o odporu neinduktivním. Jakmile ve vedení jest odpor induktivní, je mezi intensitou a napětím fázový rozdíl a efekt daný vzorcem $W = ei \cos \varphi$ je menší než dříve.

Transformátory dosud zde popsané hodí se pro jednoduché proudy střídavé, ale v praxi užívá se nyní většinou proudů trojfázových, tak že naskytá se tu otázka, jak tyto proudy se mohou transformovati. Víme, že proudy třífázové lze považovati za souhrn tří jednoduchých proudů střídavých o 120° ve fázi od sebe se lišících; je tedy možno každý tento proud vésti do samostatného transformátoru konstrukce právě uvedené a jsou-li všechny tyto tři transformátory stejně sestrojeny, obdržíme z jejich sekundárního vedení zase tři transformované jednoduché proudy střídavé o rozdílu fázovém 120° čili proud třífázový.

Ale tyto tři přístroje lze spojit v jediný transformátor na proud třífázový; podstatou jeho jsou tři jádra železná skládající se z jednotlivých izolovaných plechů, jež jsou ovínutá vedením primárním a sekundárním. Tato jádra mohou být postavena vedle sebe v jedné rovině anebo sestavena do trojúhelníku a nahoře i dole jsou spojena železnými deskami, tak že opět takto získá se uzavřený obvod magnetický. Cívky mohou být vinuty tak, že buď střídavě vedle sebe je cívka primární a sekundární, anebo jedna cívka jest uvnitř a druhá na ní. Jedny konce cívek primárních jsou spojeny dohromady a druhé jsou vedeny ke třem svorkám, do nichž pouští se primární proud; cívky sekundární pak jsou spojeny podobně a odvedeny také ke třem svorkám, z nichž se transformovaný proud třífázový vede do vnějšího vedení.

Většinou užívá se transformátorů k snížení napětí z vyššího na nižší; v tom případě vede se primární proud do četných závitů drátu slabšího a proud transformovaný nižšího napětí, ale větší intensity odvádí se ze závitů silných. Obrácené transformace z napětí nižšího na vyšší užívá se jen tehdy, když se proud má převést na velikou vzdálenost a když napětí stroji dosažené bylo by ještě malé; pak se tedy primární proud vede do cívky o menším počtu závitů drátu silnějšího a transformovaný proud se odvádí z cívek o větším počtu závitů drátu slabšího.

Jak z uvedeného je patřno, pomocí transformátorů mění se pouze napětí proudu, ale povaha jeho se nemění, tak že proud střídavý zůstává zase střídavým o téže periodě jako proud primární. Zdálo by se tedy, že, je-li město nějaké zásobováno proudem střídavým, není možno tam již užiti proudu stejnosměrného; ale není tomu tak, neboť vhodnými, byť i složitějšími přístroji lze provést

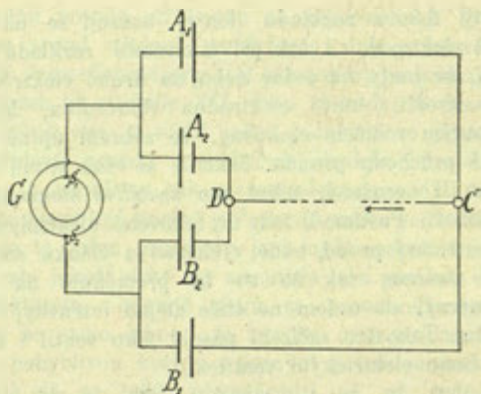
i přeměnu proudu střídavého na stejnosměrný. Přístroje, jimiž se proud střídavý usměrňuje, slují strojové nebo *rotační transformátory* (též konvertory) a princip jejich byl vyložen již v oddíle VII. Jsou to buď dva generátory na společné ose, z nichž jeden rozběhne se jako motor pro střídavé proudy a pohybuje druhým strojem, dynamem, z něhož se pak stejnosměrné proudy odvádějí (tato skupina strojů nazývá se často též *motorgenerátorem*), anebo je to jeden generátor, jenž opět rozběhne se jako motor, ale jehož cívký na armatuře jsou zároveň spojeny s kolektorem, odkudž sbírá se proud stejnosměrný. Rozumí se samo sebou, že zde lze užiti jenom alternátoru s pohyblivou kotvou a pevným polem magnetickým. Podobně dá se také přeměňovati na př. jednoduchý proud střídavý na proud třífázový nebo i stejnosměrný na střídavý.

Obsluha rotačních transformátorů není sice tak jednoduchá jako obyčejných transformátorů, které nutno jen občas prohlédnouti, zda mají dobrou izolaci a dobré připojení, ale přece neskýtá zvláštních obtíží, a proto užívá se jich velmi hojně tam, kde musí býti k dispozici stejnosměrný proud. To je na př. tam, kde se mají poháněti motory na stejnosměrný proud (na př. u elektrických drah), nebo kde se mají nabíjeti akumulátory anebo kde je proudu stejnosměrného třeba k účelům elektrochemickým (při galvanoplastice a pod.).

Avšak proud střídavý lze usměrňovati i bez rotačních transformátorů buď pomocí vhodně zařízených rtuťových lamp elektrických anebo pomocí účinků elektrolytických. O lampovém usměrňovači bude promluveno při lampách, zde budiž vyložen jen princip *Graetzova usměrňovače elektrolytického* (z r. 1897). Vedeme-li elektrický proud nějakou kapalinou, kapalina tato se rozkládá a

produkty tohoto rozkladu (ionty) usazují se na jedné i druhé elektrodě. Avšak při takovémto rozkladu může se státi, že ionty na jedné nebo na druhé elektrodě vyloučené tvoří s touto elektrodou sloučeninu, která je tak špatným vodičem elektriny, že zabrání úplně anebo částečně průchodu proudu. Jakmile se však proud obrátí, prochází již nerušeně, neboť ona nevodivá sloučenina se již nevytvoří. Pustíme-li tedy do takového elektrolytického článku střídavý proud, bude vycházeti z článku stále jen jedním směrem, tak že se tu přeměňuje na proud stejnosměrný, ale ovšem ne stále stejné intensity, nýbrž undulační. Takovéto zařízení působí jako ventil i nazývá se též často elektrickým ventilem.

Mají-li se tímto způsobem usměrňovati střídavé proudy o napětí větším než 100 *volt*, užije se článků, jichž jedna elektroda jest aluminiová a druhá libovolná, třebaš úhlová; elektrolytem je roztok fosforečnanu amonnatého nebo sodnatého. Je-li aluminiová deska anodou, t. j. je-li spojena s pozitivním pólem zdroje elektrického, vylučuje se na této desce kyslík, čímž se vytvoří vrstva tak značného odporu, že v tom směru, v němž jest aluminiová deska anodou, neprochází skoro žádný proud. Spojení takových článků je patrné na obr. 22. G značí generátor a $A_1 A_2 B_1 B_2$ čtyři články, jichž aluminiové elektrody jsou označeny delší čárkou. Ke každé svorce S_1 a S_2 generátoru jsou připojeny dva články $A_1 A_2$ a $B_1 B_2$, a to nestejnými elektrodami; druhé elektrody těchto článků jsou pak spojeny tak, jak patrné z obrázku, totiž A_1 s B_1 a A_2 s B_2 . Na dvou místech těchto spojovacích drátů jsou svorky C a D , z nichž vychází vnější vedení, do kterého lze vpínati přístroje, jež mají býti syceny stejnosměrným proudem. Představme si okamžik, kdy svorka generátoru S_1 stane se kladným



Obr. 22.

pólem, tak že proud odtud vychází a do svorky S_2 se vrací. Pak proud může projíti pouze článkem A_1 k svorce C (článkem B_1 projíti nemůže, poněvadž aluminiová elektroda je právě anodou), vnějším vedením ve směru šipky ke svorce D a článkem B_2 k svorce S_2 . Stane-li se za půl periody svorka S_1 pólem záporným a S_2 pólem kladným, prochází proud článkem B_1 k svorce C , odtud vnějším vedením k svorce D a článkem A_2 zpět do generátoru; je tedy patrné, že vnějším vedením prochází proud stále týmž směrem, tak že střídavý proud je takto usměrněn.

Původní úprava Graetzova byla rozmanitým způsobem pozměněna a zlepšena. Tak na př. Mitkiewicz volí za elektrody olovo a aluminium, za elektrolyt pak roztok dvojuhlčitanu sodnatého, tak že může usměrňovati střídavé proudy až o napětí 150 volt. V novější době se poznalo, že místo alumina lze voliti za anodu též magnesium a nejlépe tantal.

Elektrolytických usměrňovačů se dosud v praksi ve velkém neužívá, ale přece dosáhlo se jimi již úspěchů pozoruhodných; byly sestrojeny tyto usměrňovače již na výkonnost až 4 KW s účinností 75⁰/₀. Výhodou jejich je, že jsou velmi jednoduché a laciné, tak že je možno si je snáze pořídit než transformátory rotační.

Ze všeho, co bylo uvedeno, je patrné, že jak stejnosměrný, tak střídavý proud má určité výhody, že však pro přenášení energie elektrické na větší vzdálenosti nutno vždy užití proudu střídavého. Mezi první velké přenosy elektrické energie patří ona velikolepá instalace, kterou provedla r. 1891 známá berlínská firma *AEG* (*Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft*) ve spojení se strojírnou *Oerlikon*; je to uvedený již přenos energie z *Lauffenu* na *Neckaru* do *Frankfurtu nad Mohanem* na vzdálenost 175 *km*, o němž chci se zde zmíniti podrobněji jako o prvním vzoru pro práce podobné.

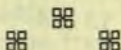
V *Lauffenu* byl k dispozici vodopád, jenž skýtal na 200 *HP* čili asi 147 KW , z nichž co nejvíce se mělo přenést do *Frankfurtu*. Aby tedy ztráty byly co nejmenší, musilo se užití ohromného napětí až 20.000 *volt*. Toho dosáhlo se touto úpravou. Vodopádem hnána byla turbína o efektu 197·4 *HP* (145·2 KW) a touto zase trojfázový generátor, jenž skýtal tři proudy o napětí 50 *volt* a intenzitě až 1400 *ampère*. V tomto generátoru spotřebovalo se celkem 9·3 KW , tak že ve vedení, jdoucím do transformátoru, byl efekt 136 KW . Byla tedy komerční účinnost tohoto generátoru 93·5⁰/₀. Proudů z generátoru vedly se do olejového transformátoru na proudy trojfázové a zde byly z napětí 50 *volt* a intenzity 1400 *ampère* přeměněny na proudy o napětí 14.000 *volt* a intenzitě 4·3 *ampère*, jež se daly přenášeti do dálky drátem poměrně velmi slabým

o průměru pouze 4 mm. V tomto transformátoru bylo spotřebováno celkem 5·3 KW, tak že do Frankfurtu se přenášelo 130·7 KW. Účinnost transformátoru byla 96·1% a úhrnná účinnost celé stanice v Lauffenu 89·9%. Ve vedení 175 km dlouhém způsobeny byly další ztráty Jouleovým teplem, jež činily jen 18·5 KW čili asi 14%, tak že k transformátoru ve Frankfurtě bylo přivedeno ještě 112·2 KW. Tento proud byl pak přeměněn opět na proud nízkého napětí 110 volt o intensitě 700 ampère olejovým transformátorem účinnosti 95·7%, tak že ve Frankfurtě bylo k dispozici celkem 107·3 KW čili 73·9% onoho efektu, jež v Lauffenu skýtala vodní turbina.

Touto velkolepou instalací bylo dokázáno, že vhodnou úpravou lze přenášeti energii elektrickou na ohromné vzdálenosti se ztrátou ne příliš velikou, kterážto ztráta při moderních instalacích ještě značně se zmenší zejména tím, že se proudy na stanici vysílací transformují ještě na napětí vyšší. Proto užívá se takovéhoho přenosu energie nyní čím dále tím více a to hlavně tam, kde je k dispozici laciná energie vodní, třebaš i ve vzdálenosti velmi značné. Dráty pak, jimiž se proud odvádí, jsou buď v kabelech, jež se kladou pod zemí, anebo jsou upevněny nad zemí na tyčích pomocí izolujících kloboučků. Při takovém nadzemním vedení nutno ovšem dbáti toho, aby bylo chráněno od výbojů bleskových, a tu nejlépe se osvědčuje *bleskosvod Siemensův* (Hörnerblitzableiter). Skládá se ze dvou tyčí tak zalnutých, že dole je mezi nimi jen malá vzdálenost, která se směrem vzhůru zvětšuje. Jedna tyč připojena jest k drátu, proud odvádějícímu, druhá pak je vodivě spojena se zemí, tak že pro proud trojfázový je třeba tří takovýchto bleskosvodů, po jednom ke každému drátu připojených. Uderí-li do vedení blesk, vytvoří se mezi oběma

tyčemi světelný oblouk, který ihned zahřátým vzduchem vyhnán je podél tyčí vzhůru a tam uhasne, tak že generátor je plně ochráněn.

Má-li se proud rozváděti jen v samotném městě, není zpravidla třeba příliš vysokého napětí, ale přece takového, že ho dynamy na proudy stejnosměrné nemohou dodati. Tu není tedy nutno užiti oněch prvních transformátorů, jimiž se proud z generátoru přeměňuje na vyšší napětí, nýbrž stačí ono napětí, jež stroj sám skýtá. Tak na př. v Praze vyrábí se v centrále přímo proud trojfázový o napětí 3000 *volt*, jenž podzemními kabely se vede do města. Tam pro praktické použití musí se transformovati na nižší napětí 120 *volt*, což se děje v transformátorech, které jsou umístěny buď ve vyzděných sklípcech pod dlažbou chodníku, anebo v samostatných kioscích nadzemních, jež na četných místech v Praze na ulicích můžeme spatřiti. Pro elektrickou tramway je však třeba proudu stejnosměrného a ten dodává se pro některé trati také přímo z centrály ze samostatných menších dynam, pro jiné pak trati ze stanic transformačních, kam se trojfázový proud z centrály vede a rotačními transformátory přeměňuje na proud stejnosměrný o napětí 500 *volt*.



Rejstřík.

Akkumulátory 65	cívka reakční 100
» ; chemický	» tlumící 100
proces v nich 71	coulomb 14
alternátor 109	Coulombův zákon . . . 5
» samozdrojný 109	Dal-Negrův stroj . . 27
ampère 13, 14	Deprez d' Arsonvalův
ampèremetr 58	galvanometr 58
ampèresekunda 14	derivační rheostat . . 46
ampèrezávity 21	» stroj 44
Ampèreovo pravidlo . 12	diamagnetická tělesa . 8
aperiodické galvanometry 59	divisor 129
armatura 25	dvojfázový proud . . 85
» bubnová 36	dvojvodič 55
» drážková 38	dyna 2
» hladká 37	dynamoelektrický prin-
» prstenová 30	cip 29, 44
Aronovo počítadlo . . 62	dynamo trojvodičové . 56
Baterie akumulátorová 73	Edison 56
» nárazová 78	Edisonovo počítadlo . 63
bifilární vinutí . . . 106	Edisonův akumulátor 70
Biot-Savartův zákon . 13	efekt pracovní 3
bleskosvod Siemensův 136	» proudu střídavého 105
Boesův akumulátor . 68	» úhrnný 49
Braunova roura . . . 108	» užitečný 49
bubnová armatura . . 36	» akumulátoru . . . 80
bussoly 58	elektrická účinnost . . 50
Cena energie elektrické 63	elektrodynamometr . . 93
centimetr 1	elektroindukce . . . 95

elektrolyt	16
elektromagnet	21
elektromotorická síla . 12	
» dynamo	
na proudy stejno-	
směrné	34, 42
elektromotorická síla ef-	
fektivní	93
» indukovaná 20, 24	
» okamžitá	91
» proudů střída-	
vého	82
» strojů vícepólo-	
vých	40
» střední	91
energie	3
erg	2
extraproud	96
Farad	17
Faraday	19
Faradayův zákon	14
Faureův akumulátor . 67	
fázová lampa	118
fázový činitel	105
» rozdíl	99
ferromagnetická tělesa . 9	
formování akumulátorů 67	
Foucaultovy proudy . 26	
frekvence proudová . . 83	
Galvanometr	58
gauss	7
generátor	35

gram	1
Grammův prsten	30
Graetzův usměrňovač . 132	
Gülcherův akumulátor 68	

Hefner-Alteneck	36
henry	97
homogenní pole magne-	
tické	8
Hopkinson	56
hysteresis	9
hysterévní klička . . . 11	

Charakteristika stroje 53

Impedance	98
indukce magnetická . . . 8	
indukční zákon	19
induktance	99
induktivní odpor	99
intensita magnetická . . 6	
» magnet. pole	7
» elektr. proudů	13
» elektr. proudů	
střídavého	83
» elektr. proudů	
okamžitá	92
» elektr. proudů	
střední	92

Jednotka času	2
» délky	1
» efektu pracov-	
ního	3

jednotka elektromotori- cké síly	14
» hmoty	1
» intensity pole magnetického	7
» intensity prou- du elektrického	13
» kapacity	17
» množství elek- trického	14
» množství mag- netického	6
» odporu	16
» práce	2
» rozdílu potenci- álního	14
» samoindukce	97
» síly	2
jednotky elektromagne- tické	13
joule	3
Jouleův zákon	15
K alorie	4
kapacita	17
» akumulátorů	79
kartáčky sběrací	27
» ; postavení jich u dynama	39
kilowatt	3
kilowatthodina	3
Kirchhoffovy věty	18
klička hysterévní	11

koefficient magnetické indukce	8
koefficient rozptylu	52
» samoindukce	96
» temperaturní odporu	16
» transformační	125
» vzájem. indukce	95
koercitivní síla	11
kollektor	31
kommerciální účinnost	50
kommutátor	26
compoundní stroj	48
konvertor	132
koňská síla	3
kotva	25, 30
Lenzův zákon	20
M agnetoelektrický stroj	27
magnetoindukce	20
megadyna	2
mechanická účinnost	50
metrakilogram	3
mikrofarad	17
millihenry	97
Mitkiewiczův usměrňo- vač	134
množství magnetické	6
moment magnetický	6
motorgenerátor	132
N abíjení akumulátorů	73
nárazová batterie	78

nástavky pólové . . . 25
 neutrální pás . . . 30

Odpor elektrický . . 15
 » induktivní . . 99
 » kondensátoru . 101
 » lidského těla . 123
 » magnetický . . 22
 » specifický . 15, 17
 » vnitřní u dynama 35

ohm 16

Ohmův zákon . . . 15

» » pro ma-
 gnetismus . . . 22

oscillograf . . . 107

Pacinottiho prsten . . 30

paramagnetická tělesa . 8

permeabilita . . . 8

Pixiiův stroj . . . 27

Plantéův akumulátor . 66

počítadlo elektrické . . 62

polarisace elektrod . . 65

pole magnetické 6, 12, 20

póly magnetu . . . 5

potenciál 12

práce 2

» střídavého proudu 104

pravidlo pravé ruky . 20

proud dvojfázový . . 85

» indukovaný 20, 24

» intermittující . . 28

» přerušovaný . . 28

» samoindukovaný 96

proud stejnosměrný . . 26

» střídavý . 20, 82

» točivý 91

» třífázový . . . 86

» undulační . . . 32

proudy Foucaultovy . 26

» spoutané . . . 91

» vířivé 26

prsten Grammův (Pac-
 cinottiho) 30

přenos energie elek-
 trické . . . 122, 135

Reakční cívka . . 100

redukováná délka ma-
 gnetu 6

reluktance 22

remanentní magnetis-
 mus 10, 29

residuum 29

rheostat 17

» derivační . . 46

rotační transformátor 132

rozměr 2

rozptyl siločar . . . 52

rychlost 2

Samoindukce 96

sekundární článek . . 65

» generátor 126

seriový stroj 43

shunt 60

Siemens 29

Siemensova cívka válcová 28

Siemensův bleskosvod	136
síla	2
» elektromotorická	12
» koercitivní	11
» koňská	3
» magnetomorická	21
silokřivky	7
solenoid	20
specifický magnetismus	6
» odpor	15, 17
spojení alternátorů vedle	
sebe	118
» hvězdovité	89
» síťové	86
» trojúhelníkové	86
» vodičů vedle sebe	
a za sebou	18
spoutané proudy . . .	91
stroj derivační	44
» compoundní	47
» na střídavé proudy	109
» seriový	43
susceptibilita	9
svorkové napětí	35, 42, 116

Thomson-Houstonova

počítadlo	63
tlumící cívka	100
transformační koeficient	125
transformátor	123
» Ganzův	126
» jadrový	130
» olejový	128

transformátor plášťový	130
» rotační	132
» třífázový	131
trojvodič	56
trubice silová	7
třífázový proud . . .	86
Tudorův akumulátor	68

Účinná hmota	67
účinnost alternátorů	115
» elektrická	50
» komerční	50
» mechanická	50
» transformátorů	128
undulační proud	32
usměrňovač Graetzův	132
» Mitkiewiczův	134
užitkový efekt akumulátorů	80

Ventil elektrický . . .	133
věty Kirchhoffovy . .	18
vícepólové stroje . . .	40
vířivé proudy	26
vodiče dobré a špatné	15
» 1. a 2. třídy	16
vodivost elektrická . .	15
» magnetická	8
volt	14, 17
voltampère	14
voltmetr	61
vteřina	2
výkonnost akumulátorů	80

vypínač maximální a minimální 75	zákon indukční . . . 19
Watt 3, 14	» Jouleův . . . 15
watthodina 3	» Lenzův . . . 20
wattmetr 62, 106	» Ohmův . . . 15
wattsekunda 3	» » pro mag-
Wheatstone 29	netismus 22
Wild 29	zařazovač dvojitý . . 76
Zákon Biot-Savartův . 13	zkoušení dynam . . . 53
» Coulombův . . . 5	zrychlení 2
» Faradayův . . . 14	ztráty energie elektrické 51
	» » »
	v transformátorech 127
	zvýšení teploty stroje 52

(Obrázky kreslil autor, vyjímaje obr. 4., 8., 10., 11. a 18., k nimž laskavě štočky zapůjčila elektrotechnická továrna Bartelmus, Donát a spol. v Brně.)

OBSAH:

	Str.
Uvod. Základní jednotky mechanické	1
I. Základní pojmy magnetické	5
II. O proudu elektrickém	12
III. O strojích na proud stejnosměrný	24
IV. Přístroje k měření proudu	57
V. Akkumulátory	64
VI. O proudu střídavém	82
VII. O strojích na proud střídavý	109
VIII. Transformátory	121
Rejstřík	138
