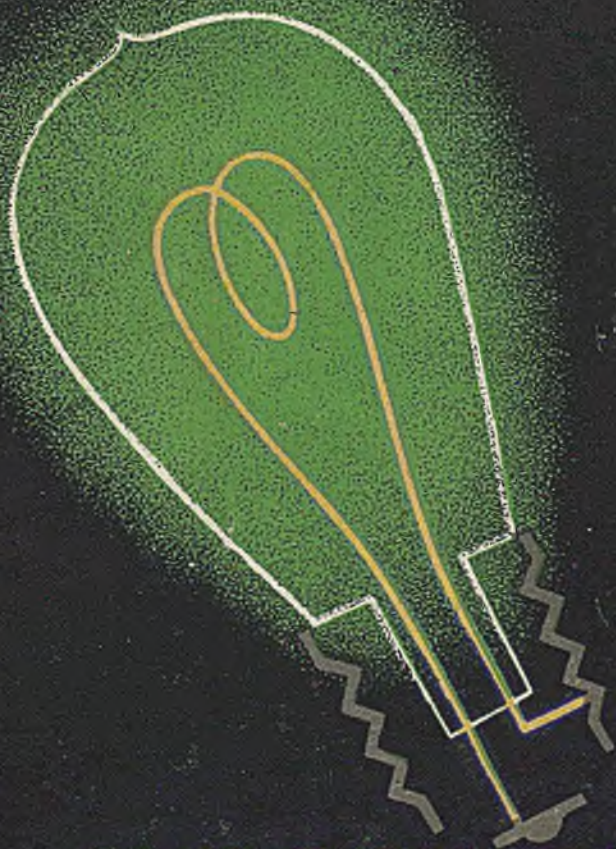


W. NIEMCZYŃSKI

ELEKTRO-



TECHNIKA
dla wszystkich

WYDAWNICTWA W.I.N.W.

Gen. S. Mossor

Sztuka wojenna w warunkach nowoczesnej wojny . . . 290.—
II wyd.

Plk W. Zaczekiewicz

Lotnictwo Polskie w kampanii wrześniowej 1939 r. . . 450.—

Płk Swinarski, mjr Cieplak

Bitwa pod Stalingradem . . . 150.—

Plk R. Sidorski

Zagadnienia odbudowy wielkich miast w świetle doświadczeń wojennych . . . 55.—

Kpl. inż. Nagielberg

Elektrotechnika dla pilotów i mechaników lotnictwa . . . 300.—

Inż. Sachatewicz

Zbiór schematów elektrotechnicznych 400.—

Mjr R. Topolniak

Dalekopis St-35 325.—

*Plk dypl. Surdykowski,
plk Enoch, ppłk Wójtowicz*

Podręcznik kierowcy pojazdów mechanicznych. II wydanie poprawione 600.—

T. Clar

Silniki pojazdów mechanicznych II wyd. 400.—

W. Rychter

Zasady obsługi nowoczesnych samochodów 225.—

Dys. 1
p. 302

ELEKTROTECHNIKA
DLA WSZYSTKICH

ST. BARTHOLOMEW'S HOSPITAL
LONDON

W. NIEMCZYŃSKI

3208

3208

62

ELEKTROTECHNIKA DLA WSZYSTKICH

ZASADNICZA SZKOŁA CHEMICZNA
Ministerstwa Przemysłu Chemicznego
w Gliwicach, ul. Sowińskiego 11
Telefon 24-21



GŁÓWNA KSIĘGARNIA WOJSKOWA

1 9 4 7

Rysunki wykonał: Zb. Klimczyk



Nr 2832

137921

Zakłady Graficzne W.I.N.W. — Oddział w Jeleniej Górze
Nr F. 19443

0 1381/13

1921/3. 2.

DO CZYTELNIKA

Nasza literatura elektrotechniczna jest bardzo uboga. Gdy uświadomimy sobie, do jakiego stopnia elektrotechnika przeniknęła wszelkie dziedziny życia codziennego, gospodarczego, przemysłowego i kulturalnego, potrzeba przystępnej książki poświęconej temu zakresowi wiedzy staje się szczególnie wyraźna.

Oświetlenie elektryczne mieszkań i ulic, telefon, telegraf, radio, tramwaj, kuchenka elektryczna — to udogodnienia naszego życia, bez których nie podobna się obejść i które powinniśmy znać. Mimo to zdarza się, że ludzie z wyższym nawet wykształceniem zadają sobie pytanie, dlaczego lampa elektryczna świeci a telefon mówi. I jeśli nie znajdują zaraz odpowiedzi, przestają zajmować się tym zagadnieniem — „bo to przecież takie trudne”.

Z tą „trudnością” sprawa przedstawia się zgoła inaczej. Nic bowiem łatwiejszego jak zrozumieć pracę maszyny elektrycznej czy transformatora; trzeba tylko opanować kilka podstawowych praw, które rządzą elektrycznością. Nie wnikniemy wprawdzie w ten sposób w istotę elektryczności, zwłaszcza że nikt jeszcze tej sztuki nie dokazał, ale poznamy przynajmniej działanie tego tajemniczego czynnika, któremu w wielkiej mierze zawdzięczamy rozwój naszej kultury.

Tym właśnie działaniom poświęcona jest „Elektrotechnika dla Wszystkich”. Jak świadczy tytuł, książka nie jest przeznaczona dla fachowców lecz „dla wszystkich”, a więc zarówno dla początkujących techników, którzy pragną znaleźć podsiawę do dalszych studiów, jak i dla tych „laików”, którym

brak przygotowania bądź czasu i ochoty na zagłębianie się w obszerne dzieła specjalne.

Staralem się przedstawić w słowach jasnych i prostych to wszystko, co współczesny człowiek o elektrotechnice wiedzieć powinien. Chodziło mi o to, ażeby przez uwypuklenie rzeczy istotnych stworzyć jasny obraz ogólny. Wynikiem tego jest pewna powierzchowność, ale nie w znaczeniu „przepływania” ponad trudnościami. Nie wdaję się w drobne szczegóły, unikam też przytaczania zawitych wzorów i obliczeń, dla których nie ma miejsca w książce popularnej i które często działają na czytelnika odstrasząco.

„Elektrotechnika dla Wszystkich” ma być rodzajem elementarza. Rozwinięciem tego „elementarza” będzie obszerna i na wyższym poziomie stojąca „Elektrotechnika Praktyczna”, którą zamierzam wydać w najbliższej przyszłości.

W. Niemczyński

NAJWAŻNIEJSZE ZNAKI I SKRÓTY

Znak, skrót	Znaczenie	Znak, skrót	Znaczenie
km	kilometr	E	siła elektromotoryczna
m	metr	U	napięcie
cm	centymetr	I	natężenie prądu
mm	milimetr	R	opór
m ²	metr kwadratowy	V	wolt
m ³	metr sześcienny	A	amper
t	tona	Ω	om
kg	kilogram	C	kulomb
g	gram	Ah	amperogodzina
l	litr	F	farad
d	dzień	H	hern
h	godzina	J	dżaul
min.	minuta	k, kilo	tysiąc razy więcej
s, sek.	sekunda	M, mega	milion razy więcej
°C.	stopień Celsjusza	m, mili	tysiąc razy mniej
ŚN	świeca normalna	μ, mi	milion razy mniej
Lm	lumen	10 ²	10 · 10 = 100
Lx	luks	10 ³	10 · 10 · 10 = 1000
KM	koń mechaniczny	10 ⁻¹	1 : 10 = 0,1
HP	Horse power	10 ⁻²	1 : 10 ² = 0,01
W	wat	10 ⁻³	1 : 10 ³ = 0,001
VA	woltamper	=	znak równania
kW	kilowat	+	„ dodawania
kgm	kilogramometr	—	„ odejmowania
cal	kaloria gramowa	·	„ mnożenia
kcal	kaloria kilogramowa	×	„ „
kWh	kilowatogodzina	:	„ dzielenia
Wh	watogodzina	√	pierwiastek

1. Wiadomości podstawowe	1
2. Elektryczność galwaniczna	13
3. Jednostki pomiarowe	21
4. Prawo Ohma i prawo Kirchhoffa	29
5. Kilka wyrażen technicznych	39
6. Magnetyzm	47
7. Elektromagnetyzm	57
8. Indukcja elektromagnetyczna	63
9. Przetwarzanie energii mechanicznej w elektryczną	75
10. Prądnicę prądu stałego	85
11. Prądnicę prądu zmiennego	101
12. Silniki prądu stałego	119
13. Silniki prądu zmiennego	131
14. Transformatory, przetwornice	143
15. Akumulatory	157
16. Ogrzewanie elektryczne	167
17. Oświetlenie elektryczne	179
18. Przyrządy pomiarowe	193
19. Przesyłanie energii elektrycznej	207
20. Rozdzielanie energii elektrycznej	223
21. Sygnalizacja elektryczna	241
22. Telegrafy	253
23. Telefony	271
24. Alfabetyczny spis rzeczy	289

ROZDZIAŁ I

WIADOMOŚCI PODSTAWOWE

Czym jest elektryczność, tego nie wiemy. Wiemy tylko, że istnieje wiele zjawisk, które są dostępne dla naszych zmysłów i które mówią, że w pewnych ściśle określonych warunkach coś się dzieje. Te zjawiska zostały dokładnie zbadane i opisane, ustalono reguły, według których występują oraz nauczone się wywoływać je dowolnie i już z góry ich przebieg określać.

Od tej możliwości dowolnego wywoływania i niejako przepowiadania przebiegu zjawisk elektrycznych prowadzi droga do praktycznego zastosowania i wykorzystania elektryczności. Należą tutaj różne działy elektrotechniki: telegrafia i telefonia, przesyłanie energii elektrycznej na wielkie odległości, oświetlenie i ogrzewanie elektryczne, budowa maszyn elektrycznych, elektrochemia, zastosowanie elektryczności w medycynie, radiotechnika itd. Te wszystkie działy elektrotechniki nie mogłyby istnieć, gdyby nie istniały niewzruszalne reguły, określające, co musi się dziać wśród pewnych warunków.

Jeżeli jednak chodzi o istotę elektryczności, to nie mamy jeszcze teorii, która by wszystkie zjawiska elektryczne ostatecznie wyjaśniała i zdani jesteśmy tylko na przypuszczenia.

Pierwszą teorię elektryczności ogłosił w r. 1750 Benjamin Franklin. Wyszedł z założenia, że każde ciało posiada pewną ilość „fluidu elektrycznego”; jeżeli ciało zawiera „normalną” ilość fluidu, obecność tego fluidu niczym się nie zdradza, a ciało znajduje się w stanie „nieelektrycznym” i dopiero, gdy ciało zawiera więcej lub mniej fluidu niż w stanie normalnym, objawia ono właściwości ciała elektrycznie „naładowanego”: ciała naładowanego dodatnio — gdy istnieje nadmiar fluidu, a ujemnie — gdy istnieje niedobór fluidu.

Ta tzw. teoria unitarna elektryczności ustąpiła miej-

sca teorii dualistycznej, stworzonej w r. 1759 przez Symmera, który przypisywał każdemu ciału nieograniczone ilości fluidu dodatniego i ujemnego. Gdy te dwa rodzaje fluidu istnieją w takich samych ilościach, ich działania znoszą się, a odnośne ciało zachowuje się jak „obojętne” albo „nieelektryczne”; w razie przewagi jednego lub drugiego rodzaju fluidu, ciało jest naładowane elektrycznością dodatnią lub ujemną. Prócz tego stwierdził Symmer, że każde ciało „elektryczne” może działać na inne ciała przez pustą przestrzeń, bez czynnika łącznikowego.

Od roku 1870 zerwała nauka z fluidami. Jako ośrodek, w obrębie którego działa energia elektryczna, wprowadzono pojęcie niezwykle subtelnej i całej wszechświat przenikającej materii, którą nazwano eterem świetlnym. W roku 1873 ogłosił Maxwell teorię elektromagnetyczną energii promienistej, w której odrzucił bezpośrednio działanie elektryczności na odległość, wykazując, że pośrednikiem tych działań jest eter, a przyczynami zjawisk elektrycznych są rozgrywające się w tym eterze zmiany.

Pewne niejasności, jakimi obarczona była teoria Maxwella, usunęła teoria elektronów, która powstała około roku 1874. Teoria ta jest niejako połączeniem teorii unitarnej Franklina z teorią elektromagnetyczną Maxwella i opiera się na badaniach Helmholtza i Stoney'a.

Teoria elektronów wychodzi z założenia, że wszystkie ciała składają się z niepodzielnych chemicznie atomów, które znajdują się stale w szybkim ruchu i są przedzielone przestrzenią bez porównania większą od nich samych. Fizyka uczy, że szybkość ruchu atomów jest tym większa, im wyższa jest temperatura ciała oraz, że uczucie ciepła, powstające przy dotykaniu ciepłego ciała, jest niczym innym, jak uderzeniem atomów o nasze palce.

Atomy nie są tworamii jednolitymi, lecz każdy z nich składa się z jądra oraz z drobnutkich cząstek, które z ogromną szybkością krążą nieustannie dookoła jądra. Te krążące cząstki są właśnie elektrycznością. Nazywamy je elektronami. Mają one zawsze taką samą wielkość i wagę 1800 razy mniej niż waży atom najbliższego pierwiastka, wodoru. Elektrony krążą dookoła jądra atomowego i nie mogą oddalić się z zasięgu jego działania, ponieważ między jądrem i elektronami istnieje wzajemne przyciąganie. Stwier-

dzono mianowicie, że elektrony są elektrycznością ujemną, jądra zaś mają ładunek dodatni. Elektryczność dodatnia i ujemna przyciągają się wzajemnie, wobec czego muszą przyciągać się dodatnie jądra i ujemne elektrony.

Te elektrony atomu, które zakreślają koła najbardziej od jądra oddalone, można oderwać przez potarcie albo przez silne nagrzanie ciała. Rozporządzamy wtedy elektrycznością swobodną, wolną, a ciało zdradza brak elektryczności ujemnej, co znaczy, że ma „ładunek“ dodatni. Gdy postaramy się o to, ażeby ujemne elektrony znalazły się w pobliżu owego ciała i mogły do niego wrócić, wówczas powstaje stan równowagi między jądrem i elektronami: ciało jest elektrycznie „obojętne“ i nie zdradza żadnych objawów elektrycznych.

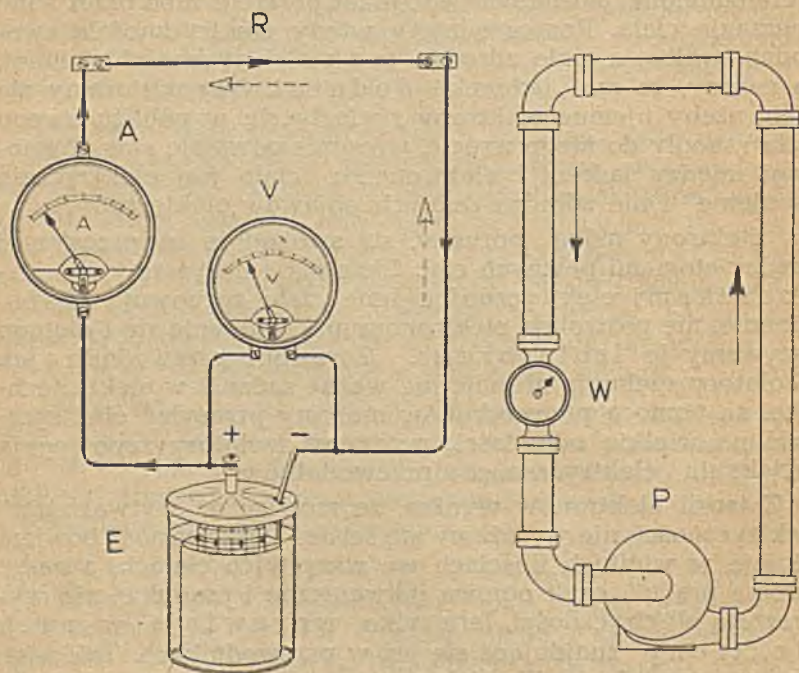
Elektrony mogą poruszać się swobodnie w przestrzeni między atomami pewnych ciał. Ciała takie nazywamy przewodnikami elektryczności. Inne ciała zachowują się odmiennie, nie pozwalają elektronom na poruszanie się i dlatego nazywamy je izolatorami. Zarówno przewodniki jak i izolatory spełniają niezmiernie ważne zadanie w elektrotechnice: za pomocą przewodników możemy przesyłać elektryczność na wielkie odległości, natomiast izolatory zapobiegają „uciekaniu“ elektryczności z przewodników.

Z teorii elektronów wynika, że mówiąc o „wytwarzaniu“ elektryczności, nie wyrażamy się ściśle. Elektryczność bowiem istnieje w wielkich ilościach we wszystkich ciałach, a nasze „źródła prądu“, czyli ogniwa galwaniczne i prądnice, nie wytwarzają elektryczności, lecz tylko wprawiają w ruch elektrony znajdujące się już w przewodnikach. Tak więc ogniwa i prądnice są dla elektronów tym, czym pompa jest dla wody.

Sprawę tę wyjaśnia poglądowo rys. 1. Widzimy tutaj po prawej stronie pompę P, która przepędza wodę przez zamknięty w sobie układ rur; ilość przepływającej wody mierzy wodomierz W. Po lewej stronie jest narysowane ogniwo galwaniczne E, którego obydwie końce, zwane zaciskami i oznaczone jako + i —, są połączone z sobą długim drutem R. Zupełnie tak samo jak woda porusza się w rurze pod wpływem pompy, tak i ogniwo przepędza elektrony przez drut R, mianowicie w kierunku strzałek oznaczonych przerywanymi kreskami. Strumień elektronów, czyli prąd elektryczny wypływa z ogniwa przez zacisk — i powraca do niego przez zacisk +.

Ten czynnik, który zmusza elektrony do przepływania przez

drut R i który istnieje w obrębie ogniwa, nazywamy siłą elektromotoryczną. Prąd przepływający przez drut R posiada pewne oznaczone natężenie, które wskazuje przyrząd pomiarowy A oraz pewne napięcie (odpowiednik siły elektromotorycznej), którego wysokość wskazuje przyrząd V .



Rys. 1.

Należy tu jednak zaznaczyć, że w elektrotechnice oznaczamy kierunek prądu wręcz przeciwnie: mówiąc o kierunku prądu mamy na myśli ten kierunek, w którym poruszałyby się „elektrony dodatnie”, gdyby takie elektrony dodatnie istniały (kierunek ten jest oznaczony na rysunku strzałkami ciągłymi).

Prąd elektryczny polega zatem na ruchu elektronów w przewodniku. Tego ruchu nie należy jednak wyobrażać sobie w ten sposób, że elektrony „płyną” przez przewodnik podobnie jak woda przepływa przez rurę. Przyjmujemy, że elektrony wykonują ruchy drgające i okrężne między atomami prze-

wodnika i dopiero wtedy, gdy działa siła elektromotoryczna, potęgują swój ruch w kierunku wymuszonym przez tę siłę. Każdy elektron robi w obrębie tego prądu nieznaczny tylko ruch postępowy, wynoszący — być może — zaledwie tysięczne części milimetra, jednak działanie siły elektromotorycznej przenosi się z jednego elektronu na następny, tak że na ogół powstaje ruch elektronów podobny do prądu. Opór, na jaki napotykają elektrony na swojej drodze, zależy od tego, jak wielki jest luz między atomami przewodnika: im bliżej siebie znajdują się te atomy, tym większy jest opór, bo tym trudniej mogą się elektrony między atomami poruszać.

Podstawą tego wszystkiego, co wiemy o elektryczności, jest znane zjawisko zaobserwowane już przed dwoma tysiącami lat: bursztyn (po grecku — elektron) potarty np. suknem, futrem lub jedwabiem przyciąga lekkie ciała (skrawki papieru, słomy itp.).

Powiadamy, że bursztyn „naelektryzował się” przez potarcie. Podobnie jak bursztyn, elektryzują się przez potarcie wszystkie ciała. Jedne z nich słabiej — inne silniej, zależnie od tego, czym były pocierane; konieczne jest tylko, ażeby ciała pocierane i pocierające nie były jednakowego rodzaju (do doświadczeń takich nadaje się przede wszystkim szkło, żywica, siarka, celuloid).

Gdy na nitce zawiesimy potartą suknem laskę żywicy i zbliżymy do niej drugą, podobnie naelektryzowaną laskę żywicy, zobaczymy, że obydwie laski odpychają się wzajemnie. Gdy jednak do zawieszonej na nitce laski żywicy zbliżymy naelektryzowaną przez potarcie suknem laską szklaną, laski przyciągają się. Podobne doświadczenie, wykonane z dwiema laskami szklanymi (a więc takimi samymi), wykaże znowu odpychanie się.

Bez względu na to, jakie ciało poddamy naelektryzowaniu, każde z nich zachowywać się będzie bądź jak szkło, bądź jak żywica w powyższym doświadczeniu: będzie ono albo przyciągało żywicę i odpychało szkło, albo odwrotnie. Wynika z tego, że istnieją dwa różne stany elektryczne. Dwa ciała naelektryzowane „jednoimiennie”, czyli tak samo — odpychają się, a przyciągają się dwa ciała naelektryzowane „różnoimiennie”.

Te dwa różne stany elektryczne nazywano dawniej stanem szklanym i stanem żywicznym. Dzisiaj naelektryzowanie szkla-

ne nazywamy dodatnim (+), naelektryzowanie żywiczne — ujemnym (—). Nazwy te, zapożyczone z algebry, mówią, że wspomniane dwa stany elektryczne okazują podobne przeciwieństwo, jak dodatnie i ujemne wielkości algebraiczne: dodane do siebie znoszą się wzajemnie, czyli zobojętniają się. Gdybyśmy zawiesili obok siebie na nitkach dwie laski, naelektryzowane jednakowo silnie, jedną szklaną, drugą żywiczną, wówczas zauważylibyśmy, że one nie działałyby wcale na inne ciała naelektryzowane ani nie podlegałyby żadnemu działaniu elektrycznemu; o ile bowiem jedna laska przyciąga, druga odpycha. Przy każdym sposobie elektryzowania występują zawsze obydwie stany elektryczne, dodatni i ujemny, w jednakowym stopniu.

Znak naelektryzowania (+ albo —) można rozpoznać za pomocą tzw. proszku elektroskopowego. W słoiku, zamkniętym siatką bawełnianą, znajduje się mieszanina sproszkowanej siarki z minią. Przy wysiewaniu przez siatkę ziarenka minii elektryzują się przez tarcie dodatnio, ziarenka siarki—ujemnie. Ciało naelektryzowane dodatnio przyciągają tylko ziarenka siarki i okrywają się żółtym proszkiem, odpychając minię, ciała ujemne okrywają się czerwoną minią. Po zabarwieniu można poznać znak naelektryzowania.

Gdy silnie naelektryzowanym ciałem dotkniemy kawałka szkła lub żywicy, możemy stwierdzić za pomocą proszku elektroskopowego, że ciało dotknięte przeszło również w stan elektryczny, jednak ten stan istnieje tylko w punkcie dotkniętym i w najbliższym jego otoczeniu.

Gdy dotkniemy w podobny sposób kawałka metalu, który połączyliśmy drutem z ziemią, nie znajdziemy ani śladu naelektryzowania. Jeśli jednak ten sam metal zawiesimy na nitce i usuniemy drut łączący go z ziemią, przekonamy się, że metal elektryzuje się i to nie tylko w punkcie dotkniętym, ale i na całej swojej powierzchni, a naelektryzowany w ten sposób, przyciąga lub odpycha (zależnie od znaku) szkło potarte, czyli zachowuje się jak te ciała, na których stan elektryczny wywołany był wprost przez potarcie. Taki odosobniony od ziemi albo — jak się mówi w technice — izolowany kawałek metalu można naelektryzować bezpośrednio, uderzając go np. futrem albo sukniem. Naelektryzuje się on wtedy również na całej swojej powierzchni.

Jeżeli do zawieszzonego na nitce, naelektryzowanego metalu przytkniemy choćby na najkrótszą chwilę drut połączony

z ziemią, znikają bez śladu wszelkie objawy elektryczne, które metal uprzednio wykazywał. W naelektryzowanym metalu znajdował się więc jakiś czynnik, którego obecność była właśnie przyczyną dostrzegalnych objawów elektrycznych, po drucie zaś, którym dotknęliśmy metalu, czynnik ten uszedł do ziemi, podobnie jak woda ze zbiornika uchodzi rurą w dół. Czynnik ten nazywamy elektrycznością, a o metalu i o drucie mówimy, że przewodzą elektryczność, że są przewodnikami.

Każdy izolator można naelektryzować przez potarcie, a z metalem można to zrobić wtedy tylko, gdy jest izolowany od ziemi.

Jeżeli jakimkolwiek ciału nadamy stan elektryczny, tj. „naładujemy” to ciało, np. dodatnio, wówczas cząstki jednoimiennie elektryczności starają się nawzajem odepchnąć, czyli znajdują się w stanie pewnego napięcia. W tym napięciu naładowanego ciała tkwi praca zużyta na naładowanie. W otoczeniu miejsca naładowanego występują siły przyciągające i odpychające. Przestrzeń, w obrębie której te siły występują, nazywamy polem elektrostatycznym, a linie, wzdłuż których owe siły działają — liniami sił.

Ładunek elektryczny znajduje się — wskutek odpychania się cząstek jednoimiennych — zawsze na powierzchni ciała i rozdziela się odpowiednio do kształtu geometrycznego ciała. Jeżeli ciało jest ostro zakończone, tam właśnie gromadzi się najwięcej elektryczności; jej napięcie może być tak wielkie, że powietrze otaczające ostrze nie izoluje już wystarczająco i elektryczność z ostrza wypływa. Dlatego, gdy w praktyce operujemy wysokimi napięciami, unikamy przewodników o ostrych brzegach albo otaczamy je izolatorami o kształtach zaokrąglonych.

Stosunek ilości elektryczności na naładowanym ciele do uzyskanego napięcia nazywamy pojemnością. Jeżeli do izolowanego przewodnika, np. do kuli metalowej doprowadzimy pewną ilość elektryczności, wówczas rozdziela się ona na powierzchni kuli, ponieważ elektryczność ma — podobnie jak gazy — dążność do rozprężania się i jeżeli warunki na to zezwalają — do opuszczania ciała, na którym się znajduje. Im większa kula, tym większa jej pojemność. Im więcej elektryczności doprowadzimy do kuli, z tym większą siłą rozpręży się ona. Im większym stanie napięcia się znajduje i tylko izolujące otoczenie (powietrze) zapobiega jej „ucieczce”.

W Głiwicach, ul. Przemysłu, 11
SZKOŁA CHEMII



Gdy dwie kule, z których jedna ma promień 1 cm, druga 2 cm, naładujemy tak samo wielkimi ilościami elektryczności, napięcie będzie zależało od powierzchni kuli, co znaczy, że napięcie na pierwszej kuli o średnicy 1 cm będzie 4 razy większe od napięcia kuli o średnicy 2 cm, ponieważ powierzchnie obydwu kul mają się do siebie jak 1 : 4. Mniejsza kula ma mniejszą pojemność niż większa.

Jeżeli ilość elektryczności, doprowadzonej do kul, nazwiemy Q , a literą r oznaczymy promień kuli, otrzymamy iloraz zwany potencjałem. Potencjał V pierwszej kuli wynosi $Q : r_1$, czyli $V = Q$, potencjał drugiej wynosi $Q : r_2$. Gdy pomnożymy potencjał każdej kuli przez jej pojemność—otrzymamy: dla pierwszej kuli $\frac{Q}{r_1} \cdot r_1$ dla drugiej $\frac{Q}{r_2} \cdot r_2$, czyli w obydwu przypadkach tę samą ilość elektryczności Q .

Nie posiadamy miary absolutnej dla potencjału. Pod tym względem możemy tylko porównywać ciała ze stanem elektrycznym kuli ziemskiej. Pojemność kuli ziemskiej jest bardzo wielka. Napięcia tej kuli nie możemy podwyższyć ponad wartość zerową przez doprowadzenie do niej największych nawet ładunków elektrycznych. Dlatego każdy przewodnik, połączony przewodząco z ziemią, ma napięcie albo potencjał „zero”. Jeżeli potencjał ciała jest wyższy od potencjału ziemi, nazywamy to ciało dodatnio elektrycznym; jeżeli potencjał jest niższy od potencjału ziemi, nazywamy ciało ujemnie elektrycznym.

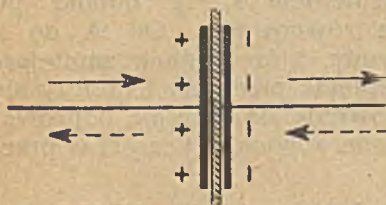
Jednostką pojemności jest f a r a d (w skróceniu F). Nazwę tę przyjęto dla uczczenia pamięci fizyka angielskiego Faradaya. Farad jest jednostką bardzo wielką. Jednostką praktyczną pojemności jest m i k r o f a r a d, czyli milionowa część farada (w skróceniu μF).

Pojemność przewodnika zależy nie tylko od jego kształtu i wielkości, lecz także od zdolności izolacyjnej jego otoczenia. Pojemność zmienia się wybitnie, gdy w pobliżu znajdują się przewodniki naładowane albo połączone przewodząco z ziemią. Tę właściwość wykorzystano do budowy przyrządów o wielkiej pojemności. W tym celu obok naładowanego przewodnika umieszczamy podobny przewodnik uziemiony (tj. połączony przewodząco z ziemią) albo przewodnik naładowany przeciwnie, a obydwie te przewodniki przedzielamy izolatorem, czyli tzw. dielektrykiem. Powstaje w ten sposób k o n d e n s a t o r, czyli przyrząd do gromadzenia elektryczności. Kondensator to po prostu dwie płytki metalowe, czyli tzw. o k ł a d-

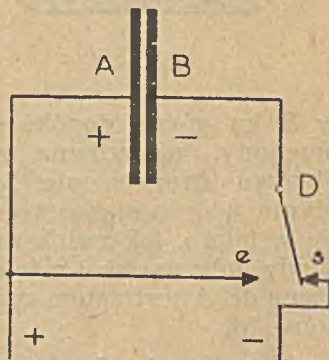
ki, przedzielone warstwą izolatora. Pojemność takiego kondensatora zależy od powierzchni użytych okładek, od ich wzajemnego oddalenia oraz od właściwości izolatora (dielektryka).

Przekrój kondensatora widzimy na rys. 2. Jeżeli do okładki dodatniej (+) doprowadzimy elektryczność dodatnią, to po stronie ujemnej (—) taka sama ilość elektryczności dodatniej zostaje odepchnięta albo — co na jedno wychodzi — taka sama ilość elektryczności ujemnej zostaje wessana. Jeżeli od góry odprowadzimy elektryczność dodatnią (doprowadzimy ujemną), u dołu dopływa elektryczność dodatnia (odpływa ujemna). Takie dodatnie i ujemne uderzenia elektryczności powstają mimo obecności dzielącego obydwie okładki izolatora, tak jakby połączenie między okładkami nie było przerwane. Kondensator nie stanowi więc przeszkody dla elektryczności, która trwale zmienia swoje znaki (taką elektryczność nazywamy prądem zmiennym): w chwili elektryzowania jednej okładki odpływa elektryczność z drugiej. Dielektryk jest niejako przeponą, przez którą przenosi się zmieniający się stale nacisk. Natomiast nacisk, działający na przeponę jednostajnie, nie może się przenosić, wobec czego kondensator nie przepuszcza takiej elektryczności, która nie zmienia znaków (jest to prąd stały). Kondensator zamyka więc drogę prądowi stałemu, a przepuszcza prąd zmienny.

Kondensatory spełniają ważne zadanie w radiotechnice oraz w tych urządzeniach (np. w telegrafii), gdzie stosujemy



Rys. 2.

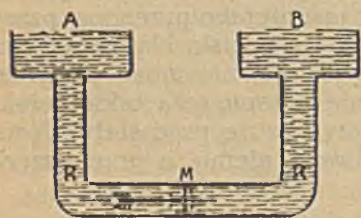


Rys. 3.

tzw. przekaźniki, czyli przyrządy, które są wprowadzane w ruch uderzeniem słabego prądu właśnie za pośrednictwem kondensatora. Schemat kondensatora, przeznaczonego do tego rodzaju zadań, widzimy na rys. 3. Okładki A i B są przedzielone cienką warstwą dielektryka (w tym przypadku powietrza). Gdy do

okładki A doprowadzimy elektryczność dodatnią, a do okładki B — ujemną, obydwie okładki napełniają się elektrycznością („ładują się”). Takie ładowanie trwa dopóty, dopóki dźwignia D spoczywa na styku *s*. Gdy przesuniemy D do styku *e*, przerywamy tym samym dopływ elektryczności do kondensatora i równocześnie stwarzamy połączenie między okładkami A i B. Ponieważ elektryczność zgromadzona w kondensatorze odpływa momentalnie, powstaje niejako uderzenie elektryczne, które podobnie szybko znika, jak szybko powstaje.

Rys. 4 wyjaśnia poglądowo, na czym polega działanie kondensatora. Widzimy tutaj dwa napełnione wodą naczynia A i B, umieszczone na takiej samej wysokości i połączone rurą R—R. W rurze jest osadzona podatna przepona M, wykonana np. z gumy. Dopóki woda w naczyniach A i B ma taki sam poziom, przepona M zachowuje się biernie, ponieważ z obydwu stron



Rys. 4.

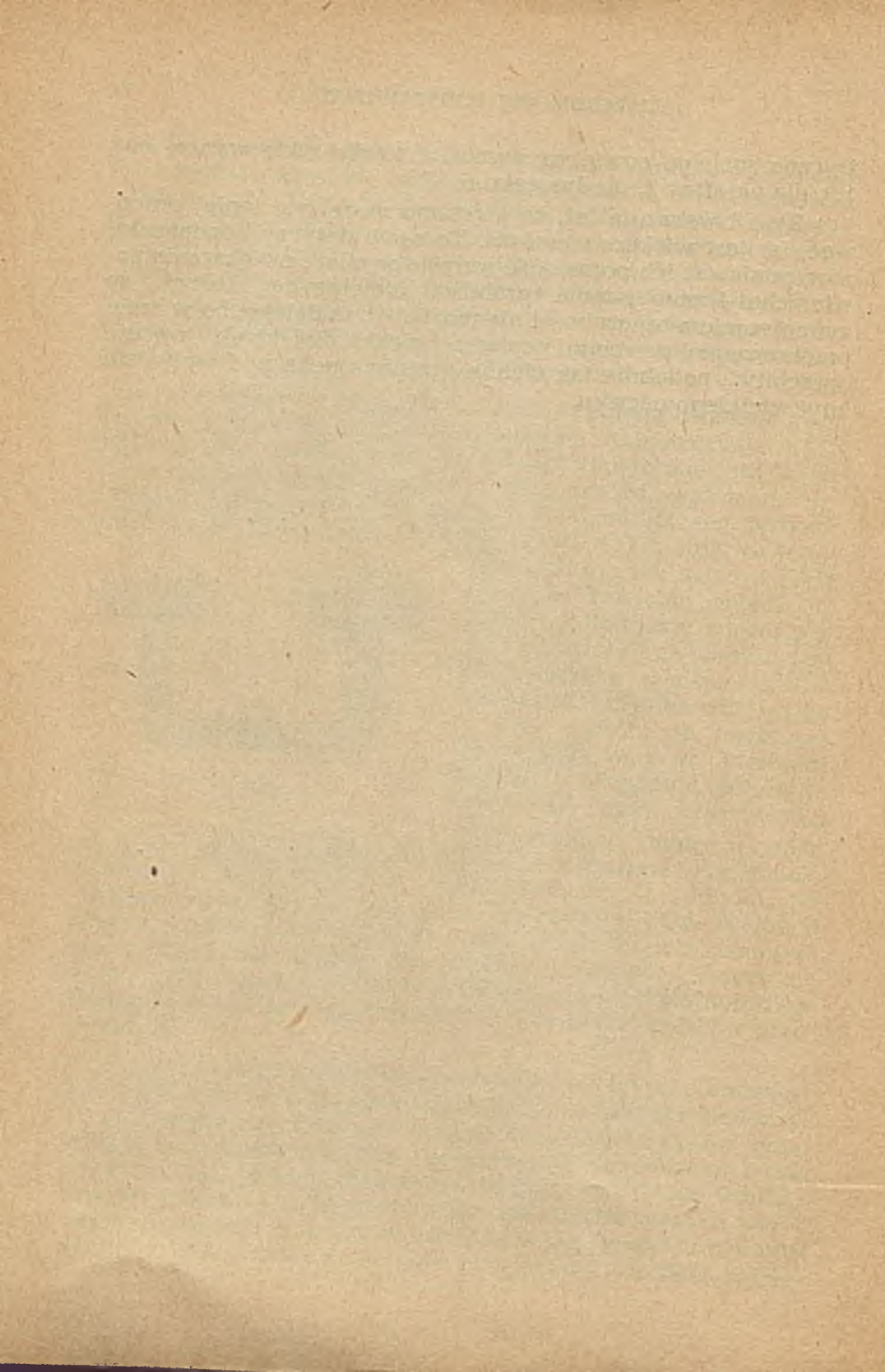
działa na nią tak samo wielkie ciśnienie. Ten stan zmienia się, gdy do A dolejemy więcej wody. Ciśnienie słupa wody A jest teraz większe od ciśnienia B, a wyrównanie ciśnień odbywa się w ten sposób, że przepona M wygina się w kierunku strzałki i przyjmuje położenie oznaczone linią kreskowaną.

Ruch przepony napędza wodę w B ku górze, dopóki ciśnienie B, zwiększone o ciśnienie przepony, nie zrówna się z ciśnieniem A, tj. dopóki po obydwu stronach nie zapanuje równowaga. Od A do B płynie więc niejako strumień wody, który jednak zmniejsza się w miarę, jak zwiększa się napięcie przepony i kończy się wtedy, gdy nacisk i ciśnienie zrównają się. Energia doprowadzona do A jest zatem zgromadzona w większej części w przeponie M.

Naczynia A i B odpowiadają obydwu okładkom kondensatora, przepona M odpowiada dzielącemu te okładki dielektrykowi. Decydującym czynnikiem jest tutaj dielektryk. Im lepiej izoluje taki dielektryk, tym lepiej pracuje kondensator i tym większe ilości elektryczności może przejąć, czyli tym większa jest jego pojemność. Tę właściwość ciał dielektrycznych wyrażamy za pomocą liczb. Liczbę ustaloną w ten sposób nazywamy stałą dielektryczną. Gdy przyjmiemy, że stała dielek-

tryczna suchego powietrza wynosi 1, to dla szkła wynosi ona 1,9, dla parafiny 2, dla łąszczku 5.

Rys. 4 wskazuje też, że przepona może tym lepiej pracować, im jest większa i cieńsza. To samo dotyczy kondensatorów, ponieważ ich pojemność wzrasta w miarę zwiększania powierzchni i zmniejszania grubości dielektryka. Jednak ze zmniejszaniem tej grubości nie można iść za daleko, bo w razie przekroczenia pewnego napięcia cienki dielektryk zostaje „przebity”, podobnie jak cienka przepona pęka pod wpływem zbyt wielkiego nacisku.



ROZDZIAŁ II

ELEKTRYCZNOŚĆ GALWANICZNA

Lekarz włoski Galvani przeprowadzał w roku 1790 badania nad „siłą życiową”. Parę ud żabich zawiesił na haczykach miedzianych na kracie żelaznej. Za każdym razem, gdy końce ud pod wpływem wiatru uderzały o kratę, ich mięśnie drgały i powstawał wyraźny ruch. Galvani widział w tym zjawisku objaw „siły życiowej”, w którą wówczas wierzono, nie przypuszczał jednak, że działa tu elektryczność.

Dopiero rodak Galvaniego, Aleksander Volta, zbadał dokładnie warunki, wśród których uda wykonywały ruchy i stwierdził, że drgają one tylko wtedy, gdy między dwoma różnymi metalami istnieje połączenie, czyli gdy istnieje — jak dzisiaj mówimy — obwód zamknięty. W trakcie dalszych badań stwierdził Volta, że uda żabie nie mają żadnych szczególnych właściwości, gdyż rolę łącznika między obydwoma metalami (żelazem i miedzią) spełnia słona woda, zawarta zarówno w udach żabich jak i w każdej innej tkance zwierzęcej. Chodziło więc zasadniczo o umieszczenie dwóch różnych metali w płynie zawierającym sól oraz o przewodzące połączenie z sobą tych obydwu metali.

Na podstawie tych spostrzeżeń zbudował Volta w roku 1799 swoje ogniwo, które przedstawia schematycznie rys. 5. Widzimy tutaj naczynie szklane, napełnione roztworem kwasu siarkowego w wodzie; w płynie umieszczone są dwie płyty metalowe, jedna miedziana (Cu), druga cynkowa (Zn), a do każdej płyty przylutowany jest jednym końcem drut. Gdy drut ten przetniemy i jego końce połączymy z małą żarówką elektryczną, świeci ona i gaśnie z chwilą przerwania połączenia. Gdy obydwie końce drutów położymy obok siebie na języku, odczuwamy lekkie szczypanie, które znika po oddaleniu jednego z drutów od języka (dopóki obydwie druty leżały na języku, istniało połączenie między obydwoma metalami ogniwa za po-

średnictwem języka). Gdy jeden drut przymocujemy do pilnika, a końcem drugiego zaczniemy przeciągać po powierzchni pilnika, zobaczymy (w zaciemnionym pokoju) małe iskierki, które są niczym innym, jak miniaturowymi błyskawicami lub łukami świetlnymi, jakie w godzinach nocnych rozjaśniają nasze ulice.

Tutaj wylania się pytanie, czym jest ów tajemniczy czynnik, którego istnienie zdradzają opisane zjawiska. Pewne wyjaśnienie daje nam zachowanie się samego ogniwa. Widać mianowicie, że z powierzchni płyty cynkowej wznoszą się w górę banieczki gazu. Te banieczki świadczą, że w ogniwie odbywają się przemiany chemiczne. Te właśnie przemiany chemiczne są źródłem elektryczności.



Rys. 5.

Wiadomo, że woda składa się z tlenu i wodoru. W naszym ogniwie cynk przejmuje pod wpływem kwasu siarkowego tlen zawarty w wodzie i łączy się z nim w siarczan cynku, który znów rozpuszcza się w wodzie, a pozostaje uwolniony już wodór, który perli się w postaci banieczek. Jednak przy powstawaniu elektryczności zakwaszona woda nie spełnia głównego zadania. Jeżeli bo-

wiem w naczynie z zakwaszoną wodą wstawimy dwie płyty cynkowe, a więc płyty z tego samego metalu i połączymy je drutem, płyty ulegają wprawdzie stopniowo rozkładowi, ale nie występują opisane wyżej zjawiska. Wynika z tego, że przyczyną powstawania elektryczności jest różnorodność obydwu metali i różnorodność oddziaływania chemicznego. Ta różnorodność nadaje obu płytom różne stany elektryczne. Mówimy, że między obiema płytami, czyli elektrodami (dosłownie: „drogami elektryczności”) istnieje różnica potencjałów.

Elektryczność (w tym przypadku elektryczność nazwana „galwaniczną”) zachowuje się podobnie jak woda. Gdy otworzymy kurek wodociągowy, woda wypływa strumieniem w podstawione naczynie bądź też napędza turbinę itp. Woda dopływa do kurka pod pewnym ciśnieniem, wytwarzanym przez maszyny w zakładzie wodociągowym. Podobnie i elektryczność dopływa do naszych mieszkań z elektrowni za pośrednictwem

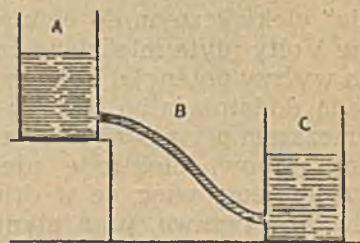
przewodów, a jej dopływ możemy w każdej chwili przerwać przez przekręcenie wyłącznika. Różnica polega jednak na tym, że rurami wodociągowymi dopływa materia, a przewodami elektrycznymi energia.

Wyobraźmy sobie dwa naczynia napełnione wodą i umieszczone jedno wyżej, drugie niżej, jak na rys. 6. Między zwierciadłami wody istnieje różnica poziomów. Tak samo jest z ogniwem galwanicznym: obydwie elektrody nie znajdują się na takim samym „poziomiu” elektrycznym; między tymi poziomami istnieje różnica potencjałów.

Gdy naczynie umieszczone wyżej połączymy rurą z naczyniem znajdującym się niżej, jak na rys. 7, woda z naczynia A płynie rurą B do naczynia C, dopóki istnieje różnica poziomów. To samo odbywa się w ogniwie, gdy jego obydwie elektrody połączymy zewnątrz drutem: wskutek różnicy potencjałów płynie przez drut prąd elektryczny, którego obecność zdradzają objawy dostępne dla naszego dotyku, smaku i wzroku.



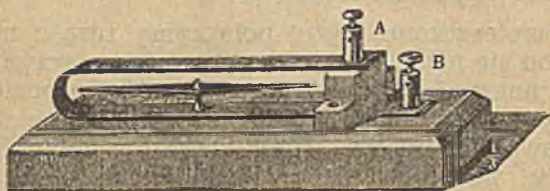
Rys. 6.



Rys. 7.

Istnienie elektryczności w ogniwie możemy stwierdzić w inny jeszcze sposób, mianowicie za pomocą igły magnesowej, zawieszanej w myśl rys. 8 na ostrzu i umieszczonej wewnątrz wygiętego paska miedzianego, który jest umocowany na deszczulce. Na obydwu końcach tego paska umieszczamy po jednej śrubce zaciskowej A i B. Przyrząd cały, zwany galwanoskopem, ustawiamy w ten sposób, ażeby igła magnesowa wskazywała kierunek z południa na północ. Gdy teraz jeden koniec przeciętego drutu z rys. 5 połączymy z zaciskiem A, a drugi z zaciskiem B, zobaczymy, że igła magnesowa odchyli się ze swego pierwotnego położenia i, po wykonaniu kilku

drgań, pozostaje w tym nowym położeniu dopóty, dopóki ogniwo jest załączone do A i B. Gdy teraz przemienimy połączenie ogniwa, czyli drut, który prowadził do A, dołączymy do B, a drut wiodący do B doczepimy do A, wówczas igła magnesowa odchyła się również, ale w przeciwnym kierunku niż uprzednio (choć prąd do niej nie dopływa bezpośrednio). Wynika z tego, że igła odchyła się pod pośrednim wpływem prądu elektrycznego oraz, że prąd elektryczny ma pewien oznaczony kierunek i że kierunek ten możemy dowolnie odwracać.



Rys. 8.

Doświadczenia powyższe mówią, że prąd elektryczny „płyynie” — podobnie jak woda — od elektrody o wyższym „poziomie” elektrycznym do elektrody o poziomie niższym. W ogniwie Volty płyta miedziana znajduje się na wyższym poziomie, ma wyższy potencjał i dlatego płytę miedzianą nazywamy elektrodą dodatnią albo biegunem dodatnim ogniwa (+), gdy tymczasem płyta cynkowa, mająca niższy poziom, niższy potencjał, stanowi elektrodę ujemną, czyli biegun ujemny (-). Przyjmujemy więc, że w drucie, łączącym obydwie elektrody zewnątrz ogniwa, prąd płynie w kierunku od dodatniej elektrody miedzianej do ujemnej elektrody cynkowej, a ruch ten odbywa się pod wpływem różnicy potencjałów, czyli pod wpływem „ciśnienia” elektrycznego. To ciśnienie elektryczne nazywamy siłą elektromotoryczną.

Różnica potencjałów powstaje wtedy tylko, gdy w zakwaszonym płynie są zanurzone dwie różne elektrody. Między elektrodami z takiego samego materiału różnice elektryczne istnieć nie mogą. Jeżeli więc w zakwaszonym płynie umieścimy np. ołów i cynk zamiast miedzi i cynku albo srebro i żelazo itp., powstają również rozmaicie wielkie różnice potencjałów, rozmaicie wielkie siły elektromotoryczne, a wielkość tych różnic zależy od rodzaju materiałów, z których są sporządzone obydwie elektrody. Kształt i wymiary elektrod nie odgrywają żadnej roli: ogniwo wywiązuje zawsze taką siłą elektromotorycz-

ną, jaka odpowiada różnicy potencjałów obydwu elektrod. Dla tego siła elektromotoryczna ogniów może być różna zależnie od tego, z jakich materiałów są wykonane elektrody.

Te materiały można uszeregować w ten sposób, że każdy człon tego szeregu w zetknięciu z następnym staje się dodatnio elektrycznym, np. węgiel, platyna, srebro, rtęć, miedź, żelazo, cynk, glin, magnez. A zatem: węgiel w zetknięciu z jakimkolwiek z dalszych członów staje się dodatnio elektrycznym. Im bardziej są od siebie oddalone w tym szeregu różne materiały, tym większą wywiązują siłę elektromotoryczną. Dlatego ogniwo zestawione np. z węgla i cynku daje większą siłę elektromotoryczną niż złożone z miedzi i cynku.

Siła elektromotoryczna nie powstaje pod wpływem samego tylko zetknięcia się różnych przewodników, gdyż nieodzowne jest ich wzajemne oddziaływanie chemiczne. Ażeby to oddziaływanie zwiększyć, umieszczamy elektrody w odpowiednich płynach zwanych elektrolitami (np. w ogniwie Galwaniego elektrolitem jest roztwór kwasu siarkowego w wodzie).

Ogniwo działa tak długo, dopóki odbywają się w nim przemiany chemiczne. Wskutek tych przemian rozkłada się także część wody na jej części składowe, tj. tlen i wodór. Tlen łączy się z cynkiem, wodór osiada częściowo na miedzi jako gaz, a warstwa tego gazu przeciwdziała coraz bardziej stykaniu się metalu z elektrolitem, tak że ogniwo przestaje wreszcie pracować. Takie osiadanie gazu na elektrodzie dodatniej nazywamy polaryzacją.

Polaryzację można zwalczać w dwojaki sposób: albo przez wymywanie i ponowne zanurzenie elektrody (co pomaga tylko na krótki czas), albo przez dodanie do elektrolitu (bądź do elektrody węglowej) ciała bogatego w tlen (wolny tlen łączy się z wydzielonym wodorem w wodę, wobec czego wodór nie może już osiadać na elektrodzie). Zabieg taki nazywamy depolaryzacją, a ciało bogate w tlen—depolarizatorem. W ogniwach złożonych z cynku i miedzi za depolaryzator służy z reguły siarczan miedzi; w ogniwach, których elektrody składają się z cynku i węgla — dwutlenek manganu (dodany do elektrody węglowej).

Ogniwa, których działanie słabnie wskutek polaryzacji, nazywamy ogniwami niestałymi; nadają się one tylko do krótkiej i dorywczej dostawy prądu (np. latarki kieszonkowe, dzwonki domowe). Ogniwa, w których szkodliwe skutki

polaryzacji są usunięte, nazywamy ogniwami stałymi. Jeżeli elektrolit ogniwa jest zarobiony z pewnymi składnikami w gęstą pastę, powstaje ogniwo „suche”.

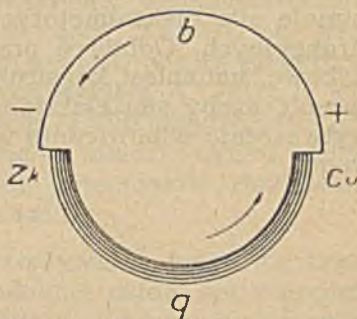
W pewnych ogniwach elektrody dodatnie zrobione są nie z miedzi, lecz z węgla. Składa się na to kilka przyczyn. Jak wiemy, różnica potencjałów powstaje wskutek różnic w działaniu chemicznym, jakiemu poddają się elektrody. Im większa różnica potencjałów, tym większa siła elektromotoryczna. Ażeby uzyskać wielką siłę elektromotoryczną, możemy zamiast miedzi zastosować taki materiał, który jest słabiej atakowany przez elektrolit, albo, co na jedno wychodzi, zamiast cynku wstawić elektrodę z takiego materiału, który przy powstawaniu prądu rozkłada się jeszcze silniej. W praktyce posługujemy się pierwszym sposobem. Węgiel jest tani w porównaniu z miedzią. Wskazane jest więc stosowanie zamiast miedzi materiału zastępczego i odpornego. Takim właśnie materiałem jest węgiel retortowy, uzyskiwany przy wyrobie gazu świetlnego.

Że cynk jest nadżerany przez elektrolit podczas pracy ogniwa, to rzecz zrozumiała: jako odpłatę otrzymujemy prąd elektryczny. Jednak nadżeranie cynku odbywa się w pewnych ogniwach także i wtedy, gdy one nie pracują, co jest jednoznaczne z marnowaniem materiału. Skutecznym środkiem zapobiegawczym jest tutaj ortęciowanie („amalgamowanie”) cynku, czyli powleczenie jego powierzchni cienką warstwą rtęci. Taki ortęciowany cynk nie zużywa się prawie wcale wtedy, gdy ogniwo nie oddaje prądu i dopiero podczas pracy ulega działaniu elektrolitu. Działanie warstewki rtęci na elektrodzie cynkowej jest następujące: wodór, który wydziela się podczas pracy ogniwa, osiada w postaci banieczek na powierzchni cynku i chroni go przed elektrolitem (jest to tzw. polaryzacja ochronna); z chwilą uruchomienia ogniwa banieczki wodoru wędrują do elektrody dodatniej, gdzie przejmuje je depolaryzator, a cynk jest gotowy do dalszej pracy (rtęć nie bierze najmniejszego udziału w przemianach chemicznych). Używanie ortęciowanego cynku w takich ogniwach, w których depolaryzator jest rozpuszczony w elektrolicie, jest bezcelowe; tutaj depolaryzator pochłania wodór w obrębie wszystkich części ogniwa. Tego rodzaju ogniwa mają elektrodę cynkową urządzoną do podnoszenia (przykład: ogniwo z kwasem chromowym jako depolaryzatorem).

Wyobraźmy sobie, że ogniwo galwaniczne z rys. 5 ma kształt taki jak na rys. 9. Zamiast słoika szklanego widzimy

tutaj napełnioną elektrolitem rurkę szklaną *g*. W miejscu Cu znajduje się elektroda miedziana, w miejscu Zk elektroda cynkowa, a każda z tych elektrod jest zakończona śrubą zaciskową; do tych śrub można przytwierdzać końce drutu *b*, który łączy przewodząco obydwie elektrody. Drut *b* nazywamy obwodem zewnętrznym ogniwa. Wnętrze samego ogniwa, począwszy od zacisku Cu przez *g* do zacisku Zk, nazywamy obwodem wewnętrznym. W ogniwie, które jest „zamknięte” przez drut *b*, prąd płynie w obwodzie zewnętrznym od miedzi (+) do cynku (—), a w obwodzie wewnętrznym od cynku (—) do miedzi (+). W obwodzie zewnętrznym prąd napotyka na opór zewnętrzny, który musi być pokonany i który wpływa ujemnie na energię ogniwa. Prócz tego prąd napotyka na poważny opór wewnętrzny w obwodzie wewnętrznym przy przedostawaniu się przez warstwę elektrolitu.

Ten opór wewnętrzny powoduje, że w ogniwie, które nie pracuje (którego obwód jest „otwarty”), różnica potencjałów jest większa niż w ogniwie oddającym prąd (w ogniwie, którego obwód jest „zamknięty”). Ażeby to zjawisko zrozumieć, musimy pamiętać, że w ogniwie otwartym, tj. nie pracującym, różnica potencjałów ma wartość najwyższą dzięki przemianom chemicznym; gdy jednak zamkniemy obwód ogniwa za pomocą drutu, tj. gdy ogniwo zaczyna oddawać prąd na zewnątrz, część prądu zużywa się na pokonanie oporu wewnętrznego, a ta zużyta część prądu jest tym większa, im mniejszy jest opór zewnętrzny.



Rys. 9.

Tym czynnikiem, pod wpływem którego prąd płynie zarówno przez obwód zewnętrzny, jak i przez obwód wewnętrzny ogniwa, jest siła elektromotoryczna. Jeżeli w naszym ogniwie z rys. 9 prąd płynie w obwodzie zewnętrznym od miedzi do cynku, dzieje się to dzięki temu, że biegun miedziany i biegun cynkowy mają pewną różnicę napięć, tzn., że między nimi istnieje pewne napięcie. Ta różnica napięć nie jest jednak tak samo wielka, jak siła elektromotoryczna,

która przepędza prąd przez obwód zewnętrzny oraz przez obwód wewnętrzny.

Zarówno w jednym, jak i w drugim obwodzie siła elektromotoryczna musi pokonywać opór; prąd, zanim przedostanie się do biegunów ogniwa, musi pokonać najpierw opór wewnętrzny ogniwa. Dlatego napięcie między biegunami (zaciskami) ogniwa, czyli tzw. napięcie międzyczaciskowe, jest w ogniwie „zamkniętym” zawsze mniejsze od siły elektromotorycznej ogniwa, mianowicie o tyle, ile wynosi strata napięcia w obwodzie wewnętrznym.

Należy więc odróżniać siłę elektromotoryczną ogniwa, czyli jego napięcie wewnętrzne od napięcia międzyczaciskowego, które istnieje między zaciskami (biegunami) ogniwa. Także maszyny elektryczne oddają prąd z pewnym oznaczonym napięciem międzyczaciskowym (istniejącym między zaciskami, z których odbieramy prąd), gdy tymczasem w ich wnętrzu istnieje siła elektromotoryczna, zależna od szczegółów konstrukcyjnych. Odbiorcę prądu interesuje napięcie międzyczaciskowe, natomiast konstruktor musi obliczyć maszynę w ten sposób, ażeby siła elektromotoryczna była wystarczająca do wytworzenia odpowiednio wysokiego napięcia międzyczaciskowego.

ROZDZIAŁ III

JEDNOSTKI POMIAROWE

Gdy chcemy zmierzyć dwa drzewa o różnej wysokości, robimy to przy pomocy metra i porównujemy z sobą wyniki pomiarów. Podobnie robimy z rozmaicie wielkimi różnicami potencjałów: mierzymy je i porównujemy. Jednostką pomiarową różnicy potencjałów bądź napięcia, bądź też siły elektromotorycznej jest wolt (w skróceniu V). To słowo związane jest z nazwiskiem A. Volty, a jednostka „wolt” odpowiada mniej więcej sile elektromotorycznej ogniwa galwanicznego, złożonego z miedzi i cynku. Celem wygodnego porównywania różnicy potencjałów zbudowano przyrządy, zwane woltomierzami.

Przez rurę wodociągową przepływa w jednostce czasu pewna oznaczona ilość wody. Podobnie dzieje się z prądem elektrycznym. Prądu tego nie widzimy, ale możemy go zmierzyć, wyzyskując np. jego działanie chemiczne. W tym celu załączamy w obwód prądu roztwór soli jakiegoś metalu, np. azotanu srebra i obserwujemy zachodzące wtedy zjawiska rozkładcze. W naszym przykładzie z roztworu wydziela się srebro. Z ilości (ciężaru) wydzielonego metalu możemy wnioskować o ilości elektryczności, jaka przepłynęła przez roztwór. Za jednostkę ilości elektryczności obrano tę ilość elektryczności, która wydziela 1,1183 miligrama srebra. Jednostkę tę nazwano kulombem (w skróceniu C), ku uczczeniu pamięci fizyka francuskiego Coulomba, który zmarł na początku 19 stulecia.

Im większe ciśnienie, tym szybciej płynie woda i tym silniejszy jest jej prąd, mierzony w litrach na sekundę. Natę-

zeniu prądu wody odpowiada w elektrotechnice n a t ę ż e n i e prądu. Działanie turbiny wodnej nie zależy od ilości wody, lecz od natężenia strumienia wody. Gdy umieścimy turbinę w spokojnym morzu, nie ruszy ona z miejsca mimo obecności olbrzymiej ilości wody, bo nie ma tam prądu wody. Natomiast ta sama turbina pracuje, gdy doprowadzimy do niej cienki strumień wody, który spada z dużą siłą z wielkiej wysokości.

Jeżeli z roztworu azotanu srebra wydziela się w krótkim czasie wiele metalu, czyli jeżeli w obrębie krótkiego czasu znajduje się w ruchu wielka liczba kulombów, wtedy natężenie prądu jest wielkie. I na odwrót, natężenie prądu jest małe, gdy mała liczba kulombów odbywa ruch w przeciągu dłuższego czasu. Jednostką natężenia prądu jest a m p e r (w skróceniu A). Nazwę przyjęto ku czci fizyka francuskiego A. M. Ampère'a. Jednostkę natężenia, czyli 1 amper ma prąd, który w jednostce czasu, sekundzie, wydziela 1,183 miligrama srebra z roztworu azotanu srebra. Ażeby zmierzyć natężenie prądu, wystarczy stwierdzić, ile metalu wydziela prąd z roztworu w pewnym oznaczonym czasie. Metoda taka byłaby w praktyce zbyt kłopotliwa. Dlatego zbudowano przyrządy do pomiarów natężenia prądu, zwane amperomierzami.

Miarą energii albo pracy elektrycznej jest iloczyn czasu, natężenia prądu i napięcia. Energia jest zawsze iloczynem trzech wielkości. Np. energia wodospadu, a więc praca, jaką wodospad może wykonywać, zależy nie tylko od ilości wody, jaka spływa w każdej sekundzie, ale także i od wysokości spadu, czyli od ciśnienia wody i czasu. Energia burzy zależy z jednej strony od ilości poruszającego się powietrza, z drugiej strony od ciśnienia, jakie to powietrze wywiera. Energia spadającego ciała zależy od jego masy i od wysokości spadu. Podobnie energia, jaką posiada prąd elektryczny, zależy po pierwsze od jego natężenia, po drugie od jego napięcia. W każdym czasie, jak długo prąd płynie, posiada on pewną oznaczoną energię, w każdym czasie może prąd wykonywać pewną pracę.

Od energii należy odróżniać m o c. Gdy wykorzystujemy wodospad za pomocą turbiny i w tym celu przepuszczamy liczbę litrów wody, przepływających w sekundzie, przez wysokość ciśnienia, wtedy iloczyn „litry na sekundę \times wysokość ciśnienia” wyraża moc turbiny. Miarą tej mocy są „litry na sekundę \times metry” albo, gdy zamiast litrów wstawimy masę,

„metry \times kilogramy na sekundę”. Mówimy wtedy: kilogramometry na sekundę i piszemy: kgm/sek.

Przykład. — W wodospadzie o wysokości spadu 6 metrów przepływa na godzinę 144 m^3 , czyli $144\,000 \text{ kg}$ wody. W każdej sekundzie przepływa więc $144\,000 : 3\,600 = 40 \text{ kg}$ wody. Moc tego wodospadu wynosi $40 \text{ kg/sek} \times 6 \text{ m} = 240 \text{ kgm/sek}$.

W technice posługujemy się także większą jednostką mocy, mianowicie koniem mechanicznym (w skróceniu KM). Jeden koń mechaniczny może w jednej sekundzie podnieść 75 kg na wysokość 1 m , czyli wykonać pracę mechaniczną 75 kgm/sek .

Przykład. — Wodospad, którym przelewa się w każdej sekundzie $1\,500$ litrów wody z wysokości 4 m , posiada moc $1500 \cdot 4 = 6000 \text{ kgm/sek}$, czyli $6000 : 75 = 80 \text{ KM}$. Gdyby wysokość spadu wynosiła 40 m , a ilość wody na sekundę 150 litrów, rozwijałby on również moc 80 KM , ponieważ $150 \cdot 40 = 6000 \text{ kgm/sek}$, wobec czego $6000 : 75 = 80 \text{ KM}$.

Mocy wodospadu, wyrażonej w „litrach lub kilogramach na sekundę” odpowiada w elektrotechnice iloczyn „woltów \times amperów”. Ten iloczyn, zwany w a t e m (w skróceniu W), wskazuje moc prądu elektrycznego (stałego). Nazwę „wat” przyjęto od nazwiska J. Watta, konstruktora maszyny parowej.

Wat jest jednostką za małą dla celów technicznych. W użyciu jest jednostka tysiąc razy większa, czyli kilowat (w skróceniu kW).

Przykład. — Prąd o natężeniu 50 amperów i napięciu 220 woltów posiada moc $50 \cdot 220 = 11\,000$ watów, czyli 11 kilowatów.

„Koni mechaniczne” i „kilowat” są pojęciowo identyczne, ponieważ wyrażają moc. Obecnie wyrażamy moc wyłącznie w kilowatach, a nie w koniach mechanicznych z tym, że $1 \text{ KM} = 0,736 \text{ kW} = 736 \text{ W}$, wobec czego $1 \text{ kW} = 1,36 \text{ KM}$.

Pracę (energię) źródła prądu, dostarczaną w pewnym oznaczonym czasie, możemy oznaczyć również z mocy i czasu przez pomnożenie tych dwu wartości i wyrazić w watogodzinach (w skróceniu Wh) lub w kilowatogodzinach (kWh). Watogodzina jest $1/1000$ częścią kilowatogodziny: $1 \text{ kWh} = 1\,000 \text{ Wh}$.

Przykład. — Źródło prądu o natężeniu 4 amperów i napięciu $1,5$ wolta, a więc o mocy $4 \cdot 1,5 = 6$ watów, daje w prze-

ciągu 24 godzin pracę $6 \cdot 24 = 144$ watogodzin, albo 0,144 kilowatogodziny. Tę wartość możemy przeliczyć na „koniogodziny”, ponieważ 736 watogodzin odpowiada 1 koniogodzinie.

Pracę jednego wata w czasie jednej sekundy nazywamy watosekundą.

Tę ilość elektryczności, jaka przy natężeniu 1 ampera przepływa przez przewodnik w czasie 1 sekundy, nazywamy amperosekundą. Jedna amperosekunda równa się jednemu kulombowi (str. 21). Ilość elektryczności o natężeniu 1 ampera, przepływającej przez przewodnik w czasie 1 godziny (h), nazywamy amperogodziną (Ah).

Z amperogodziny wyprowadzono również jednostkę pojemności (str. 8). Jednemu faradowi odpowiada pojemność kondensatora, który został naładowany przez 1 amperosekundę do napięcia 1 wolta. Pojemność wyrażamy także w centymetrach (cm). Np. kondensator ma pojemność 50 cm wtedy, gdy, połączony ze źródłem prądu, przejmuje taki ładunek, jaki przejąłaby kula o promieniu 50 cm.

Przyczepki „kilo”, „mega”, „mili”, „mikro”, umieszczone przed nazwami jednostek, znaczą: kilo = tysiąc razy więcej (np. kilowat = 1000 watów); mega, albo meg = milion razy więcej (np. megawat = 1000000 watów); mili = tysiąc razy mniej (np. miliamper = 1/1000 ampera); mikro (μ) = milion razy mniej (np. mikrofarad = 1/1000000 farada).

Podobnie jak woda napotyka na opór w rurze wodociągowej, tak i każdy przewodnik stawia prądowi pewien opór elektryczny. Jednak dla wody nie stanowi najmniejszej różnicy czy przepływa ona przez rurę miedzianą, ołowianą, czy żelazną. Natomiast opór elektryczny zależy od materiału, z jakiego przewodnik jest wykonany. Druk miedziany przewodzi lepiej niż drut żelazny o takiej samej długości i takim samym przekroju, srebro przewodzi lepiej niż miedź.

Ażeby określić jednostkę pomiarową oporu, wyobraźmy sobie ogniwo galwaniczne, które daje prąd o napięciu 1 wolta i którego bieguny łączy drut miedziany o przekroju 1 mm^2 , długi na kilkaset metrów. Przez tak długi drut, posiadający wielki opór, przepłynie prąd o bardzo małym natężeniu wynoszącym ułamki ampera. W miarę jednak jak będziemy skracali drut, opór będzie coraz mniejszy, a natężenie coraz większe. Natężenie przybierze wartość 1 ampera wtedy, gdy nasz drut mie-

dziany o przekroju 1 mm^2 będzie miał długość 57 m. Gdybyśmy do połączenia biegunów ogniwa użyli słupa rtęci o takim samym przekroju, otrzymalibyśmy prąd o natężeniu 1 ampera wtedy, gdy słup rtęci będzie miał wysokość 1,06 m. Opór tego słupa rtęci o długości 1,06 m i przekroju 1 mm^2 , albo też opór drutu miedzianego o przekroju 1 mm^2 i długości 57 m, stanowi jednostkę pomiarową oporu, zwaną o m e m (w skróceniu Ω). Słowo to pochodzi od nazwiska fizyka Ohma.

Ażeby więc oznaczyć wielkość oporu, musimy uwzględnić materiał, z jakiego przewodnik jest wykonany, oraz długość i przekrój przewodnika. Podobnie jak wąska rura wodociągowa stanowi dla wody większy opór niż szeroka, tak cienki drut stawia prądowi elektrycznemu większy opór niż gruby. Panuje tutaj zwyczajna proporcjonalność: drut o przekroju 1 mm^2 ma — przy takiej samej długości — opór dwa razy większy, niż drut o przekroju 2 mm^2 . Nie mniej prosta jest zależność oporu od długości przewodnika: dwa razy większa długość = dwa razy większy opór.

Zależność oporu od materiału, z jakiego przewodnik jest wykonany, wyrażamy pojęciem „opór właściwy” (lub oporność właściwa — w skróceniu ρ). Litera „ ρ ” wskazuje, ile omów oporu posiada dany materiał długi na 1 metr o przekroju 1 mm^2 . Najczęściej w elektrotechnice używane przewodniki mają następujące wartości „ ρ ”: srebro 0,016, miedź 0,0175, glin 0,03, żelazo 0,14, rtęć 0,9535, cynk 0,06, grafit 12, węgiel gazowy 68.

Wielkość oporu (w skróceniu R) obliczamy na podstawie wzoru:

$$\text{opór} = \frac{\text{opór właściwy} \times \text{długość drutu (w metrach)}}{\text{przekrój drutu (w milimetrach kwadr.)}}$$

Przykład. — Opór drutu miedzianego o przekroju 20 mm^2 i długości 300 m wynosi:

$$\frac{0,0175 \cdot 300}{20} = 2,625 \text{ oma.}$$

Obok pojęcia oporu właściwego „ ρ ” wprowadzono bardziej pogładową wartość $\frac{1}{\rho}$ jako „p r z e w o d n o ś ć”.

Miedź o oporze właściwym $\rho = 0,0175$ ma przewodność $1 : 0,0175 = 57$, co znaczy, że drut miedziany o oporze 1 oma i przekroju 1 mm^2 ma długość 57 m. Przewodność srebra wy-

nosi 62, glinu 33, cynku 16, żelaza 7, grafitu 0,08, węgla gazowego 0,015.

Bardzo wielki opór przeciwstawiają prądowi elektrycznemu izolatory (np. porcelana, szkło, kauczuk, jedwab, suche drzewo, słoma itp.). Dlatego używamy ich tam, gdzie chcemy zamknąć drogę elektryczności. Złym przewodnikiem, a tym samym dobrym izolatorem jest powietrze. Gdyby było inaczej, obecny rozwój elektrotechniki nie byłby możliwy; z drutów zawieszonych w powietrzu elektryczność rozpraszałaby się i nie dopływałaby tam, gdzie jej potrzebujemy.

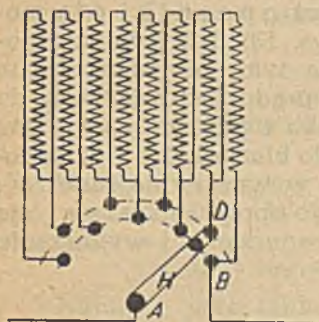
Płyny, o ile w ogóle przewodzą prąd, mają znacznie większy opór właściwy niż metale. Płyny takie są z reguły roztworami wodnymi kwasów lub soli. Ich opór właściwy zależy od zgęszczenia roztworu. Woda zupełnie czysta prawie wcale nie przewodzi prądu, jest więc dobrym izolatorem; natomiast najmniejsza choćby domieszka soli lub kwasu zamienia wodę w dobry przewodnik.

Jeżeli dwa przewodniki graniczą z sobą, a prąd ma między nimi przepływać, miejsce styku musi być bardzo dobrze złączone, bo inaczej prąd napotyka na miejscu złączenia na wielki opór przejścia. Zmiany oporu przejścia występują bardzo wybitnie w węglu. Nieznaczny nacisk na miejsce stykania się dwóch węgla zmniejsza wydatnie wielkość oporu przejścia (zjawisko to wykorzystano przy budowie mikrofonu).

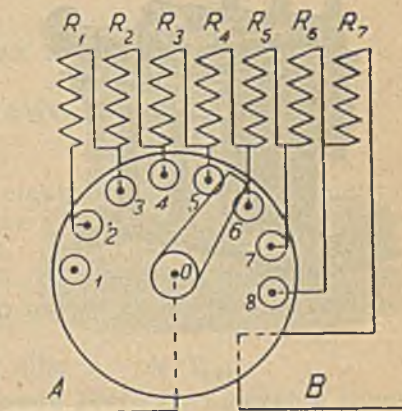
Wartości oporów właściwych nie są stałe, gdyż ulegają zmianom pod wpływem ciepła, światła i magnetyzmu. Wpływ ciepła jest rozmaity. Wiele ciał przybiera większą wartość „ R ” przy ogrzaniu, niektóre zachowują się przeciwnie. Na przykład opór właściwy miedzi lub żelaza wzrasta w miarę wzrostu temperatury, opór węgla maleje. Stopień zmiany oporu właściwego pod wpływem ciepła nazywamy współczynnikiem temperatury. Światło działa tylko na opór właściwy selenu (pod wpływem światła słonecznego opór selenu zmniejsza się około 10 razy). Magnetyzm działa tylko na opór właściwy bizmutu, który powiększa swój opór w pobliżu magnesu (wykorzystano to zjawisko do pomiarów magnetyzmu).

Do przestawiania, czyli regulowania oporu służą oporniki, budowane w rozlicznych odmianach. Schemat tzw. opornika drążkowego widzimy na rys. 10. Bieguny źródła prądu są załączone do zacisków A i B. Dookoła punktu A porusza się drążek H, zaopatrzony w styki, które ślizgają

się po guzikach stykowych, połączonych ze zwojami drutu oporowego. W miarę przesuwania drążka na prawo opór staje się coraz mniejszy, ponieważ prąd ma przed sobą coraz krótszą drogę. Gdy styk D leży na B, prąd płynie od A do B drogą najkrótszą — mówimy wtedy, że opornik jest „z w a r t y”. W miarę przesuwania drążka na lewo opór jest coraz większy.

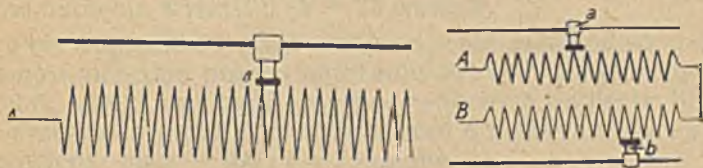


Rys. 10.



Rys. 11.

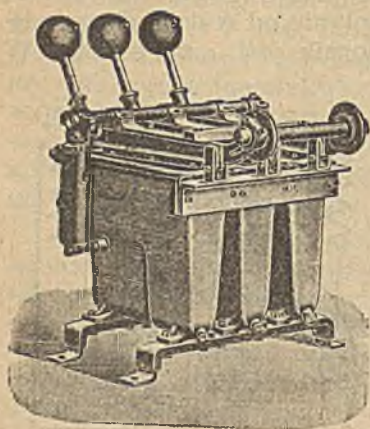
Jeżeli opornik jest wykonany według rys. 11, nie można spowodować zwarcia, ponieważ nawet w razie przesunięcia drążka do ostatniego styku 8, w obwodzie leży jeszcze opór R_7 . Gdy drążek spoczywa na styku 1, obwód jest całkowicie prze-



Rys. 12.

rwany; styk 1 działa jak wyłącznik. Na rys. 10 są narysowane dwa szeregi guzików stykowych; dzięki takiemu rozmieszczeniu guzików drążek H styka się zawsze z dwoma sąsiednimi guzikami, nie może więc dojść do przerywania obwodu. Na rys.

11 guziki stykowe są tak wielkie, że drążek styka się już z następnym guzikiem, zanim opuści sąsiedni.



rys 13

Do dokładnego i ciągłego przestawiania oporu służą oporniki suwakowe. Schematy takich oporników widzimy na rys. 12. Prócz oporników drążkowych i suwakowych, wykonanych z drutu, istnieją też oporniki płynowe (rys. 13). Ich działanie polega na tym, że jeden biegun źródła prądu jest załączony do zbiornika z płynem oporowym, drugi do blach, które można dowolnie w tym płynie zanurzać; zmianę oporu uzyskuje się przez zanurzanie i wynurzenie blach.

ROZDZIAŁ IV

PRAWO OHMA I PRAWO KIRCHHOFFA

Podstawowym prawem elektrotechniki jest prawo Ohma, które brzmi: napięcie jest iloczynem natężenia prądu i oporu.

Napięcie mierzymy woltami (V), natężenie amperami (A), opór omami (Ω). Wobec tego prawo Ohma można wyrazić wzorem:

$$\text{volt} = \text{amper} \times \text{om} \text{ albo } V = A \cdot \Omega$$

Napięcie jako takie oznaczamy literą U, natężenie literą I, opór literą R. Odpowiednio do tego można wyrazić prawo Ohma także w ten sposób:

$$U = I \cdot R$$

Gdy znamy dwie z tych wartości, możemy obliczyć trzecią, a mianowicie:

$$\text{amper} = \text{volt} : \text{om}, \text{ czyli } A = V : \Omega \text{ oraz}$$

$$\text{om} = \text{volt} : \text{amper}, \text{ czyli } \Omega = V : A$$

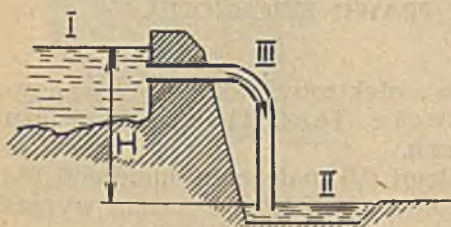
Przykład. — Przy natężeniu 5 amperów i oporze 5 omów napięcie wynosi $5 \cdot 5 = 25$ woltów.

Przy napięciu 50 woltów można przez przewodnik o oporze 10 omów przesłać prąd o natężeniu $50 : 10 = 5$ amperów.

Jak wielki jest opór, gdy pod wpływem napięcia 100 woltów przepływa przez przewodnik prąd o natężeniu 4 amperów? Odpowiedź: opór = $100 : 4 = 25$ omów.

Pojęcia „wolt“, „amper“ i „om“ można objaśnić poglądowo przez porównanie obwodu elektrycznego z wodociągiem. Jeżeli przez rurę III, narysowaną na rys. 14, chcemy przepędzić strumień wody, musimy zbiornik I umieścić powyżej zbiornika II. Im wyżej leży I ponad II, tym większa jest siła, która zmusza wodę do ruchu, tym wyższe jest ciśnienie napędzające wodę. Temu ciśnieniu odpowiadają wolt y, które są czynnikiem napędzającym.

Podobnie jak w każdej sekundzie przepływa przez rurę III pewna oznaczona ilość wody, jeżeli tę wodę przepędza ciśnienie, tak i przez przewodnik elektryczny przepływa oznaczona liczba amperów, jeżeli istnieje czynnik napędowy w postaci pewnej liczby woltów. Tej ilości wody, tej liczbie litrów lub kilogramów wody, które przepływają w każdym momencie przez rurę III, odpowiada natężenie prądu, czyli liczba amperów.



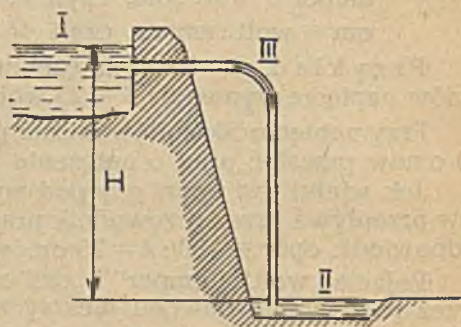
Rys. 14.

Przepływowi wody ze zbiornika górnego I do zbiornika dolnego II przeciwstawia się opór rury III. Gdyby tego oporu nie było, nie byłaby potrzebna siła napędzająca wodę, nie byłaby konieczna różnica poziomów między I i II. Podobnie

i przewodnik elektryczny przeciwstawia przepływowi prądu elektrycznego pewien opór; są to om y.

Jeżeli w myśl rys. 15 umieścimy zbiornik I na dwa razy większej wysokości, wówczas ciśnienie napędzające wodę będzie dwa razy większe. Jeżeli równocześnie zwiększymy dwukrotnie długość ru-

ry III, woda napotka na opór dwa razy większy. Czynnik napędowy zwiększył się dwukrotnie, opór wzrósł również dwa razy, z rury wypływa w każdej sekundzie taka sama liczba litrów wody jak w poprzednim przykładzie, natężenie prądu nie uległo zmianie. Gdybyśmy zbiornik I pozostawili na dawnej wysokości (jak na rys. 14), ale zwiększyli dwukrotnie długość rury łączącej I z II (rys. 16), czynnik napędzający pozostałby taki sam, lecz opór rury byłby dwa razy większy. Teraz siła



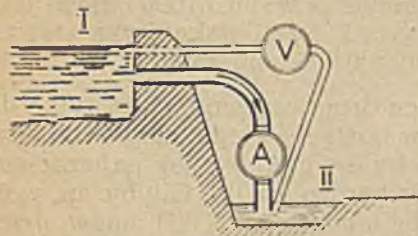
Rys. 15.

Jeżeli w myśl rys. 15 umieścimy zbiornik I na dwa razy większej wysokości, wówczas ciśnienie napędzające wodę będzie dwa razy większe. Jeżeli równocześnie zwiększymy dwukrotnie długość ru-

napędzająca nie wystarczałaby już do przepędzenia przez rurę całej, pierwotnej ilości wody, mogłaby ona przepędzić tylko połowę natężenia prądu przez dwukrotnie zwiększony opór.

Z porównania obwodu elektrycznego z wodociągiem można ustalić, jak mają być zbudowane przyrządy do mierzenia natężenia prądu i napięcia oraz gdzie te przyrządy mają być wbudowane. Ażeby więc zmierzyć natężenie prądu wody,

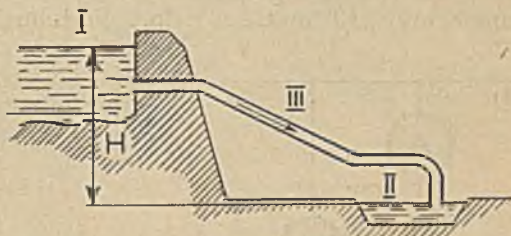
wbudujemy w dowolnym miejscu rury III (a więc na początku albo w środku, albo na końcu) przyrząd A (rys. 17), który wskazuje liczbę litrów wody przepływającej w każdej sekundzie (nie może to być licznik, który rejestruje ilość wody przepływającej w obrębie pewnego czasu; nasz przyrząd A musi tylko wskazywać, ile wody przepływa w danym momencie).



Rys. 17.

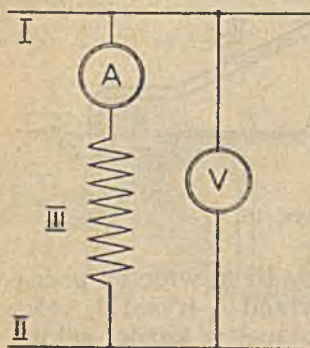
W obwodzie elektrycznym przyrządem takim będzie amperomierz, ponieważ ilości wody w pewnym czasie odpowiadają ampery. Ażeby jednak przyrząd A nie hamował przepływu wody, jego wymiary muszą być wielkie, co znaczy, że musi on mieć mały opór. Odpowiednio

do tego amperomierze mają opór bardzo mały. Aby zmierzyć ciśnienie napędzające wodę, musimy ustalić wysokość H , o jaką poziom wody w zbiorniku I leży ponad zwierciadłem wody w zbiorniku II. W tym celu można wbudować w rurę manometr (ciśnieniomierz). Można jednak zmierzyć ciśnienie wody w inny sposób, a mianowicie: obydwa zbiorniki połączyć drugą rurą, której opór jest znany i do tej rury załączyć przyrząd V, podobny zresztą do przyrządu A. Gdy wiemy, że opór przyrządu V, przy różnicy wysokości 10 m (między I i II) przepuszcza 1 litr wody na sekundę, to ze wskazań przy-

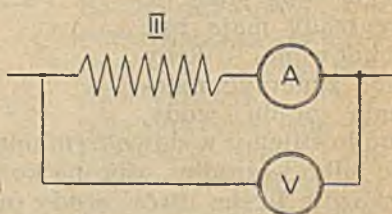


Rys. 16.

rzędu „2 litry na sekundę” możemy wnioskować o różnicy poziomów 20 m; wskazanie „3 litry na sekundę” odpowiada różnicy poziomów 30 m itd. Na podziałce przyrządu V możemy umieścić wprost wyniki, a więc np. zamiast „1 litr na sekundę” napiszemy „10 metrów” itp. Podobnie załączamy woltomierz do obwodu elektrycznego; opór, na podstawie którego woltomierz otrzymał podziałkę, umieszczamy w samym woltomierzu.



Rys. 18.



Rys. 19.

Przykład. — Opór woltomierza wynosi 1000 omów; jaki prąd przepływa przez ten przyrząd, jeżeli wskazówka stoi na 6 woltach? Odpowiedź: $6 : 1000 = 0,006$ ampera.

Prąd, który płynie przez ten drugi przewód, służy tylko do pomiarów i nie daje pożytku w postaci światła, ciepła lub siły. Dlatego musimy się starać, ażeby ów prąd był jak najmniejszy i nadajemy woltomierzom opór bardzo wielki. Gdyby np. woltomierz z poprzedniego przykładu miał opór 2 000 omów, przepływałby przez niego prąd o natężeniu tylko $3 : 1\ 000 = 0,003$ ampera.

Rysunkowi 17 odpowiada schemat na rys. 18. Od źródła prądu bieżą przewodniki I i II, odpowiadające zbiornikom wody na rys. 17. Między przewodami I i II jest załączony opornik III, a w obwodzie tego opornika leży amperomierz A; osobny przewód odgałęzia się przez woltomierz V.

Rysunek 19 przedstawia ten sam schemat, tylko nie narysowano tutaj przewodów wiodących od źródła prądu. Podobny jest również schemat przedstawiony na rys. 20, tylko przewód do woltomierza jest tutaj załączony dopiero za amperomierzem. Ten amperomierz mierzy więc nie tylko prąd „ro-

boczy", który przechodzi przez III, ale także i prąd pomiarowy, przepływający przez woltomierz V.

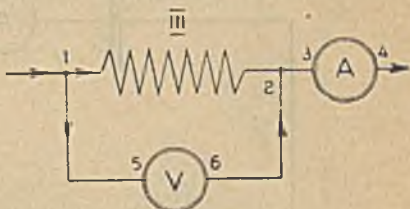
Należy tu zaznaczyć, że istnieje zasadnicza różnica między wodociągiem a obwodem elektrycznym. W wodociągu chodzi o doprowadzenie wody ze zbiornika I do zbiornika II. Natomiast wykorzystanie energii elektrycznej polega nie na dostaniu tej energii do II, lecz na tym, ażeby ta energia przepłynęła przez opór III. Jeżeli w miejsce tego opornika załączymy żarówkę, musi ona dawać światło, co znaczy, że prąd musi przepływać przez żarówkę, a nie tylko do niej dopływać.

Oprócz tego strumień wody, wypływając z kurka wodociągowego, traci łączność z punktem wyjścia. Natomiast prąd elektryczny płynie w obwodzie zamkniętym: wypływa on z jednego bieguna (zacisku) źródła prądu i wraca do drugiego.

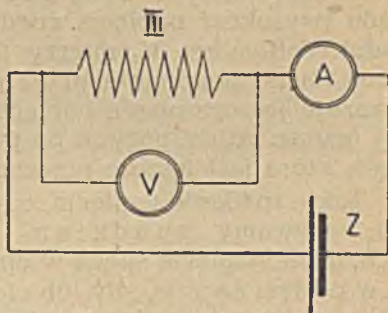
Jeżeli schemat z rys. 20 uzupełnimy przez narysowanie źródła prądu, otrzymamy rys. 21, czyli obwód zamknięty. Tutaj prąd elektryczny dopływa do miejsca odbioru (oporu) III jednym przewodem, a odpływa drugim, gdy tymczasem woda dopływa do miejsca zużycia tylko przez jedną rurę. Wszędzie, gdzie korzystamy z elektryczności, muszą istnieć co najmniej dwa przewody: jeden doprowadza prąd do miejsca odbioru (przewód dosyłowy), drugi go odprowadza (przewód odsyłowy).

Prąd elektryczny przepływa z niezmiennym natężeniem przez cały obwód. Bez względu na to czy natężenie mierzymy na początku, czy też na końcu albo w środku obwodu, amperomierz odchyła się tak samo, czyli wskazuje jedną i tę samą liczbę amperów.

Rys. 22 wskazuje, że prąd, wypływając ze źródła Z, przepływa kolejno przez amperomierz A_1 , opornik (odbiornik)

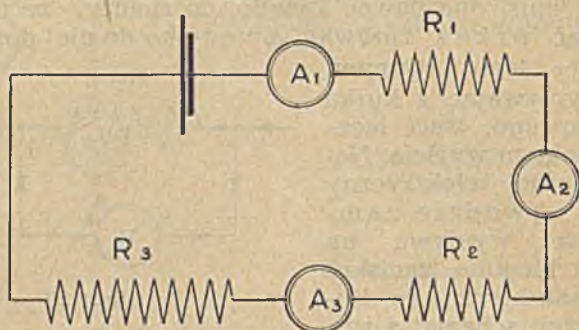


Rys. 20.



Rys. 21.

R_1 , amperomierz A_2 , opornik R_2 , amperomierz A_3 i opornik R_3 , po czym wraca do Z. Wskazówki amperomierza A_1 , A_2 i A_3 odchylają się tak samo, co oznacza, że prąd przepływa przez cały obwód z niezmiennym natężeniem. Jednak siła napędzająca ten prąd, napięcie, jest coraz mniejsze, słabnie coraz bardziej, tak że na końcu drogi powrotnej prądu jest ona całkowicie wyczerpana, prąd zaś powraca do źródła, gdzie nabiera świeżej siły napędzającej.



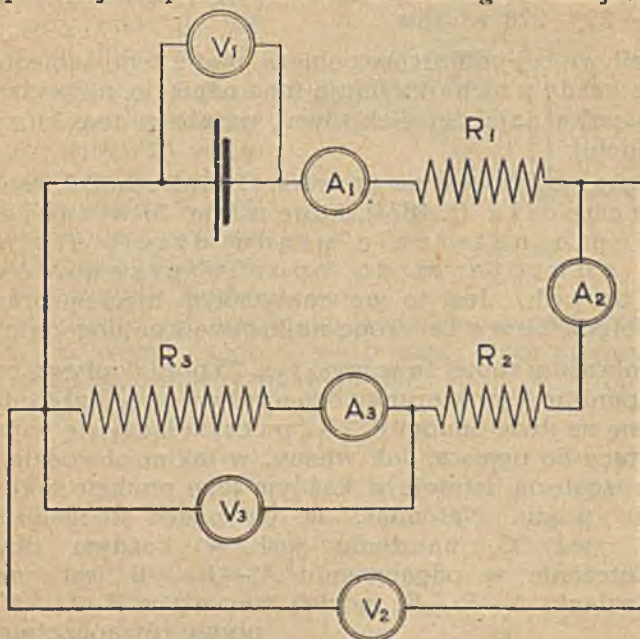
Rys. 22.

Jeżeli w myśl rys. 22 wmontujemy w obwód trzy woltomierze, powstanie schemat narysowany na rys. 23. Woltomierz V_1 wskazuje tutaj całe napięcie działające na zaciskach źródła prądu (wysokość napięcia między początkiem i końcem przewodu). Woltomierz V_2 mierzy tę tylko część napięcia, która pozostała po pokonaniu przez prąd oporu R_1 . Woltomierz V_3 wskazuje jeszcze niższe napięcie, gdyż mierzy tę część, która jest jeszcze do dyspozycji po pokonaniu oporów R_1 i R_2 , czyli część, która jest jeszcze przeznaczona do pokonania oporu R_3 .

Takie spadanie napięcia, czyli zmniejszanie się liczby woltów, nazywamy spadkiem napięcia. W tych przypadkach, gdzie napięcie spada w opornikach, które nie dają pożytku w postaci światła, siły lub ciepła, mówimy o stracie napięcia. Stratę (spadek) napięcia obliczamy za pomocą prawa Ohma.

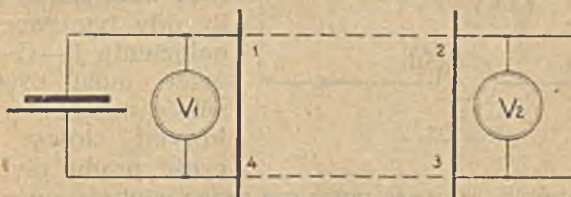
Przykład. — Elektrownia wytwarza prąd o napięciu 200 woltów, co wskazuje woltomierz V_1 (rys. 24). Prąd, zanim dopłynie do miejsca przeznaczenia w mieście, musi przepłynąć przez przewód 1—2 o oporze $1/10$ oma. Przewód 3—4, którym prąd wraca do elektrowni, ma również opór $1/10$ oma.

Jeżeli miasto pobiera 120 amperów, strata napięcia w przewodzie 1—2 wynosi $120 \cdot 1/10 = 12$ woltów. Taka sama strata powstaje w przewodzie 3—4. Dlatego w miejscu odbio-



Rys. 23.

ru w mieście istnieje między przewodami napięcie $200 - 12 = 176$ woltów. Same opory przewodów, które łączą elektrownię z miastem, zużyły 24 woltów, co odpowiada 12%



Rys. 24.

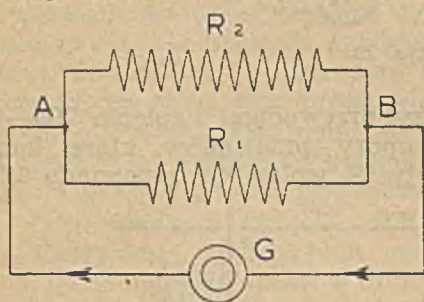
spadkowi napięcia. Jeżeli zużycie prądu w mieście wzrasta np. na 250 amperów, wtedy w przewodach 1—2 i 3—4 stracie ulega po 25 woltów, a napięcie spada dalej na $200 - 25 - 25 =$

= 150 woltów. Ażeby w tym przypadku podtrzymać dawne napięcie w miejscu odbioru, wynoszące 176 woltów, elektrownia musiałaby podwyższyć napięcie między zaciskami prądnicy na $176 + 25 + 25 = 226$ woltów.

Jeżeli więcej odbiorców pobiera prąd z tego samego przewodu, to każdy z nich otrzymuje inne napięcie, najwyższe ten, który mieszka najbliżej elektrowni, najniższe ten, który mieszka najdalej.

Drugim podstawowym prawem elektrotechniki jest prawo Kirchhoffa (r. 1874), które ustala, że w razie rozgałęzienia natężenie prądu dzieli się w stosunku odwrotnym do oporów przewodów odgałęzionych. Jest to matematycznym ujęciem prawa, że prąd wybiera z a w s z e drogę najkrótszą i najdogodniejszą.

Wyobraźmy sobie, że w myśl rys. 25 prąd dopływa ze źródła G do punktu A (w kierunku oznaczonym strzałką) i tutaj rozgałęzia się na dwie odnogi R_1 i R_2 , po czym łączy się w punkcie B i powraca do ogniwa. Jak wiemy, w takim obwodzie, który się nie rozgałęzia, istnieje w każdym jego punkcie takie samo natężenie prądu. Natomiast w obwodach rozgałęzionych, jak na rys. 25, natężenie jest w każdym obwodzie inne. Natężenie w odgałęzieniu A— R_2 —B jest inne niż w odgałęzieniu A— R_1 —B, tudzież inne niż w B—G—A.



Rys. 25

płynie równocześnie przez przewodniki (opory) R_1 i R_2 a jeżeli opór R_2 jest np. trzy razy większy od oporu R_1 , to przez R_2 płynie prąd o natężeniu trzy razy mniejszym niż przez R_1 , gdy tymczasem w odgałęzieniu B—G—A natężenie musi równać się sumie natężeń w R_1 i R_2 . Innymi słowy: większa część prądu płynie przez

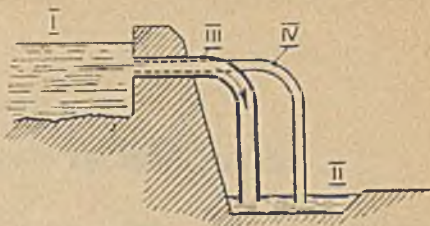
mniejszy opór R_1 , a część mniejsza przez większy opór R_2 , suma zaś tych prądów równa się sumie prądów odgałęzionych.

Istotę prawa Kirchhoffa można także objaśnić przez porównanie z wodociągiem (rys. 26). Gdy ze zbiornika I prowadzą w dół do zbiornika II dwie rury III i IV, to więcej wody przepłynie rura o mniejszym oporze.

Prawo Kirchhoffa zawiera właściwie to wszystko, co jest już objęte prawem Ohma. Ciśnienie od A do B (rys. 25) napędza według prawa Ohma przez R_2 tyle razy mniejszy prąd I_2 , ile razy opór R_2 jest większy od oporu R_1 .

Przykład. — Voltomierz, załączony między A i B na rysunku 25, wskazuje napięcie 75 woltów. Opór przewodnika R_1 wynosi 5 omów, opór przewodnika R_2 wynosi 15 omów.

Przez przewodnik R_1 płynie teraz prąd x_1 amperów, co obliczamy według równania: $75 = x_1 \cdot 5$, wobec czego $x_1 = 15$ amp. Przez przewodnik R_2 płynie prąd x_2 ; liczymy analogicznie: $75 = x_2 \cdot 15$, a zatem $x_2 = 5$ amperów.



Rys. 26.

ROZDZIAŁ V

KILKA WYRAŻEŃ TECHNICZNYCH

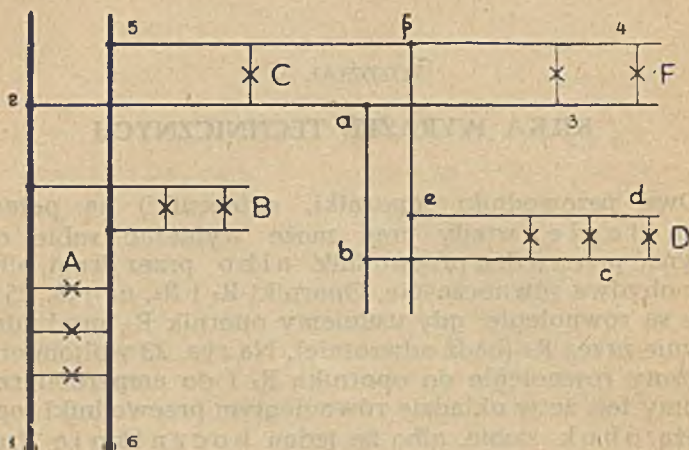
Dwa przewodniki (oporniki, odbiorniki) są połączone równolegle, wtedy prąd może wybierać sobie drogę, tj. płynąć przez jeden przewodnik albo przez drugi, albo też przez obydwa równocześnie. Oporniki R_1 i R_2 , na rys. 25 połączone są równolegle; gdy usuniemy opornik R_1 , prąd mimo to popłynie przez R_2 (bądź odwrotnie). Na rys. 23 woltomierz jest załączony równolegle do opornika R_3 i do amperomierza A_3 . Mówimy też, że w układzie równoległym przewodniki (oporniki) leżą obok siebie, albo że jeden bocznikuje drugi.

W układzie równoległym łączy się z reguły lampy, zasilane przez elektrownię; w takim samym układzie pracują też prawie zawsze lampy u poszczególnych odbiorców. Na rys. 27 widzimy schemat takiego układu równoległego. Prąd dostarczany przez elektrownię rozdziela się na wszystkie odgałęzienia sieci wraz z ich przewodami dosyłowymi i odsyłowymi. Gdy odbiorca D załączy swoje lampy, prąd płynie drogą 1—2—*a*—*b*—*c*—*d*—*e*—*f*—5—6. Prąd dla lamp E płynie drogą 1—2—3—4—5—6. Wyłączenie lamp D nie wpływa na pracę lampy E.

Zupełnie inaczej działa połączenie szeregowe. Tutaj prąd nie może się rozgałęziać przez jeden i drugi opornik, lecz musi płynąć równocześnie i kolejno przez obydwa. Oporniki R_1 i R_2 , na rys. 28 leżą w układzie szeregowym: gdy jeden z nich usuniemy, przez drugi prąd nie może już płynąć, obwód prądu jest przerywany. W przypadku takim mówimy również, że „jeden opornik leży na drugim”. Także na rys. 27 widzimy częściowo połączenie szeregowe. Zanim prąd przedostanie się do D, musi on przepłynąć przez 1—2—*a*—*b*—*c*, następnie zaś od D do elektrowni musi odbyć drogę *d*—*e*—*f*—5—6. Jeżeli przerywemy jeden z tych drutów, lampa D gaśnie.

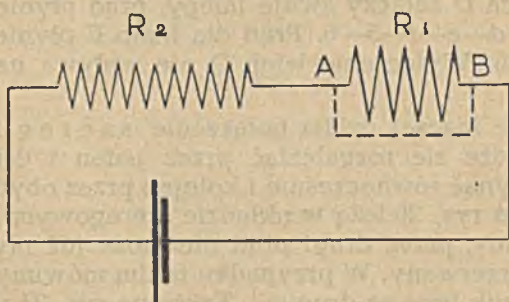
Gdy człowiek dotknie jednego z drutów wiodących prąd, znajduje się on w połączeniu szeregowym z oporem między

drugim drutem a ciałem. Jeżeli ten drugi drut jest dobrze izolowany, ów opór jest nieskończenie wielki. Prąd, który przepływa przez ciało, jest bardzo mały i nie stanowi niebezpieczeń-



Rys. 27.

stwa. Jeżeli człowiek jest należycie izolowany od ziemi, opór tej izolacji zapobiega przepływowi prądu przez ciało. Jeżeli jednak napięcie wynosi tysiące woltów, to dotknięcie jednego tylko drutu jest niebezpieczne dla życia.



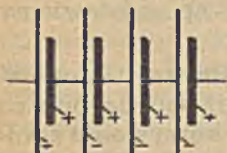
Rys. 28.

Opór ciała ludzkiego, mierzony od ręki do ręki, wynosi średnio 10 000 omów. Skoro więc człowiek dotknie np. przewodu o napięciu 100 woltów, przez ciało płynie prąd 1/100 ampera; tak małe natężenie jeszcze organizmowi nie szkodzi. Nie

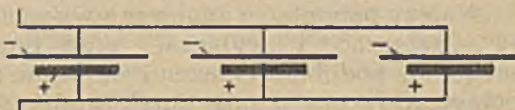
jest też niebezpieczne natężenie 2/100 ampera, które przechodzi przez ciało przy napięciu 200 woltów. Przy napięciu 500 woltów krótkie dotknięcie przewodu może spowodować śmierć (natężenie prądu wynosi wtedy 1/20 ampera). Zresztą opór różnych ludzi jest różny i dlatego może się zdarzyć, że dotknięcie drutu wiodącego prąd o napięciu zaledwie 100 woltów powoduje śmierć.

Przez szeregowe lub równoległe łączenie ogniów galwanicznych można stwarzać baterie galwaniczne, dające albo wysokie napięcie (układ szeregowy), albo wielkie natężenie prądu (układ równoległy). Ażeby stworzyć baterię w układzie szeregowym, łączymy biegun ujemny jednego ogniwa (tj. miejsce niższego potencjału) z biegunem dodatnim ogniwa następnego (tj. z miejscem wyższego potencjału). Gdy połączymy w ten sposób kilka ogniów (rys. 29), pozostaje po jednej stronie wolny biegun dodatni, po drugiej ujemny, a między tymi biegunami istnieje różnica potencjałów, równa sumie napięć międzyzaciskowych wszystkich ogniów. W razie połączenia szeregowego czterech ogniów, z których każde ma napięcie międzyzaciskowe 1 wolta, otrzymamy na końcowych zaciskach baterii $4 \cdot 1 = 4$ woltu. Gdy końcowe zaciski baterii połączymy z sobą, wówczas prąd, napędzany przez to zwiększone napięcie, płynie przez wszystkie ogniwa i musi pokonać sumę wszystkich oporów wewnętrznych.

W układzie równoległym baterii galwanicznej łączymy biegun dodatni każdego ogniwa z jednym drutem, biegun ujemny każdego ogniwa z drugim drutem (rys. 30). Tutaj napięcie międzyzaciskowe nie zwiększa się, ponieważ połączyliśmy z sobą tylko takie zaciski ogniów, które mają ten sam



Rys. 29.



Rys. 30.

potencjał. Zwiększyć się musi natomiast natężenie prądu, bo opór wewnętrzny baterii jest mały i większa jest energia baterii. W układzie równoległym cała bateria stanowi jedno ogniwo o napięciu pojedynczego ogniwa oraz o oporze wewnętrznym tyle razy mniejszym, ile ogniów połączono w baterię.

Innymi słowy: w układzie szeregowym dodają się wolty, w układzie równoległym dodają się ampery.

Oprócz tych dwóch układów spotykamy ogniwa w układzie mieszanym: grupy ogniw są połączone szeregowo i dają sumę napięć, a grupy takie są między sobą połączone równolegle i oddają wspólnie prąd.

Kondensatory także można łączyć w baterie kondensatorów. Gdy połączymy okładkę dodatnią jednego kondensatora z okładką ujemną następnego, powstanie połączenie szeregowo, a pojemność ogólna baterii zmniejszy się. Gdy połączymy między sobą okładki tego samego znaku (tj. okładki dodatnie z dodatnimi, ujemne z ujemnymi), powstanie połączenie równoległe, a pojemność baterii zwiększy się. Ponieważ działanie elektryczne kondensatora polega na jego pojemności, mówimy często „pojemność” zamiast „kondensator”.

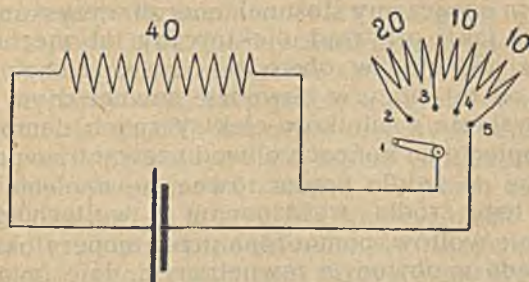
Jak wiemy, prąd może płynąć tylko w obwodzie zamkniętym. Stworzenie ostatecznego połączenia w obwodzie nazywamy zamknięciem obwodu (prądu). Jeżeli pewna instalacja jest wykończona z wyjątkiem jednego łącznika, to z chwilą wmontowania tego łącznika obwód jest zamknięty. I na odwrót, otwarciem prądu nazywamy przerwanie obwodu, np. przez usunięcie z obwodu łącznika; w takim obwodzie przerwany (otwarty) prąd płynąć nie może.

Gdy zamykamy obwód, mówimy, że zamykamy prąd. Gdy obwód otwieramy, mówimy, że prąd wyłączamy. Słowa „dołączać” używamy wtedy, gdy chodzi np. o dołączenie dalszej maszyny do sieci; taka „dołączona” maszyna przejmuje na siebie część dostawy prądu. Słowu „wyłączać” odpowiada słowo „odłączać”, używane wtedy, gdy np. odstawiamy jedną z maszyn w elektrowni.

Należy pamiętać o znaczeniu wyrażen „zamykać” i „otwierać”, „załączać” i „wyłączać” prąd, ponieważ mówią one co innego, niż podobne wyrażenia używane przy korzystaniu z wodociągu. Gdy otwieramy kurek wodociągowy, strumień wody płynie; gdy kurek zamykamy, woda przestaje płynąć.

Jeżeli bieguny źródła prądu zostają połączone przez zbyt mały opór, powstaje zwarcie. Gdy zetkną się dwa „gołe” przewodniki wiodące prąd (np. wskutek uszkodzenia izolacji), może wskutek powstałego zwarcia wybuchnąć pożar: przez zbyt mały opór w miejscu zetknięcia się przewodników płynie pod wpływem napięcia prąd o nadmiernie wielkim natężeniu i rozżarza to miejsce.

Przykład. — Na przewody, wiodące z elektrowni prąd o napięciu 119 woltów, rzuciliśmy drut miedziany o przekroju 1 mm^2 i długości 1 m. Jak wiemy ze str. 25, opór takiego dru-



Rys. 31.

tu wynosi $0,0175$ oma. Ponieważ ampery równają się woltom podzielonym przez omy, przeto przy napięciu 119 woltów płynie przez nasz drut prąd o natężeniu $119 : 0,0175 = 6800$ amperów. Pod wpływem prądu o tak wielkim natężeniu drut stapia się momentalnie, przy czym wywiązuje się niebezpieczna dla otoczenia temperatura.

Zwarcie nie powstaje zawsze wtedy, gdy coś zwieramy, gdy np. końce opornika łączymy krótkim, dobrze przewodzącym drutem. Jeżeli na rys. 28 stworzymy bezpośrednie połączenie między A i B (linia wykreskowana), natężenie prądu nie wzrasta w sposób niebezpieczny. Tutaj nie powstaje zwarcie we właściwym tego słowa znaczeniu, bo w obwodzie znajduje się jeszcze opornik R_2 , który zapobiega nadmiernemu wzrostowi natężenia. Dlatego można „zewrzeć” opornik, a do zwarcia mimo to nie dojdzie. Można zwierać te wszystkie części obwodu, poza którymi znajduje się jeszcze dostatecznie wielki opornik. Można też zewrzeć każdy amperomierz, ponieważ przyrząd taki nie leży nigdy sam w obwodzie. Natomiast nie można zwierać woltomierza, gdyż tworzy on bezpośrednie połączenie biegunów.

Przykład. — Na schemacie przedstawionym na rys. 31 drążek opornika spoczywa na styku 1; obwód jest teraz przerwany, prąd nie płynie. Gdy przesuniemy drążek na styk 2, załączamy do obwodu $20 + 10 + 10 + 40$ omów, czyli razem 80 omów; napięcie np. 120 woltów wytworzyłoby teraz prąd o natężeniu $120 : 80 = 1,5$ ampera. W położeniu drążka 3 natężenie wynosi $120 : 60 = 2$ ampery, w położeniu 4 wynosi ono $120 : 50 =$

= 2,4 ampera. W położeniu drążka 5 opornik jest zwarty: natężenie prądu wynosi teraz $120 : 40 = 3$ ampery.

Poświęćmy jeszcze kilka zdań pojęciu „sprawność”. Słowem tym oznaczamy stosunek energii wyzyskanej do energii włożonej w jakiś przyrząd elektryczny lub mechaniczny. Dla nas ważna jest moc w obwodzie zewnętrznym źródła prądu, bo od tej mocy w obwodzie zewnętrznym zależy możliwość korzystania z silników elektrycznych, lamp itp. Wobec tego, że napięcie na końcach obwodu zewnętrznego, tj. obwodu załączonego do źródła prądu, równa się napięciu międzyczaskowemu tego źródła wyrażonemu w woltach, przeto liczba tych właśnie woltów, pomnożona przez ampery określające natężenie prądu w obwodzie zewnętrznym, daje moc zewnętrzną w watach.

Oprócz tej mocy zewnętrznej, dającej się zużytkować, potrzebuje każde źródło prądu pewną ilość energii w swoim obwodzie wewnętrznym. Źródło prądu, bez względu na to czy to jest maszyna, czy bateria galwaniczna, musi rozwijać moc ogólną, większą od mocy oddawanej na zewnątrz, ta zaś moc ogólna musi być do źródła prądu doprowadzona, bo przecież nic z niczego nie powstaje. Na przykład do prądnicy elektrycznej doprowadzamy energię mechaniczną z maszyny napędowej (maszyny parowej, gazowej, turbiny wodnej itp.).

Stosunek mocy zewnętrznej, tj. mocy zużytkowanej, do mocy ogólnej, tj. dostanej do maszyny, nazywamy sprawnością elektryczną i wyrażamy ją w procentach. Jeżeli np. prądnica ma wydawać 10 kilowatów, a jej straty wewnętrzne (tarcie, opór itd.) wynoszą 2 kilowaty, to sprawność tej właśnie maszyny równa się ilorazowi $10 : 12$, czyli 0,833, czyli 83,3 %. Sprawność oznaczona w powyższy sposób jest ściśła wtedy, gdy maszyna jest całkowicie obciążona, tj. gdy natężenie prądu w obwodzie zewnętrznym jest takie, dla jakiego maszyna jest zbudowana. Gdy obciążenie jest mniejsze, sprawność maleje.

Sprawność silników elektrycznych, wyrażoną w procentach, oznaczamy według wzoru: moc odbierana od silnika podzielona przez moc dostaną do silnika. Jeżeli do silnika dosyłamy np. 10 kilowatów, a odbieramy 9 kilowatów, sprawność wynosi $9 : 10$, czyli 0,9, czyli 90 %.

W porównaniu z bateriami galwanicznymi sprawność maszyn elektrycznych jest stosunkowo bardzo wielka. Energia elektryczna, jaką daje ogniwo galwaniczne, powstaje wskutek

spalania się (utleniania) cynku w elektrolicie. Natomiast w maszynie elektrycznej, w prądniccy, powstaje prąd wskutek ruchu obrotowego, a ten ruch podtrzymuje się przez dosyłanie pracy mechanicznej do prądniccy. Gdy maszyna elektryczna jest napędzana przez maszynę mechaniczną, prąd elektryczny powstaje na drodze pośredniej przez spalanie węgla, gazu itp. w maszynie mechanicznej. Gdy jeden kilogram cynku utlenia się bez reszty, daje on 550 jednostek cieplnych (kaloryj). Natomiast kilogram węgla daje 8000 takich jednostek. Z tych 8000 kaloryj maszyna parowa zamienia w pracę tylko około 12%, czyli 960 kaloryj, a z tych 960 kaloryj około 10% idzie na pokonanie tarcia i nieproduktywne wywiązywanie ciepła, tak że w prąd elektryczny zamienia się tylko 860 kaloryj. Kilogram cynku daje więc taką ilość energii elektrycznej, jaka odpowiada 550 kaloriom, kilogram węgla daje energię odpowiadającą 860 kaloriom. Wobec tego jednak, że cynk jest około 15 razy droższy od węgla, koszt energii elektrycznej, wytworzonej przez spalanie węgla, jest około 23 razy mniejszy od kosztu takiej samej ilości elektryczności, wyprodukowanej z cynku. Dlatego technika wytwarza energię elektryczną wyłącznie za pomocą maszyn, a nie ogniw galwanicznych.

The first of these is the fact that the United States is a young nation. It has only been about 150 years since it was founded. This is a very short time in the history of the world. The second is the fact that the United States is a large nation. It has a population of over 200 million people. This is a very large population for a young nation. The third is the fact that the United States is a rich nation. It has a high standard of living and a high level of economic development. This is a very high standard of living for a young nation. The fourth is the fact that the United States is a powerful nation. It has a strong military and a strong economy. This is a very strong nation for a young nation. The fifth is the fact that the United States is a free nation. It has a long tradition of freedom and democracy. This is a very free nation for a young nation. The sixth is the fact that the United States is a diverse nation. It has a wide variety of ethnic groups and cultures. This is a very diverse nation for a young nation. The seventh is the fact that the United States is a peaceful nation. It has a long history of peace and stability. This is a very peaceful nation for a young nation. The eighth is the fact that the United States is a progressive nation. It has a long history of innovation and progress. This is a very progressive nation for a young nation. The ninth is the fact that the United States is a democratic nation. It has a long history of democracy and participation. This is a very democratic nation for a young nation. The tenth is the fact that the United States is a just nation. It has a long history of justice and fairness. This is a very just nation for a young nation.

The United States is a young nation, but it has achieved many great things in a short time. It has become a world power, a leader in science and technology, and a model of democracy and freedom. This is a remarkable achievement for a young nation. The United States has a bright future ahead of it. It has the resources, the talent, and the spirit to continue to grow and prosper. It has the potential to become an even greater nation than it is today. The United States is a nation of hope and possibility. It is a nation that is always moving forward. It is a nation that is always striving for a better future. The United States is a nation that is always making a difference. It is a nation that is always changing the world. The United States is a nation that is always inspiring others. It is a nation that is always showing the way. The United States is a nation that is always leading the world. It is a nation that is always setting the example. The United States is a nation that is always making a difference. It is a nation that is always changing the world. The United States is a nation that is always inspiring others. It is a nation that is always showing the way. The United States is a nation that is always leading the world. It is a nation that is always setting the example.

ROZDZIAŁ VI

MAGNETYZM

W okolicy Magnezji w Azji Mniejszej odkryto przed wiekami żelazną rudę magnetyczną, magnetyt (magnes lapis), która ma właściwość przytrzymywania i przyciągania małych przedmiotów żelaznych. W wieku XI stwierdzono, że magnetyt przyjmuje zawsze położenie północno-południowe, o ile tylko może się swobodnie poruszać. Chińczycy brali ze sobą w podróże „kamienie wskazujące drogę”, a w Anglii nazywano magnetyt — leading stone (kamień wskazujący drogę). Te „kamienie” to nasze „busole” albo igły magnesowe, zbudowane w sposób bardzo prymitywny: w naczyniu z wodą pływała deszczułka, a na niej leżał magnetyt, który jednym końcem zwracał się zawsze na północ, drugim na południe.

W wieku XIII zauważono, że każdy kawałek stali można zamienić w magnes przez potarcie magnetytem, czyli magnese „naturalnym”. Taka stal staje się magnesem „sztucznym” i — podobnie jak magnes naturalny — przyciąga cząstki żelaza i przyjmuje położenie południowo-północne.

Około roku 1600 ukazała się książka „De Magnete”, w której lekarz angielski Gilbert spisał to wszystko, co ówczesny świat naukowy wiedział o magnesie. Między innymi podał Gilbert, że siła przyciągająca magnesu zagęszcza się niejako w dwóch miejscach, które, jeśli magnes ma kształt pręta, znajdują się na jego końcach. Te obydwa miejsca, zwane biegunami magnesu, możemy uwidocznic w ten sposób, że magnes trzymany w ręce posypujemy opiłkami żelaznymi. Wynik widzimy na rys. 32 (u góry magnes naturalny, u dołu magnes sztuczny): do obydwu biegunów przyczepiło się dużo opiłków, w kierunku ku środkowi ilość opiłków jest coraz mniejsza, a w samym środku pręta w ogóle ich nie ma. Wynika z tego, że siła przyciągająca magnesu ogranicza się głównie do biegunów, gdy tymczasem w środku między biegunami przycią-

ganie już się nie objawia. Ten środek magnesu nazywamy strefą obojętną. Linie, łączącą bieguny magnesu, nazywamy osią magnesu.

Ażeby zbadać, jak działają na siebie dwa magnesy, bierzemy do pomocy igłę magnesową, czyli lekki magnes sztuczny, zawieszony w ten sposób, ażeby mógł się swobodnie poruszać (rys. 33). Gdy do końca igły, który wskazuje północ, zbliżymy jeden lub drugi koniec magnesu prętowego, stwierdzimy co następuje: skoro jeden biegun przyciąga igłę, drugi ją odpycha. Ażeby sprawę zbadać dokładniej, oznaczmy w jakikolwiek sposób, np. gwiazdką, ten biegun



Rys. 32.

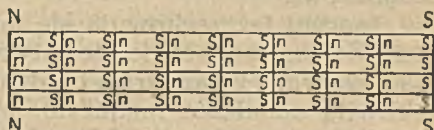


Rys. 33.

igły, który wskazuje północ oraz ten biegun pręta, który działa odpychająco na naznaczony koniec igły. Teraz naznaczone bieguny igły i pręta odpychają się, podczas gdy nie naznaczony biegun pręta przyciąga naznaczony koniec igły. Gdy doświadczenie odwrócimy i poddamy próbie drugi koniec igły, okaże się, że naznaczony koniec pręta przyciąga, a koniec nie naznaczony działa odpychająco. Jeżeli zamiast magnesu prętowego użyjemy drugiej igły magnesowej, której biegun wskazujący północ jest również oznaczony gwiazdką, obydwa naznaczone bieguny będą się odpychały. Tak samo będą się zachowywały obydwa bieguny nie naznaczone, a do przyciągania dojdzie dopiero wtedy, gdy do bieguna nie naznaczonego jednej igły zbliżymy biegun naznaczony drugiej. Stąd wniosek: bieguny jednoimienne odpychają się, a bieguny różnoimienne przyciągają się.

Istnieją więc dwa rodzaje magnetyzmu, z których każdy koncentruje się w jednym z obydwa biegunów. Jeden rodzaj stara się skierować igłę magnesową w stronę północy, drugi kieruje ją ku południowi. Odpowiednio do tego biegun wskazujący północ nazwano biegunem północnym (w skróceniu N), biegun wskazujący południe biegunem południowym (S).

Biegunów magnezu nie można od siebie odłączyć: jeżeli magnes przełamiemy na dwie, trzy lub więcej części, każda z tych części będzie miała zarówno biegun północny jak i biegun południowy. Z tego zjawiska wnioskujemy o wewnętrznej budowie magnezu. Wyobraźmy sobie, że magnes podzieliliśmy na opiłki, a te przez zmielenie zamieniliśmy w drobnutki pyłek. Każda cząstka takiego pyłku, choćby miała tylko wymiary drobiny, będzie zawsze magnesem z biegunem północnym i południowym. Dlatego możemy powiedzieć, że każdy, największy nawet magnes, składa się z niezmiernie wielkiej liczby drobnutkich magnesów, których wszystkie bieguny jednoimienne są skierowane w jedną stronę. Tę hipotezę przedstawia poglądowo rys. 34, który wyjaśnia również, dlaczego w razie przełamania magnezu każda jego część staje się samodzielnym magnesem o dwóch różnych biegunach.



Rys. 34.

Rys. 34 wyjaśnia również sprawę zamiany żelaza lub stali w magnes

przez oddziaływanie innego magnezu. Według teorii Webera każda cząstka żelaza, a więc nie tylko cząstka magnetytu, jest magnesem, tylko w zwyczajnym żelazie magnesy cząstkowe leżą w takim nieładzie, że ich siły giną wskutek wzajemnego przyciągania i dlatego nie mogą objawiać się na zewnątrz. Ten stan magnesów cząstkowych przedstawia rys. 35. Sytuacja zmienia się jednak, gdy z żelazem zetknie się magnes. Wobec tego, że biegun północny magnezu odpycha każdy biegun północny, a przyciąga każdy biegun południowy, północne bieguny magnesów cząstkowych kierują się w jedną stronę, bieguny południowe w drugą (rys. 36). Dzięki temu objawia się na zewnątrz łączna siła biegunów północnych wszystkich



Rys. 35.



Rys. 36.

magnesów cząstkowych w biegunie północnym, a łączna siła biegunów południowych drobin w biegunie południowym żelaza, które stało się magnesem. Im lepiej są uporządkowane

magnesy cząstkowe, tym silniejsze jest działanie magnesu na zewnątrz. Jeżeli magnesy są tak ustawione jak na rys. 36, wtedy żelazo osiąga największą siłę magnetyczną, jaką w ogóle może uzyskać. W tym stanie żelazo jest nasycone magnetycznie.

Za powyższą hipotezą przemawiają różne zjawiska. Na przykład kawałki żelaza wydłużają się przy magnesowaniu, ogrzewają się, a nawet wydają dźwięki (wskutek odwracania się cząstek i spowodowanego tym tarcia dochodzi do powstawania ciepła i dźwięków). Jeżeli rurkę szklaną napelnimy opiłkami żelaznymi i opiłki te namagnesujemy, to po energicznym wstrząśnięciu rurki tracą opiłki magnetyzm (wskutek wstrząsu niszczyliśmy porządek w rozmieszczeniu drobnych magnesów).

Inaczej też zachowuje się miękkie żelazo, inaczej twarda stal. Żelazo magnesuje się łatwo, stal znacznie trudniej. Namagnesowane żelazo traci bardzo szybko swój magnetyzm (już z chwilą oddalenia magnesu), namagnesowana stal staje się magnesem trwałym. W języku fachowym mówimy: żelazo staje się magnesem czasowym, stal staje się magnesem trwałym.

To różnorodne zachowanie się żelaza i stali świadczy, że rozmieszczenie drobin w miękkim żelazie jest tak luźne, iż cząstki poddają się łatwo działaniu magnesu i łatwo wracają do pierwotnego położenia, skoro tylko magnes się od nich oddali (jednoimiennie bieguny magnesów cząstkowych odpychają się wtedy, co zresztą wynika z rys. 36). Ze stalą jest inaczej. Cząstki żelaza są tutaj bardziej skupione, cząstki stali nie poddają się łatwo działaniu magnesu, bo muszą pokonywać wielkie tarcie wewnętrzne. Dlatego po oddaleniu magnesu cząstki stali pozostają w narzuconym im położeniu, ich wzajemne odpychanie się nie może pokonać silnego tarcia wewnętrznego. Z tego też powodu namagnesowana stal zachowuje swój magnetyzm przez czas długi, chyba że jakaś siła zewnętrzna naruszy położenie cząstek (nagły wstrząs, uderzenie, nagrzanie).

Dlaczego jednak igła magnesowa przyjmuje zawsze kierunek południowo-północny? Właściwą odpowiedź dał Gilbert: ponieważ kula ziemską jest wielkim magnesem i działa magnesująco na pewne metale, przede wszystkim na stal i żelazo. Ziemia działa więc także na odległość.

Takie działanie na odległość nazywamy indukcją magnetyczną (indukcja = wzbudzenie, wzniesienie).

Działanie indukcji magnetycznej możemy stwierdzić przez proste doświadczenie: gdy podłużny kawałek żelaza położymy obok garści opiłków żelaznych i zbliżymy do żelaza magnes, żelazo przyciąga nagle część opiłków, zanim jeszcze magnes go dotknie. A zatem magnes działa na cząstki żelaza już podczas zbliżania się, a żelazo staje się przy tym magnesem, który — rzecz jasna — przyciąga opiłki. Mówimy, że w żelazie indukuje się magnetyzm. Przez dalsze doświadczenia możemy stwierdzić, że po tej stronie, która jest zwrócona do zbliżającego się magnesu, powstaje biegun przeciwny oraz że indukowany magnetyzm znika natychmiast, gdy magnes indukujący oddalimy.

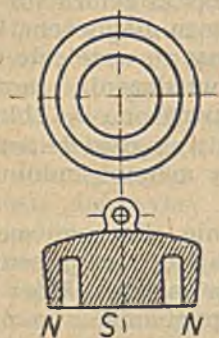
Tutaj mamy równocześnie wyjaśnienie, dlaczego magnes w ogóle przyciąga przedmioty żelazne: najpierw magnesuje on żelazo przez indukcję i zamienia żelazo w magnes, który podlega znanemu prawu przyciągania i odpychania. To prawo przyciągania i odpychania jest potwierdzeniem faktu, że każdy magnes musi mieć dwa różne bieguny. W żaden sposób nie można stworzyć magnesu z dwoma biegunami południowymi lub dwoma biegunami północnymi, ponieważ sprzeciwiają się temu siły magnetyczne.

Bieguny magnetyczne kuli ziemskiej leżą mniej więcej w okolicach biegunów geograficznych. W okolicy geograficznego bieguna północnego leży magnetyczny biegun południowy, obok geograficznego bieguna południowego magnetyczny biegun północny. Siła magnetyczna wypływa od bieguna północnego i zdąża do bieguna południowego, następnie przepływa przez magnes i powraca do punktu wyjściowego. Siła magnetyczna zakreśla więc obwód zamknięty, tak samo jak prąd elektryczny. Podobnie jak prąd wypływa z jednego bieguna swojego źródła i wraca do drugiego bieguna tego źródła, tak i siła magnetyczna przepływa od jednego bieguna do drugiego.

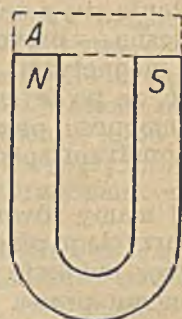
Oprócz magnesów prętowych, tj. mających kształt pręta, bywają używane w elektrotechnice także magnesy w kształcie dzwonów (rys. 37) lub podków (rys. 38). Najczęściej spotykamy podkowy, które górują nad magnesami prętowymi o tyle, że ich bieguny leżą blisko siebie i dlatego mogą działać równocześnie. Jeżeli przed biegunami takiej podkowy położymy poprzecznie kawałek żelaza, staje się ono na skutek indukcji magnesem, a siła, z jaką jest przyciągane, jest znacznie większa niż w razie zastosowania magnesu prętowego, ponieważ żelazo jest magnesowane od razu przez obydwa bieguny. Żelazo takie,

przyłożone do biegunów magnesu (A na rys. 38), nazywamy twornikiem albo zworą magnetyczną.

O magnesie, który wywiera silniejsze działanie niż drugi, mówimy, że ma większy moment magnetyczny. Wiel-

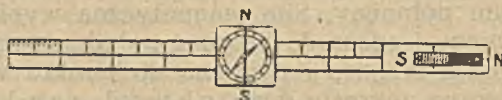


Rys. 37.



Rys. 38.

kość tego momentu oznaczamy według rys. 39. Dokładnie w środku podziałki umieszczamy igłę magnesową, a z boku magnes, którego oddalenie od igły można odczytać na podziałce. Magnes stara się przyciągnąć igłę, a wobec tego, że igła nie może poruszyć się z miejsca, lecz tylko obracać, przyciąganie objawia się tym, że igła odchyła się ze swojego pierwot-



Rys. 39.

nego położenia południowo-północnego tym silniej, im większy jest moment magnetyczny magnesu. Wielkość kąta odchylenia igły jest miarą porównawczą do oznaczania momentu. Jeżeli do doświadczenia użyjemy kilku rozmaicie silnych magnesów, kąt odchylenia igły będzie różny, zależnie od siły działającego na nią magnesu. Gdy więc ustalimy siłę pewnego, ściśle określonego magnesu jako jednostkę, możemy tą jednostką wyrazić momenty magnetyczne innych magnesów.

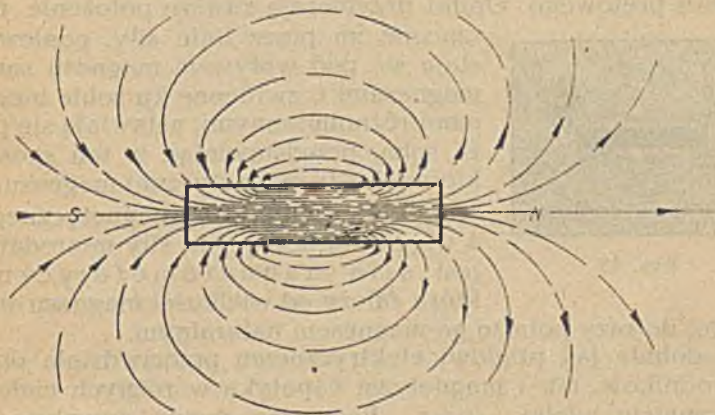
Siła, z jaką odpychają się bieguny jednoimienne, a przyciągają różnoimienne, równa się ilorazowi: siła magnetyczna podzielona przez kwadrat oddalenia. Siła magnetyczna wybiega od biegunów w otaczającą przestrzeń i tworzy tutaj

pole magnetyczne. Mówimy o natężeniu pola magnetycznego, podobnie jak mówimy o natężeniu prądu elektrycznego. Im więcej sił magnetycznych wybiega przez centymetr kwadratowy powierzchni bieguna, tym silniejsze jest pole.

Nazwą „pole magnetyczne” oznaczamy każdą przestrzeń, w której działają siły magnetyczne. Na przykład całą przestrzeń, w której objawia się magnetyzm ziemski, nazywamy polem magnetycznym ziemi. Każde pole magnetyczne wywiera działanie na każdy magnes, który się w tym polu znajduje. Im silniejsze to działanie, tym większe natężenie pola.

Dla poglądowego przedstawienia istoty siły magnetycznej wprowadzono pojęcie linii siły. Wyobrażamy sobie, że siła magnetyczna płynie od jednego bieguna do drugiego wzdłuż pewnych linii. Te linie siły przebiegają następnie przez sam magnes aż do punktu wyjściowego i tutaj rozpoczynają znowu swój bieg okrężny.

Natężenie pola magnetycznego obliczamy według linii siły, przypadających na każdy centymetr kwadratowy i mówimy o natężeniu pola 1000 linii siły, 2000 linii siły itd. Liczbę linii siły przypadających na centymetr kwadratowy nazywamy gęstością linii siły. W pobliżu biegunów magnesu gęstość linii siły jest większa niż w większej odległości; mówimy: tamto pole jest silniejsze, to jest słabsze.



Rys. 40.

Linie siły wybierają zawsze drogę najwygodniejszą, podobnie jak prąd elektryczny. Te linie siły, które biegną całkowicie na zewnątrz pola zakreślając bardzo wielkie łuki nazy-

wamy liniami rozproszenia. Każde pole ma pewne rozpraszanie.

Przebieg linii siły magnesu prętowego przedstawia rys. 40. Ażeby ten przebieg uwidocznic, kładziemy na stole magnes, przykrywamy go papierem i posypujemy papier opiłkami żelaznymi. Gdy stukniemy lekko w papier, cząstki żelaza przybierają takie położenie, jakie narzucają im linie siły magnesu. Na rys. 41 widzimy rozmieszczenie opiłków pod wpływem magnesu w kształcie podkowy, która leżała na stole w pozycji płaskiej, rys. 42 przedstawia linie siły podobnego magnesu,



Rys. 41.



Rys. 42.

ustawionego na stole pionowo. Rys. 43 podaje obraz linii siły magnesu prętowego. Opiłki przybierają zawsze położenie narzucone im przez linie siły, ponieważ stają się pod wpływem magnesu same magnesami i, zwrócone ku sobie biegunami różnoimiennymi, ustawiają się poza sobą, przedstawiając w ten sposób kierunek siły magnetycznej magnesu.



Rys. 43.

Dla natężenia pola magnetycznego, a więc i dla liczby linii siły miarodajna jest siła magnetomotoryczna, która zależy od wielkości magnesu oraz

od tego, ile razy potarto go magnesem naturalnym.

Podobnie jak prądowi elektrycznemu przeciwdziała opór przewodników, tak i magnetyzm napotyka w różnych ciałach na rozmaicie wielki opór. Powietrze stawia przepływowi linii siły większy opór niż żelazo, które, gdy je zbliżamy do magnesu, niejako zagęszcza linie siły (rys.44). W ten sposób działa np. twornik A na rys. 38.

Każde ciało ma swoistą przenikalność, która zależy nie tylko od rodzaju ciała, ale także od gęstości linii siły.

Największą przenikalność ma wyżarzone żelazo kowalne, mniejszą stal, jeszcze mniejszą żelazo lane. Opór magnetyczny żelaza jest przy małej gęstości linii siły bardzo mały, a wzrasta wielokrotnie przy większej gęstości linii siły (z tym zjawiskiem trzeba liczyć się przy budowie prądnic). Znacznie



Rys. 44.



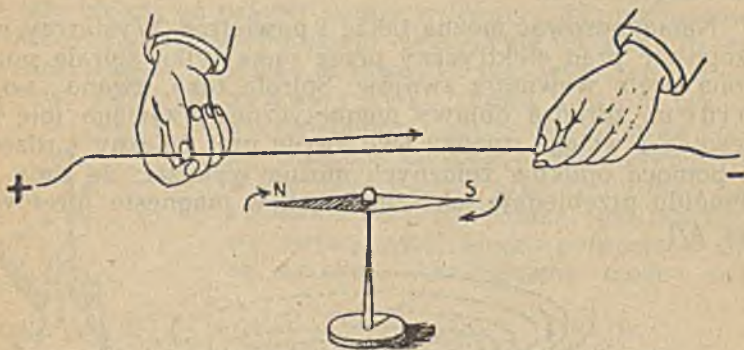
Rys. 45.

gorzej od powietrza przewodzi bizmut, który odpycha od siebie linie siły (rys. 45). Żelazo nazywamy ciałem ferromagnetycznym, bizmut jest ciałem diamagnetycznym.

ROZDZIAŁ VII

ELEKTROMAGNETYZM

Gdy równoległe ponad igłą magnesową umieścimy drut, przez który płynie prąd elektryczny, igła odchyła się ze swojego pierwotnego położenia i usiłuje ustawić się prostopadle do drutu (rys. 46). Jeżeli prąd przepływa przez drut w kierunku z północy na południe, biegun północny igły zwraca się ku wschodowi. Jeżeli drut pozostawimy nadal nad igłą, lecz odwrócimy kierunek prądu, biegun północny igły kieruje się na zachód. Jeżeli umieścimy drut pod igłą magnesową, wów-



Rys. 46.

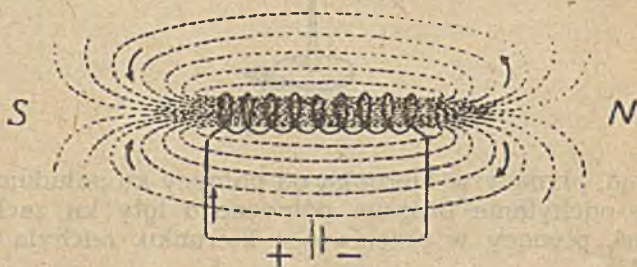
czas prąd, płynący w kierunku od północy ku południowi, powoduje odchylenie bieguna północnego igły ku zachodowi, prąd zaś, płynący w przeciwnym kierunku, odchyła igłę na wschód.

Zjawisko powyższe zaobserwował po raz pierwszy fizyk duński H. C. Oersted w r. 1820. W dziele „Experimenta circa efficaciam conflictus electrici in acum magneticum” stworzył on podwaliny pod naukę o związku między elektrycznością i magnetyzmem. W tym samym roku stwierdził fizyk fran-

cuski Arago, że przewodnik, przez który płynie prąd, zachowuje się tak samo jak magnes, oraz że odchylenie igły magnesowej przez prąd jest w zasadzie niczym innym jak odpychaniem się jednoimiennych biegunów dwóch magnesów. Gdy Arago przewodnik taki zanurzył w opiłkach żelaznych, przyczepiały się one do niego podobnie jak do magnesu. Prócz tego udało mu się namagnesować igły stalowe, które umieszczał w położeniu prostopadłym do drutu będącego pod prądem. Ampère zwinął drut miedziany w spiralę i wewnątrz spirali umieścił stalową igłę połączoną z silną baterią galwaniczną; po upływie kilku minut igła stała się magnesem.

W roku 1825 odkrył W. Sturgeon, że pręt żelazny, owinięty izolowanym drutem, przez który płynie prąd, staje się pod wpływem tego prądu magnesem, oraz że można powodować dowolne pojawianie się i znikanie tego magnetyzmu przez zamykanie i otwieranie obwodu prądu. Tutaj magnetyzm powstaje pod wpływem prądu elektrycznego. Magnetyzm taki nazywamy **elektromagnetyzmem**, a magnes — **elektromagnesem**.

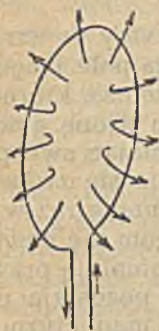
Namagnesować można także i powietrze. Wystarczy więc przepuścić prąd elektryczny przez samą tylko spiralę pozbawioną pręta wewnątrz zwojów. Spirala taka, zwana **solenoidem**, zdradza objawy magnetyczne, przyciąga igłę magnesową i wciąga między swe zwoje pręt żelazny („rdzeń”). Za pomocą opiłków żelaznych można wykazać, że linie siły solenoidu przebiegają tak samo, jak w magnesie prętowym (rys. 47).



Rys. 47.

Każdy prostolinijny przewodnik, przez który płynie prąd, można uważać za część wielkiej spirali i wykazać obecność pola magnetycznego. Na przykład rys. 49 przedstawia mały

wycinek prawej strony obwodu z rys. 48. Widzimy, że prosty przewodnik jest otoczony liniami siły, że otacza go koliste pole (strzałki, wskazujące kierunek strumienia magnetycznego, wyznaczają linie siły wybiegające z bieguna północnego).



Rys. 48.

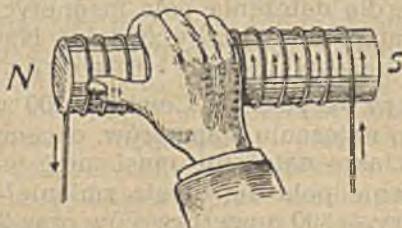


Rys. 49.

Z rys. 49 można wyprowadzić działanie przewodnika (wiodącego prąd) na igłę magnesową. Pod przewodnikiem (rys. 49) linie siły biegną od prawej strony w lewo, a igła magnesowa, umieszczona pod przewodnikiem, ustawia się tak samo, tj. kieruje swój biegun północny w lewo. W tym wypadku obowiązuje tzw. reguła prawej ręki, którą ilustruje rys. 50. a która brzmi: „gdy położymy prawą rękę na drucie w ten sposób, ażeby prąd płynął w kierunku palców oraz ażeby dłoń była zwrócona do przewodnika, igła magnesowa zwraca swój biegun północny w stronę kciuka”. Analogicznie można usta-



Rys. 50



Rys. 51.

lić związek między położeniem biegunów a kierunkiem prądu w elektromagnesie (rys. 51): gdy położymy rękę na uzwojeniu

elektromagnesu w ten sposób, ażeby prąd płynął w kierunku palców, biegun północny elektromagnesu leży po stronie wyciągniętego kciuka; jeżeli odwrócimy kierunek prądu, to i obydwa bieguny zmieniają swoje znaki.

Powstawanie elektromagnetyzmu tłumaczymy w ten sposób, że drut, przez który płynie prąd, wytwarza pole magnetyczne, które działa „porządkująco” na cząstki żelaza, które kierują wszystkie swoje bieguny północne w jedną stronę, a południowe w drugą (rys. 35 i 36). Cząstki, zmieniając swe położenie, napotykają na opór, a opór ten objawia się zwłaszcza wtedy, gdy elektromagnes magnesujemy na zmianę raz w jednym, drugi raz w drugim kierunku. Tym zmianom nie nadążają wszystkie magnesy cząstkowe, niektóre nie zmieniają przybranego uprzednio położenia, tak że w żelazie pozostaje nieco magnetyzmu, mimo że zniknął prąd, który ten magnetyzm wytworzył. Takie szczątki magnetyzmu nazywamy magnetyzmem szczątkowym. Im większy magnetyzm szczątkowy, tym więcej pracy zużywa się na zmianę biegunów, czyli na przemagnesowywanie, tym większe są też straty energii. Przyczynę strat, powstałych wskutek przemagnesowywania, nazywamy histerезą magnetyczną.

Natężenie wytworzonego przez prąd pola magnetycznego zależy od liczby zwojów przewodnika oraz od natężenia prądu, który przez te zwoje przepływa. Przewodnik, przez który przepływa 10 amperów, wywiera siłę dwa razy większą niż przewodnik, przez który płynie tylko 5 amperów. Jeżeli przewodnik zwiniemy w spiralę, wówczas dostają się do siebie linie siły, jakie każdy poszczególny zwój wytwarza dla siebie. Dlatego 20 zwojów daje — przy takim samym natężeniu prądu — pole magnetyczne dwa razy silniejsze niż 10 zwojów. Wynika z tego, że dla natężenia pola magnetycznego miarodajny jest iloczyn amperów i liczby zwojów. Natężenie pola magnetycznego wyrażamy dlatego amperozwojami.

Przykład. — Cewkę o 100 zwojach, przez które płynie prąd o natężeniu 3 amperów, chcemy zastąpić cewką o 20 zwojach. Jakie natężenie musi mieć teraz prąd, ażeby pierwotne natężenie pola nie uległo zmianie? Liczymy: $100 \text{ zwojów} \times 3 \text{ ampery} = 300 \text{ amperozwojów}$ oraz $20 \text{ zwojów} \times 15 \text{ amperów} = 300 \text{ amperozwojów}$; natężenie musi wynosić 15 amperów.

Siły elektromagnesu nie można potęgować w nieskończoność przez przepuszczanie prądu o coraz większym natężeniu, ponieważ przy pewnym oznaczonym natężeniu występuje n a

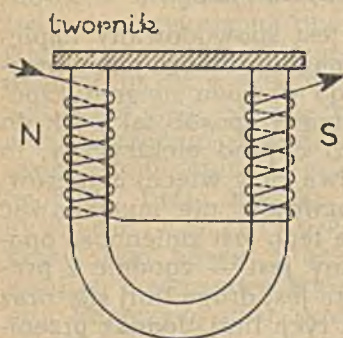
sycenie magnetyczne, czyli stan, w którym magnetyzm przybiera najwyższą osiągalną wartość. Ta wartość najwyższa jest różna dla różnych materiałów: żelazo lane jest bliskie nasycenia wtedy, gdy na 1 cm^2 przypada 9000 linii siły, stal odlewnicza jest nasycona dopiero przy około 18 000 linii siły na 1 cm^2 . W maszynach i przyrządach elektrycznych nie spotykamy prawie nigdy żelaza lanego, ponieważ wymaga ono za wielkiej liczby amperozwojów, ażeby dać taki sam strumień linii siły, jaki można uzyskać przy użyciu stali.

Podobnie jak prąd elektryczny jest spowodowany napięciem, tak strumień linii siły obwodu magnetycznego jest spowodowany amperozwojami. Mimo to do obwodu magnetycznego nie można zastosować prawa Ohma w sposób taki, jak do obwodu elektrycznego. Jeżeli chodzi o prąd elektryczny, to zwiększone dwukrotnie wolty dają dwa razy więcej amperów. Natomiast podwójna liczba amperozwojów nie musi dawać podwójnej liczby linii siły. Przyczyną tego jest zmienność oporu magnetycznego. Opór magnetyczny jest — zgodnie z prawem Ohma — tym większy, im dłuższa jest droga linii siły oraz im mniejszy jest przekrój strumienia tych linii. Jednak przenikalność różnych materiałów jest tak różna, zależnie od tego, czy przez nie płyną linie siły, czy też nie płyną, że obliczenia na podstawie prawa Ohma nie są możliwe. Do tego rodzaju obliczeń służą wykresy i tablice.

Wdawanie się w szczegóły zaprowadziłoby nas za daleko. Tutaj wystarczy przytoczyć prawo Ohma dla magnetyzmu. Gdy liczbę amperozwojów nazwiemy siłą magnetyczną (tj. siłą, która wytwarza magnetyzm), a tę wielkość, która zależy od przewodności, przekroju i długości drogi magnetycznej, o p o r e m m a g n e t y c z n y m, możemy powiedzieć: liczba linii siły równa się sile magnetycznej, podzielonej przez opór magnetyczny. Czym więc w prawie Ohma jest natężenie prądu, tym jest według prawa magnetycznego liczba linii siły. Opór magnetyczny równa się długości drogi magnetycznej, podzielonej przez iloczyn przekroju i przewodności magnetycznej przewodnika. Podobnie opór elektryczny równa się długości przewodnika, podzielonej przez iloczyn przekroju i przewodności elektrycznej przewodnika.

Zastosowanie elektromagnesów: budowa maszyn elektrycznych, sygnalizacja, imadła, sprzęgła obrabiarek itd. W technice spotykamy najczęściej elektromagnesy w postaci pod-

ków, a nie prętów. Taka podkova elektromagnetyczna składa się w najprostszym wykonaniu z dwóch rdzeni żelaznych, połączonych żelaznym jarzmem i otoczonych cewkami, tj. zwojami izolowanego drutu. Prąd płynie kolejno przez obydwie cewki w przeciwnych kierunkach, wobec czego na górnym końcu jednego ramienia powstaje biegun północny, na końcu drugiego biegun południowy; te obydwie bieguny działają równocześnie na umieszczony przed nimi twornik (rys. 52).



Rys. 52.

Faraday wykazał, że magnetyzm nie jest wyłączną właściwością żelaza, ponieważ można magnesować wszystkie ciała, stałe, płynne i gazowe, chociaż magnetyzm tych ciał jest nieraz tysiące razy słabszy. Z tego odkrycia wynika, że nie tylko proszek żelazny ulega wpływowi linii siły wybiegających z magnesu. Dzięki temu działanie magnetyczne istnieje także w przestrzeni pozbawionej powietrza, a więc i w eterze, który znajduje się wszędzie.

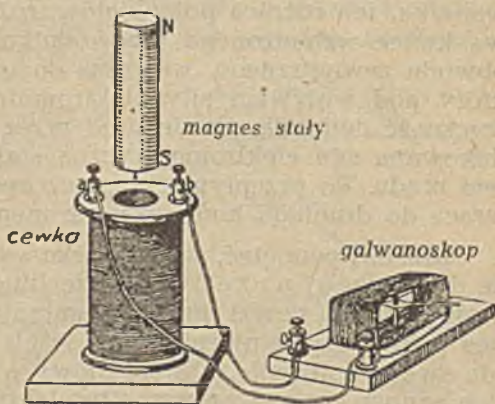
ROZDZIAŁ VIII

INDUKCJA ELEKTROMAGNETYCZNA

Wytwarzanie energii elektrycznej na drodze chemicznej należy dzisiaj do wyjątków. Prąd „techniczny” wytwarzamy z energii mechanicznej.

W rozdziale poprzednim mówiliśmy o tym, że prąd przesyłany przez cewkę zamienia ją w magnes i powoduje odchylenie się igły magnesowej. Przyczyną tego zjawiska jest prąd, skutkiem jest ruch igły: pod wpływem prądu powstaje ruch. Odwrócenie owego procesu wymaga, ażeby wskutek ruchu igły magnesowej powstał w cewce prąd. Przyczyną jest tutaj ruch igły magnesowej (lub w ogóle magnesu) ku cewce, skutkiem — płynięcie prądu.

Odkrycia tego dokonał około roku 1831 fizyk angielski M. Faraday. Podstawą odkrycia jest urządzenie, które widzimy na rys. 53. Galwanoskop G jest połączony z cewką w ten sposób, że tworzy wraz z nią obwód zamknięty. Gdy w otwór cewki zaczniemy wsuwać magnes trwały N—S, powstaje w cewce krótkotrwały prąd elektryczny, którego obecność zdra-



Rys. 53.

dza odchylenie się igły galwanoskopu. Jeżeli pozostawimy magnes wewnątrz zwojów cewki, igła galwanoskopu wraca do pierwotnego położenia, co świadczy, że prąd już nie płynie. Gdy zaczniemy wysuwać magnes z cewki, igła znowu się odchyli, ale już w przeciwnym kierunku.

Takie same objawy wystąpią, gdy postaramy się o to, ażeby w pobliżu cewki powstał lub zniknął magnetyzm, albo gdy istniejący już magnetyzm osłabimy lub wzmocnimy. W każdym przypadku pod wpływem magnesu N-S powstaje w zwojach cewki prąd elektryczny. Zjawisko to nazwał Faraday indukcją elektromagnetyczną, a powstający prąd — prądem indukcyjnym.

Faraday stwierdził również, że prąd powstaje w cewce wtedy tylko, gdy początek uzwojenia cewki jest połączony bezpośrednio z końcem tego uzwojenia (w naszym przykładzie obydwie końce uzwojenia są połączone przez galwanoskop G). Gdy obwód jest otwarty (przerwany), powstaje w uzwojeniu cewki tylko siła elektromotoryczna, a więc czynnik, który stara się wprowadzić elektryczność w ruch, czyli stworzyć prąd. Jeżeli siła elektromotoryczna indukuje się w takim przewodniku, który znajduje się w ruchu, wypycha ona niejako elektryczność dodatnią ku jednemu, a elektryczność ujemną ku drugiemu końcowi przewodnika cewki. Gdy zaś ruch magnesu ustaje i tym samym siła elektromotoryczna przestaje działać, wyrównuje się w drucie elektryczność dodatnia i ujemna, a napięcie między obydwoma końcami przewodnika, ich różnica potencjałów, znika. Jeżeli jednak obydwie końce wzbudzonego przewodnika połączymy za pomocą obwodu zewnętrznego, wówczas do tego końca przewodnika, który pod wpływem siły elektromotorycznej otrzymał elektryczność dodatnią, płynie prąd przez obwód zewnętrzny. Indukowana siła elektromotoryczna staje się tym samym źródłem prądu. Po przepłynięciu przez opór zewnętrzny prąd powraca do drugiego końca wzbudzonego przewodnika.

Musimy pamiętać, że z magnesu wybiegają linie siły, tudzież że druty cewki przecinają te linie, gdy magnes wprowadzamy w głąb cewki lub go stamtąd wysuwamy. Jeżeli magnes tkwi w cewce nieruchomo i jeżeli także i cewka nie zmienia swego położenia, nie ma mowy o przecinaniu linii siły, a tym samym o powstawaniu siły elektromotorycznej. A zatem: siła elektromotoryczna indukuje się w przewodniku wtedy, gdy przewodnik przecina linie siły.

Ponieważ każda cewka, przez którą płynie prąd, wysyła linie siły, a każdy, nawet prostoliniowy przewodnik, znajdujący się pod prądem, jest otoczony polem linii siły, przeto siła elektromotoryczna może być indukowana także przez ruch prze-

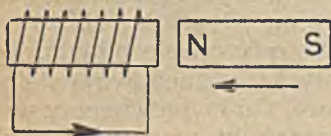
wodnika w pobliżu takiej cewki bądź takiego przewodnika. To samo stanie się, gdy natężenie pola wzmacnia się lub osłabia. Konieczne jest tylko, aby linie siły były przecinane.

Czarne kółko A na rys. 54 przedstawia przewodnik, który jest ustawiony prostopadle do płaszczyzny papieru. Przez ten przewodnik płynie prąd, wobec czego jest on otoczony liniami siły. Jeżeli w polu naszego przewodnika umieścimy drugi przewodnik i przesuniemy go od położenia 1 do położenia 2, przetnie on linie siły i tym samym indukuje się w nim siła elektromotoryczna. Jeżeli przesuniemy ten sam przewodnik od 2 do 3, przesuwa się on wzdłuż linii siły, nie przecinając ich, tak że siła elektromotoryczna się nie indukuje.

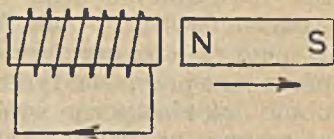


Rys. 54.

Kierunek indukowanej siły elektromotorycznej zależy od kierunku ruchu magnesu względem cewki (przewodnika). Tę sprawę wyjaśniają rys. 55 i 56. Na rys. 55 biegun północny N magnesu prętowego porusza się w stronę rdzenia żelaznego, otoczonego zwojami cewki. Linie siły magnesu zamknęły się



Rys. 55.



Rys. 56.

uprzednio przed cewką, a teraz ich część przecina zwoje cewki i zamyka się przez cewkę; indukuje się siła elektromotoryczna, a ponieważ obwód prądu jest zamknięty, przez zwoje cewki płynie prąd w kierunku strzałki. Pod wpływem tego prądu cewka staje się elektromagnesem, którego biegun północny zwrócony jest do bieguna północnego magnesu i stara się go odepchnąć. Prąd wytworzony przez magnes prętowy działa więc hamująco na jego ruch.

Prąd indukowany płynie zawsze tak, że stara się przeszkodzić ruchowi, który go wywołał. Jeżeli w myśl rys. 56 magnes prętowy chce oddalić się od cewki, prąd działa nań powstrzy-

mująco. W tym przypadku prąd płynie przez zwoje cewki w kierunku odwrotnym, a elektromagnes stara się osłabić ten magnetyzm, któremu zawdzięcza swoje powstanie, tudzież usiłuje przyciągnąć magnes, skierowując ku niemu swój biegun południowy.

Podobnie jak w zwojach cewki, tak i w każdym masywnym ciele indukuje się siła elektromotoryczna, o ile tylko to ciało przecina linie siły. Wobec tego, że masywne ciało przeciwstawia przepływowi prądu nieznaczny tylko opór, mała indukowana siła elektromotoryczna musi spowodować płynięcie prądu o wielkim natężeniu. W takim przypadku mówimy nie o sile elektromotorycznej, której nie można wykorzystać, ale o prądach wirowych. Te prądy wirowe magnesują masywne ciało, a powstający magnetyzm hamuje ruch magnesu, dzięki któremu powstał.

Występowanie prądów wirowych jest przyczyną strat energii. Ich powstawaniu można przeciwdziałać w ten sposób, że zamiast ciała masywnego stosuje się szeregi nałożonych na siebie, izolowanych wzajemnie blach. Prądy wirowe wykorzystujemy np. przy budowie liczników prądu zmiennego.

Jak wynika z rys. 55 i 56, prąd indukowany przez magnes przeciwdziała jego ruchowi. To samo zjawisko zauważymy podczas wsuwania magnesu w głąb cewki w myśl rys. 53. Daje się tu odczuć wyraźny opór, który stara się odepchnąć zbliżający się magnes oraz przytrzymać magnes, gdy on się oddala. Ten opór można przypisać tylko liniom siły, które zachowują się podobnie jak elastyczne włókna gumowe. Gdy więc chcemy wsunąć magnes w cewkę, czyli spowodować, by uzwojenie cewki zostało przecięte przez linie siły, musimy włożyć w to pracę mechaniczną; wkład pracy konieczny jest i wtedy, gdy wysuwamy magnes z cewki.

Przemiana magnetyzmu w elektryczność jest po prostu przetwarzaniem energii mechanicznej w energię elektryczną. Jeżeli urządzimy się w ten sposób, że jakakolwiek mechaniczna maszyna parowa, turbina wodna itp. porusza przewodniki w obrębie pola magnetycznego, a przewodniki te przecinają linie siły, otrzymamy prąd elektryczny, z którego możemy dowolnie korzystać. Maszyny, które tę zasadę realizują, nazywamy prądnicami. Dawniej zwano prądnice dynamomaszynami.

Wielkość indukowanej siły elektromotorycznej zależy od liczby linii siły, przecina-

nych w jednostce czasu. Jeżeli przewodnik przecina w jednostce czasu dwa razy większą liczbę linii siły, na jego końcach powstaje dwa razy wyższe napięcie indukowane.

Liczbę linii siły, przecinanych w jednostce czasu, można zmieniać w trojaki sposób.

Po pierwsze wchodzi w rachubę szybkość, z jaką linie siły są przecinane, a więc szybkość, z jaką przewodnik porusza się w polu siły. W miarę wzrostu tej szybkości przewodnik przecina w każdej sekundzie coraz większą liczbę linii siły.

Po drugie wywiera wpływ natężenie pola, przez które przewodnik porusza się. Jeżeli na każdy cm^2 powierzchni bieguna przypada 9000 linii siły, to przy niezmienniej szybkości przewodnik przetnie trzy razy więcej linii siły niż wtedy, gdyby się poruszał w polu o gęstości 3000 linii.

Po trzecie można zmieniać liczbę przecinanych linii siły przez zmianę długości przewodnika. Przewodnik długi na 10 m przecina w tym samym czasie dwa razy więcej linii sił niż przewodnik dwa razy krótszy.

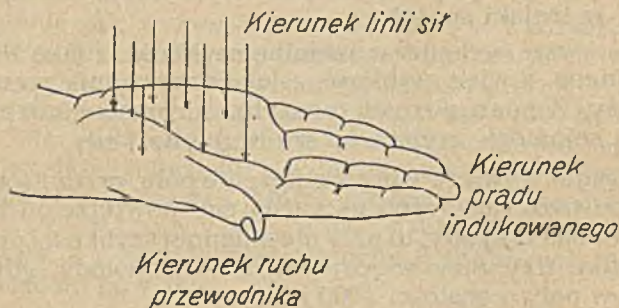
Wielkość indukowanej siły elektromotorycznej obliczamy na podstawie prawa indukcji, które brzmi: siła elektromotoryczna = szybkość przewodnika \times natężenie pola \times długość przewodnika.

To prawo stanowi podstawę budowy wszystkich maszyn elektrycznych, zarówno prądnic, służących do przetwarzania energii mechanicznej w elektryczną, jak i silników, które energię elektryczną przetwarzają w energię mechaniczną.

Igła galwanoskopu na rys. 53 odchyła się w jedną lub drugą stronę, zależnie od tego, czyśmy magnes wsuwali w głąb cewki, czy wysuwali. Powstające przy tym prądy zmieniają więc swój kierunek, jeżeli tylko zmienia się kierunek ruchu. Równocześnie prądy te zmieniają swe natężenie, ponieważ wielkość natężenia zależy od liczby linii siły, przecinanych w jednostce czasu.

Tego rodzaju prądy, zmieniające trwale swój kierunek i natężenie, nazywamy prądami zmiennymi. Natomiast prądy płynące stale w jednym kierunku, wysyłane np. przez ogniwa galwaniczne, nazywamy prądami stałymi. O jednych i drugich pomówimy obszerniej w dalszych rozdziałach. Tutaj ograniczymy się do przytoczenia zasady, w myśl której można w sposób prosty ustalać kierunek prądów indukowanych. Jest to „reguła prawej ręki” Schmidta. Objaśnia

ją rys. 57. Prawą rękę musimy trzymać tak, ażeby dłoń była skierowana przeciw liniom siły (a więc przeciw biegunowi północnemu, ponieważ linie siły bieżą od bieguna północnego do południowego), a kciuk ma być zwrócony



Rys. 57.

w tym kierunku, w którym porusza się przewodnik. Końce palców wskażą teraz kierunek, w którym płynie prąd indukowany.

Przyczyną przecinania linii siły nie musi być ruch. Gdy przez zwój drutu, spiralę, przepuszczamy prąd, drut staje się elektromagnesem i wysyła linie siły, które rozszerzają się coraz bardziej, a kurczą się i powracają do przewodnika po przerwaniu dopływu prądu. Na rys. 58 widzimy takie linie siły

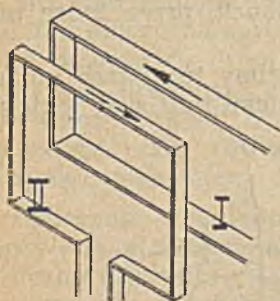


Rys. 58.

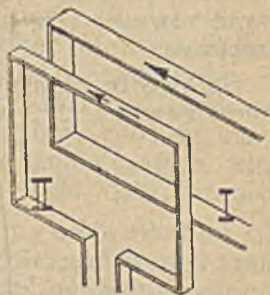
w dwóch momentach po załączeniu prądu: cztery koła na lewym rysunku rozrastają się (1—4), a w ich wnętrzu wyłaniają się dalsze (5 i 6). Jeżeli w pobliżu takiej cewki znajdzie się jakikolwiek przewodnik, zostaje on przecięty przez linie siły, wskutek czego indukuje się w nim siła elektromotoryczna. Gdy spiralę wyłączymy, linie siły kurczą się i znowu przecinają

przewodnik znajdujący się w ich zasięgu. Podobnie dzieje się, gdy prąd w spirali wzmacniamy lub osłabiamy.

Mamy więc tutaj działanie na odległość, bo między indukującą spiralą a indukowanym przewodnikiem nie ma bezpośredniego połączenia. Jest to zjawisko indukcji elektrycznej, odkryte również przez Faradaya (po niezliczonych doświadczeniach, które trwały przez całe lata). Także i tutaj indukcja stara się przeciwdziałać temu czynnikowi, dzięki któremu powstała. Jeżeli obwód indukujący I na rys. 59 przerwiemy, to w obwodzie indukowanym II prąd płynie w przeciwnym kierunku; obwód I kieruje swój biegun północny ku przodowi, obwód II zwraca swój biegun północny ku tyłowi, gdzie następuje odepchnięcie równoimiennego bieguna obwodu I. W razie otwarcia obwodu I (rys. 60) obwód II stara



Rys. 59.



Rys. 60.

się powstrzymać prąd pierwotny; biegun północny obwodu I był skierowany ku przodowi, teraz obwód II zwraca swój biegun południowy ku tyłowi.

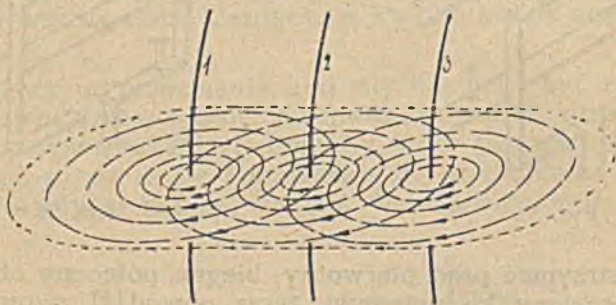
W przypadkach, gdzie jeden obwód działa indukująco na drugi, nazywamy obwód indukujący obwodem pierwotnym, obwód indukowany obwodem wtórnym. Na rys. 59 i 60 obwody I są obwodami pierwotnymi, obwody II są obwodami wtórnymi.

Faraday odkrył jeszcze jedno zjawisko elektroindukcyjne, mianowicie samoindukcję. Prądy indukcyjne powstają nie tylko w sąsiednich obwodach wtórnych, lecz także w obwodzie pierwotnym indukującym, wtedy zwłaszcza, gdy w tym obwodzie pierwotnym większa ilość zwojów leży obok siebie (cewka). Każdy przewodnik, przez który przepływa prąd,

znajduje się w obrębie własnego pola magnetycznego. To pole powstaje, gdy prąd zaczyna płynąć, a znika z chwilą przerwania prądu. Każde takie powstawanie i zniknięcie pola magnetycznego wywołuje uderzenie indukcyjne, które udziela się także przynależnemu przewodnikowi. To właśnie indukowanie prądu we „własnym” przewodniku nazywamy samoindukcją.

Samoindukcja występuje najwybitniej w cewce, gdzie więcej zwojów przewodnika leży obok siebie. Każdy zwój cewki jest niejako oddzielnym obwodem i każdy z tych oddzielnych obwodów znajduje się pod działaniem przepływającego prądu. W razie zamykania lub otwierania prądu każdy zwój cewki indukuje we wszystkich innych zwojach, bliskich — silniej, odleglejszych — słabiej. Postaci rzeczy nie zmienia okoliczność, że przez zwoje już płynie prąd, ponieważ można indukować również i w takich przewodnikach, przez które prąd przepływa.

Sprawę tę objaśnia rys. 61. Widzimy tutaj trzy odcinki drutów cewki 1, 2, 3 wraz ze strumieniami linii siły, jakie po-



Rys. 61.

wstają przy zamykaniu obwodu. Zanim poszczególne strumienie połączą się w jeden strumień wspólny (zewnętrzna linia wykreskowana), przecinają one inne druty i indukują w nich siłę elektromotoryczną. Gdy w cewce zmienia się kierunek prądu, linie siły nie giną natychmiast, lecz, indukując znowu siłę elektromotoryczną w swoich własnych drutach, wysyłają za wyłączonym prądem dalsze uderzenia prądu, które nazywamy przetężeniem.

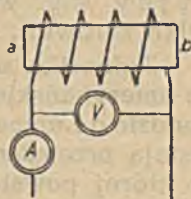
Przy zamykaniu obwodu powstaje we własnym przewodniku przeciwnie skierowany prąd zamknięcia, a przy

otwieraniu obwodu znikające pole magnetyczne wytwarza prąd otwarcia, którego kierunek jest zgodny z kierunkiem prądu indukującego. W momencie załączenia prądu samoindukcja działa więc hamująco na strumień prądu, a w momencie przerywania obwodu strumień prądu zostaje niejako przedłużony. Z uwagi na to działanie nazywamy samoindukcję także bezwładnością elektromagnetyczną. Innymi słowy: samoindukcja, opierając się na starych liniach siły, powstrzymuje prąd, który chce wytworzyć nowe, przeciwnie skierowane linie siły. Im silniejsze działanie magnetyczne, im więcej istnieje linii siły, które mają być najpierw zniszczone, a następnie stworzone w przeciwnym kierunku, tym większa jest samoindukcja.

Prąd otwarcia ma siłę elektromotoryczną znacznie większą od siły elektromotorycznej prądu zamknięcia. Ta wielka siła elektromotoryczna może zużyć się na pokonanie niepożądanego drogi, mianowicie drogi przez powietrze, od jednego końca obwodu do drugiego, a to w postaci iskry. Iskrę taką nazywamy iskrą otwarcia (iskry tego rodzaju można unicestwić przez równoległe załączenie kondensatora, który przejmie powstającą chwilowo wielką ilość elektryczności).

Wielkość samoindukcji wynika z prawa indukcji; zależy ona od natężenia prądu, od szybkości zmian tego prądu, od liczby i kształtu zwojów cewki oraz od natężenia pola magnetycznego. Jeżeli więc obwód składa się z cewki o wielkiej liczbie zwojów, posiadającej wewnątrz rdzeń żelazny, który działa szczególnie wzmacniająco na pole magnetyczne, mówimy, że obwód ma „wielką samoindukcję”.

Ważne znaczenie ma zależność samoindukcji od liczby zmian kierunku prądu. Jeżeli cewkę z rdzeniem żelaznym, połączoną z amperomierzem A i woltomierzem V według rys. 62, załączymy i wyłączymy, np. 5 razy na sekundę, wskazania amperomierza i woltomierza będą mniej więcej odpowiadały prawu Ohma: przy napięciu 100 woltów i oporze 5 omów przez cewkę popłynie prąd o natężeniu $100 : 5 = 20$ amperów. Samoindukcja jest teraz nieznaczna, ponieważ natężenie pola jest małe, cewka zawiera mało zwojów (mała długość przewodnika), zmiany kierunku prądu następują w długich stosunkowo odstępach, a linie siły muszą przebiegać przez powietrze



Rys. 62.

od a do b drogą, która jest dla nich uciążliwsza, niż droga wykonana z żelaza.

Gdy podwyższymy liczbę zmian, np. na 50 na sekundę, amperomierz nie wskaże już 20 amperów, lecz mniej. Gdy polepszymy strumień magnetyczny przez połączenie punktów a — b za pomocą kawałka żelaza, co będzie jednoznaczne ze zwiększeniem liczby linii siły, wskazania amperomierza będą jeszcze mniejsze. W razie podwyższenia liczby zmian kierunku prądu np. do 1000 albo do 10000, można doprowadzić do tego, że przez cewkę prąd prawie wcale płynąć nie będzie.

Jeżeli więc cewkę o wielkiej samoindukcji załączymy w obwód prądu stałego, tj. prądu płynącego stale w jednym kierunku, działanie samoindukcyjne występuje tylko w momencie załączania i wyłączania bądź zmian natężenia tego prądu. Dopóki prąd płynie jednostajnie, przepływa on przez cewkę bez przeszkód i ma do pokonania tylko opór omowy cewki.

Natomiast prądowi z m i e n n e m u samoindukcja przeciwdziała w każdym momencie, ponieważ prąd taki zmienia ustawicznie natężenie i kierunek. Im więcej tych zmian, tym silniej działa samoindukcja. Cewka o wielkiej samoindukcji zagraża więc drogę prądowi zmiennemu, podobnie jak zastawka dławikowa w rurze wodociągowej zmniejsza strumień wody. Cewkę taką nazywamy d ł a w i k i e m.

Opór, na jaki napotykają prądy zmienne w cewce samoindukcyjnej, nazywamy o p o r e m i n d u k c y j n y m. Mówiąc o oporze indukcyjnym, mamy na myśli osłabiające działanie samoindukcji na prądy zmienne oraz przeciwstawianie strumieniowi prądu znacznego oporu. W obwodzie, w którym nie ma objawów samoindukcji, występuje o p ó r b e z i n d u k c y j n y (np. w obwodach, do których są załączone same tylko żarówki).

Jednostką samoindukcji jest h e n r (od nazwiska uczonego amerykańskiego). Jeżeli natężenie zmienia się w każdej sekundzie o 1 amper, to w cewkach o różnych liczbach zwojów powstają przetężenia o różnej sile elektromotorycznej. Cewka, w której powstająca teraz siła elektromotoryczna wynosi 1 wolt, posiada jednostkę samoindukcji, czyli 1 henr. Oprócz jednostki „henr” wprowadzono dla samoindukcji także jednostkę „centymetr”, z tym, że 1 milihenr = 1000000 cm.

Podobnie jak kondensator nazywamy „pojemnością”, tak dla cewki utarła się nazwa „samoindukcja” lub „indukcyjność”.

Te dwie wielkości spełniają niezmiernie ważne zadanie w radiotechnice. „Pojemność” zachowuje się wręcz przeciwnie niż „samoidukcja”. Jak wiemy ze str. 9, kondensator zamyka drogę prądowi stałemu, a nie stanowi zapory dla prądu zmiennego. Gdy samoidukcję i pojemność połączymy równolegle, to w obwodzie takim prąd stały popłynie przez samoidukcję (cewkę), prąd zmienny przez pojemność (kondensator). Przykład zastosowania tego układu: kondensator blokujący w odbiorniku radiowym, załączony równolegle do słuchawki, która w tym przypadku jest „samoidukcją”.

The first of these is the fact that the United States is a young nation. It has only a few decades of history behind it, and its institutions are still in the process of being formed. This is in contrast to the older nations of Europe, which have centuries of history and well-established institutions. The second fact is that the United States is a large and diverse country. It covers a vast geographical area and is home to a wide variety of people and cultures. This diversity has led to a rich and complex social and political life. The third fact is that the United States is a democracy. It is the only large democracy in the world, and its success has inspired other nations to follow its example. The fourth fact is that the United States is a powerful nation. It has a large and strong economy, a powerful military, and a significant influence on the world stage. These four facts are the foundation of the United States' identity and its role in the world.

The first of these is the fact that the United States is a young nation. It has only a few decades of history behind it, and its institutions are still in the process of being formed. This is in contrast to the older nations of Europe, which have centuries of history and well-established institutions. The second fact is that the United States is a large and diverse country. It covers a vast geographical area and is home to a wide variety of people and cultures. This diversity has led to a rich and complex social and political life. The third fact is that the United States is a democracy. It is the only large democracy in the world, and its success has inspired other nations to follow its example. The fourth fact is that the United States is a powerful nation. It has a large and strong economy, a powerful military, and a significant influence on the world stage.

The first of these is the fact that the United States is a young nation. It has only a few decades of history behind it, and its institutions are still in the process of being formed. This is in contrast to the older nations of Europe, which have centuries of history and well-established institutions. The second fact is that the United States is a large and diverse country. It covers a vast geographical area and is home to a wide variety of people and cultures. This diversity has led to a rich and complex social and political life. The third fact is that the United States is a democracy. It is the only large democracy in the world, and its success has inspired other nations to follow its example. The fourth fact is that the United States is a powerful nation. It has a large and strong economy, a powerful military, and a significant influence on the world stage.

The first of these is the fact that the United States is a young nation. It has only a few decades of history behind it, and its institutions are still in the process of being formed. This is in contrast to the older nations of Europe, which have centuries of history and well-established institutions. The second fact is that the United States is a large and diverse country. It covers a vast geographical area and is home to a wide variety of people and cultures. This diversity has led to a rich and complex social and political life. The third fact is that the United States is a democracy. It is the only large democracy in the world, and its success has inspired other nations to follow its example. The fourth fact is that the United States is a powerful nation. It has a large and strong economy, a powerful military, and a significant influence on the world stage.

The first of these is the fact that the United States is a young nation. It has only a few decades of history behind it, and its institutions are still in the process of being formed. This is in contrast to the older nations of Europe, which have centuries of history and well-established institutions. The second fact is that the United States is a large and diverse country. It covers a vast geographical area and is home to a wide variety of people and cultures. This diversity has led to a rich and complex social and political life. The third fact is that the United States is a democracy. It is the only large democracy in the world, and its success has inspired other nations to follow its example. The fourth fact is that the United States is a powerful nation. It has a large and strong economy, a powerful military, and a significant influence on the world stage.

The first of these is the fact that the United States is a young nation. It has only a few decades of history behind it, and its institutions are still in the process of being formed. This is in contrast to the older nations of Europe, which have centuries of history and well-established institutions. The second fact is that the United States is a large and diverse country. It covers a vast geographical area and is home to a wide variety of people and cultures. This diversity has led to a rich and complex social and political life. The third fact is that the United States is a democracy. It is the only large democracy in the world, and its success has inspired other nations to follow its example. The fourth fact is that the United States is a powerful nation. It has a large and strong economy, a powerful military, and a significant influence on the world stage.

ROZDZIAŁ IX

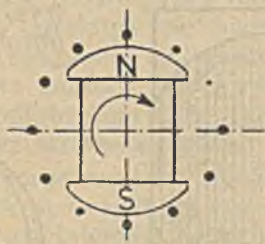
PRZETWARZANIE ENERGII MECHANICZNEJ W ELEKTRYCZNA.

Energię mechaniczną przetwarzamy w energię elektryczną za pomocą maszyn zwanych prądnicami (str. 66). Działanie prądnicy polega na indukcji elektromagnetycznej, czyli na przecinaniu linii siły przez przewodnik. Ruch, dzięki któremu dochodzi do przecinania linii siły, jest w prądnicach z reguły ruchem obrotowym: albo magnes jest nieruchomy, a obracają się przewodniki (rys. 63), albo przewodniki są osadzone nieruchomo, a obraca się magnes (rys. 64).

Według rys. 65 przewodnik 1 wykonuje ruchy obrotowe w polu magnetycznym, które przebiega jednostajnie od bieguna północnego N magnesu do bieguna południowego S. Szybkość przewodnika jest jednostajna, w takich samych czasach przebywa on takie same odcinki



Rys. 63.

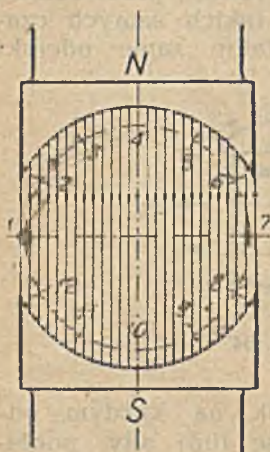


Rys. 64.

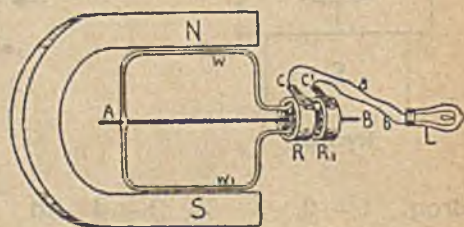
drogi 1—2, 2—3, 3—4 itd. Jednak na każdym odcinku przecina przewodnik inną ilość linii siły, ponieważ kierunek jego ruchu stale zmienia się. W pobliżu punktu 1 nie przecina on prawie żadnych linii siły, ponieważ porusza się tam równoległe do ich przebiegu. W punkcie 4 przewodnik przecina największą ilość linii

siły, gdyż kierunek jego ruchu jest prostopadły do strumienia linii siły. Odpowiednio do tego zmienia się wielkość indukowanej w przewodniku siły elektromotorycznej. Ta siła jest największa wtedy, gdy przewodnik znajduje się w punkcie 4, a spada do zera, gdy przewodnik znajduje się w 1 lub w 7. Skoro przy dalszym ruchu przewodnik przebiega przed drugim biegunem magnesu, odwraca się indukowana w nim siła elektromotoryczna, prąd indukowany płynie w odwrotnym kierunku. Powstaje w ten sposób zmienna siła elektromotoryczna. Prąd, wytworzony tą siłą i drgający w zmiennej wielkości w jednym i drugim kierunku, nazywamy prądem zmiennym.

Pierwszą prądnicę, działającą w myśl powyższej zasady, zbudował Pixii w r. 1832. W myśl rys. 66 między biegunami magnesu N—S obraca się na osi A—B przewodnik zwany twornikiem. Składa się on z uzwojeń (cewek) przedstawionych na rysunku jako pętlica W i W_1 . Końce twornika wiodą do pierścieni ślizgowych R i R_1 , które, izolowane od siebie, są osadzone na stałe na osi A—B. O pierścienie R i R_1 opierają się elastyczne sprężyny ślizgowe C i C_1 (tzw. „szczotki”), połączone przewodząco z zaciskami, do których za pomocą drutów a b można załączyć odbiornik (w tym przypadku żarówkę L).



Rys. 65.



Rys. 66.

teraz dokładnie między biegunem północnym N i biegunem południowym S (punkty 1 i 7 rys. 65) i żadnych

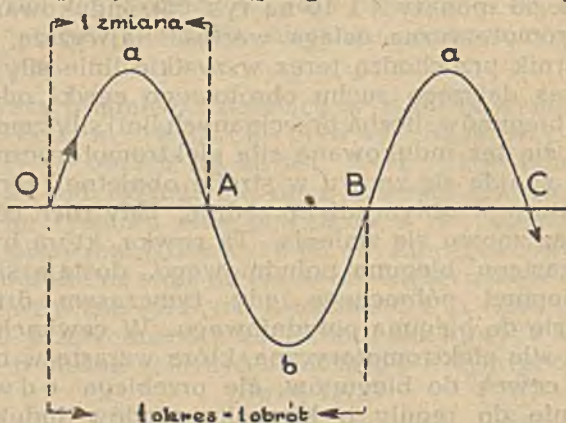
prawie linii siły nie przecinają, wobec czego nie indukuje się w nich siła elektromotoryczna (to miejsce pola magnetycznego nazywamy strefą obojętną). Gdy twornik obraca się dalej, jedna jego cewka dostaje się w zasięg działania biegunu południowego, druga zbliża się do biegunu północnego. Twornik przecina teraz linie siły przebiegające między biegunami, wskutek czego indukuje się w cewkach siła elektromotoryczna, tym większa, im bardziej zbliżają się one do biegunów. Gdy cewki znajdują się w takim położeniu przed biegunami jak na rys. 66 (punkty 4 i 10 na rys. 65), indukowana w nich siła elektromotoryczna osiąga wartość najwyższą, ponieważ przez twornik przechodzą teraz wszystkie linie siły.

Podczas dalszego ruchu obrotowego cewki oddalają się znowu od biegunów, liczba przecinanych linii siły zmniejsza się, zmniejsza się też indukowana siła elektromotoryczna, dopóki cewki nie znajdą się znowu w strefie obojętnej, teraz jednak w położeniu odwrotnym niż poprzednio. Gdy ruch cewek trwa dalej, obraz znowu się zmienia. Ta cewka, która była poprzednio w zasięgu biegunu południowego, dostaje się teraz w zasięg biegunu północnego, gdy tymczasem druga cewka zbliża się do biegunu południowego. W cewkach indukuje się znowu siła elektromotoryczna, która wzrasta w miarę zbliżania się cewek do biegunów, ale przebiega odwrotnie, odpowiednio do reguły o kierunku prądów indukowanych. Ta nowa siła elektromotoryczna osiąga wartość najwyższą w chwili, gdy cewki znajdują się znowu przed biegunami (jak na rys. 65), jednak cewka W_2 znajduje się przed biegunem północnym, cewka W_1 przed biegunem południowym. Indukowana siła elektromotoryczna zmienia więc swój kierunek i swoją wielkość za każdym półobrotem twornika, tj. za każdym przejściem twornika przez strefę obojętną.

Powstający w ten sposób prąd zmienny można przedstawić graficznie za pomocą linii krzywej jak na rys. 67. Punkt O odpowiada tutaj położeniu wyjściowemu twornika w strefie obojętnej, którą wyobraża linia $O - C$. Gdy twornik zajmuje to położenie, indukowana siła elektromotoryczna równa się zeru. Siła ta wzrasta, w miarę jak twornik oddala się ze strefy obojętnej i uzyskuje wartość najwyższą „ a ” wtedy, gdy każda cewka twornika znajdzie się przed biegunem. Podczas dalszego ruchu obrotowego cewki oddalają się od biegunów, siła elektromotoryczna maleje stopniowo i spada do zera w chwili, kiedy cewki dobiegły znowu do strefy obojętnej. W tym właśnie momencie następuje zmiana biegunów, indukowana

siła elektromotoryczna zmienia swój kierunek, następnie jednak zaczyna wzrastać, dopóki nie osiągnie swojej drugiej wartości najwyższej „b”. W dalszym ciągu siła elektromotoryczna słabnie stopniowo, spada znowu do zera i powtarza tę grę, dopóki trwa ruch obrotowy cewek.

Liczba zmian siły elektromotorycznej zależy od liczby obrotów twornika. W prądnicach współczesnych czas upływający od jednego przejścia cewek przez „zero” (przez strefę obojętną) do przejścia następnego albo — co na jedno wy-



Rys. 67.

chodzi — czas upływający od uzyskania jednej wartości najwyższej do następnego wartości najwyższej, skierowanej przeciwnie, trwa około 1/100 część sekundy. O takim prądzie zmiennym mówimy, że ma 100 zmian na sekundę. Te krótkie czasy 1/100 sek. odpowiadają na rys. 67 odcinkom O—A, A—B i B—C. Przebieg linii krzywej od O do B nazywamy całą falą, odcinki O—A oraz A—B nazywamy półfalami. Czas, w obrębie którego przebiega jedna cała fala, nazwano okresem prądu zmiennego. Każdy okres obejmuje 2 zmiany i trwa normalnie przez 1/50 część sekundy. Liczba okresów na sekundę, równa liczbie fal na sekundę, nazywa się częstotliwością prądu zmiennego. Prąd zmienny, produkowany przez nasze elektrownie, ma z reguły częstotliwość 50 okresów na sekundę.

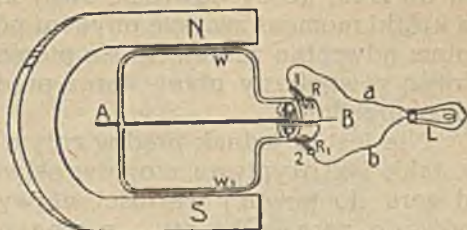
W każdej prądnic, podobnie jak w prądnic Pixiego, powstaje prąd zmienny. Za pomocą odpowiedniego urządzenia można zmusić taki prąd do płynięcia w jednym kie-

runku, czyli przetworzyć go w prąd stały. Pierwsze tego rodzaju urządzenie zbudował w r. 1838 wynalazca elektromagnesu, W. Sturgeon. Rzecz cała polega na zastosowaniu półpięści, zwanych kolektorem, które skierowują powstający w maszynie prąd zmienny w ten sposób, że w obwodzie zewnętrznym płynie on w jednym kierunku.

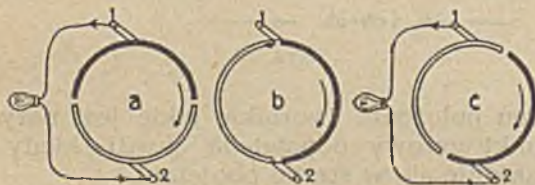
Działanie kolektora objaśniają rys. 68 i 69. Zamiast dwóch pierścieni zbiorczych maszyny Pixiego (rys. 66) widzimy na rys. 68 dwa izolowane od siebie półpięście. Jeden półpięście jest połączony z początkiem, drugi z końcem uzwojenia twornika W

—W₁. Szczotki 1 i 2 stoją naprzeciw siebie, jedna w najniższym punkcie pierścienia, druga naprzeciw. Obwód zewnętrzny (żarówka L) jest połączony ze szczotkami 1 i 2 za pomocą drutów a—b.

Położenie kolektora, narysowane na rys. 69 a, odpowiada położeniu twornika z rys. 66. Podczas pierwszej ćwierci obrotu



Rys. 68.

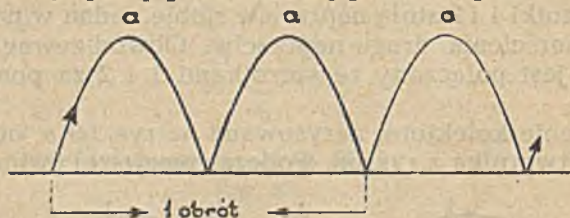


Rys. 69.

indukuje się — jak wiemy — siła elektromotoryczna tak skierowana, że prąd wypływa przez szczotkę 1 do obwodu zewnętrznego, a przez szczotkę 2 powraca do twornika. Po skończeniu tego ćwierćobrotu siła elektromotoryczna równa się zero. Równocześnie także i kolektor wykonał ćwierć obrotu, a każda szczotka leży przez krótki moment równocześnie na obydwu połówkach kolektora (rys. 69 b). W tej chwili cały twornik jest zwarty przez obydwie szczotki, ale zwarcie to nie jest szkodliwe, bo siła elektromotoryczna równa się właśnie zero.

W następnym momencie (rys. 69 c) szczotka 1, która stykała się uprzednio z czarnym półpierścieniem, leży na białym półpierścieniu, a szczotka 2 na czarnym. Teraz siła elektromotoryczna odwróciła kierunek, ale równocześnie odwróciło się połączenie z obwodem zewnętrznym, tak że kierunek prądu nie uległ zmianie i nie zmienia się podczas następnej połowy obrotu. Później, gdy siła elektromotoryczna w cewce spada znowu do zera, ażeby odwrócić swój kierunek, następuje znowu na krótki moment zwarcie obydwu półpierścieni i bezpośrednio potem odwrotne zetknięcie się pierścieni ze szczotkami. Przez obwód zewnętrzny płynie teraz prąd w tym samym kierunku jak poprzednio.

Nie jest to jednak prąd w całym tego słowa znaczeniu stały, taki, jaki wypływa z ogniów galwanicznych, ponieważ drga od zera do pewnej wartości najwyższej, a następnie spada znowu do zera. Obrazowo można go przedstawić w postaci półfal, skierowanych w górę i poza sobą uszeregowanych (rys. 70). Najwyższy punkt każdej półfali odpowiada każdora-



Rys. 70.

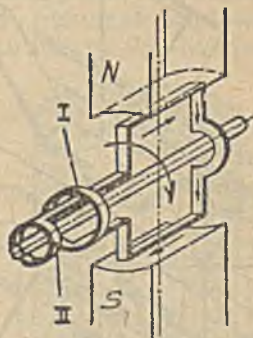
zowo takiemu położeniu twornika, jakie jest narysowane na rys. 66; punkt zerowy odpowiada chwili, kiedy uzwojenie twornika znajduje się w strefie obojętnej.

Taki drgający prąd stały nie nadaje się do wielu celów. Dlatego konstruktorzy dążyli do usunięcia drgań. Do celu udało się dojść dzięki pracom wielu techników (Wheatstone, Dal Negro, Siemens, Pacinotti, Gramme, Hefner-Alteneck itd.).

Wobec tego, że brak tutaj miejsca na choćby pobieżne omówienie każdego pomysłu i ulepszenia, ograniczymy się do krótkiego opisu działania prądnic współczesnych. Przede wszystkim nie spotykamy już po obydwu stronach maszyny pierścieni, po których ślizgają się szczotki. Ażeby odprowadzić prąd z twornika, obracającego się w polu magnetycznym, stosujemy układ przedstawiony na rys. 71. Uzwojenie twornika prowadzimy w postaci pętlicy do drugiego bieguna i stąd z po-

wrotem do przodu, a szczotki ślizgają się po I i II. Ponieważ indukcja jest skierowana w jednej pętlicy od przodu ku tyłowi, a w drugiej od tyłu ku przodowi, siły elektromotoryczne dodają się do siebie, podobnie jak w szeregowo połączonych ogniwach galwanicznych. Pętlice są w rzeczywistości wykonane z okrągłych drutów; na rys. 71 przedstawiono je celem zwiększenia przejrzystości rysunku jako płaskie przewodniki.

Drugim czynnikiem jest budowa twornika wraz z kolektorem. Ażeby z prądu zmiennego, indukowanego w myśl rys. 65, otrzymać prąd stały nie drgający, budujemy kolektor z większej ilości przewodników, a prąd odbieramy kolejno z różnych przewodników (pętlic), które mają w danej chwili takie samo położenie w polu magnetycznym, czyli uzyskują taką samą siłę elektromotoryczną i — tym samym — dają na zaciskach maszyny wyrównane napięcie międzyzaciskowe.

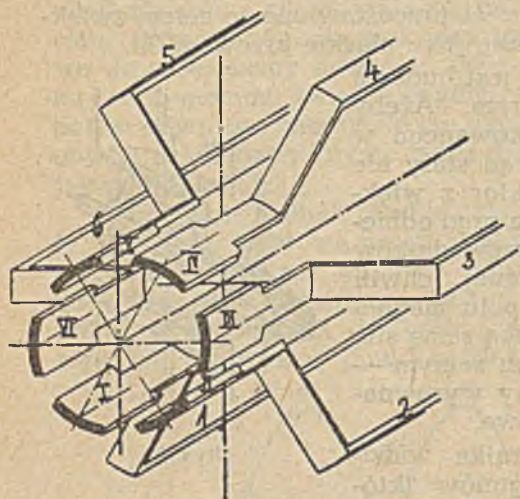


Rys. 71.

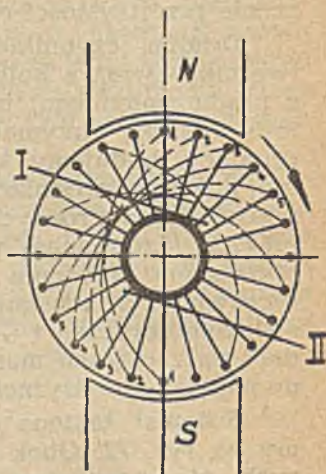
Schemat takiego twornika widzimy na rys. 72. Obok biegunów (których nie narysowano) przebiegają kolejno pętlice 1—4, 2—5, 3—6 itd. Końce tych pętlic wiodą do wycinków I—IV, II—V, III—VI. Gdy na I i IV ślizgają się dwie szczotki, jedna u góry, druga u dołu, otrzymują one w narysowanym położeniu siłę elektromotoryczną od 1—4. W następnym momencie wycinki I i IV usuwają się spod szczotek, a na ich miejsce nadbiegają wycinki II—V. Od nich odbierają szczotki tę siłę elektromotoryczną, która została indukowana w pętlicy 2—5. Ponieważ pętlica 2—5 znajduje się teraz w takim samym polu, jak uprzednio 1—4, otrzymuje taką samą siłę elektromotoryczną. Gdy po chwili pod szczotki dostają się wycinki III—VI i zasilają je z 3—6, odbywa się to znowu z taką samą siłą elektromotoryczną.

W wykonaniu praktycznym potrzebna jest znacznie większa liczba pętlic i wycinków. Prąd, pobrany z prądnicy zbudowanej w myśl rys. 72, pracowałby w postaci uderzeń. Rys. 73 podaje schemat prądnicy z 12 wycinkami 1—1, 2—2 itd. Szczotki I i II leżą zawsze co najmniej na dwóch wycinkach. Pętlica 1—1 zaczyna oddawać prąd już wtedy, zanim pętlica 2—2 zdołała usunąć się spod szczotek. Dzięki temu uderzenia prądu już nie występują.

Gdybyśmy z licznych pętlic, które przebiegają obok biegunów, wykorzystywali tylko jedną do dostarczania prądu, byłoby to nader nieekonomiczne. Dlatego nie budujemy uzwojenia z oddzielnych pętlic, lecz z pętlic między sobą połączonych



Rys. 72.



Rys. 73.

nych. Dzięki temu prąd pochodzi z całego układu pętlic. Każda pętlica zmienia wprawdzie swoje położenie w polu magnetycznym, ale położenie całego układu, który oddaje prąd, jest zawsze takie samo. Mimo że w pętlicach indukuje się zmienna siła elektromotoryczna, suma sił wszystkich pętlic nie ulega zmianie, co znaczy, że powstaje prąd stały, pozbawiony (praktycznie) drgań i płynący jednostajnie w jednym i tym samym kierunku.

Prądnice magnetoelektryczne, o jakich mówiliśmy dotychczas, nazywamy *induktorami*. Pracują one w myśl schematu na rys. 74: twornik obraca się w polu siły magnesu (nie elektromagnesu). Ponieważ natężenie takiego pola nie jest wielkie, więc i w tworniku powstają niewielkie stosunkowo siły elektromotoryczne, prądnica daje niskie napięcie międzyzaciłkowe i małą moc. Ażeby sprawę polepszyć, zaczęto powiększać wymiary magnesów albo łączono więcej magnesów w wielkie zespoły, ale niewiele to pomagało, bo i wtedy

pole magnetyczne było słabe. Prócz tego pole magnetyczne osłabiało się z czasem coraz bardziej, ponieważ magnesy traciły stopniowo swój magnetyzm wskutek wstrząsów podczas pracy maszyny.

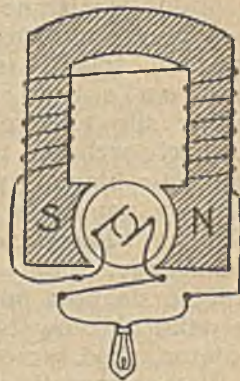
Pierwszym, który usunął te niedogodności, był Wheatstone. Wyszedł on z założenia, że elektromagnesy są silniejsze od tak samo wielkich magnesów oraz że nie tracą one magnetyzmu, ponieważ są stale zasilane prądem. Magnes prądniczy zastąpił więc elektromagnesem. Schemat prądnicy, zbudowanej według tego pomysłu, widzimy na rys. 75. Miejsce



Rys. 74.



Rys. 75.



Rys. 76.

magnesu N—S z rys. 74 zajął elektromagnes wzbudzany przez ogniwa galwaniczne, które trzeba było załączać wtedy, gdy maszyna miała pracować. Ruch takiej maszyny był kosztowny, bo w ogniwach zużywał się cynk i elektrolit, ale pole siły było jednostajne i bez porównania silniejsze.

Inny konstruktor, Wilde, rozwiązał zadanie w sposób bardziej racjonalny (r. 1866). Według jego pomysłu wraz z wielką prądnicą biegła równocześnie mała maszyna magnetoelektryczna, której prąd służył wyłącznie do wzbudzania elektromagnesów wielkiej maszyny. Później poszedł dalej i prąd, dawany przez takie zespolone maszyny, wykorzystywał do wzbudzania elektromagnesów trzeciej, jeszcze większej.

Konstrukcja ta należy dzisiaj do historii dzięki odkryciu zasady dynamoelektrycznej przez W. Siemens (r. 1867). Rzecz cała polega na samowzbudzeniu, czyli na tym, że do wzbudzania elektromagnesów służy prąd, powstający w samej prądnicy. Siemens oparł się na zjawisku,

że żelazo, a więc i rdzeń elektromagnesu, posiada zawsze ślady magnetyzmu, ponieważ znajduje się w polu magnetycznym kuli ziemskiej. Ten magnetyzm szczątkowy wystarcza w zupełności, ażeby wzbudzić prąd w poruszających się cewkach twornika. Ten prąd jest wprawdzie bardzo słaby, ale, jeśli skierujemy go przez uzwojenie elektromagnesu w ten sposób, ażeby wzmocnił jego słaby magnetyzm, pole magnetyczne wzmacnia się, a prąd indukowany wzrasta. Tak wzmocniony prąd płynie znowu przez uzwojenie, podwyższa wskutek tego natężenie pola, wzmacnia prąd itd.

Takie wzajemne wzmacnianie odbywa się tylko do pewnego stopnia, ponieważ granicę stanowi nasycenie magnetyczne żelaza (str. 50) oraz magnetyczne przeciwdziałanie twornika. Mianowicie magnes nie tylko indukuje siłę elektromotoryczną w przewodnikach twornika, lecz także wzbudza magnetyzm w rdzeniu twornika, który naprzeciw bieguna północnego magnesu ma swój biegun południowy, naprzeciw bieguna południowego magnesu ma biegun północny. Magnetyzm rdzenia twornika wywiera teraz wpływ na magnesy, osłabia ich działanie indukujące i powoduje przesunięcie się pola magnetycznego w kierunku przeciwnym do kierunku obrotów twornika. Tym samym przesuwają się strefa obojętna, skąd szczotki odbierają prąd.

Dlatego szczotki w prądnicach są przystosowane do przestawiania. Jeżeli są niewłaściwie ustawione, maszyna iskrzy, co znaczy, że między kolektorem i szczotkami występują wyładowania w postaci iskier, spowodowane tym, że szczotka zwiera przewodniki twornika, gdy styka się z dwoma sąsiednimi wycinkami kolektora. Iskrzenie działa nader szkodliwie na kolektor i na szczotki, powodując prócz tego straty energii. W nowszych prądnicach specjalna konstrukcja magnesów przytłumia iskrzenie szczotek.

Prądnice dają energię elektryczną kosztem pracy, jakiej trzeba użyć, ażeby utrzymać twornik w ruchu obrotowym. Im większe obciążenie prądnicy, im silniejsze przeciwdziałanie twornika, tym więcej pracy musimy doprowadzić do prądnicy. Dopóki zaciski prądnicy nie są połączone z sobą tak, że prąd z maszyny nie wypływa, można maszynę stosunkowo łatwo wprowadzić w ruch i w ruchu utrzymywać. Gdy jednak połączymy zaciski prądnicy tak, że prąd może już płynąć, wprowadzenie maszyny w ruch i podtrzymanie tego ruchu wymaga już włożenia wielkiej pracy. W ten właśnie sposób energia mechaniczna przetwarza się w prądnicę w energię elektryczną.

ROZDZIAŁ X

PRĄDNICE PRĄDU STAŁEGO

Maszynę, która przetwarza energię mechaniczną w energię elektryczną, nazywamy prądnicą, w przeciwstawieniu do silnika, który przetwarza energię elektryczną w mechaniczną. Dawniej zwano prądnice „dynamomaszynami”. Przyjął się także wyraz „dynamo” na określenie prądnicy dającej prąd stały. Dla prądnic prądu zmiennego wprowadzono również nazwę „alternator” (alternować = zmieniać). Między prądnicami i silnikami prądu stałego nie ma zasadniczych różnic; każda prądnica może pracować jako silnik.

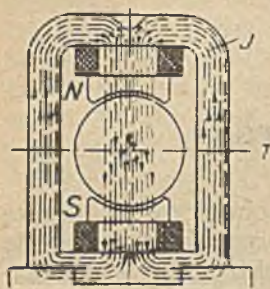
Prawo Faradaya mówi, że w każdym przewodniku, poruszającym się w polu magnetycznym i przecinającym linie siły, indukuje się siła elektromotoryczna (str. 64). Wielkość tej siły zależy od liczby linii siły przeciętych w jednostce czasu, a zatem po pierwsze od natężenia pola magnetycznego, po drugie od szybkości, z jaką porusza się przewodnik, a jeżeli ten przewodnik ma kształt cewki, od liczby jego zwojów.

Odpowiednio do tego prądnica musi posiadać dwie części zasadnicze: elektromagnes, które wytwarzają pole magnetyczne oraz przewodnik (twornik), który może się w tym polu poruszać. Prócz tego wszystkie współczesne prądnice prądu stałego mają samowzbudzenie, tj. elektromagnes wzbudzane prądem stałym, dostarczonym przez kolektor (str. 83).

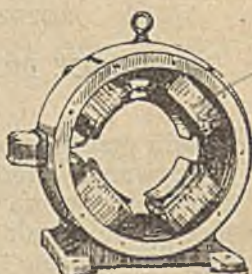
Prądnice prądu stałego budowane są z reguły według schematu z rys. 63: elektromagnes są nieruchome, obraca się twornik. Gdyby było odwrotnie, musiałyby obracać się także i szczotki, które powinny mieć zawsze takie samo położenie względem biegunów.

Aby liniom siły ułatwić przechodzenie od bieguna do bieguna, obwód magnetyczny jest zamknięty przez żelazo (rys. 77): magnesy są połączone przez jarzmo J w tzw. magnesnicę. Wewnątrz obraca się twornik T, oddzielony od biegunów małą szczeliną powietrzną.

Na rys. 78 widzimy małą prądnicę prądu stałego (czterobiegunową), na rys. 79 jej twornik wraz z kolektorem. Magnesy są umieszczone wewnątrz okrągłego kadłuba, ich bieguny sięgają do wnętrza. Między biegunami obraca się twornik, zakoń-



Rys. 77.



Rys. 78.

czony kolektorem (po prawej stronie). Kolektor składa się z wielkiej liczby izolowanych od siebie wycinków miedzianych, które połączone są pojedynczo z uzwojeniem twornika. Twornik posiada opaski metalowe, które zapobiegają rozluźnieniu i zerwaniu uzwojeń przez siłę odśrodkową, jaka powstaje przy wysokich obrotach.



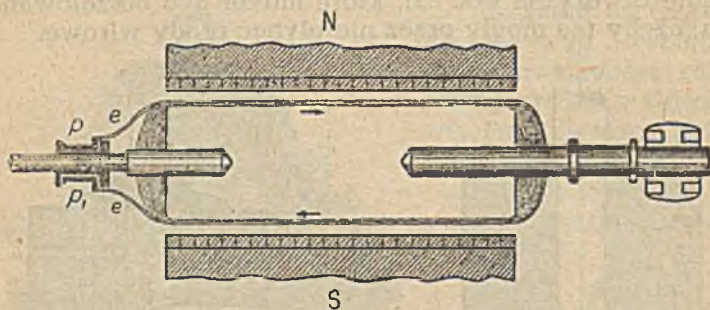
Rys. 79.



Rys. 80

Twornik ma z reguły kształt bębna (w starych prądnicach ma on kształt pierścienia). Przewodniki umieszczone są wyłącznie na zewnętrznej stronie bębna według schematu rys. 80. Rys. 81 przedstawia przekrój podłużny twornika bębnowego (widać tutaj bieg prądu oraz połączenie uzwojenia twornika z kolektorem); twornik obraca się między biegunami N—S. Poszczególne druty (cewki) twornika połączone są z wycinkami kolektora (układ szeregowy). Celem zwiększenia przejrzystości narysowano tylko jeden drut „e”, wygięty w pętlę, która otacza cały bęben; końce drutu połączone są z przy-

należnymi wycinkami kolektora $p-p_1$. Gdy twornik obraca się, wówczas w górnej połowie pętlicy, przebiegającej przed biegunem północnym, powstaje siła elektromotoryczna skierowana w jedną stronę, np. w prawo, gdy tymczasem w dolnej po-



Rys. 81.

łowie, na którą działa biegun południowy, indukuje się siła elektromotoryczna skierowana przeciwnie, a te dwie siły sumują się. To samo dzieje się we wszystkich innych drutach (cewkach) twornika, z których każdy jest połączony z dwoma sąsiednimi wycinkami kolektora. Gdy wszystkie pętlice ujmemy w dwie wielkie grupy w ten sposób, aby w jednej grupie prąd płynął w stronę kolektora, a w drugiej od kolektora — możemy przyłożyć do obydwu stref obojętnych szczotki i odprowadzić prąd na zewnątrz.

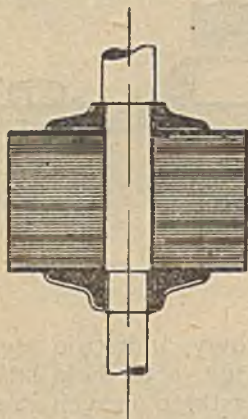
W tworniku bębnowym uczestniczy w wytwarzaniu prądu całe uzwojenie z wyjątkiem tych tylko drutów, które leżą po stronie czołowej i tylnej bębna. Celem łatwiejszego pomieszczenia uzwojeń oraz celem pomniejszenia szczeliny między biegunami a powierzchnią twornika, na powierzchni bębna porobione są żłobki otwarte lub zamknięte, w których leżą druty. Bęben twornika jest zrobiony z cienkich blach, izolowanych od siebie warstwami papieru, luszczku lub lakiery, co zapobiega powstawaniu prądów wirowych. Blachę taką przedstawia rys. 82. Żłobki narysowane są tylko w górnej połowie. Blachy posiadają zwykłe wydrążenia, ażeby podczas obrotów twornika mogło przez



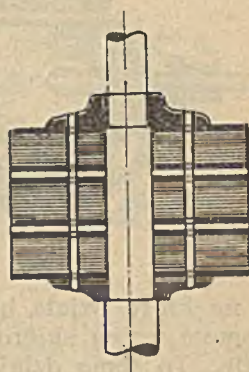
Rys. 82.

wydrążenia, ażeby podczas obrotów twornika mogło przez

jego wnętrze przepływać powietrze i odprowadzać ciepło. Blachy przytrzymywane są za pomocą zaprasowanych na wale albo ześrubowanych krążków (rys. 83). W większych twornikach (rys. 84) są oprócz tego osadzone dokoła rdzenia trzpienie (okrągłe otwory na rys. 82), które muszą być odizolowane od blach, ażeby nie mogły przez nie płynąć prądy wirowe.



Rys. 83.

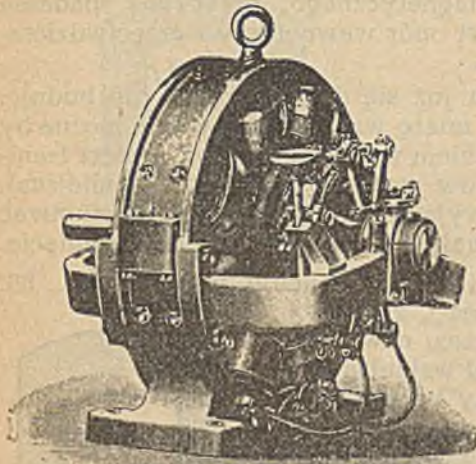


Rys. 84.

Rdzenie magnesów (odlewy stalowe) zakończone są nasadami biegunowymi (nabiegunnikami). W większości przypadków każdy biegun posiada własne uzwojenie. Bieguny bez uzwojenia nazywamy biegunami pośrednimi albo następczymi. W niektórych maszynach uzwojenie ma co drugi biegun. Małe prądnice, aż do mocy około 10 kilowatów, mają zazwyczaj tylko dwa bieguny, jeden N, drugi S. W większych maszynach liczba biegunów jest większa, zależnie od mocy, napięcia i liczby obrotów. Rys. 85 przedstawia prądnicę ośmiobiegunową.

Szczotki są wykonane prawie zawsze z węgla (wyjątkowo z siatki miedzianej lub z mosiądzu). Na rys. 86 właściwa szczotka jest oznaczona literą K. Szczotka tkwi w szczotko-trzymaczu F i jest naciskana od góry przez dźwignię, którą pociąga sprężyna. Prowadnica jest przymocowana do dźwigni H śrubą S, a dźwignia H siedzi na sworzniu B. Do odprowadzania prądu służy linka miedziana L, która kończy się w zacisku E. Szczotki są osadzone po kilka obok siebie na wspólnym sworzniu, a ten na trzymadle szczotkowym (szczotko-trzymaczu). Liczba szczotek zależy głównie od napięcia prądu, jaki ma być

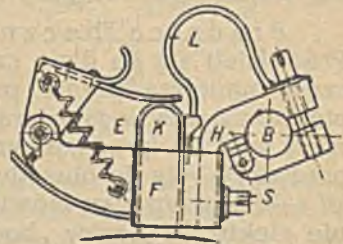
z prądnicą odprowadzany. Na 1 cm^2 powierzchni szczotki liczy się przeciętnie 8 amperów. Na jeden biegun przypada zazwyczaj jedna para szczotek. Trzymadło można przesuwac celem nadania szczotkom najlepszego położenia na kolektorze.



Rys. 85.

Zależnie od tego, jak płynie prąd wzbudzający elektromagnesy, rozróżniamy prądnice głównikowe, bocznikowe i głównikowo-bocznikowe.

Prądnica głównikowa pracuje według



Rys. 86.

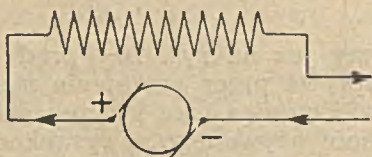
schematu, który poznaliśmy już na rys. 76; prąd „główny”, tj. cały prąd przepływa przez uzwojenie magnesów i stąd odplywa na zewnątrz. Prądnica taka jest przedstawiona na rys. 87 w postaci schematu używanego w rysunkach technicznych: linie skośne obok znaków + i — wyobrażają szczotki (bez względu na liczbę biegunów zaznaczamy w schematach tylko jeden biegun + i jeden biegun —); linia zygzakowata u góry oznacza wzbudzenie (także i tutaj jedna linia wyobraża wzbudzenie dwóch lub więcej biegunów).

Prądnica głównikowa charakteryzuje się tym, że w miarę wzrostu obciążenia wzrasta jej napięcie międzyzwojowe. Dopóki w obwodzie zewnętrznym nie ma obciążenia, prąd nie płynie przez uzwojenie biegunów, twornik obraca się w słabym polu, powstającym pod wpływem magnetyzmu szczątkowego magnesy i daje małą siłę elektromotoryczną. W razie obciążenia obwodu zewnętrznego (np. przez załączenie żarówek) prąd może już płynąć; teraz dopiero magnesy stają się elektromagnesami, a siła elektromotoryczna wzrasta. W miarę zwiększania obciążenia (załączania dalszych lamp) płynie prąd co-

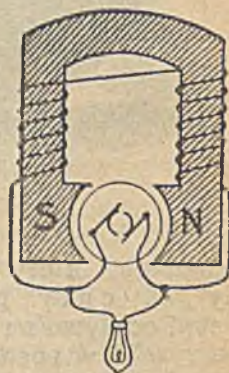
raz większy i siła elektromotoryczna wzrasta dalej, ale tylko do chwili, kiedy bieguny są nasycone, po czym zaczyna spadać. Wobec tego, że szybkość i długość przewodników nie ulega zmianie, zmiana siły elektromotorycznej zależna jest tylko od natężenia pola magnetycznego. Przyczyną spadania siły elektromotorycznej jest opór wewnętrzny i przeciwdziałanie twornika (str. 84).

Prądnic głównikowych już się dzisiaj prawie nie buduje, chociaż wzrost napięcia w miarę wzrostu obciążenia można by niejednokrotnie z powodzeniem wykorzystać (np. w sieci tramwajowej, gdzie kilka wozów rusza równocześnie z miejsca). Z drugiej jednak strony wyjątkowo tylko można posługiwać się prądnicą, która przy małym obciążeniu nie daje napięcia.

Prądnicą bocznikową pracuje w myśl rys. 88. Prąd dzieli się na dwie części, z których część mniejsza płynie przez uzwojenie elektromagnesów jako prąd wzbudzący, część większa (prąd „główny”) płynie jako prąd użytkowy do obwodu zewnętrznego. W takim przypadku mówimy, że uzwojenie elektromagnesów „bocznikuje” twornik (stąd nazwa maszyny). Układ połą-



Rys. 87.



Rys. 88.

czeń prądnicą bocznikową widzimy na rys. 91. Wobec tego, że prąd wzbudzący wynosi tylko 3—8% prądu ogólnego, rysujemy przewód bocznikowy cienkimi liniami.

Przy uruchamianiu prądnicą bocznikową bieguny pracują najpierw jako magnesy naturalne, gdyż posiadają magnetyzm szczątkowy. Linie siły, wysyłane przez słabe jeszcze pole, przecinają druty twornika i indukują w nich nieznaczną siłę elektromotoryczną, która wywołuje słaby prąd w uzwojeniu biegunów. Teraz jednak wzmacnia się magnetyzm maszyny, bieguny wysyłają więcej linii siły, druty twornika przecinają więcej tych linii. Tym samym indukują w tworniku większą siłę elektromotoryczną, tak że druty mogą już wysłać do biegu-

nów prąd silniejszy. Wskutek tego wzrasta znowu magnetyzm i podwyższa się indukowana siła elektromotoryczna, prądnica „przychodzi do napięcia”, czyli wzbudza się.

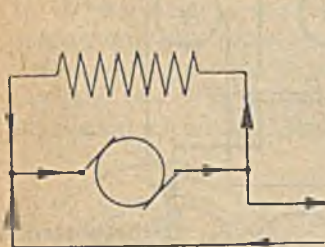


Rys. 89.

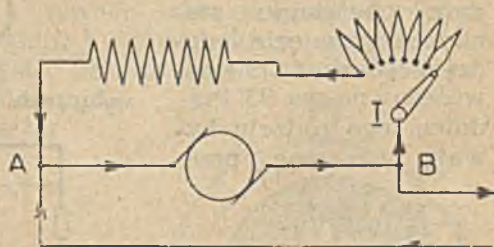


Rys. 90.

Siła elektromotoryczna nie wzrasta jednak w nieskończoność, liczba linii siły nie rośnie proporcjonalnie do wzrostu liczby amperozwojów. Napięcie międzyzaciskowe prądnicy ma



Rys. 91.



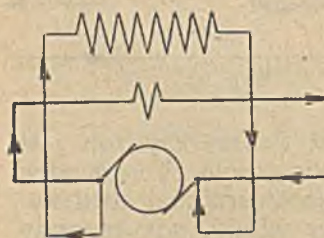
Rys. 92.

wartość najwyższą wtedy, gdy obwód zewnętrzny nie jest obciążony, a spada w miarę wzrostu obciążenia. Ten spadek napięcia jest wynikiem przeciwdziałania twornika i strat napięcia w tworniku. Jest on nieznaczny wtedy, gdy bieguny są tak silnie nasycone, że mimo przeciwdziałania twornika nie występuje niedopuszczalne zmniejszenie strumienia linii siły. Spadek napięcia w dobrze wykonanych prądnicach wynosi przy pełnym obciążeniu 3—5%.

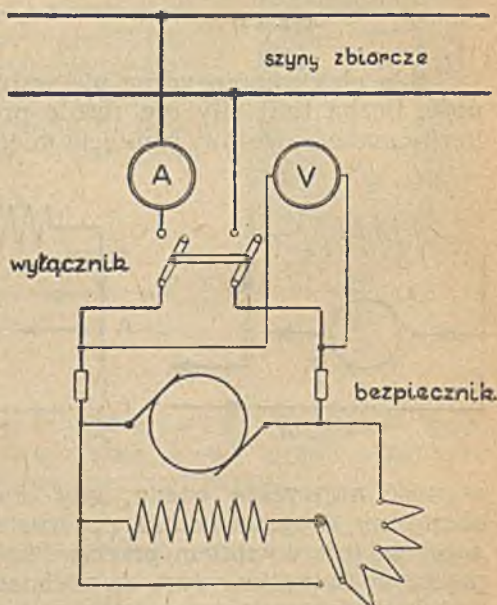
Celem wyrównywania spadku napięcia oraz celem regulowania maszyny wbudowuje się w boczniku opornik re-

gula c y j n y (rys. 89 i 92). Przy małym obciążeniu prądnicy opornik jest załączony przed wzbudzeniem (drążek opornika spoczywa na styku 1); siła elektromotoryczna może przepędzać teraz między A i B tylko odpowiednio mały prąd przez wzbudzenie i opornik, bieguny magnesów nie są całkowicie namagnesowane, pole nie ma najwyższego natężenia. W miarę wzrostu obciążenia trzeba zwierać opornik coraz bardziej: przez bieguny płynie większy prąd, bo opór zmniejszył się; siła elektromotoryczna wzrasta, tak że mimo spadku napięcia w maszynie i mimo przeciwdziałania twornika napięcie międzyzaciskowe utrzymuje się na niezmiennej wysokości.

Prądnica głównikowo-bocznikowa posiada wzbudzenie załączone częściowo jako wzbudzenie głównikowe, częściowo jako wzbudzenie bocznikowe (rys. 90). Magnesy mają po dwa uzwojenia, z których jedno jest wykonane z grubego, drugie z cieńszego drutu; przez grube uzwojenie płynie prąd główny, cienkie uzwojenie leży w boczniku. Jedno uzwojenie działa na drugie w ten sposób, że maszyna daje przy każdym obciążeniu niezmiennie napięcie międzyzaciskowe. Schemat widzimy na rys. 93. Prądnice tego rodzaju bywają używane prze-



Rys. 93.



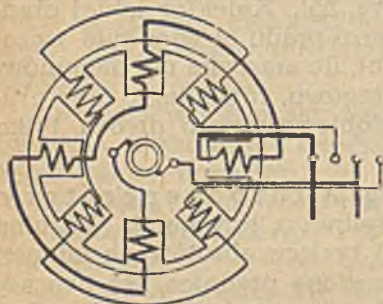
Rys. 94.

ważnie jako maszyny wzbudzające w elektrowniach prądu zmiennego (elektromagnesów nie można wzbudzać prądem zmiennym). Jeżeli prądnica głównikowo-bocznikowa jest

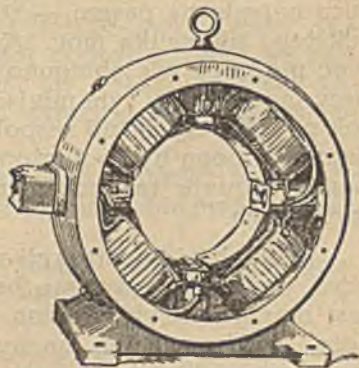
zbudowana w ten sposób, że jej napięcie wzrasta między biegiem jałowym (tj. biegiem bez obciążenia) a pełnym obciążeniem, nazywamy ją przewzbudzoną. Gdy dzieje się odwrotnie, mówimy o maszynie niedowzbudzonej.

W kompletnych schematach maszyn prądu stałego zaznaczone są przyrządy pomocnicze, jak bezpieczniki i wyłącznik. Prócz tego do każdej prądnicy należy woltomierz i amperomierz. Maszyna oddaje prąd do szyn zbiorczych, skąd płynie on do sieci rozdzielczej. Schemat na rys. 94 dotyczy prądnicy bocznikowej (A=amperomierz, V=woltomierz).

Twornik wpływa na pole magnetyczne w większym lub mniejszym stopniu, zależnie od obciążenia prądnicy. Z tego powodu pole magnetyczne zniekształca się, a strefa obojętna przesuwa się w kierunku obrotów twornika. Szczotki powinny znajdować się zawsze w strefie obojętnej, a w razie przesunięcia się pola, tj. w razie wzrostu obciążenia, należy szczotki odpowiednio przesunąć. Inaczej maszyna iskrzy, co prowadzi do rychłego zniszczenia kolektora. Od dobrej prądnicy wymagamy dzisiaj, ażeby przy zmianie obciążenia od wartości zerowej do wartości najwyższej nie dawała iskrzenia bez przestawiania szczotek, bądź też by to przestawianie poruszało się w obrębie bardzo małych granic. Umożliwiają to bieguny zwrotne (zwane także biegunami równoważącymi lub pomocniczymi), z których każdy leży między dwoma biegunami głównymi. Schemat takiej prądnicy widzimy na rys. 95: prąd główny płynie od szczotek dookoła bie-



Rys. 95.



Rys. 96.

gunów zwrotnych i wskutek tego zmniejsza zniekształcenie pola magnetycznego; bieguny zwrotne działają magnetycznie po-

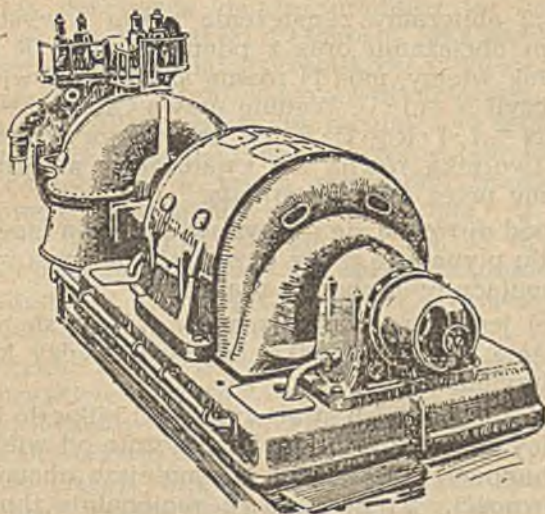
dobnie jak twornik, ale ich biegunowość jest przeciwna. Na rys. 96 widzimy magnesnicę prądnicy czterobiegunowej z małymi biegunami zwrotnymi.

Moc prądnicy równa się — zgodnie z prawem Ohma — iloczynowi produkowanego natężenia i napięcia (kilowaty). Napięcie prądu mierzone na zaciskach jest tym wyższe, im większa jest liczba bądź długość przewodników twornika, im większe natężenie pola magnetycznego oraz im większa szybkość, z jaką twornik obraca się w polu. Liczba i długość przewodnika w tworniku zależy od wielkości twornika i grubości drutu. Twornik można więc uzwoić albo grubym drutem dla wielkiego natężenia i nieznacznego napięcia, albo cienkim drutem dla wysokiego napięcia i małego natężenia.

Liczba obrotów twornika jest zależna od liczby obrotów maszyny napędowej, z której prądnica pobiera pracę mechaniczną. Małe prądnice są zazwyczaj napędzane za pomocą pasów przez maszyny parowe, benzynowe, ropne lub gazowe i mają wtedy stosunkowo wysokie liczby obrotów (np. 1000 albo 2000 na minutę). Większe prądnice są z reguły sprzężone bezpośrednio z maszynami napędowymi; tutaj twornik prądnicy jest osadzony na przedłużonym wale maszyny napędowej. Maszyny parowe (nie turbiny), używane do bezpośredniego napędu prądnic, nie mają wielkich liczb obrotów (od około 100 do 400 na minutę). Twornik, sprzężony z taką maszyną bezpośrednio, obracałby się — w porównaniu z prądnicą napędzaną pasem — stosunkowo powoli i dawałby wskutek tego niewielką moc. Ażeby temu zaradzić, zaczęto budować prądnice wielobiegunowe (rys. 85). Kolektor takiej prądnicy ma z reguły tyle miejsc odbioru prądu (a więc tyle szczotek pojedynczych lub zespolonych), ile maszyna ma biegunów. Szczotki mogą być połączone szeregowo, równoległe albo grupami. Istnieją też prądnice wielobiegunowe o dwóch tylko szczotkach.

Specjalnej konstrukcji wymagają turbogeneratory, czyli prądnice sprzężone bezpośrednio z turbinami. Turbina jest maszyną szybkoobrotową i robi tysiące obrotów na minutę. Jeżeli z taką turbiną ma być sprzężona prądnica, jej twornik musi mieć jak najmniejszą średnicę, bo inaczej siła odśrodkowa na powierzchni twornika byłaby tak wielka, że nie oparłyby się jej opaski i uzwojenia. Gdy zbudujemy twornik o mniejszej średnicy, zmieścimy na nim mniej drutu i tym samym zmniejszymy moc maszyny. Ażeby mimo zmniejszenia śred-

nicy zmieścić na tworniku dużo drutu, trzeba zwiększyć długość twornika. Dlatego turbogeneratory charakteryzują się bardzo długimi twornikami. Na rys. 97 widzimy taki turboge-



Rys. 97.

nerator o mocy 50 000 kilowatów (turbina napędowa znajduje się z tyłu).

Przetwarzanie energii połączone jest ze stratami, ponieważ prądnicą nie przetwarza całej doprowadzonej do niej pracy w pracę elektryczną, lecz jej część zużywa dla siebie. Na powstawanie tych strat składają się następujące czynniki:

a) tarcie w łożyskach i na szczotkach, a prócz tego opór powietrza w szczelinie między twornikiem a biegunami magnesów (straty tarciove),

b) wywiązywanie się ciepła w żelazie twornika i magnesów, następstwo histerezy i prądów wirowych (są to tzw. straty w żelazie),

c) wywiązywanie się ciepła wskutek przepływu prądu przez uzwojenie twornika (straty w miedzi),

d) zużycie prądu na wzbudzenie magnesów (straty w miedzi),

e) opór przejścia między szczotkami i kolektorem (strata napięcia).

Ażeby ustalić straty wymienione wyżej pod a) i b), pędzimy prądnicę z pełną liczbą obrotów jako silnik i mierzymy zużycie pracy w tworniku.

Stratę c) obliczamy z natężenia prądu I występującego przy pełnym obciążeniu oraz z pomiaru oporu R uzwojenia twornika. Jak wiemy, moc N równa się iloczynowi natężenia i napięcia, czyli $N = I \cdot U$. Według prawa Ohma $U = I \cdot R$, wobec czego $N = I \cdot I \cdot R = I^2 \cdot R$, co znaczy, że strata mocy w uzwojeniu twornika równa się kwadratowi natężenia prądu pomnożonemu przez opór uzwojenia.

Strata pod d) równa się iloczynowi napięcia maszyny i natężenia prądu płynącego przez uzwojenia magnesów. Strata w oporniku regulacyjnym obciąża prądnicę.

Strata e) jest zazwyczaj nieznaczna; równa się ona iloczynowi natężenia prądu i spadku napięcia między kolektorem i szczotko-trzymaczem.

Suma tych wszystkich strat wynosi od kilku do kilkunastu procent pracy dostanej do prądnicy zależnie od wielkości maszyny, jej budowy i obciążenia (im mniejsze obciążenie, tym gorsza sprawność). **Sprawność** racjonalnie zbudowanych i wykorzystanych wielkich prądnic dochodzi do 96%. Sprawność małych prądnic jest znacznie gorsza.

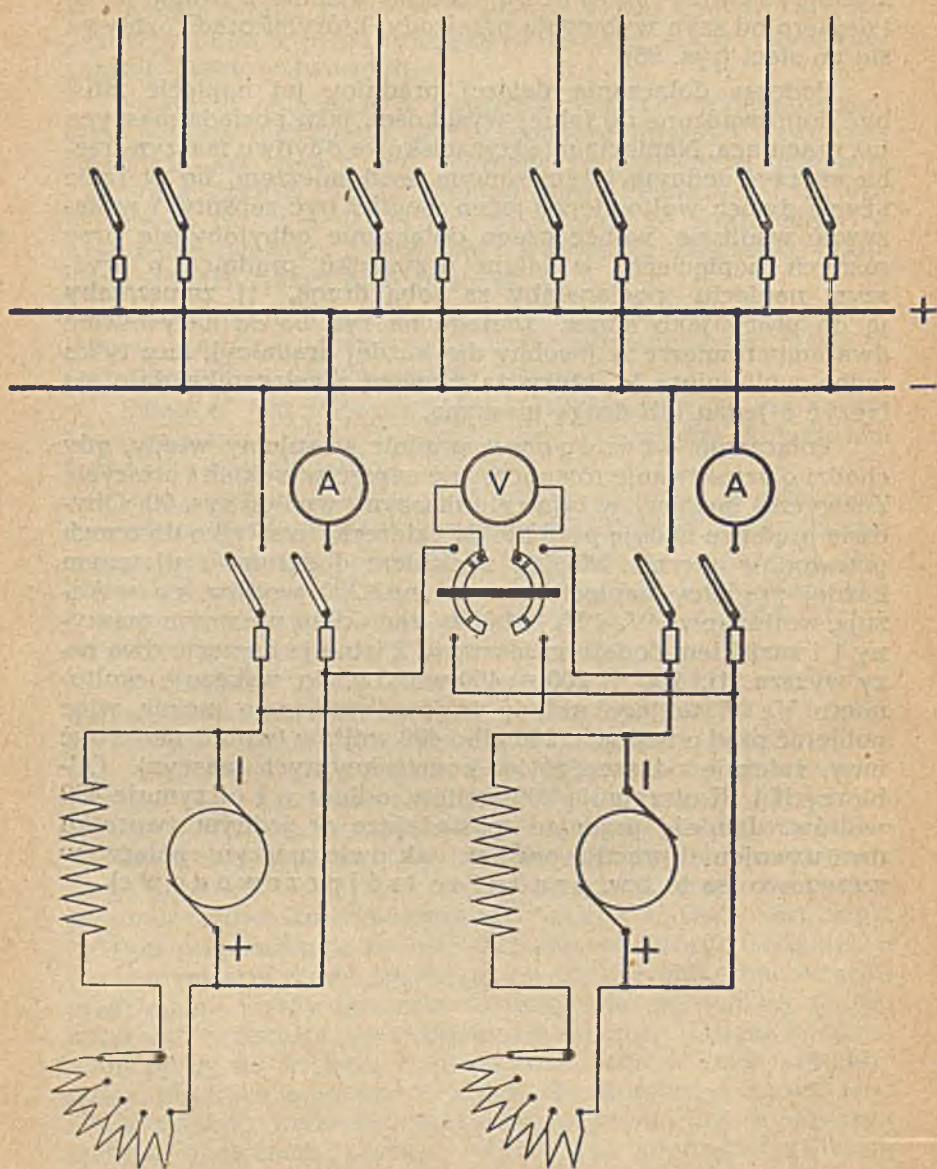
Elektrownie prądu stałego posiadają z reguły nie jedną, lecz więcej prądnic, połączonych w **z e s p ó ł y m a s z y n o w e**, przy czym żąda się, ażeby wszystkie prądnice pracowały na wspólną sieć, co znaczy, ażeby były połączone **r ó w n o l e g ł e**. Prądnic głównikowych nie można w ten sposób łączyć; co najwyżej wchodzi tu w rachubę połączenie szeregowe celem podwyższenia napięcia. Natomiast prądnice **b o c z n i k o w e** mogą pracować w układzie równoległym bez trudności. Także prądnice głównikowo-bocznikowe można łączyć równoległe (w tym przypadku te zaciski szczotek, od których odgałęziają się przewody prądu głównego, muszą być połączone ze sobą przewodem wyrównawczym o przekroju o połowę mniejszym od przekroju przewodów głównych). Dzięki rozdzielaniu pracy na większą ilość maszyn może w razie potrzeby jedna prądnica stanowić rezerwę dla drugiej, a prócz tego każda maszyna może być lepiej wykorzystana (np. w okresach małego obciążenia pracuje tylko jedna prądnica, w miarę wzrostu obciążenia dołącza się dalsze).

Zespoły prądnic pracują w układzie równoległym w ten sposób, że zaciski dodatnie wszystkich prądnic są połączone

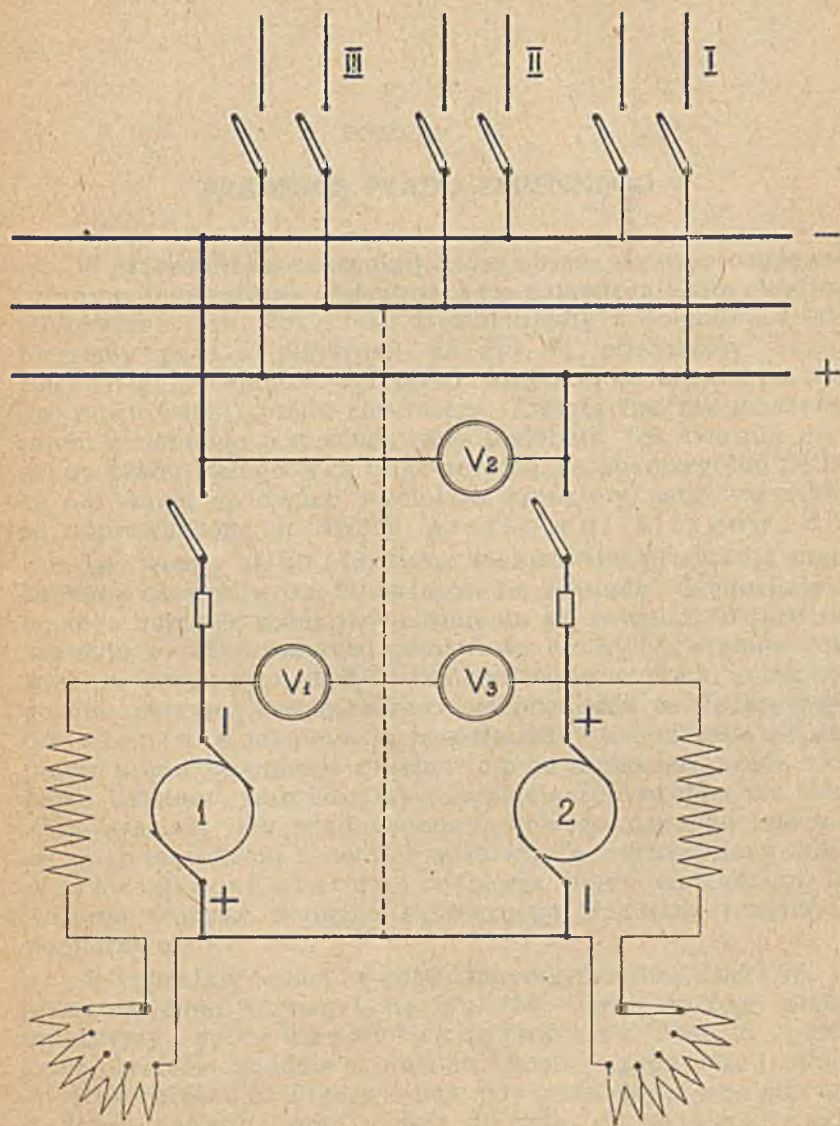
z jedną szyną zbiorczą, zaciski ujemne z drugą szyną i dopiero od szyn wybiegają przewody, którymi prąd rozplywa się po sieci (rys. 98).

Podczas dołączania dalszej prądnicy jej napięcie musi być doprowadzone do takiej wysokości, jaką posiada maszyna już pracująca. Napięcia międzyzaciskowe obydwu maszyn trzeba mierzyć jednym i tym samym woltomierzem, bo w razie użycia dwóch woltomierzy jeden mógłby być zepsuty i wskazywać wadliwie, wobec czego dołączenie odbyłoby się przy różnych napięciach; w takim przypadku prądnica o wyższym napięciu pociągałaby za sobą drugą, tj. zmuszałaby ją do pracy jako silnik. Dlatego na rys. 95 są narysowane dwa amperomierze A (osobny dla każdej prądnicy), lecz tylko jeden woltomierz V, który za pomocą przełącznika daje się łączyć z jedną lub drugą maszyną.

Połączenie szeregowo prądnic stosujemy wtedy, gdy chodzi o uzyskiwanie równocześnie napięć wysokich i niższych. Zazwyczaj łączymy w tym celu maszyny według rys. 99. Obydwie prądnice oddają prąd nie do czterech, lecz tylko do trzech przewodów (szyn). Między zaciskiem dodatnim i ujemnym każdej prądnicy napięcie wynosi np. 200 woltów, co wskazują woltomierze V_1 i V_2 . Między zaciskiem ujemnym maszyny 1 i zaciskiem dodatnim maszyny 2 istnieje napięcie dwa razy wyższe, tj. $200 + 200 = 400$ woltów, co wskazuje woltomierz V_3 . Z takiego układu trójprzewodowego można więc pobierać prąd o napięciu 200 albo 400 woltów (woltaż może być inny, zależnie od szczegółów konstrukcyjnych maszyn). Odbiorcy II i III otrzymują 200 woltów, odbiorca I otrzymuje 400 woltów. Istnieją prądnice posiadające w jednym tworniku dwa uzwojenia; pracują one tak jak dwie maszyny połączone szeregowo (są to tzw. prądnice trójprzewodowe).



Rys. 98.



Rys. 99.

ROZDZIAŁ XI

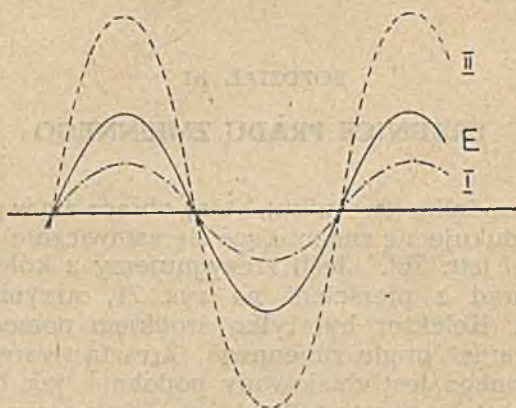
PRĄDNICE PRĄDU ZMIENNEGO

W przewodniku (tworniku), który obraca się w polu magnetycznym, indukuje się zmieniająca się ustawicznie siła elektromotoryczna (str. 76). Jeśli zrezygnujemy z kolektora i odbierzemy prąd z pierścieni na rys. 71, otrzymamy prąd zmienny. Kolektor był tylko środkiem pomocniczym do „wyprostowania” prądu zmiennego. Zresztą twornik maszyny prądu zmiennego jest zbudowany podobnie jak twornik maszyny prądu stałego z tą tylko różnicą, że poszczególne pętlice nie wiodą do dwóch wycinków kolektora, lecz wszystkie są doprowadzone do dwóch pierścieni ślizgowych.

Jak wiemy ze str. 78, nasze elektrownie produkują prąd zmienny częstotliwości 50 okresów na sekundę. Odpowiednio do tego napięcie indukowane zmienia się również 50 razy na sekundę, a żaden przyrząd pomiarowy nie byłby w stanie tak szybkim zmianom nadążyć. Dlatego napięcia prądu zmiennego nie mierzymy bezpośrednio, lecz oceniamy je według jego działania, a mianowicie porównujemy niejednostajne napięcie prądu zmiennego z jednostajnym napięciem prądu stałego. Ustalono, że prąd stały o napięciu 70,7 woltów ma taką samą wartość jak prąd zmienny, którego napięcie zmienia się w granicach od 0 do 100 woltów. Tę wartość nazywamy wartością skuteczną napięcia prądu zmiennego. Tę właśnie wartość napięcia skutecznego wskazują przyrządy pomiarowe.

Wyobraźmy sobie, że prąd zmienny przebiega tak jak to wskazuje linia krzywa E na rys. 100. Jeżeli do tego prądu załączymy opór bezindukcyjny (str. 72), to przez opór płynie — zgodnie z prawem Ohma — prąd o zmieniającym się natężeniu. Prąd wzrasta, gdy podnosi się jego siła napędowa, napięcie; prąd maleje do zera, gdy napięcie spada do zera. Jeżeli opór wynosi np. 2 omy, to napięcie, zmieniające się w granicach od 0 do 100 woltów, wywoła prąd o na-

tężeniu 0—50 amperów (krzywa I). Przy oporze tylko 0,5 oma natężenie prądu wzrośnie na $100 : 0,5 = 200$ amperów (krzywa II). Dlatego przy pomiarach natężenia prądu zmiennego trzeba również uwzględniać wartość skuteczną, ustaloną przez



Rys. 100.

porównanie z działaniem prądu stałego. Także i tutaj natężenie skuteczne wynosi 70,7% uzyskanego natężenia najwyższego. W naszym przykładzie amperomierz wskazywałby $50 \cdot 0,707 = 35,35$ amperów, bądź $200 \cdot 0,707 = 141,4$ amperów. Prąd zmienny, którego natężenie zmienia się w granicach od 0 do 200 amperów, jest równoważnościowy z prądem stałym o natężeniu 141,4 amperów.

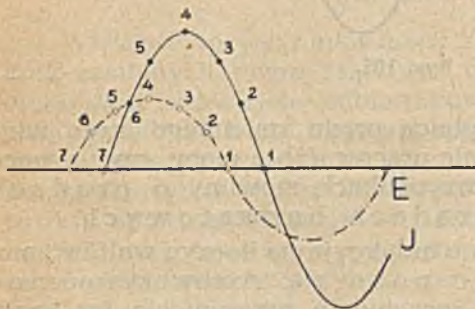
Przy oporze i n d u k c y j n y m krzywa natężenia nie przebiega w tym samym czasie, w jakim przebiega krzywa napięcia. Przy oporze indukcyjnym, tj. takim, który wywołuje linie sił (cewka), musi działać przez pewien czas ciśnienie, a więc napięcie, zanim zdoła wywołać prąd. Samoindukcja nie tylko zmniejsza strumień prądu, lecz powstrzymuje go w czasie (str. 71).

Samoindukcja oporu indukcyjnego powoduje, że przy przepływie prądu zmiennego napięcie (wolt) osiąga swą wartość najwyższą wcześniej niż natężenie (ampery). Jeżeli napięcie drga w górę i w dół od 0 do 10—15—18—20—18—15—10—0 woltów, a natężenie przybiera na skutek tych zmian wartości od 0 do 5—7,5—9—7,5—5—0 amperów, to musi istnieć rozbieżność w czasie między 10 woltami i 5 amperami, między 15 woltami i 7,5 amperami itd. Proces powyższy może prze-

biegać w ten sposób, że przy 10 woltach płynie 0 amperów, przy 15 woltach płynie 5 amperów, przy 18 woltach 7,5 amperów, przy 20 woltach 10 amperów itp.

W ten sposób krzywa napięcia biegnie w czasie przed krzywą natężenia. Krzywa natężenia osiąga wartość najwyższą (10 amperów) dopiero wtedy, gdy napięcie spadło już ze swojej wartości najwyższej (w naszym przykładzie z 20 na 18 woltów). Najpierw musi działać przez moment napięcie, zanim zacznie płynąć prąd (w naszym przykładzie napięcie musi uzyskać wartość 10 woltów, gdy natężenie wynosi jeszcze 0 amperów). Przy oporze indukcyjnym przebieg napięcia i natężenia jest taki jak na rys. 101. Krzywa napięcia (siły elektromotorycznej) E , narysowana wyżej, biegnie nieco przed krzywą natężenia I ; najpierw napięcie musi przybrać swoją wartość najwyższą (4), po czym dopiero wartość najniższą może przybrać natężenie (4).

Takie opóźnianie się natężenia I za napięciem E nazywamy przesunięciem faz. Przesunięcie faz możemy wyobrazić sobie w ten sposób, że natężenie pochodzi od innej pętlicy twornika, przesuniętej o kąt φ poza tę pętlę, która daje napięcie (rys. 102) i wskutek tego pętlica napięciowa dostaje się wcześniej przed środek bieguna (jest to tylko poglą-



Rys. 101.



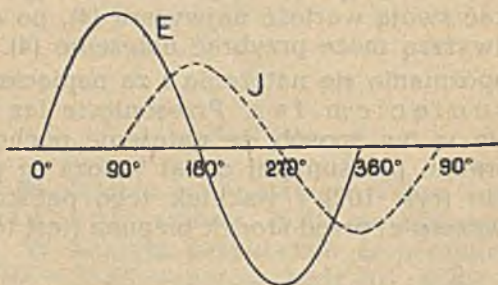
Rys. 102.

dowe przedstawienie sprawy, bo w rzeczywistości zarówno natężenie jak i napięcie pochodzą od jednej i tej samej pętlicy twornika).

Kąt φ nazywamy kątem fazowym. Przesunięcie faz wymaga modyfikacji prawa, obowiązującego dla prądu stałego, że waty równają się iloczynowi woltów i amperów. M o c prądu z m i e n n e g o, wyrażona w watach, zależy od tego,

w jaki sposób przebiegają poza sobą krzywe napięcia i natężenia.

Sprawę tę przedstawia graficznie rys. 103. Napięcie E rozpoczyna się od 0 i osiąga najwyższą wartość dodatnią przy 90° . W tym punkcie natężenie równa się zero, wobec czego także iloczyn napięcia i natężenia jest równy zero. Przy 180° napięcie równa się znowu zero, gdy tymczasem natężenie ma najwyższą wartość dodatnią; także i tutaj iloczyn natężenia i napięcia równa się zero. Przy 270° i 360° iloczyny napięć i natężeń również wynoszą zero, ponieważ w ujemnym odcinku krzywych warunki są takie same jak w odcinku dodatnim. Według rys. 103 cała moc prądu zmiennego równa się zatem zero, bo natężenie jest przesunięte względem napięcia o 90° ,



Rys. 103.

czyli o $1/4$ okresu. Prądnicą prądu zmiennego może więc dawać duże natężenie — ale pracować bez mocy, czyli z mocą równą zero. W takich przypadkach mówimy o prądach bezmocnych albo prądach bezwatuowych.

Dlatego przy obciążeniu indukcyjnym iloczyn woltów i amperów dawałby tylko moc pozorną. Ażeby uzyskać moc rzeczywistą, trzeba uwzględnić przesunięcie faz, czyli kąt φ na rys. 102; im bardziej są przesunięte względem siebie obydwie krzywe, tym większy jest kąt φ . Innymi słowy, chodzi tu o stosunek mocy pozornej do mocy rzeczywistej. Ten stosunek nazywamy współczynnikiem mocy (w skróceniu $\cos \varphi$)

A zatem moc prądu zmiennego, wyrażona w watach, równa się iloczynowi woltów, amperów i współczynnika mocy. Współczynnik mocy wynosi 1, gdy obwód zasilany przez prądnicę jest bezindukcyjny (gdy nie zachodzi przesunięcie faz).

Spółczynnik mocy równa się zeru, gdy samoindukcja obwodu powoduje przesunięcie faz o 90° . W sieciach prądu zmiennego współczynnik mocy wynosi od 0,8 do 0,9.

Przykład. — Jaką moc pobiera silnik prądu zmiennego przy natężeniu 40 amperów i napięciu 200 woltów, jeśli współczynnik mocy wynosi 0,85? Rozwiązanie. $40 \cdot 220 \cdot 0,85 = 7,48$ kW.

Celem odróżnienia iloczynu ze wskazań amperomierza i woltomierza od watów wprowadzono pojęcie woltamper (w skróceniu VA). Woltamper określa tylko moc pozorną prądu zmiennego, ale nie wskazuje jego mocy rzeczywistej w watach. Dlatego w urządzeniach prądu zmiennego muszą być wbudowane osobne watomierze, które mierzą iloczyn szybko zmieniających się chwilowych wartości napięcia i natężenia, uwzględniając położenie krzywej natężenia w stosunku do krzywej napięcia.

Przykład. — Jaki jest współczynnik mocy prądnicy, która przy 575 woltach i 200 amperach daje 100 kilowatów?

Ponieważ $U \cdot I \cdot \cos \varphi = 100\,000$ watów, przeto

$$\cos \varphi = \frac{100\,000}{575 \cdot 200} = 0,87.$$

Wielkość współczynnika mocy zależy od rodzaju odbiorników zasilanych przez prądnicę. Współczynnik ten narzucają elektrowni właściciele odbiorników. Gdy wszyscy odbiorcy załączyli silniki, które mają np. współczynnik mocy 0,8, w elektrowni panuje również współczynnik mocy 0,8. Jeżeli elektrownia zasila tylko odbiorniki bezindukcyjne (grzejniki lub żarówki), współczynnik mocy w elektrowni wynosi 1. Gdy odbiorniki mają częściowo współczynnik mocy 1, a częściowo 0,8, to w elektrowni współczynnik ten przyjmie wartość między 0,8 a 1.

Pobór prądu przy małym współczynniku mocy powoduje większe straty w przewodach dosyłowych i odsyłowych niż przy dużym $\cos \varphi$. Jeżeli np. odbiorca pobiera 4000 watów przy napięciu 400 woltów, elektrownia musi mu dostarczyć $4000 : 400 = 10$ amperów. Gdy $\cos \varphi$ wynosi 0,8, natężenie prądu musi być większe, mianowicie 12,5 ampera (wynika tak z rachunku: $12,5 \cdot 400 \cdot 0,8 = 4000$ watów).

Wobec tego, że strata objawia się w spadku napięcia, odbiorca, którego $\cos \varphi$ wynosi 0,8, otrzyma niższe

napięcie niż ten odbiorca, którego $\cos \varphi$ wynosi 1 (przy takim samym poborze watów i przy takim samym oporze przewodów).

Elektrownie produkują prąd zmienny o częstotliwości 50 okresów, czyli 100 zmian na sekundę. Jest to tzw. częstotliwość normalna, przy której lampy płoną bez drgań. Inne częstotliwości bywają stosowane tylko wyjątkowo, np. w kolejnictwie albo w urządzeniach, gdzie prąd zmienny ma być przetwarzany w prąd stały.

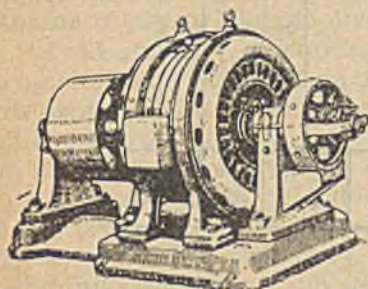
Częstotliwość 50 okresów na sekundę odpowiada $100 \cdot 60 = 6000$ zmian biegunów na minutę. Gdyby prądnica miała dwa bieguny, jej twornik musiałby więc obracać się z szybkością $6000 : 2 = 3000$ obrotów na minutę (na każdy obrót twornika przypadają dwie zmiany). Tak wielkie szybkości wymagałyby — z uwagi na występujące siły odśrodkowe — specjalnej i kosztownej budowy twornika. Ażeby uzyskać wielką moc przy niższych obrotach, znaleziono proste wyjście: zwiększono liczbę biegunów. Ażeby dać prąd o 50 okresach na sekundę, twornik prądniczy czterobiegunowej musi robić już tylko $6000 : 4 = 1500$ obrotów na minutę, twornik prądniczy sześciobiegunowej $6000 : 6 = 1000$, w prądniczy dziesięcibiegunowej liczba obrotów twornika wynosi $6000 : 10 = 600$.

Prądnice prądu zmiennego są zbudowane wyjątkowo tylko według rys. 63, gdzie magnesy są osadzone nieruchomo, a twornik obraca się w polu tych magnesów. Z reguły w prądnicach przewodniki są nieruchome, a obracają się magnesy (rys. 64). Według tej właśnie zasady zbudowana jest prądnica, którą widzimy na rys. 104. Część nieruchomą prądniczy (twornik) nazywamy w tym przypadku stojanem albo statorem, część obracającą się wirnikiem albo rotorem.

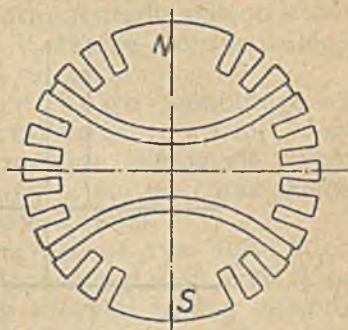
Rys. 105 przedstawia przekrój wirnika z jednym tylko biegunem północnym i jednym południowym; z dziesięciu przewodników (cewek) narysowano tylko dwa. Stojan jest zbudowany — podobnie jak twornik maszyny prądu stałego — z cienkich, izolowanych od siebie blach (celem unieszkodliwienia prądów wirowych). Uzwojenie jest umieszczone w żłobkach tych blach. Do odprowadzania ciepła służą kanały w biegunach wirnika i w blachach stojana. Prąd odbiera się z nieruchomych zacisków.

Cechą prądnic prądu zmiennego jest to, że nie mogą wzbudzać się same, ponieważ prąd zmienny nie nadaje się do

zasilania magnesów (wskutek ciągłej zmiany znaków). Prądnicą prądu zmiennego wymaga do wzbudzenia magnesów osobnej maszyny prądu stałego. Widzimy ją na rys. 104 na pro-



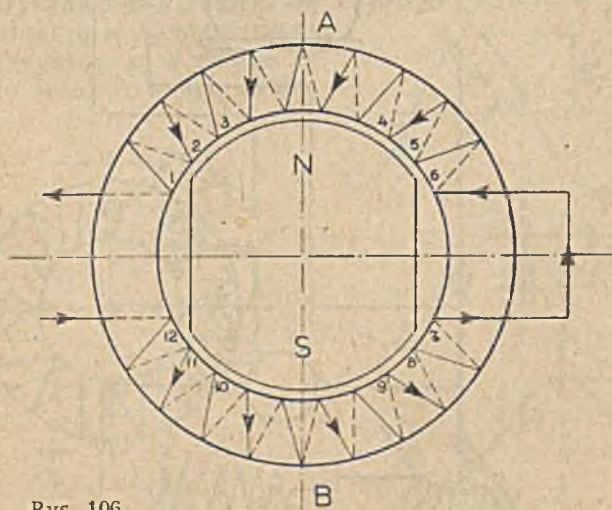
Rys. 104.



Rys. 105.

dzie. Taka prądnicą wzbudzająca ma przeważnie układ bocznikowy. Jej napięcie wynosi 110—440 woltów, jej moc wynosi 3—6% mocy maszyny prądu zmiennego.

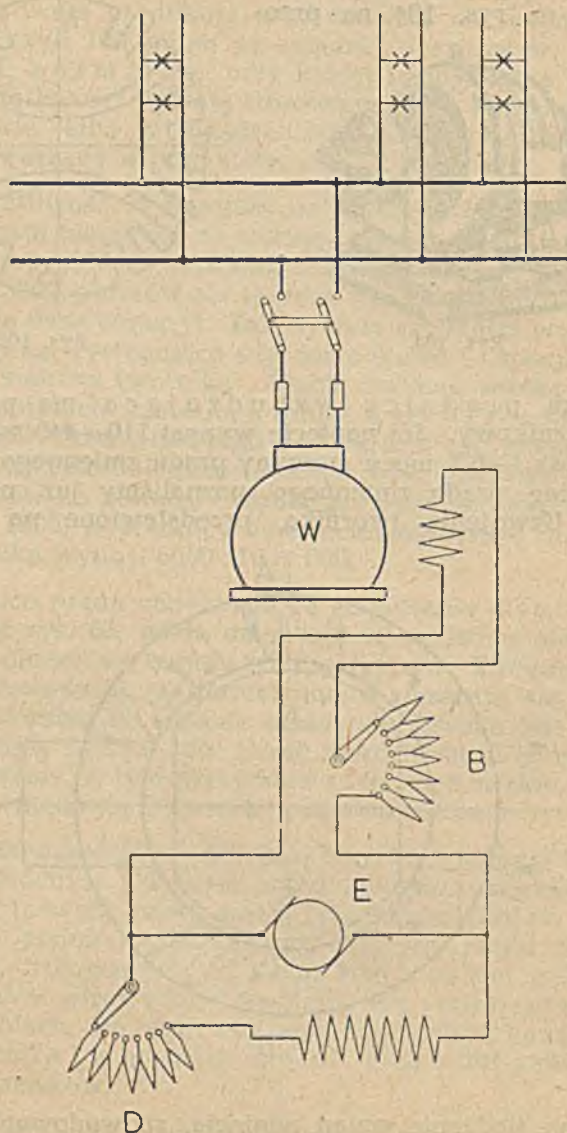
Przebieg prądu zmiennego poznaliśmy już na rys. 67 (str. 78). Uzwojenie twornika, przedstawione na rys. 106,



Rys. 106.

zezwała na śledzenie zmian napięcia, spowodowanych przez zgodne i przeciwnie kierowane działania indukcyjne w posz-

czególnych przewodnikach. W narysowanym położeniu A—B indukcja jest najwyższa. Po obrocie o 90° indukcja w 1, 2, 3



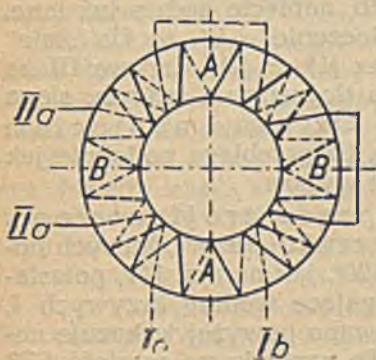
Rys. 107.

jest skierowana przeciwnie niż w 4, 5, 6; podobnie 7, 8, 9 pracują przeciwko indukcjom w 10, 11, 12 (siła elektromotoryczna równa się zeru). Podobnie jak w tworniku prądu stałego każdy żłobek mieści większą ilość drutów, tj. cewkę, tak i uzwojenie stojana prądu zmiennego ma kształt cewek.

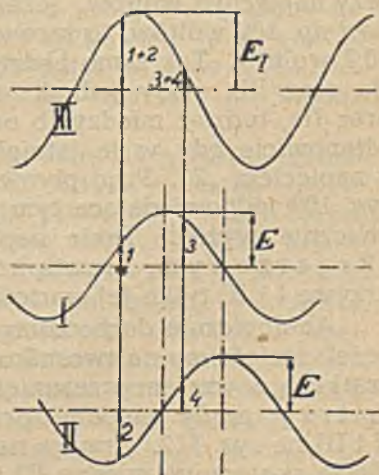
Prąd zmienny, pochodzący z jednego jednolitego uzwojenia, nazywamy prądem jednofazowym. Jego zastosowanie do oświetlenia i ogrzewania odpowiada dokładnie prądowi stałemu. Obecnie używa się go coraz więcej do celów komunikacyjnych (tramwaje, koleje).

Schemat prądnicy jednofazowej podaje rys. 107. Literą E jest oznaczona prądnica wzbudzająca. Od dwóch szyn zbiorczych prowadzą przewody, między którymi można załączać odbiorniki równoległe lub szeregowo. Do regulowania napięcia służy opornik regulacyjny B, wbudowany w przewód wiodący do wzbudzenia.

Ażeby uzyskać prąd dwufazowy (którym technika nie posługuje się), osadzamy na tworniku dwie cewki, których początki są przesunięte nawzajem o 90° (rys. 108). Indukcja w cewce II jest największa wtedy, gdy magnes zajmuje położenie A—A. W tym momencie w cewce I siła elektromotoryczna nie indukuje się. Z drugiej strony w położeniu B—B indukacja w I osiąga wartość najwyższą, a w cewce II spada do zera. Powstają zatem



Rys. 108.

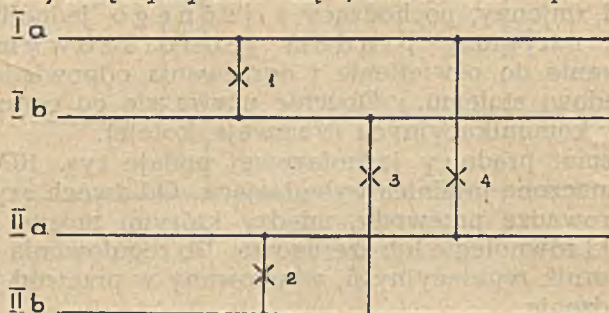


Rys. 109.

dwa prądy zmienne, jeden w przewodniku Ia—Ib, drugi w — IIa—IIb. Przebieg czasowy tych prądów jest wykreślony na

rys. 109: gdy jedna siła elektromotoryczna równa się zero, druga osiąga wartość najwyższą.

Od prądnicy dwufazowej wybiegają cztery przewody: dwa dosyłowe, dwa odsyłowe (rys. 110). Gdy między Ia oraz Ib (rys. 110) załączymy żarówkę 1, ona świeci — podobnie jak



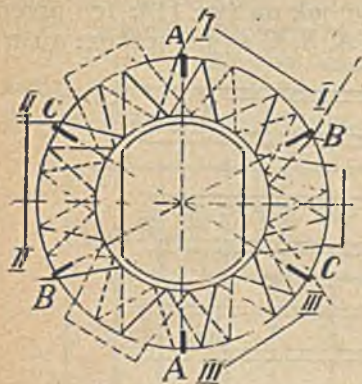
Rys. 110.

w razie zastosowania prądu jednofazowego, przy napięciu fazowym. Otrzymuje ona prąd od jednego z obydwu uzwojeń rysunku 108 (który odpowiada rys. 106). Lampa świeci przy napięciu x woltów. Jeżeli wartość najwyższa indukcji wynosi np. 100 woltów, to żarówka otrzymuje napięcie skuteczne 70,7 woltów. Tak samo będzie z żarówką 2, załączoną między $\bar{II}a$ oraz $\bar{II}b$. Gdy jednak stworzymy połączenie między $\bar{I}a$ oraz $\bar{II}a$, tudzież między $\bar{I}b$ oraz $\bar{II}b$, napięcie będzie już inne. Mianowicie gdy w $\bar{I}a$ istnieje „tłoczenie” „1”, to $\bar{II}a$ „ssie” z napięciem „2”. Prąd płynie przez (1) + (2). Krzywa III na rys. 109, odpowiadająca tym siłom tłoczącym i ssącym, sięga znacznie wyżej. Takie napięcie nazywamy napięciem skojarzonym. Zresztą krzywa III przebiega podobnie jak krzywe I i II, tylko jej wartość jest wyższa.

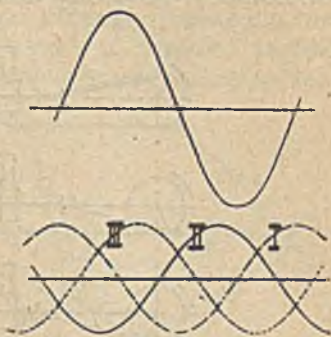
Analogicznie dochodzimy do prądu trójfazowego. Jeżeli umieścimy na tworniku trzy cewki („fazy”), których początki są nawzajem przesunięte o 120° , jak na rys. 111, powstają trzy prądy zmienne przebiegające według krzywych I, II i III na rys. 112. Krzywa narysowana powyżej wskazuje napięcie skojarzone między III i II. To napięcie ma wartość 1,73 razy większą. Skojarzenie I i II oraz I i III daje podobne krzywe, które jednak uzyskują wartości najwyższe w innych momentach.

Do przesyłania takiego prądu trójfazowego potrzeba teore-

tycznie $3 \cdot 2 = 6$ przewodów, trzy przewody dosyłowe i trzy odsyłowe. Jednak w wykonaniu praktycznym trzy



Rys. 111.



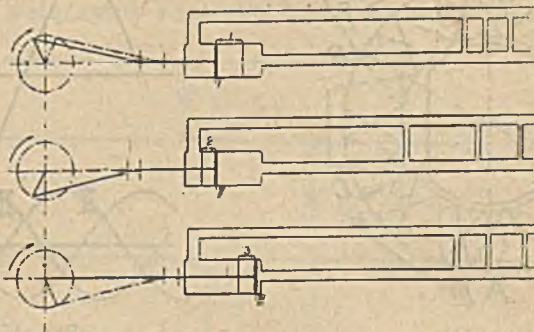
Rys. 112.

przewody mogą odpaść; gdy bowiem prąd płynie przez jeden z trzech przewodów, taka sama ilość prądu wraca przez dwa inne. Gdy prąd płynie dwoma przewodami, trzeci odprowadza takie samo natężenie z powrotem. Znaczący to, że każdy z trzech przewodów jest zarazem przewodem odsyłowym dla obydwu innych. Warunkiem jest jednak, ażeby natężenia prądu w trzech fazach były całkowicie albo choćby w przybliżeniu sobie równe. Ażeby dojść do tego stanu, musimy rozdzielić odbiorniki na wszystkie trzy fazy jak najbardziej jednostajnie.

Prądnica trójfazowa pracuje podobnie jak potrójna pompa, której tłoki są przestawione o 120° . Gdy wyobrazimy sobie, że prąd trójfazowy drga analogicznie jak woda w trzech rurach dołączonych do pompy; powstanie rys. 113. Od strony kukorbowej oraz od strony odkorbowej każdego cylindra prowadzi rura. Między każdą z tych rur wbudowane są rury łącznikowe. Drgania wody w tych rurach łącznikowych, leżących w miejscach odbioru wody, przekazują odbiorcom energię zakładu wodociągowego, np. przez poruszanie małych turbin wodnych.

Gdy korby napędowe są względem siebie przesunięte o 120° , wówczas droga 1, o jaką tłok górnej pompy porusza się w prawo, równa się sumie dróg 2 i 3, a więc łącznej drodze, którą tłoki obydwu dolnych pomp odbywają w lewo. Górna pompa tłoczy więc taką samą ilość wody, jaką obydwie dolne pompy wspólnie z powrotem odprowadzają. Podobnie, gdy

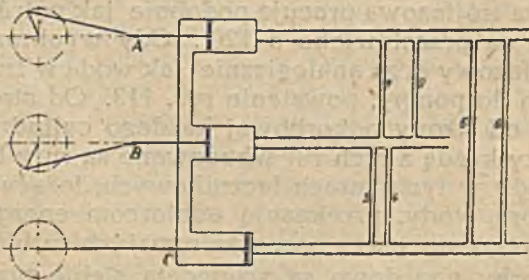
np. tłoczy pompa III, pompy I i II muszą wessać z powrotem taką samą ilość wody. Dlatego osobne rury odsyłowe nie są potrzebne, a pompy można połączyć jak na rys. 114. Ich przednie komory, tj. strony dokorbowe A, B, C są połączone, a rury



Rys. 113.

wybiegają tylko ze stron odkorbowych. Teraz załączamy odbiorniki (np. turbiny) nie między dwie rury wybiegające z każdej pompy, lecz między pary rur wiodące od I i II albo II i III, albo I i III. Przez rurki łącznikowe 1, 2—3, 4—5, 6 płynie teraz woda pod wpływem tłoczenia jednej pompy i równocześnie pod wpływem ssania drugiej.

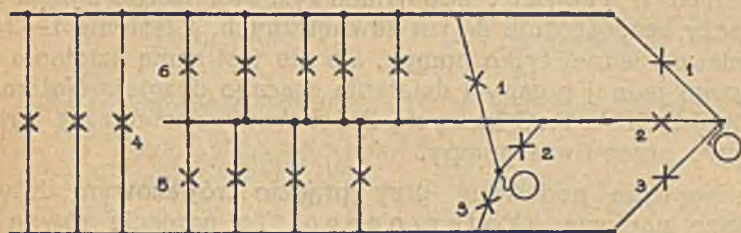
Podobnie jak na rys. 114 są połączone pompy, tak z sześciu końców przewodów w prądnicy trójfazowej łączymy trzy



Rys. 114.

w samej maszynie i tylko trzy przewody wyprowadzamy na zewnątrz. Między każdą parą tych przewodów istnieje napięcie skojarzone.

Na rys. 115 widzimy żarówki 4, 5, 6 w takim właśnie układzie. Każda żarówka jest załączona do dwóch faz, otrzymuje więc napięcie skojarzone. Jeżeli jednak załączymy żarówki 1, 2, 3 w ten sposób, ażeby droga jednego przewodu prowadziła przez dwie żarówki do obydwu w innych, żarówki świecą przy pojedynczym, a nie skojarzonym napięciu fazo-



Rys. 115.

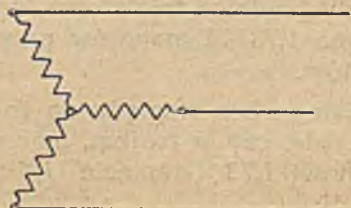
wym. Jeśli napięcie skojarzone wynosi np. 173 woltów, to żarówki 4, 5, 6 świecą przy napięciu 173 woltów, natomiast żarówki 1, 2, 3 otrzymują tylko po 100 woltów. Wobec tego, że w układzie 1, 2, 3 żarówki stanowią samodzielną grupę, tego rodzaju układ nie bywa używany.

Układ połączeń żarówek 4, 5, 6 (rys. 115) nazywamy połączeniem w trójkąt, ponieważ układ taki, narysowany jako schemat na rys. 116, przedstawia trójkąt, którego poszczególne boki stanowią przewody 1 — 2, 2 — 3 — 4 i 5 — 6 z rys. 114. Każda żarówka leży samodzielnie między dwoma przewodami i świeci niezależnie od innych żarówek. W większości przypadków bywa używane takie właśnie połączenie w trójkąt i takie właśnie połączenie mamy na myśli, gdy mówimy o pracy żarówek w sieci prądu trójfazowego.

Rys. 117 przedstawia połączenie trzech oporników, odpowiadające połączeniu żarówek 1, 2, 3 na rys. 115. Takie połą-



Rys. 116.



Rys. 117.

czenie nazywamy połączeniem w gwiazdę. Jego istotę objaśnia model hydrauliczny na rys. 114. Tutaj istnieje połączenie między wszystkimi trzema pompami. Strumień wody, płynący przez każdy przewód, odpowiada mocy jednej pompy. Jednak siła, z jaką woda płynie np. przez 1 i 2, odpowiada tłoczeniu A i ssaniu B bądź też tłoczeniu B przy ssaniu A. Połączeniu w trójkąt odpowiada rys. 118. Każda pompa ssie i tłoczy bezpośrednio do rur zewnętrznych. Ciśnienie 1—2 pochodzi od jednej tylko pompy, ale nie jest sumą działania tłoczącego jednej pompy i działania ssącego drugiej. Natomiast w punktach A, B, C łączą się ilości wody dostarczane każdorazowo przez dwie pompy.

Napięcia podawane przy prądzie trójfazowym dotyczą zawsze napięcia skojarzonego. To napięcie równa się napięciu fazowemu pomnożonemu przez 1,73. Dla odbiorcy prądu jest rzeczą obojętną czy w drutach prądnicy powstaje np. napięcie 100 woltów, które przez odpowiednie połączenie podwyższa się na 173 wolty. Odbiorca powinien otrzymywać 173 wolty, a jak te wolty powstały, jest dla niego bez znaczenia.

Ażeby oznaczyć moc prądu zmiennego, musimy uwzględnić napięcie (U), natężenie (I) i współczynnik mocy ($\cos \varphi$). Moc prądu jednofazowego, wyrażona w watach, równa się zatem iloczynowi napięcia, natężenia i współczynnika mocy, czyli

$$U \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ (watów).}$$

Przy prądzie trójfazowym mamy prócz tego do czynienia z trzema fazami. Gdy prądnica jest połączona w gwiazdę, jej napięcie międzyczaciskowe równa się napięciu fazowemu U pomnożonemu przez 1,73, jej natężenie wynosi 1 amper.

Gdy prądnica trójfazowa jest połączona w trójkąt, wydaje ona $1,73 \times I$ amperów przy napięciu międzyczaciskowym U woltów.

Dlatego bez względu na to czy prądnica jest połączona w gwiazdę, czy w trójkąt, moc prądu trójfazowego równa się iloczynowi $1,73 \times$ napięcie $U \times$ natężenie $I \times$ współczynnik mocy, czyli:

$$1,73 \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ (watów).}$$

Strata w układzie trójfazowym równa się sumie strat w trzech drutach.

Przykład. Trzema drutami miedzianymi (opór właściwy = 0,0175) o długości po 1000 metrów i przekroju 25 mm² płynie prąd I o natężeniu 3 · 50 amperów.

Strata mocy wynosi 3 · I² · R, czyli

$$3 \cdot 50 \cdot 50 \cdot \frac{1000 \cdot 0,0175}{25} = 1050 \text{ watów.}$$

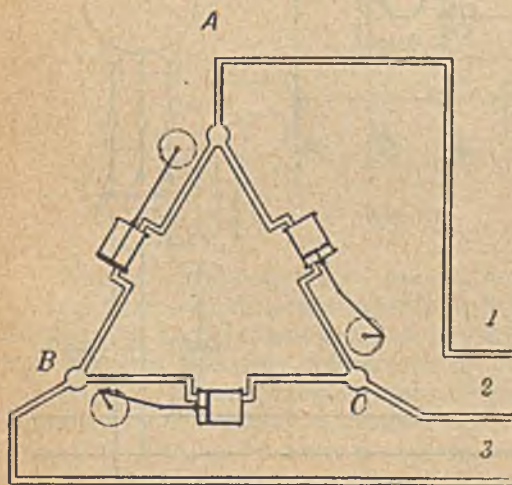
Strata napięcia fazowego (tj. w jednym drucie) wynosi I · R, czyli

$$\frac{50 \cdot 1000 \cdot 0,0175}{25} = 7 \text{ woltów.}$$

Jeżeli w elektrowni istnieje napięcie 200 woltów, odbiorca otrzymuje tylko 200 — 7 = 193 wolty. Wynika z tego, że woltomierz wskaże teraz w elektrowni napięcie skojarzone 1,73 · 200 = 340 woltów, a u odbiorcy tylko 1,73 · 193 = 333,9 woltów. Elektrownia oddaje 1,73 · 50 · 340 = 30 000 watów, odbiorca otrzymuje tylko 1,73 · 50 · 333,9 = 28 950 watów, tak że stracie ulega 30 000 — 28 950 = 1050 watów.

Prądnice trójfazowe są budowane dla napięć od kilkudziesięciu do dziesiątków tysięcy woltów. Wobec tego, że napięcie

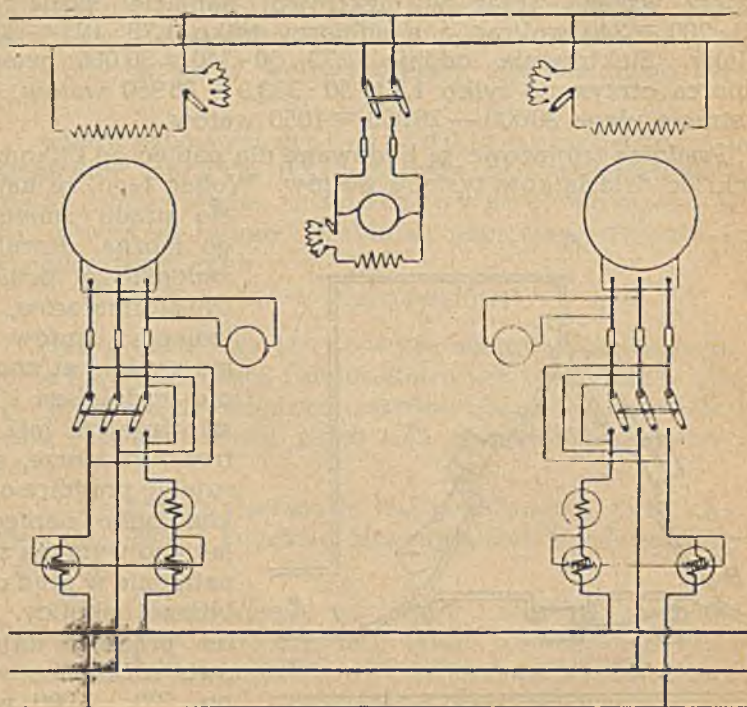
prądu zmiennego można dowolnie zmieniać za pomocą transformatorów, a izolacja drutów w maszynie jest znacznie trudniejsza i kosztowniejsza niż w transformatorze, stosuje się prądnice o takim tylko napięciu, jakiego wymaga zaopatrzenie w prąd najbliższej okolicy. Są też prądnice dające dwa różne napięcia, np. 500 i 1000 woltów.



Rys. 118.

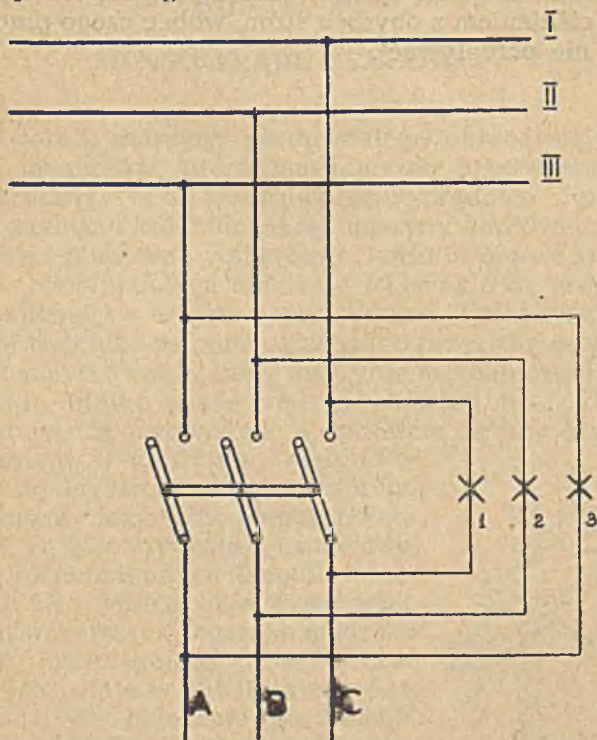
Oprócz napędu pasowego (dla małych prądnic) bywa używane sprzężenie bezpośrednie z maszyną napędową. Prądnice sprzężone z maszyną parową są zawsze wielobiegunowe, płaskie i wąskie, ażeby mimo niewielkiej stosunkowo liczby obrotów wirnika uzyskać potrzebną liczbę zmian biegunów. Turbo-generatory, tj. prądnice sprzężone z turbinami parowymi, mają — podobnie jak maszyny prądu stałego — małą szerokość, ale wielką długość oraz małą liczbę biegunów. Jeżeli np. wirnik robi 3000 obrotów na minutę, wystarczą dwa bieguny.

W wielkich elektrowniach prądu zmiennego produkcja rozdzielona jest na zespoły maszynowe. Zamiast jednej prądnicy dla całego obciążenia są ustawione mniejsze zespoły, które, pracując oddzielnie lub razem w układzie równoległym, pokrywają zapotrzebowanie. Dołączanie dalszych prądnic nie jest jednak tak proste jak w urządzeniach prądu stałego, gdzie wystarczy doprowadzić dołączoną prądnicę do na-



Rys. 119.

pięcia prądnicy będącej już w ruchu. Bieg dołączanej prądnicy prądu zmiennego musi być **u z g o d n i o n y** (zsynchronizowany) z biegiem prądnicy będącej już w ruchu, co znaczy, że między obydwoma maszynami powinna istnieć zgodność napięcia, zgodność częstotliwości (liczby okresów) i zgodność faz napięcia międzyciskowego.

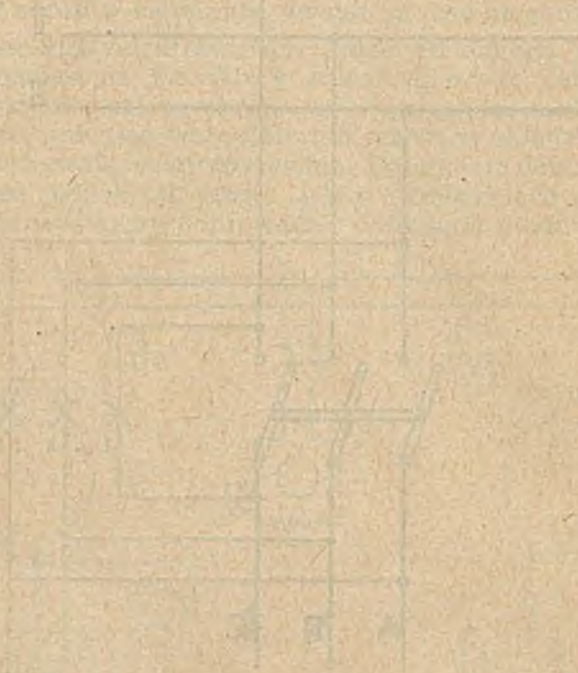


Rys. 120.

Napięcie regulujemy — podobnie jak przy prądzie stałym — przez odpowiednie ustawienie opornika regulującego wzbudzenie. Zgodność częstotliwości uzyskujemy przez zmianę liczby obrotów maszyny napędzającej (maszyny parowej, turbiny itp.), tj. przez przestawianie regulatora. Do stwierdzania zgodności faz i liczby okresów służą osobne przyrządy albo tzw. **ż a r ó w k i f a z o w e** (synchronoskopy).

Schemat elektrowni prądu trójfazowego, posiadającej dwa zespoły maszynowe, przedstawia rys. 119 (do wzbudzenia oby-

dwu maszyn służy wspólna prądnicą bocznikową). Do ustalania zgodności biegów obydwu zespołów służą (w tym przykładzie) żarówki fazowe, załączone jak na rys. 120. Dopóki okresy szyn zbiorczych I, II, III nie zgadzają się z okresami w A, B, C, lampy 1, 2, 3 świecą. Gdy obydwie częstotliwości są zgodne, żarówki gasną (ponieważ znajdują się teraz pod identycznym ciśnieniem z obydwu stron, wobec czego prąd nie może przez nie przepływać).

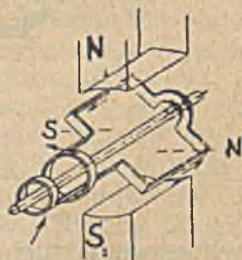


ROZDZIAŁ XII

SILNIKI PRĄDU STAŁEGO

Gdy twornik maszyny prądu stałego obraca się między biegunami magnesów, praca mechaniczna przetwarza się w pracę elektryczną. Na tej zasadzie pracują prądnice. Jeżeli jednak przez szczotki i kolektor takiej maszyny doprowadzimy do twornika prąd skierowany odwrotnie, twornik obraca się dookoła swej osi. Na tym polega działanie silników: praca elektryczna zamienia się w pracę mechaniczną, którą można odebrać z wału twornika za pomocą pasa lub przez sprzężenie bezpośrednie i zużytkować w innej maszynie mechanicznej.

Działanie silnika prądu stałego objaśnia rys. 121. Wyobraźmy sobie, że przewodnik w kształcie pętlicy otrzymuje prąd z zewnątrz w kierunku strzałki. Pętlica staje się elektromagnesem, którego biegun północny leży w N, biegun południowy w S. Te bieguny usiłują ustawić się naprzeciw różnoimiennych biegunów magnesu S_1 i N_1 . Pętlica obraca się więc w kierunku wskazówek zegara, napędzana przez siły przyciągające S_1 —N oraz N_1 —S. Ruch ustaje w chwili, kiedy pętlica dochodzi do położenia poziomego, gdyż teraz znajdują się obok siebie bieguny równoimienne.



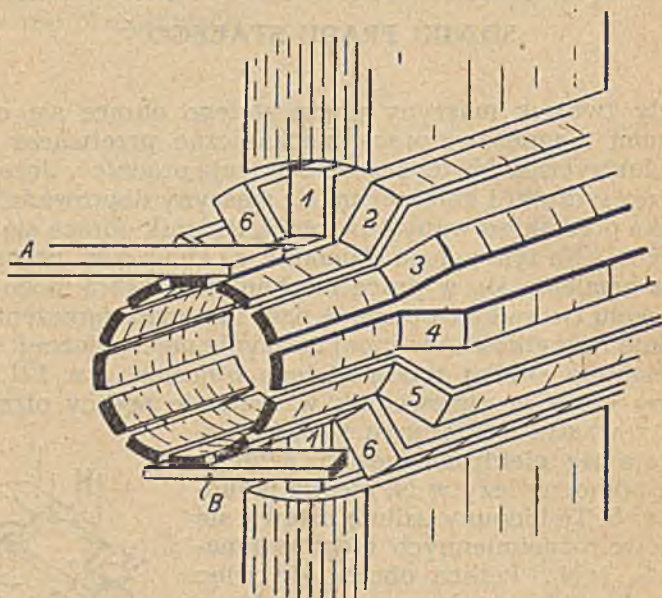
Rys. 121.

Gdy na tworniku umieścimy więcej pętlic, jak na rys. 122 i przez szczotki doprowadzimy do nich kolejno prąd, twornik obraca się trwale, bo pętlica wiodąca prąd ustawia każdorazowo swoje bieguny w ten sposób, że doznają one przyciągania przez N_1 i S_1 . W narysowanym momencie siłą napędzającą będzie wywiązywała pętlica 1—1, następnie pętlica 6—6, później 5—5 itd.

Podobnie jak w prądnicach tak i w silniku prądu stałego pętlice są połączone w bieżące uzwojenie, a to celem równoczesnego wykorzystania siły jak największej ilości przewodni-

ków twornika. Zresztą silnik prądu stałego jest zbudowany dokładnie tak samo jak prądnicą i może też jako prądnicą pracować.

Prąd w tworniku silnika płynie w odwrotnym kierunku niż w tworniku prądnicą, w której wynikiem przepływu prądu jest hamowanie ruchu, gdy tymczasem w silniku ruch powstaje. Gdy prąd doprowadzany z zewnątrz zmusza twornik do



Rys. 122.

wykonywania ruchu obrotowego, przewodniki twornika przecinają linie siły pola magnetycznego. Zupełnie tak samo jak w prądnicą, indukuje się w tych przewodnikach siła elektromotoryczna. Kierunek indukcji jest dokładnie taki sam, ponieważ taki sam jest kierunek obrotów. Jednak prąd płynie przez twornik nie w kierunku tej indukowanej siły elektromotorycznej, lecz przeciwko niej w kierunku odwrotnym, ponieważ napięcie, doprowadzane z zewnątrz, jest wyższe od siły elektromotorycznej, przeciwdziałającej mu od wnętrza maszyny. Dlatego tę indukowaną siłę elektromotoryczną nazywamy siłą przeciwelektromotoryczną.

Siła przeciwelektromotoryczna silnika zależy od liczby jego obrotów i — zgodnie z prawem indukcji — równa się

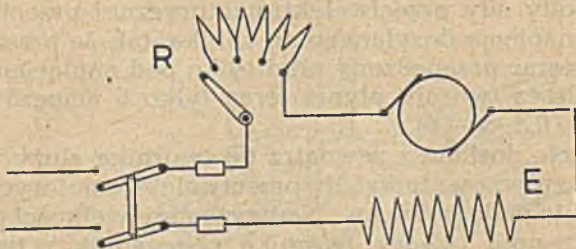
iloczynowi szybkości, natężenia pola i długości przewodnika. Im większa liczba obrotów, tym większa siła przeciwelektromotoryczna. Na przykład twornik silnika o oporze 0,5 oma załączamy do napięcia 5 woltów. Teraz przez twornik płynie prąd 10 amperów (ponieważ $5 = x \cdot 0,5$; $x = 10$). Ten prąd zamienia magnes w elektromagnes i wprawia go w ruch. Przewodniki twornika doznają teraz indukcji, która przeciwdziała strumieniowi prądu. Jeżeli ta indukcja wynosi np. 2 wolty, to te 2 wolty siły przeciwelektromotorycznej przeciwdziałają 5 woltom napięcia dosyłanego do silnika, tak że przez twornik może być teraz przepędzony prąd tylko pod napięciem $5 - 2 = 3$ wolty. Przez twornik płynie teraz tylko 6 amperów (ponieważ $3 = x \cdot 0,5$; $x = 6$).

Napięcie dostane z zewnątrz do twornika służy więc częściowo do zrównoważenia siły przeciwelektromotorycznej, która występuje podczas ruchu. Nadwyżka tej wielkości przepędza prąd przez opór omowy twornika. Np. silnik z twornikiem o oporze 0,5 oma, przejmujący prąd o natężeniu 20 amperów, musi przy napięciu 200 woltów zużyć 190 woltów na zrównoważenie siły przeciwelektromotorycznej, ponieważ strata napięcia w tworniku wymaga tylko $20 \text{ amperów} \times 0,5 \text{ oma} = 10$ woltów. Gdybyśmy do silnika doprowadzili 390 woltów, mogłaby w nim istnieć siła przeciwelektromotoryczna 380 woltów, a twornik mógłby obracać się dwa razy szybciej niż uprzednio.

Ten przykład wskazuje, w jaki sposób należy silnik rozruszać, tj. puszczać w ruch. Jeżeli w chwili spoczynku twornika, kiedy siły przeciwelektromotorycznej jeszcze nie ma, doprowadzilibyśmy do silnika pełne napięcie 390 woltów, napięcie to wywołałoby w tworniku prąd o natężeniu 780 amperów (ponieważ $390 = 0,5 \cdot x$; $x = 780$). Byłoby to jednoznaczne ze zwarciem, uzwojenie twornika musiałoby się spalić.

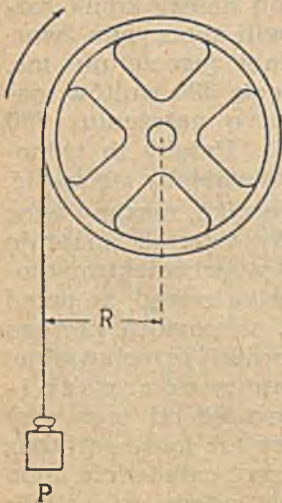
Napięcie, które doprowadzamy do twornika, musimy więc podwyższać stopniowo; dopiero gdy twornik znajduje się już w ruchu i wywiązał już pewną siłę przeciwelektromotoryczną, można napięcie podwyższyć. Wynika z tego, że przed twornikiem musi być załączony opornik, za pomocą którego można przytłumiać napięcie. Takie oporniki przestawialne, służące do rozruszania silników, nazywamy rozrusznikami. Wielkość rozrusznika zależy również od tego czy silnik rusza z miejsca pod obciążeniem, czy też jałowo (tj. bez obciążenia). Rozrusznik taki można wyłączyć całkowicie, albo — jak się powszechnie mówi — „zewrzeć” wtedy, gdy silnik uzyskał pełną liczbę obrotów.

Do ustalania kierunku obrotów silnika w zależności od kierunku prądu i kierunku strumienia linii sił służy „reguła lewej ręki”: gdy grzbiet lewej ręki skierujemy w stronę bieguna północnego, a końce palców w tym kierunku, w którym płynie prąd przez przewodnik, wówczas wyciągnięty kciuk wskazuje ruch przewodnika w polu magnetycznym. Jest to odpowiednik „reguły prawej ręki”, którą poznaliśmy na str. 68.



Rys. 123.

Zależnie od rodzaju uzwojenia magnesów rozróżniamy trzy typy silników prądu stałego: silniki głównikowe, bocznikowe i głównikowo-bocznikowe.



Rys. 124.

Cechą silnika głównikowego jest wielka siła pociągowa albo — jak brzmi wyrażenie naukowe — wielki moment obrotowy. To wyrażenie „moment obrotowy” bywa też używane na określenie mocy silnika głównikowego.

Moc silnika objawia się na obwodzie koła pasowego albo — przy sprzęgłach — w punkcie zaczepnym sprzęgła, jako siła pociągowa. Wielkość tej siły jest różna, zależnie od mocy, liczby obrotów i średnicy koła pasowego (bądź sprzęgła), ale iloczyn siły pociągowej i promienia koła ma dla każdej maszyny pewną oznaczoną wartość. Ta wartość, zwana momentem obrotowym, jest przedstawiona na rys. 124. Litera R oznacza promień koła pasowego, litera P oznacza ciągnięcie, mie-

rzony w kilogramach. Moment pociągowy równa się iloczynowi $P \times R$ (kilogramometrów).

Wyobraźmy sobie, że na wale silnika jest osadzona tarcza o promieniu $R = 1$ m, tudzież że tarczę obejmuje sznur. Jeżeli twornik wywiera na ten sznur ciągnięcie $P = 25$ kg (rys. 124), wówczas moment obrotowy wynosi $1 \cdot 25 = 25$ kilogramometrów. Jeżeli nasz silnik robi np. 600 obrotów na minutę, czyli 10 obrotów na sekundę, wówczas moc, czyli pracę wydaną w jednostce czasu, obliczamy według wzoru:

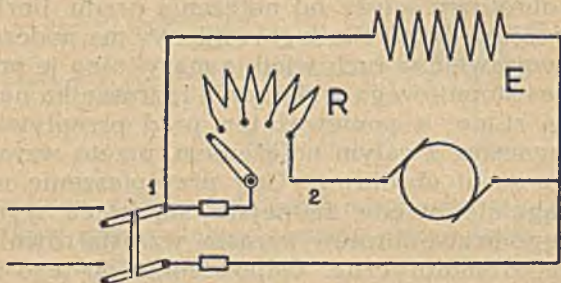
$2 \cdot R \cdot \pi \cdot 10 \cdot 25 = 2 \cdot 1 \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot 25 = 1570$ kilogramometrów/sek., co odpowiada mocy $1570 : 75 =$ około 21 koni mechanicznych albo $21 \cdot 0,736 =$ okrągło 15,5 kilowatów.

Moment obrotowy zależy od natężenia prądu, liczby linii siły i liczby zwojów. Jeżeli silnik głównikowy ma podczas załączania prądu wprawiać w ruch wielkie masy albo je przyspieszać, to podczas stopniowego wyłączania rozrusznika natężenie prądu wzrasta silnie, a ponieważ ten prąd przepływa przez uzwojenie magnesów z całym natężeniem, przeto wzrasta odpowiednio i moment obrotowy. Gdy przyspieszenie mas zostało już osiągnięte, wtedy zmniejsza się praca wydawana przez silnik, jego liczba obrotów wzrasta, wzrasta również jego siła przeciwelektromotoryczna. Odpowiednio do tego zmniejsza się natężenie prądu, pole magnetyczne osłabia się, a silnik musi robić jeszcze więcej obrotów, ażeby wytworzyć odpowiednią siłę przeciwelektromotoryczną. Znaczący to, że silnik odciążony biegnie szybciej, niż pod obciążeniem. W razie znacznego odciążenia ($1/6$ — $1/8$ mocy normalnej) liczba obrotów wzrasta gwałtownie, silnik rozbiega się, siła odśrodkowa niszczy opaski i druty twornika, powstaje zwarcie, twornik spala się.

Z uwagi na niebezpieczeństwo „rozbiegania” stosuje się silniki głównikowe tam tylko, gdzie jest stały nadzór oraz gdzie znaczne i nagłe odciążenie nie jest możliwe, np. w tramwajach, gdzie właściwe obciążenie stanowi sam wóz, a ciężar pasażerów jest tylko częścią obciążenia. Nadają się one również do poruszania dźwigów (małe ciężary podnoszą szybciej niż wielkie). Racjonalne regulowanie liczby obrotów jest połączone z trudnościami. Silniki głównikowe znoszą chwilowe przeciążenia aż do około 250%, nie mają skłonności do iskrzenia, ruszają z miejsca nawet przy silnie zmniejszonym napięciu roboczym. Przy wyłączaniu występuje małe tylko przetężenie, dzięki czemu rozrusznik nie zużywa się nadmiernie.

Jeżeli chodzi o to, ażeby silnik głównikowy zachowywał pewną oznaczoną liczbę obrotów także przy zmieniającym się obciążeniu, trzeba połączyć z nim szeregowo tak samo zbudowaną prądnicę. Gdy przy odciążeniu natężenie prądu zmniejsza się i silnik usiłuje biec szybciej, spada w taki sam sposób siła elektromotoryczna wytwarzana w prądnicy i silnik zachowuje pierwotną liczbę obrotów. Jeżeli silnik głównikowy ma być załączony do sieci prądu stałego i pracować bez nadzoru, należy zabezpieczyć go samoczynnym wyłącznikiem, który przerywa dopływ prądu wtedy, gdy natężenie spada poniżej pewnej granicy.

W silniku bocznikowym (rys. 125) wzbudzenie E włączone jest równoległe do twornika. Prąd dopływający z sieci



Rys. 125.

dzieli się na dwie części: jedna płynie do twornika, druga do wzbudzenia elektromagnesów. Przed twornikiem jest załączony rozrusznik R. Przy załączeniu wzbudzenia trzeba uważać, ażeby wzbudzenie już z góry miało pełne napięcie sieci (uzyskujemy to przez zastosowanie odpowiednio zbudowanego rozrusznika); chodzi o to, aby bieguny były całkowicie namagnesowane, gdy twornik otrzymuje prąd. Gdy bowiem bieguny nie są namagnesowane, nie mogą działać przyciągająco na twornik i wprowadzić go w ruch, nie mogą też indukować w drutach twornika siły przeciwelektromotorycznej. Dlatego wzbudzenie nie może być załączone wprost między 1 i 2.

Przy zmianach obciążenia silnik bocznikowy zachowuje się zupełnie inaczej niż silnik głównikowy. Gdy zmianie ulega obciążenie, zmienia się tylko prąd w tworniku, a nie natężenie pola magnetycznego. Wzbudzenie pobiera niezmienną liczbę amperów i daje stale takie samo pole. Natężenie prądu przy rozruchu można podwyższyć około 1,8 razy ponad natężenie normalne, dla jakiego silnik jest zbudowany.

Silnik bocznikowy zachowuje prawie taką samą liczbę obrotów, bez względu na to czy jest obciążony, czy też biegnie luzem, tj. bez obciążenia. Jeżeli silnik taki ma przy rozruchu przyspieszać większe masy, konieczne jest do tego znacznie większe natężenie prądu w tworniku, niż w razie użycia silnika głównikowego. Dlatego silnik bocznikowy odpowiedni jest wtedy, gdy nie chodzi o szczególnie wielki moment obrotowy, lecz o to, ażeby uzyskać prawie niezmienną liczbę obrotów bez względu na wielkość obciążenia.

Szczególną zaletą silnika bocznikowego jest okoliczność, że przez odpowiednie zmiany pola magnetycznego można zmieniać dowolnie i w szerokich granicach liczbę obrotów bez względu na obciążenie. Na liczbę obrotów takiego silnika wpływa tylko wielkość osiągalnej siły elektromotorycznej. W miarę wzrostu natężenia prądu pole twornika (przeciwdziałanie twornika) osłabia nieco magnesy i tym samym nie dopuszcza do wzrostu liczby obrotów (dlatego właśnie silnik bocznikowy pracuje przy wszystkich obciążeniach prawie z niezmienną szybkością). Moment obrotowy nie jest tak wielki jak w silniku głównikowym, bo w miarę zwiększania poboru prądu wzmacnia się tylko pole magnetyczne twornika, ale nie pole wzbudzenia; w iloczynie obydwu sił zmienia się tylko jeden czynnik.

Główne zalety silnika bocznikowego są następujące: wielki stosunkowo moment obrotowy, wielka przeciążalność, prawie niezmienna liczba obrotów przy wszystkich obciążeniach, rozbieganie się silnika nie jest możliwe, racjonalne regulowanie liczby obrotów.

Wady silnika: skłonność do iskrzenia przy wielkich zmianach obciążenia i liczby obrotów (wskutek osłabienia pola), silne przetężenie przy wyłączaniu, co wymaga specjalnej budowy rozrusznika.

Zastosowanie silnika bocznikowego: ruch trwały, maszyny o niezmiennej liczbie obrotów, maszyny wymagające zmiany liczby obrotów w szerokich granicach.

Silnik głównikowo-bocznikowy ma układ taki sam jak analogiczna prądnica (rys. 93): przez wzbudzenie płynie częściowo prąd główny, a prócz tego jest ono zasilane równolegle.

Zalety takiego silnika: wielki moment obrotowy, wielka przeciążalność, „rozbieganie“ niemożliwe, racjonalna regulacja liczby obrotów, możność uzyskania bezwzględnie niezmienną liczbę obrotów.

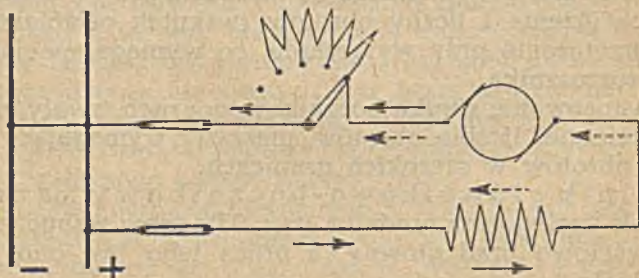
Wady: skłonność do iskrzenia przy wielkich zmianach obciążenia i liczby obrotów, silne przetężenie przy wyłączeniu, co wymaga specjalnego urządzenia zapobiegawczego w rozruszniku.

Zastosowanie: maszyny wymagające wielkiego momentu obrotowego, maszyny posiadające wielkie masy zamachowe, maszyny wymagające niezmiennej liczby obrotów.

Zmiana kierunku obrotów silnika prądu stałego polega na przełączeniu twornika albo o wzbudzenia. Pętlica na rys. 121 będzie się obracała w odwrotnym kierunku, gdy zamienimy bieguny magnesów albo też, gdy doślemy do maszyny prąd w odwrotnym kierunku tak, że na przodzie znajdzie się biegun południowy S, a z tyłu—biegun północny N. Jednak pętlica zachowa pierwotny kierunek obrotów, gdy przemienimy równocześnie i bieguny, i kierunek prądu (tj. gdy zmienią swe miejsca zarówno N i S, jak N_1 i S_1). Dlatego celem odwrócenia kierunku obrotów wystarczy umieścić przełącznik w jednym z tych obwodów. W praktyce przełączamy prąd twornika.

Zdarza się nieraz, że twornik silnika jest obracany przez maszynę napędzaną. W ten sposób np. silnik tramwajowy jest napędzany przez wóz zjeżdżający z góry pod własnym ciężarem. W takim przypadku silnik głównikowy zachowuje się inaczej niż silnik bocznikowy.

W obydwu typach wzrasta szybkość twornika i podwyższa się siła przeciwelektromotoryczna, która przeciwdziała napięciu dopływającemu z zewnątrz. Im bardziej wzrasta siła przeciwelektromotoryczna w silniku głównikowym (rys. 126, strzał-

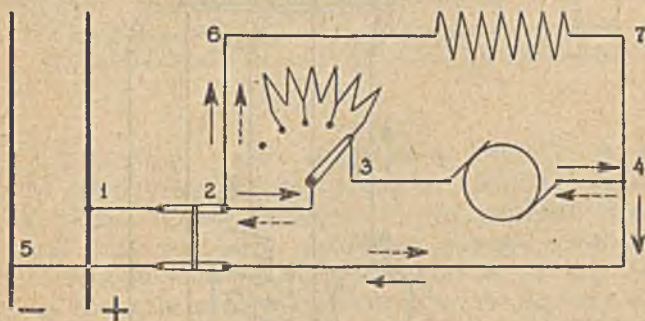


Rys. 126.

ka wykresowana), tym mniej prądu płynie w uzwojeniu biegunów, bo tylko różnica (napięcie zewnętrzne minus siła prze-

ciwelektromotoryczna) przepędza prąd przez wzbudzenie. Pole osłabia się wskutek tego, a siła przeciwelektromotoryczna nie może, mimo zwiększenia szybkości, wzrosnąć ponad napięcie sieci, nie może więc oddawać prądu do sieci z powrotem, bo równocześnie zmniejsza się stale natężenie pola magnetycznego. W silniku bocznikowym wzrost siły przeciwelektromotorycznej jest bez wpływu na pole, które utrzymuje się na niezmienniej wysokości, tak że silnik bocznikowy w razie przekroczenia jego normalnej liczby obrotów oddaje prąd do sieci.

Strzałki ciągłe na rys. 127 wskazują drogę prądu w silniku bocznikowym pracującym jako silnik; strzałkami przerywanymi



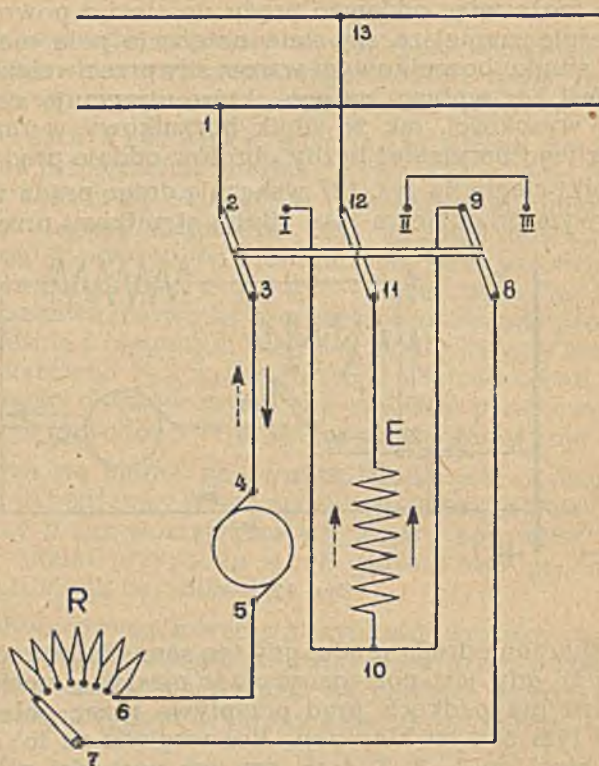
Rys. 127.

mi jest oznaczona droga prądu, gdy ten sam silnik pracuje jako prądnica, tj. gdy jest pociągany przez maszynę mechaniczną. W obydwu przypadkach prąd przepływa przez pole magnetyczne w tym samym kierunku. Bez względu na to czy prąd płynie z sieci do 1, 2, 3, 4, 5, czy też pochodzi z twornika w kierunku 4, 3, 2, za każdym razem panuje w 2 wyższe napięcie wobec 4 i pędzi prąd przez wzbudzenie drogą 2, 6, 7, 4.

Ażeby silnik szybko zahamować, stosujemy układ hamulcowy. Układ taki widzimy na rys. 128. Gdy przełącznik P zajmuje narysowane położenie, prąd pobierany z sieci płynie drogą 1 — 2 — 3 — . . . 13. Płynie on w kierunku strzałki przez wzbudzenie E. Po przełączeniu twornik, wzbudzenie E i rozrusznik R zostają zwarte, a prąd płynie w kierunku siły elektromotorycznej z twornika drogą 5 — 4 — 3 — I — 10 — 11 — II — III — 8 — 7 — 6 — 5. Strumień prądu przez wzbudzenie nie ulega zmianie (strzałki wykreskowane).

Siła hamowania zależy zasadniczo od szybkości, z jaką obraca się właśnie twornik, a więc od siły przeciwelektromo-

torycznej, jaką w danym momencie twornik wywiązuje. Gdy silnik wskutek hamowania traci na szybkości, spada jego siła

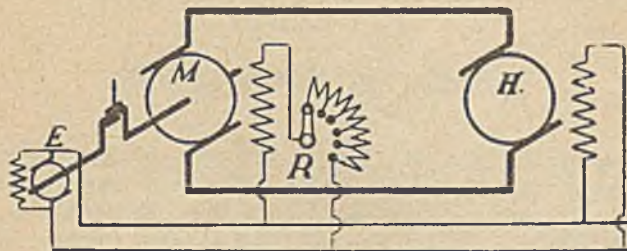


Rys. 128.

elektromotoryczna i tym samym maleje natężenie prądu, który wzbudza magnesy. W dalszym ciągu zmniejsza się natężenie pola magnetycznego, a siła elektromotoryczna spada dalej.

Odmiennej sposób rozruszania stosuje się wtedy, gdy wielkie silniki są często wprawiane w ruch, albo gdy chodzi o dokładne regulowanie szybkości, np. w wyciągach kopalnianych. Silniki takie nie są zasilane z sieci o stałym napięciu, lecz otrzymują osobną prądnicę, której napięcie jest tak wyregulowane, że twornik silnika można do niej załączyć bezpośrednio. Układ taki przedstawia rys. 129. Do napędzania wyciągu służy silnik H, którego twornik jest zasilany przez prądnicę M. Do

wzbudzenia H i M jest przeznaczona mała prądnica wzbudzająca E, która wraz z M jest osadzona na wale maszyny parowej. Wzbudzenie prądnicy M można regulować za pomocą opornika R. Gdy drążek opornika znajduje się w narysowanym położeniu, prądnica M daje nieznaczne tylko napięcie. Gdy



Rys. 129.

silnik H już biegnie, trzeba przestawiać opornik R, dopóki maszyna M nie uzyska pełnego napięcia i dopóki silnik H nie dojdzie do pełnej liczby obrotów. Dzięki takiemu sposobowi nie ma strat przy rozruchu, ponieważ odpada dławienie napięcia. Prócz tego silnik H, bez względu na to czy jest obciążony, czy nie, robi zawsze tyle obrotów, ile odpowiada ustawieniu opornika R. Wszystkie czynności przy rozruchu mogą być wykonywane przez automat, bo zmiana obciążenia nie wpływa na bieg maszyny.

ROZDZIAŁ XIII

SILNIKI PRĄDU ZMIENNEGO

Gdy do prądnicy prądu stałego doprowadzimy prąd stały, pracuje ona jako silnik. Z prądem zmiennym jest inaczej. Gdybyśmy do twornika prądnicy dostali prąd zmienny, pierwsze uderzenie prądu usiłowałoby stworzyć ruch obrotowy. Zanim jednak twornik zdołałby ruszyć z miejsca (potrzebuje on pewnego czasu na pokonanie bezwładności), następuje już drugie, przeciwnie skierowane uderzenie prądu, które stara się pchnąć twornik w przeciwną stronę, twornik nie mógłby poddać się temu nowemu bodźcowi, bo tuż za nim przychodzi następny, znów przeciwnie skierowany i tak dalej, w koło. W wyniku tych przeciwdziałających sobie uderzeń prądu twornik nie obracałby się, lecz tylko doznawałby drgań.

Nie wynika jednak z tego, ażeby prądnica prądu zmiennego nie mogła pracować jako silnik. Prądnica taka biegnie jako silnik, jeżeli jej twornikowi, zanim go dołączymy do źródła prądu zmiennego, nadamy za pomocą innej maszyny taką liczbę obrotów, jaka odpowiada częstotliwości prądu zasilającego. Jeżeli np. prąd zasilający ma częstotliwość 50 okresów, czyli 6000 zmian na minutę, a twornik prądnicy zasilającej robi 3000 obrotów na minutę, to silnik zasilany tym prądem należałoby doprowadzić do 3000 obrotów na minutę, po czym można go załączyć do prądnicy, która dosyła prąd napędowy. Gdy twornik osiągnął już tę liczbę obrotów, gdy więc biegnie synchronicznie, czyli zgodnie z twornikiem prądnicy dostarczającej prąd, można maszynę pomocniczą odłączyć, a silnik biegnie dalej normalnie. Prądnicę prądu zmiennego, która w powyższych warunkach pracuje jako silnik, nazywamy silnikiem synchronicznym. Wyrażenie to mówi, że bieg silnika jest zgodny (synchroniczny) z biegiem prądnicy.

Każda prądnica, jedno-, dwu- lub trójfazowa może pracować jako silnik synchroniczny (pierwszeństwo jednak należy się maszynom trójfazowym). Silniki synchroniczne spotykamy tylko wyjątkowo. Ich słabą stroną jest to, że wymagają ma-

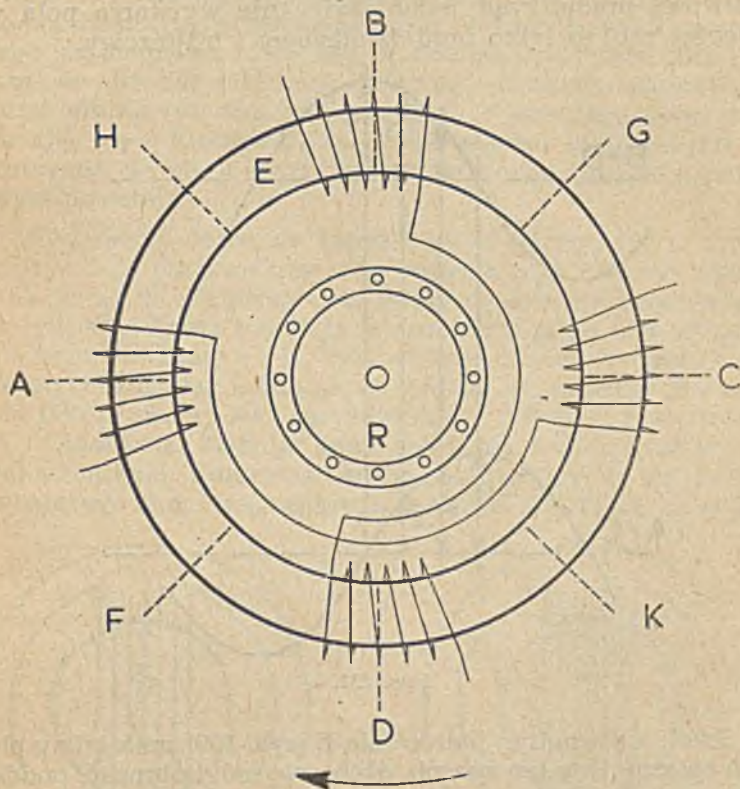
szyny dodatkowej, bądź specjalnego urządzenia rozruchowego, zasilanego prądem stałym. W razie przeciążenia stają, czyli — jak się to mówi — „gubią krok”. Z drugiej strony dają one możliwość polepszenia współczynnika mocy w sieci, a to przez nadmiernie silne wzbudzenie; uzyskujemy przez to przyśpieszanie natężenia przed napięciem, czego wynikiem jest wyrównanie przesunięcia faz, czyli skutków opóźniania się natężenia za napięciem. Inne zalety silników synchronicznych: niezmienna liczba obrotów przy wszystkich obciążeniach, rozbieganie niemożliwe, możliwość stosowania wysokich napięć, mały pobór prądu przy biegu jałowym. Słabe strony tych silników: trudności z regulacją liczby obrotów, mała przeciążalność, konieczność sztucznego doprowadzania do zgodności z prądnicą. Zastosowanie ogranicza się do takich przypadków, gdzie chodzi o maszyny robocze o niezmiennym szybkości i prawie niezmiennym momencie obrotowym oraz gdzie jest do dyspozycji prąd stały.

Niedogodności, jakie były połączone z używaniem silników synchronicznych, usunął wynalazek inż. Dobrowolskiego i Haselwandera (r. 1890), polegający na działaniu pola wirującego. Silniki oparte na działaniu pola wirującego nie muszą pracować zgodnie z prądnicą zasilającą, wobec czego nazywamy je silnikami asynchronicznymi. Obecnie silniki trójfazowe są budowane z reguły jako asynchroniczne. Gdy mówimy o silniku trójfazowym, mamy na myśli silnik asynchroniczny.

Działanie silników asynchronicznych objaśniają rys. 130 i 131. Rys. 130 przedstawia pierścień żelazny E z czterema uzwojeniami A, B, C, D, z których uzwojenia A i C oraz B i D są z sobą połączone, tworząc jedną cewkę poziomą A—C i drugą cewkę pionową B—D. Gdy przez cewkę poziomą A—C płynie prąd zmienny, powstaje w niej zmienne pole magnetyczne. Im silniejszy prąd, który płynie przez cewkę, tym większa liczba linii siły wybiega z cewki. Gdy załączymy cewkę do prądu zmiennego, którego przebieg odpowiada krzywej A—C na rys. 131, to w momencie I, kiedy natężenie prądu osiąga wartość najwyższą 1, także strumień linii sił osiąga wartość najwyższą. W momencie II, kiedy natężenie prądu spadło z 1 na 2, przez cewkę płynie mały strumień linii sił. W momencie IV, kiedy natężenie prądu w cewce równa się zeru, cewka nie wysyła w ogóle linii sił.

Gdy cewkę pionową B—D zasilimy prądem zmiennym, sytuacja będzie podobna. W momencie kiedy natężenie prądu

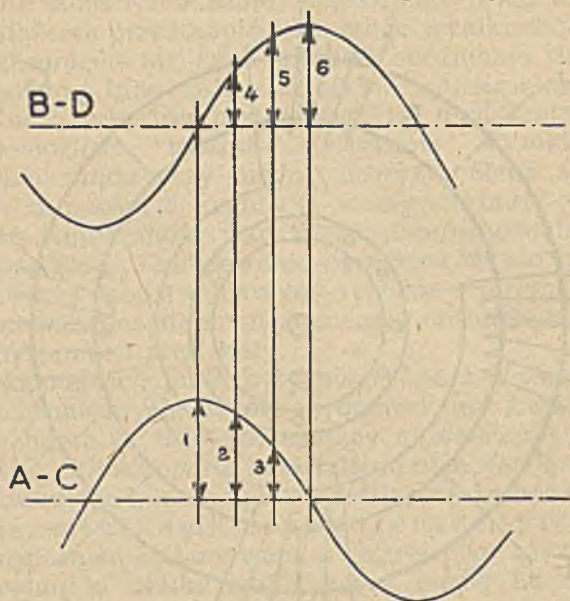
jest największe, poziomy strumień linii siły uzyskuje wartość najwyższą. Gdy natężenie spada do zera, przez cewkę nie przebiegają poziomo ułożone linie siły.



Rys. 130.

Gdy doślemy prąd zmienny do obydwu cewek równocześnie, powstanie pole magnetyczne złożone z poszczególnych pól obydwu cewek. Jeżeli przy tym załączymy jedną cewkę do prądu zmiennego o przebiegu A — C (rys. 131), a drugą do prądu zmiennego o przebiegu B — D, obydwie pola połączą się w jedno pole o niezmiennym natężeniu, ale o zmiennym kierunku. Dopóki więc przez cewki płyną prądy zmienne, bieguny pierścienia E obracają się w koło, co znaczy, że powstaje pole o ruchu wirowym, czyli pole wirujące. Jeżeli w miejsce dwóch cewek, których uzwojenia są przesunięte wzajemnie

o 90° , wstawimy trzy cewki, przesunięte nawzajem o 120° i doślemy do tych cewek prąd trójfazowy, powstanie również pole wirujące, wykonujące ruchy wirowe odpowiednio do częstotliwości prądu. Prąd jednofazowy nie wytwarza pola wirującego; robi to tylko prąd dwufazowy i trójfazowy.



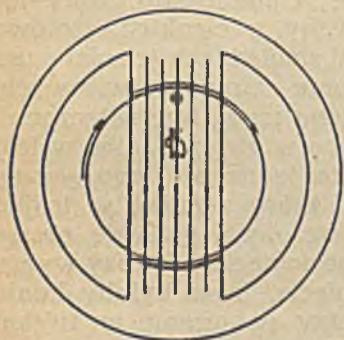
Rys. 131.

Jeżeli we wnętrzu pierścienia E (rys. 130) umieścimy pierścień żelazny R w ten sposób, ażeby się mógł obracać, poddaje się on ruchowi pola wirującego, ponieważ indukują się w nim pola magnetyczne. Obydwa pierścienie E i R tworzą razem silnik elektryczny, którego część obracająca się nie jest ogóle połączona ze źródłem prądu. Ruch pierścienia R powstaje wyłącznie na skutek indukcji i stąd nazwa takiego silnika: silnik indukcyjny. Jeżeli pierścień R nie ma żadnych uzwojeń, indukcja w nim będzie bardzo słaba i nie wywiąże żadnej prawie mocy. Mocy możemy oczekiwać dopiero wtedy, gdy pierścień R stanie się elektromagnesem. Ażeby to osiągnąć, zaopatrujemy pierścień w uzwojenie. W ten sposób powstaje twornik.

Uzwojenie twornika trójfazowego podobne jest do uzwojenia twornika prądu stałego. Na cylindrycznym płaszczu leży

szereg cewek składających się z poszczególnych drutów, jak to narysowano na rys. 132 i 133. Obracające się pole wirujące przechodzi ze swoimi liniami siły przez druty twornika, podobnie jak musiałby przechodzić przez te druty linie siły obracającego się magnesu. Linie siły przecinają druty twornika i indukują w nich siłę elektromotoryczną. Kierunek indukcji jest zaznaczony na rys. 132. Pole wirujące D przebiega przez drut, obracając się w kierunku wskazówek zegara. Indukcja jest tak skierowana, że stara się zniweczyć strumień linii siły, dzięki którym powstała.

Wyobraźmy sobie, że zamiast obracającego się w prawo pola (rys. 132) obraca się w lewo twornik (rys. 133), co wychodzi na jedno w odniesieniu do ruchu drutów twornika względem linii siły. Teraz indukcja w drucie twornika jest wywołwana przez linie siły 1—2. Tym właśnie liniom siły będzie musiała przeciwdziałać indukcja, co znaczy, że jej linie siły będą miały taki przebieg, jaki narysowano na rys. 133. Pole, wywołane tą indukcją, zajmuje więc położenie poziome od strony lewej ku prawej. Ponieważ usiłuje ono dostosować się do pola obracającego się i zajmującego właśnie położenie pionowe,



Rys. 132.



Rys. 133.

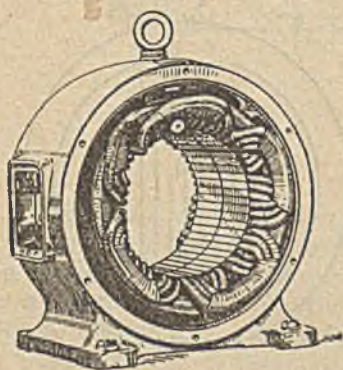
musi ono obracać się w kierunku wskazówek zegara, na skutek czego i twornik obraca się w tym samym kierunku, w którym wiruje pole. Rezultat: twornik obraca się wraz z polem.

Twornik silnika asynchronicznego musi obracać się z nieco mniejszą szybkością, niż odpowiadałoby to synchronizmowi. Gdyby bowiem twornik taki biegł synchronicznie z zasilającą go prądnicą, nie byłyby przecinane linie siły, nie byłoby dzia-

łania indukcyjnego i nie mógłby powstawać moment obrotowy, czyli nie byłoby siły pociągowej. Twornik musi więc obracać się z mniejszą szybkością, niż pole wirujące D, co znaczy, że musi on opóźniać się względem szybkości pola wirującego. Takie opóźnianie się, czyli taką różnicę między synchroniczną a niesynchroniczną liczbą obrotów, nazywamy *poślizgiem*. Przy obciążeniu normalnym poślizg wynosi około 5%. Silnik o dwóch parach biegunów nie robi 1500, lecz tylko 1425 obrotów na minutę. W miarę jak wzrasta obciążenie, poślizg musi być coraz większy, gdyż im większy poślizg, tym więcej linii siły jest przecinanych i tym większy jest moment obrotowy, czyli siła pociągowa.

Część nieruchomą silnika nazywamy stojanem, część ruchomą (twornik) wirnikiem. Silnik asynchroniczny odznacza się niezwykle prostą budową. Nie posiada kolektora ani szczotek, a wirnik nie jest połączony przewodząco ze stojanem. Dlatego nie ma mowy o występowaniu iskrzenia. Prąd w tworniku powstaje wyłącznie przez indukcję.

Stojan silnika asynchronicznego (rys. 134) posiada na swoim obwodzie trzy jednostajnie rozmieszczone uzwojenia,



Rys. 134.

ułożone w pierścieniu, który jest zbudowany z cienkich, izolowanych od siebie blach (chodzi o unicestwienie prądów wirowych). Uzwojenia mogą być połączone z sobą albo w gwiazdę, albo w trójkąt. Dla jednego i tego samego silnika, który zamiast w trójkąt jest połączony w gwiazdę, potrzebne jest napięcie 1,73 razy wyższe od napięcia, jakie byłoby konieczne przy połączeniu w trójkąt. Dlatego silnik, zbudowany dla napięcia 380 woltów przy połączeniu w gwiazdę, można zasilać prądem

o napięciu 220 woltów przy połączeniu w trójkąt. Podobnie silnik, zbudowany dla napięcia 220 woltów przy połączeniu w gwiazdę, może pracować przy napięciu 125 woltów, gdy jest połączony w trójkąt. Silniki takie mają np. znak 380/220 woltów, albo 220/125 woltów.

Wirnik (twornik) silnika asynchronicznego składa się również z cienkich blach (rys. 135). Blachy posiadają na ob-

wodzie otwory lub żłobki, w których, podobnie jak w silniku prądu stałego, są ułożone izolowane uzwojenia. W całym małych silnikach końce uzwojeń są połączone po obydwu stronach za pomocą pierścieni miedzianych; całość jest podobna do klatki i stąd nazwa: twornik klatkowy. W większych twornikach połączenia między partiami uzwojeń są bardzo krótkie. Nazywamy je twornikami zwartymi. Uzwojenie na tworniku może być również wykonane jako uzwojenie fazowe; otrzymuje ono wtedy biegunów, ile ich ma pole wirujące (to wykonanie nazywa się: wirnik zwarty z uzwojeniem fazowym).



Rys. 135.

Całkiem małe silniki trójfazowe można uruchamiać bezpośrednio za pomocą wyłącznika, o ile ich moc nie przekracza 0,75 kilowata przy napięciu do 125 woltów, bądź 1,5 kilowata przy napięciu powyżej 125 woltów.

Większych silników trójfazowych nie można w ten sposób wprawiać w ruch, ponieważ w chwili rozruchu występuje silny wzrost prądu, który dopiero stopniowo spada do wartości odpowiadającej obciążeniu przy pełnej liczbie obrotów. Wzrost tego prądu rozruchowego nie zależy od obciążenia podczas rozruchu, lecz od szczegółów konstrukcyjnych silnika. W drutach twornika indukuje się w chwili załączania siła elektromotoryczna, wyższa (teoretycznie) około 20 razy od normalnej i tym samym występuje prąd odpowiednią ilość razy większy. W praktyce nie jest tak źle, bo magnetyzm twornika wpływa zniekształcająco na pole i zmniejsza wydajnie liczbę linii siły. Mimo to jednak prąd wzrasta przy rozruchu 4—8 razy ponad normę, zależnie od wielkości silnika, liczby biegunów i liczby obrotów (im większy silnik, im większa liczba jego obrotów, tym większe uderzenie prądu przy rozruchu).

Najprostszym sposobem na zmniejszenie natężenia prądu przy rozruchu jest zastosowanie przełącznika trójkąt-gwiazda, ale tylko dla silników o mocy do 3 kilowatów przy napięciu do 125 woltów, bądź o mocy do 4 kilowatów przy napięciu powyżej 125 woltów. Rzecz polega na tym, że podczas pracy normalnej silnik jest połączony w trójkąt, a na czas rozruchu w gwiazdę. Do przełączania służą proste przełączniki drążkowe. Dzięki temu obroty silnika przy rozruchu są zmniejszone, a pierwsze uderzenie prądu nie jest nadmiernie wielkie (jest ono około trzy razy mniejsze od uderzenia, które musiałoby wystąpić, gdyby przełącznika nie było).

Silniki, które mają ruszać z miejsca pod małym obciążeniem, można wprowadzić w ruch za pomocą transformatora rozruchowego, zwanego także autotransformatorem. Odnośne urządzenie składa się z transformatora i przełącznika stopniowego. Podczas rozruchu doprowadzamy do silnika takie tylko napięcie, które wystarcza do nadania twornikowi pełnej liczby obrotów, przy czym uderzenie prądu wzrasta najwyżej dwukrotnie ponad natężenie normalne.

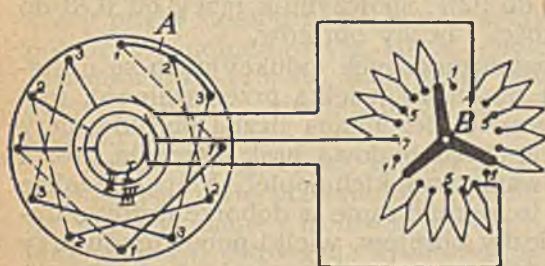
Wszelkie przełączniki i transformatory rozruchowe łagodzą wprowadzenie prądu przy rozruchu, ale wpływają ujemnie na moment obrotowy silnika i nie są wystarczające wtedy, gdy silnik ma rozwijać wielką moc. Ażeby polepszyć rozruch i uniknąć uderzeń prądu, które przenoszą się na sieć zasilającą jako wahania napięcia, trzeba starać się o to, aby natężenie prądu w uzwojeniu twornika wzrastało tylko stopniowo. W tym celu załączamy w uzwojenie oporniki (oporniki rozruchowe) i stopniowo te oporniki wyłączamy. Potrzebny jest do tego twornik z pierścieniami ślizgowymi. Twornik taki posiada trzy pierścienie ślizgowe oraz szczotki, które są połączone z opornikami. Przez szczotki dopływa prąd do twornika tylko podczas rozruchu, a gdy silnik już pracuje, szczotki można podnieść i odchylić od twornika. Urządzenie tego rodzaju może być też dobudowane do silnika w ten sposób, że wszystkie przestawiania odbywają się samoczynnie we właściwej kolejności.

Schemat twornika z rozrusznikiem widzimy na rys. 136. Po lewej stronie jest narysowany twornik, posiadający uzwojenie fazowe, podobnie jak stojan. Od gwiazdy A wybiegają druty 1, 2, 3, otaczają twornik w poszczególnych pętlicach i kończą się w pierścieniach ślizgowych I, II, III. Ślizgające się na nich szczotki tworzą połączenie między drutami twornika i drutami opornika (po prawej stronie). Połączenie wiedzie od I, II, III do 7, 7, 7, oraz — w narysowanym położeniu drążka stykowego B — do styków 2, 2, 2, które są połączone przez B.

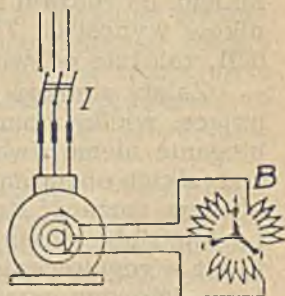
Im dalej w lewo porusza się B, tym bardziej zmniejsza się opór, gdy zaś B stoi na 7, 7, 7, opornik rozruchowy jest zwarty. Gdy B przesuwają się w prawo, styka się ze stykami 1, 1, 1, które są bez połączenia. Obwód opornika jest wtedy przerwany, indukowana w nim siła elektromotoryczna nie może przepędzić prądu przez uzwojenie, przez twornik nie płynie więc prąd, twornik nie jest elektromagnesem i nie ma momentu obrotowego.

Opór rozrusznika jest połączony z drutami twornika tylko

na czas rozruchu. Przy końcu rozruchu druty twornika są zwarte, drążek rozrusznika B spoczywa na 7, 7, 7 i tworzy bezpośrednie połączenie trzech szczotek, bądź trzech pierścieni zbiorczych między sobą. O ile osobne urządzenie tworzy połączenie między pierścieniami ślizgowymi, można szczotki podnieść, czyli odłączyć rozrusznik całkowicie od silnika, który będzie teraz bez jakichkolwiek styków ślizgowych. Przy rozruszaniu silnika trzeba zważyć, aby szczotki dobrze przylegały oraz by drążek rozrusznika stał na 1, 1, 1 (rys. 136). Następnie przez załączenie trójbiegunowego wyłącznika I (rys. 137) należy połączyć stojan z siecią i wreszcie stopniowo B zwierać.



Rys. 136.



Rys. 137.

Śluch wskaże czy trzeba dalej zwierać, czy jeszcze nieco czekać.

Liczba obrotów silnika asynchronicznego zależy od liczby okresów i uzwojenia, podobnie jak liczba obrotów prądnicy trójfazowej. Ażeby zmienić kierunek obrotów silnika trójfazowego, wystarczy przemienić dwa przewodniki; pole wirujące będzie teraz w przeciwnym kierunku i pociąga za sobą twornik.

Regulowanie liczby obrotów jest połączone ze stratami. Można np. osłabić pole wirujące przez załączenie opornika przed stojanem, wtedy jednak twornik, jeżeli ma oddawać moc uprzednią, musi stać się silniejszym elektromagnesem i zarazem musi się bardziej poślizgiwać, ażeby mógł doznawać odpowiednio wyższej indukcji. Można też pozostawić w tworniku załączoną część opornika rozruchowego, np. przez pozostawienie drążka na 5, 5, 5 (rys. 136); wtedy jednak potrzebna jest znowu wyższa indukcja w tworniku, ażeby większe natężenie mogło być przepędzone przez zwiększony opór. Jeżeli chodzi o zmianę liczby obrotów w stosunku 1 : 2, a więc np. z 500 na

1000 obrotów, trzeba zaopatrzyć stojan w dwa uzwojenia; raz załączamy wszystkie sześć par biegunów, drugi raz tylko trzy pary, tak że pole wirujące obraca się w drugim przypadku dwa razy szybciej.

Przy ocenie silników prądu zmiennego należy odróżniać moc rzeczywistą od mocy pozornej (str. 104). Moc rzeczywistą mierzymy watomierzem, moc pozorną woltomierzem i amperomierzem. Oprócz sprawności trzeba uwzględnić także współczynnik mocy, który jest tym niższy, im więcej biegunów posiada silnik, czyli im mniejsze są jego obroty. Prócz tego współczynnik mocy zależy od szczeliny między stojanem i wirnikiem, od rodzaju uzwojenia i od obciążenia. Sprawność silników wynosi od 77% do 92%, współczynnik mocy od 0,78 do 0,91, zależnie od wielkości i liczby obrotów.

Zalety silników asynchronicznych indukcyjnych są następujące: wielki moment obrotowy, wielka przeciążalność, rozbieganie niemożliwe, prawie niezmienna liczba obrotów przy wszystkich obciążeniach, prosta budowa, brak iskrzenia, prosta obsługa, możliwość stosowania wysokich napięć. Mają one także i swoje słabe strony, a to: ograniczenie w doborze liczby obrotów i w regulowaniu liczby obrotów, wielki pobór prądu przy biegu jałowym, wrażliwość na wahania napięcia, mała szczelina między wirnikiem i stojanem (w razie wyrobienia się łożysk dochodzi łatwo do poważnych uszkodzeń).

Zastosowanie tych silników: wszystkie rodzaje napędów, z wyjątkiem tych, które wymagają daleko idącej, racjonalnej i dokładnej regulacji liczby obrotów.

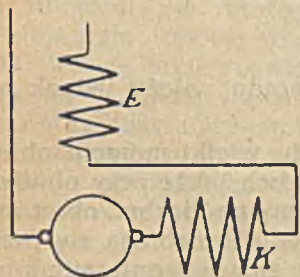
Oprócz silników asynchronicznych indukcyjnych istnieją silniki trójfazowe kolektorowe, które zezwalają na zmianę liczby obrotów bez większych strat. Stojan takiego silnika jest zbudowany dokładnie tak samo, jak stojan zwykłego silnika asynchronicznego, natomiast wirnik (twornik) posiada kolektor, podobnie jak twornik prądu stałego oraz trzy zespoły szczotek. Regulacja odbywa się przez osobne regulatory, albo przez przestawianie szczotek. Rozróżniamy dwie grupy silników kolektorowych: jedne mają „charakter” silników głównikowych, inne zachowują się podobnie, jak silniki bocznikowe prądu stałego.

Zalety silników trójfazowych kolektorowych są następujące: wielki moment obrotowy, prawie niezmienna liczba obrotów przy wszystkich obciążeniach, rozbieganie niemożliwe, możliwość stosowania wysokich napięć, racjonalna regulacja liczb obrotów.

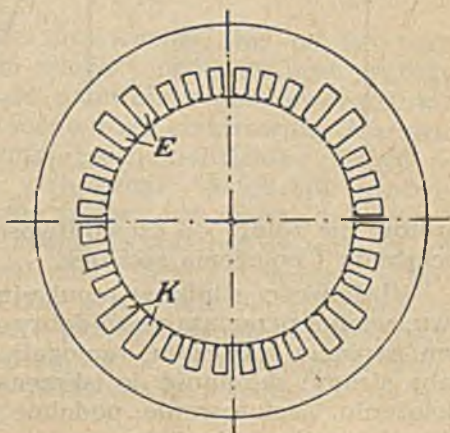
Słabe strony: ograniczenie w doborze liczb obrotów, bardzo mała szczelina między stojanem a wirnikiem, wielki pobór prądu przy biegu jałowym, wrażliwość na wahania napięcia. Zastosowanie: napędy, gdzie chodzi o dokładną zmianę liczby obrotów.

Odrębną grupę silników prądu zmiennego stanowią silniki jednofazowe. Wymagają one tylko dwóch przewodów zasilających, a nie trzech, jak silniki trójfazowe. Powstały z silników trójfazowych. Gdy w pracującym silniku trójfazowym odłączymy jeden przewód zasilający, silnik pracuje dalej, chociaż jego moment obrotowy nie jest wielki. Silnik taki biegnie jako silnik jednofazowy. Gdy silnik głównikowy prądu stałego nagle przełączymy, przemieniając biegun północny z południowym, silnik biegnie dalej w tym samym kierunku (rys. 123, str. 122); silnik taki można więc pędzić za pomocą prądu jednofazowego, który zmienia ustawicznie bieguny.

Konieczne są jednak zmiany konstrukcyjne. Wobec tego, że prąd jest stale przełączany, kadłub, bieguny i twornik muszą być wykonane z izolowanych blach, ażeby unicestwić działanie prądów wirowych. Trudności sprawia również uniknięcie iskrzenia na kolektorze. Iskrzeniu zapobiegają równoważące bieguny pomocnicze w stojanie. Schemat takiego silnika widzimy na rys. 138. Prąd płynie przez wzbudzenie E, twornik i uzwojenie równoważące K. Uzwojenia K i E są umieszczone w stojanie według rys.



Rys. 138.

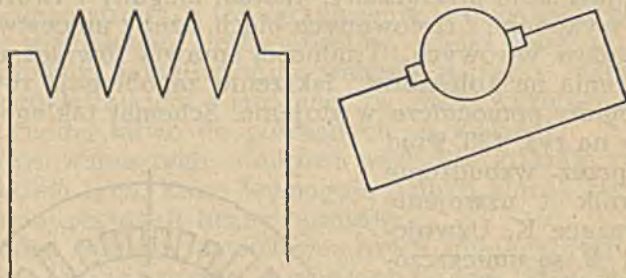


Rys. 139.

139; uzwojenia wzbudzające leżą w miejscach E, uzwojenia równoważące w miejscach K.

Silnik taki nazywamy silnikiem jednofazowym głównikowym, ponieważ jego właściwości są podobne do właściwości silnika głównikowego prądu stałego, a to: ma wielki moment obrotowy, wielką przeciążalność, dobry rozruch także przy obniżonym napięciu, dobrą sprawność, małe straty przy rozruchu, możliwość racjonalnej zmiany liczby obrotów. Słabe strony tego silnika: konieczność stosowania osobnych uzwojeń celem zapobiegania iskrzeniu, ograniczenie w doborze napięcia, wielkie przesunięcie faz przy małych obrotach, w razie odciążenia silnik rozbiega się. Zastosowanie: podobne jak zastosowanie silników głównikowych prądu stałego.

Innym typem silnika jednofazowego jest silnik repulsyjny. Jego stojan jest wykonany podobnie jak w asynchronicznym silniku trójfazowym, twornik odpowiada twornikowi prądu stałego, jest jednak w sobie zwarty, na kolektorze są osadzone dwie, bezpośrednio z sobą połączone szczotki. Schemat podaje rys. 140. Prąd dopływa z zewnątrz tylko do stojana. Rozruch odbywa się przez przestawianie szczotek. Liczba



Rys. 140.

obrotów nie zależy od częstotliwości prądu, zależy jednak od obciążenia i położenia szczotek.

Właściwości silników repulsyjnych: wielki moment obrotowy, wielka przeciążalność, dobry rozruch także przy obniżonym napięciu roboczym, racjonalna zmiana liczby obrotów. Słabe strony: skłonność do iskrzenia, silnik rozbiega się przy odciążeniu. Zastosowanie: podobne jak zastosowanie silników głównikowych prądu stałego.

Istnieją też silniki repulsyjne, zachowujące się jak silniki bocznikowe prądu stałego.

ROZDZIAŁ XIV

TRANSFORMATORY, PRZETWORNICE

Wielkie elektrownie okręgowe nie stoją prawie nigdy pośrodku tego obszaru, który mają zasilać. Buduje się je przeważnie tam, gdzie jest pod ręką materiał napędowy, węgiel, torf, woda, gaz.

Od elektrowni prowadzą w obszar zasilany przewody, długie nieraz na setki kilometrów, a na pokonanie oporu tych przewodów zużywa się nieproduktywnie energia elektryczna. Wobec tego, że straty energii są jednoznaczne ze stratami materialnymi, powinny one być jak najmniejsze. Dlatego przewody budowane są z takiego materiału, który oprócz dostatecznej wytrzymałości mechanicznej ma możliwie mały opór elektryczny. Najodpowiedniejszym materiałem jest miedź; oprócz niej bywa też używany glin (aluminium), a wyjątkowo tylko spotykamy cynk i żelazo.

Opór zależy od długości przewodów oraz od ich przekroju. Im cieńszy drut, tym większy opór, im drut grubszy, tym opór mniejszy. Długość przewodów jest uwarunkowana rozległością obszaru zasilanego przez elektrownię. Ponieważ tej długości nie można zmniejszyć, należałoby dążyć do zmniejszenia oporu przez zwiększenie przekroju przewodów. Jednak takie rozwiązanie sprawy nie zawsze jest korzystne, bo w miarę wzrostu przekroju przewodów wzrasta ich cena oraz koszt ich rozprowadzenia. Tutaj nie można przekroczyć pewnych granic, jeżeli całe urządzenie ma pracować racjonalnie. Jeżeli więc chodzi o przesyłanie energii elektrycznej na wielkie odległości, trzeba szukać innego środka. Środkiem tym jest zmniejszenie natężenia przesyłanego prądu i podwyższenie jego napięcia.

Moc prądu równa się iloczynowi jego napięcia i natężenia. Wynika z tego, że jedną i tę samą moc można uzyskać za pomocą wielkiego natężenia i niskiego napięcia albo na odwrót, za pomocą małego natężenia i wysokiego napięcia. Na przy-

kład 5000 woltów \times 10 amperów daje 50 000 watów, czyli 50 kilowatów; taką samą liczbę watów daje też 5000 amperów \times 10 woltów.

Im większe natężenie prądu oraz im niższe jego napięcie, tym większy przekrój, a więc tym mniejszy opór musi mieć przewód, jeżeli straty energii nie mają być wielkie. Im wyższe zaś napięcie oraz im mniejsze natężenie, tym mniejszy może być przekrój przewodów. Jeżeli więc chodzi o przesłanie pewnej energii elektrycznej na wielką odległość, zastosujemy jak najcieńsze przewody, jak najwyższe napięcie i jak najmniejsze natężenie.

Wynika to z prawa Ohma, w myśl którego istnieje ścisły związek między napięciem (U), natężeniem (I) i oporem (R). Moc prądu (N) równa się iloczynowi napięcia i natężenia, czyli $N = U \cdot I$. Wobec tego, że $I = U : R$, możemy też napisać:

$$N = \frac{U \cdot U}{R} = \frac{U^2}{R}$$

ponieważ $U = I \cdot R$, przeto $N = I \cdot I \cdot R = I^2 \cdot R$.

W obwodzie zamkniętym natężenie prądu jest we wszystkich punktach tak samo wielkie. Straty występujące w przewodzie objawiają się w ten sposób, że napięcie w miejscu odbioru prądu (tj. na końcu przewodu) jest niższe niż u źródła (tj. na początku przewodu). Gdy znamy stratę napięcia oraz długość przewodu, tj. długość przewodu dosyłowego plus długość przewodu odsyłowego, obliczamy przekrój przewodów (w milimetrach kwadratowych) według wzoru:

$$\text{przekrój} = \frac{\text{natężenie prądu} \times \text{długość przewodów}}{\text{przewodność} \times \text{strata napięcia}}$$

a spadek napięcia (w woltach) możemy obliczyć według wzoru:

$$\text{spadek napięcia} = \frac{\text{natężenie prądu} \times \text{długość przewodów}}{\text{przewodność} \times \text{przekrój}}$$

Z tych wzorów widać, jakie znaczenie ma natężenie prądu przy przesyłaniu energii. Przy pewnym oznaczonym przekroju przewodów strata jest proporcjonalna do natężenia prądu. Jeżeli jednak wyrazimy stratę w procentach przesyłanej ilości energii, okaże się, że strata rośnie w stosunku kwadratowym do natężenia.

Przykład. — Moc 80 000 watów zamierzamy przesłać na odległość 1000 metrów przewodem miedzianym (przewod-

ność = 57). Mamy do wyboru dwie alternatywy: napięcie w miejscu odbioru ma wynosić a) 200 woltów, b) bądź też 1000 woltów. Strata napięcia ma wynosić 10%, czyli w pierwszym przypadku a) = 20 woltów, w drugim przypadku b) = 100 woltów.

Natężenie prądu w przypadku a) wynosi 80000 watów : 200 woltów = 400 amperów, w przypadku b) 80000 watów : 1000 woltów = 80 amperów.

Przekrój przewodów będzie następujący:

$$\text{w przypadku a): } \frac{2 \cdot 1000 \cdot 400}{57 \cdot 20} = \text{okrągło } 700 \text{ mm}^2;$$

$$\text{w przypadku b): } \frac{2 \cdot 1000 \cdot 80}{57 \cdot 100} = \text{okrągło } 28 \text{ mm}^2.$$

Widzimy więc, że napięcia mają się do siebie jak 1 : 5, a przekroje jak $5^2 : 1$, czyli jak 25 : 1. Przewód według alternatywy a) waży okrągło 12000 kg, według alternatywy b) ciężar jego wynosi tylko około 500 kg.

Za pomocą prądnic prądu stałego nie można uzyskiwać napięć bardzo wysokich; już przy 1000 woltach wyłaniają się poważne trudności. Inaczej jest z prądnicami prądu zmiennego: można je budować dla napięć dziesiątków tysięcy woltów. Prócz tego prąd zmienny można dowolnie i z bardzo małymi stratami transformować za pomocą transformatorów, tak że do przewodu wpływa przetransformowany już w elektrowni prąd o napięciu np. 50000 woltów, ale o małym natężeniu, a po ponownym przetransformowaniu na miejscu odbioru jego napięcie wynosi tylko 220 woltów przy odpowiednio zwiększonym natężeniu.

Działanie transformatora polega na zjawisku indukcji: drganie prądu zmiennego w przewodniku zezwala na bardzo proste przetwarzanie wysokości napięcia bez użycia jakichkolwiek części ruchomych. Jeżeli na pierścieniu żelaznym umieścimy dwie cewki (rys. 141) i przez cewkę I prześlemy prąd zmienny, wytwarza on w tej cewce drgające linie siły. Z chwilą gdy prąd zaczyna płynąć, dokoła drutu cewki rozbiegają się linie siły (rys. 58)



Rys. 141.

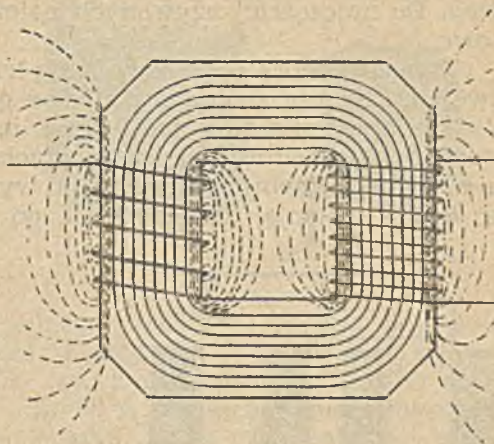
i łączą się wreszcie we wspólny strumień (rys. 61). Gdy prąd w cewce słabnie, linie siły kurczą się dośrodkowo i wreszcie znikają w drucie. Jeżeli obok cewki I umieścimy cewkę II w ten sposób, ażeby linie siły cewki I przecinały druty cewki II podczas rozszerzania się i kurczenia, w cewce II indukuje się siła elektromotoryczna. Ta indukcja podlega znanemu prawu: siła elektromotoryczna równa się iloczynowi długości przewodnika, natężenia pola i szybkości przecinania linii siły (str. 66).

Wobec tego, że natężenie pola w cewce II jest takie samo jak w cewce I, a szybkość przecinania linii siły jest dla obydwu cewek identyczna (bo przez obydwie cewki przechodzi jedno i to samo pole), napięcia w I i II pozostają do siebie w stosunku długości przewodników, czyli liczb zwojów. Napięcie „pierwotne”, doprowadzone do cewki „pierwotnej” I, ma się do napięcia „wtórnego” w cewce „wtórnej” II tak, jak liczba zwojów cewki I do liczby zwojów cewki II. Jeżeli np. cewka I ma 200 zwojów i otrzymuje napięcie 1000 woltów, to w cewce II, posiadającej np. 800 zwojów, powstanie napięcie $800 : 200 = 4$ razy wyższe, czyli $4 \cdot 1000 = 4000$ woltów. I na odwrót, jeżeli do cewki II doślemy np. prąd o napięciu 4000 woltów, to w cewce I otrzymamy napięcie 4 razy niższe, czyli 1000 woltów.

Ponieważ moc elektryczna jest po stronie pierwotnej i wtórnej taka sama (pomijając straty), przeto natężenia prądu ustosunkowują się odwrotnie niż napięcia. Jeżeli np. cewka pierwotna I ma 100 zwojów, a cewka wtórna 1000 zwojów, a po stronie wtórnej chcemy uzyskać natężenie 10 amperów przy napięciu 5000 woltów, musimy do cewki pierwotnej I dośłać 100 amperów przy napięciu 500 woltów (plus kilka procent na pokrycie strat).

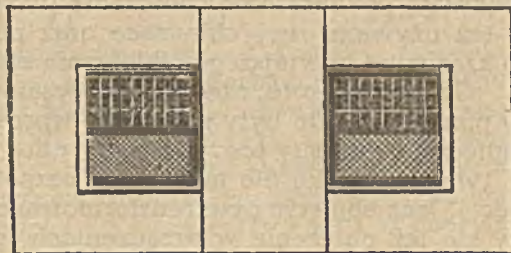
Stosunek liczby zwojów cewki pierwotnej I do liczby zwojów cewki wtórnej II nazywamy przekładnią transformatora. Jeżeli ta przekładnia jest mniejsza od 1, zwoje pierwotne są w mniejszości: napięcie transformuje się „w górę” (z niskiego napięcia powstaje napięcie wysokie). Jeżeli przekładnia jest większa od 1, wtedy w mniejszości jest liczba zwojów cewki wtórnej II: napięcie transformuje się „w dół” (z wysokiego napięcia powstaje niskie napięcie). Jeżeli przekładnia równa się 1, wówczas obydwie cewki mają identyczne liczby zwojów i nie ma transformacji we właściwym tego słowa znaczeniu.

Nie wszystkie linie siły, wytworzone w cewce pierwotnej I, przechodzą przez druty cewki wtórnej II (rys. 142). Część tych linii przebiega poza cewką II i ulega rozproszeniu (mówimy wtedy o polu rozproszonym). Wrazie silnego przeciążenia transformatora rozpraszanie zwiększa się, przez cewkę II przechodzi mniej linii siły niż przy obciążeniu normalnym i tym samym w cewce wtórnej indukuje się niższe napięcie.



Rys. 142.

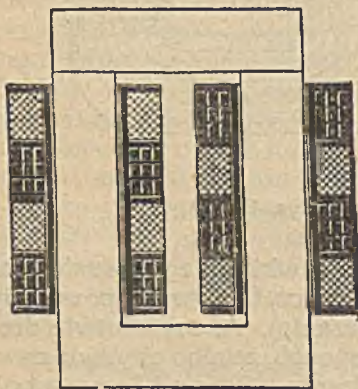
W wykonaniu praktycznym transformatory nie mają nigdy kształtu pierścieni jak na rys. 141 (cewki takiego transformatora trzeba by nawijać ręcznie, a prócz tego występowałyby w nich wielkie straty przez rozpraszanie). Ażeby ułatwić drogę liniom siły, urządzamy się w ten sposób, że albo obydwie cewki są osadzone na jednym rdzeniu (transformator rdzeniowy), albo też linie siły zamykają się w zewnętrznym płaszczu (transformator płaszczowy). Rdzeń transformatora jest wykonany z izolowanych od siebie blach, podobnie jak twornik prądu. Cewki pierwotne i wtórne są zazwyczaj osadzone na sobie, cewka wysokiego napięcia na zewnątrz (ażeby była łatwiej dostępna). Obydwie cewki są od siebie starannie odizolowane; cewka wysokiego napięcia jest prawie zawsze podzielona na kilka mniejszych, również od siebie odizolowanych cewek. Na rys. 143 widzimy schemat transformatora płaszczowego. Rys. 144 podaje schemat trans-



Rys. 143.

formatora rdzeniowego; tutaj uzwojenia pierwotne i wtórne są podzielone na większą ilość cewek nasuniętych kolejno na rdzeń. Do najczęściej używanych należą transformatory rdzeniowe.

Transformatory trójfazowe mają trzy rdzenie i trzy układy uzwojeń, które są skojarzone albo w gwiazdę, albo w trójkąt. Wielkie transformatory trójfazowe mogą być zestawione z trzech transformatorów jednofazowych (jeden z nich widzimy na rys. 145). Ażeby transformator wydawnie chłodzić i uzyskać lepszą izolację, umieszcza się go w naczyniu z olejem.



Rys. 144.



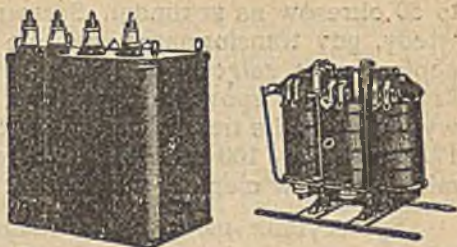
Rys. 145.

Powstaje w ten sposób transformator olejowy (rys. 146). Ściany takiego naczynia mają nieraz żeberka, które powiększają powierzchnię chłodzenia (w tym samym celu bywają też używane rury chłodzące oraz pompy, zmuszające olej do krążenia i łatwiejszego oddawania ciepła).

Gdy chodzi o to, ażeby przy wysokich napięciach przyrządy pomiarowe nie były załączone wprost w obwód wysokiego napięcia, stosujemy tzw. transformatory pomiarowe. W tym przypadku nie mierzy się bezpośrednio wysokiego napięcia, lecz napięcie przetransformowane w dół; podobnie mierzy się też natężenie w urządzeniach wysokiego napięcia.

Bardzo niskie napięcie stosuje się w spawarkach (maszynach do spawania). Chodzi tutaj o wytwarzanie prądu o bardzo wielkim natężeniu, lecz o niskim napięciu. Prąd taki, doprowadzony bezpośrednio do spawarki, wymagałby bardzo grubych przewodów i mimo wszystko ulegałby poważnym stratom.

Dlatego do spawarki doprowadzamy prąd o napięciu normalnym i dopiero w samej maszynie transformujemy go na niskie napięcie. Ażeby umożliwić regulację natężenia, uzwojenie pierwotne transformatora jest urządzone do przełączania. W ten sposób można uzyskiwać po stronie wtórnej rozmaite wysokie napięcia, od których znów zależy wielkość natężenia.



Rys. 146.

Przez podzielenie jednego uzwojenia można podzielić odbierane napięcie; służą do tego tzw. autotransformatory. Analogicznie są zbudowane transformatory rozruchowe. Także w wielkich transformatorach, służących do przesyłania energii, jedno uzwojenie jest przełączalne, a to w tym celu, ażeby można było wyrównywać spadek napięcia w przewodach, gdy zapotrzebowanie prądu wzrasta. Wystarczy do tego dołączenie lub odłączenie niewielkiej liczby zwojów (od 2 do 6%). Gdy np. jakieś miasto otrzymuje prąd o napięciu 20000 woltów, a spadek napięcia wynosi 400 woltów, to w razie odbioru 40 amperów wystarczy dołączyć w elektrowni kilka zwojów wtórnych, ażeby spadek wyrównać. Gdy prąd pierwotny był transformowany w elektrowni na 20000 woltów (przekładnia 1:4), po dołączeniu tych kilku zwojów napięcie wynosi 20400 woltów (przekładnia 1:4,08) i miasto otrzymuje swoje napięcie normalne 20000 woltów, a napięcie pierwotne w elektrowni utrzymuje się na niezmienną wysokość 5000 woltów.

W każdym transformatorze powstają straty objawiające się jako różnica między prądem dosłanym do uzwojenia pierwotnego, a prądem odbieranym z uzwojenia wtórnego. Na te straty składają się straty w miedzi (spowodowane oporem uzwojenia) oraz straty w żelazie (spowodowane prądami wirowymi oraz ustawicznym pizemagnesowaniem żelaza). Suma tych strat na ogół nie jest wielka i w dobrych transformatorach wynosi około 2%, tak że sprawność transformatora dochodzi do 98%. Ta liczba dotyczy transformatorów całkowicie obciążonych, czyli takich, z których pobieramy najwyższą osiągalną moc. Gdy obciążenie jest mniejsze, spraw-

ność pogarsza się. Prócz tego straty w żelazie wzrastają w miarę wzrostu częstotliwości prądu (dlatego jako normę przyjęto 50 okresów na sekundę). Sprawność pogarsza się wybitnie wtedy, gdy transformator znajduje się przez dzień i noc pod napięciem, a załączone odbiorniki pracują tylko przez czas krótki. Straty spowodowane tym „biegiem jałowym” wynoszą — o ile transformator jest dobrze zbudowany — około 1% (przy mocy 100 kilowatów). Straty w transformatorze przemieniają się w ciepło.

Spółczynnik mocy transformatora ($\cos \varphi$) jest tak samo wielki po stronie pierwotnej jak i po stronie wtórnej. Gdy transformator zasila tylko żarówki (opór bezindukcyjny), jego współczynnik mocy wynosi 1 także i po stronie pierwotnej.

Jeżeli uzwojenie pierwotne transformatora załączymy w obwód prądu, z uzwojenia wtórnego możemy pobierać prąd do zasilania lamp, poruszania silników itp. Gdy do tego samego obwodu są załączone jeszcze dalsze transformatory, ich obwody wtórne są od siebie niezależne. To, co się dzieje w obwodzie wtórnym jednego transformatora, jest bez wpływu na obwód wtórny innego, byle tylko nie zachodziły zmiany w obwodzie głównym (zasilającym). Za pomocą transformatorów można więc z jednego głównego obwodu pierwotnego odgałęzić szereg niezależnych od siebie obwodów wtórnych, tak że każdy transformator obejmuje niejako rolę prądnicy, która zasila obwód wtórny (podstacje transformatorowe). W tym celu łączymy transformatory równolegle: uzwojenia pierwotne wszystkich transformatorów są załączone do przewodów biegnących z elektrowni, a odbiorniki są załączone — znowu w układzie równoległym — do obwodów wtórnych. Każdy transformator można tutaj wyłączyć, a wyłączenie to będzie bez wpływu na inne. Transformatory można łączyć równolegle tylko wtedy, gdy są one skojarzone zarówno po stronie pierwotnej jak i wtórnej albo w trójkąt, albo w gwiazdę, tudzież gdy mają takie same przekładnie. Wyjątkowo tylko spotykamy układy szeregowy.

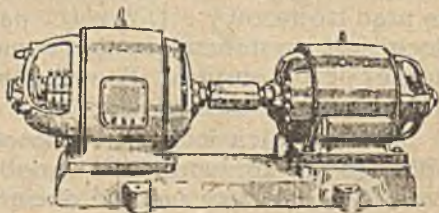
Ażeby zapobiec niebezpieczeństwu, które powstaje wtedy, gdy wskutek uszkodzenia izolacji uzwojenie wysokiego napięcia styka się przewodząco z uzwojeniem niskiego napięcia, ostatnie uzwojenie otrzymuje tzw. bezpiecznik napięciowy. Składa się on z cienkiej płytki luszczkowej, która izoluje przewód niskiego napięcia od ziemi. Gdy na stronę niskiego napięcia przedostaje się wysokie napięcie, płytka

zostaje przebita, a tym samym obydwaj uzwojenia są połączone z ziemią.

Słabą stroną prądu zmiennego jest to, że nie można go gromadzić na zapas, jak to np. robimy z prądem stałym, gromadząc go w akumulatorach. Dlatego elektrownie prądu zmiennego muszą pracować bez przerwy, chociaż w niektórych okresach żaden odbiorca z prądu nie korzysta. Mimo to prąd zmienny daje takie korzyści, że coraz bardziej wypiera prąd stały, a transformator stał się niezbędnym środkiem pomocniczym współczesnej techniki prądów silnych.

Istnieją jednak pewne działy elektrotechniki, dla których niezbędny jest prąd stały, albo gdzie użycie prądu stałego jest bardziej racjonalne (przemysł elektrochemiczny, galwanotechnika, silniki głównikowe o wielkim momencie obrotowym itp.). Wobec tego, że większe elektrownie produkują obecnie prawie wyłącznie prąd zmienny, stworzono szereg urządzeń do przetwarzania prądu zmiennego na prąd stały, bądź też prądu stałego na prąd zmienny, albo wreszcie prądu stałego o pewnym napięciu na prąd stały o innym napięciu.

Służą do tego przetwornice jednotwornikowe lub dwutwornikowe. Przetwornica dwutwornikowa (rys. 147) składa się z prądnicy i z silnika osadzonych na wspólnej osi. Silnik przejmuje z sieci energię elektryczną, oddaje prądnicy energię mechaniczną, a ta przetwarza ją w energię elektryczną. Ponieważ zespół taki posiada dwa tworniki, jeden w silniku, drugi w prądnicy, nazwano go dwutwornikowym. Jako

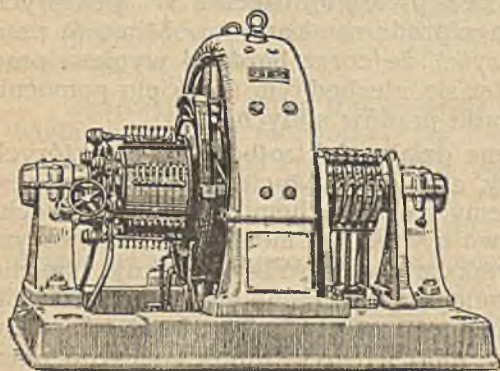


Rys. 147.

silniki bywają używane zarówno silniki synchroniczne jak i asynchroniczne; pierwsze mają lepszy współczynnik mocy, drugie można wygodniej uruchamiać, a prócz tego znoszą one chwilowe bardzo wielkie przeciążenia.

Przetwornica jednotwornikowa ma jeden tylko twornik (rys. 148). Jak wiemy, z prądnicy prądu stałego możemy odbierać prąd zmienny, jeśli w miejsce kolektora zastosujemy pierścienie ślizgowe. Aby więc przetworzyć prąd zmienny w prąd stały, albo prąd stały w prąd zmienny, można użyć do tego jednego i tego samego twornika. Twornik ma

wtedy po jednej stronie pierścienie ślizgowe, po drugiej kolektor. Do pierścieni można dostać prąd zmienny, a z kolektora odebrać prąd stały, albo odwrotnie. Strona prądu zmiennego jest zbudowana jako silnik synchroniczny; dlatego przetwornica jednotwornikowa, zasilana prądem zmiennym, rusza z



Rys. 148.

miejsca dopiero po nadaniu jej synchronizmu (str. 131). Jeżeli jest do dyspozycji prąd stały, używa się go do rozruchu. Gdy nie ma prądu stałego, łączymy przetwornicę z silnikiem asynchronicznym, nadającym jej potrzebną liczbę obrotów (silnik taki nazywamy silnikiem **rozruchowym**).

Przetwornicę można

wprawiać w ruch od strony prądu zmiennego także bez silnika rozruchowego, a to w ten sposób, że do twornika doprowadza się prąd trójfazowy o $1/3$ części napięcia normalnego. To napięcie jest wystarczające do rozruchu i do uzyskania synchronicznej liczby obrotów. Po osiągnięciu tych obrotów można już załączyć pełne napięcie.

Przetwornica jednotwornikowa ma jedno tylko uzwojenie i dlatego jej sprawność jest wielka (średniej wielkości przetwornice mają przy pełnym obciążeniu sprawność około 92%; sprawność przetwornic dwutwornikowych jest mniejsza i wynosi około 83—85%). Sprawność pogarsza się w miarę zmniejszania się obciążenia (pod tym względem zachowują się lepiej przetwornice jednotwornikowe).

Przetwornice jednotwornikowe bywają używane do przetwarzania prądu jednofazowego bądź trójfazowego w prąd stały. Stosunek napięcia i natężenia prądu zmiennego do prądu stałego jest niezmienny, a mianowicie: 1 wolt prądu stałego odpowiada 0,707 wolta prądu jednofazowego oraz 0,612 wolta prądu trójfazowego; 1 amper prądu stałego odpowiada 1,414 ampera prądu jednofazowego oraz 0,943 ampera prądu trójfazowego. Zazwyczaj chodzi o wytwarzanie prądu stałego o napięciu 115, 230, 460 i 550 woltów i w większości przypad-

ków napięcie dosyłanego prądu trójfazowego jest za wysokie. W takim razie potrzebny jest transformator, który wprowadza właściwy stosunek między napięciem prądu stałego i zmiennego.

Wadą przetwornicy jednotwornikowej jest zależność napięcia prądu stałego od napięcia prądu zmiennego. Ażeby temu zaradzić, stosujemy różne urządzenia regulacyjne. Celem nieznacznej zmiany napięcia wystarczy załączenie dławików w przewód prądu trójfazowego. Do uzyskania większych zmian trzeba stosować transformatory regulacyjne bądź dodatkowe maszyny trójfazowe. Dalszą wadą tych przetwornic jest konieczność stałego nadzoru oraz pogarszanie się sprawności w miarę zmniejszania się obciążenia. Dlatego pracują ekonomicznie tam tylko, gdzie chodzi o przetwarzanie wielkich energii (np. dołączenie istniejącej już sieci prądu stałego, zasilanie linii tramwajowych itp.). Dla odbiorców, którzy pobierają z elektrowni prądu zmiennego stosunkowo mało prądu, a potrzebują prądu stałego do takich celów, jak ładowanie akumulatorów, zasilanie lamp w kinoteatrach, roboty galwanotechniczne nadają się lepiej prostowniki, zbudowane na innych zasadach, pozbawione części ruchomych i nie wymagające nadzoru.

Miejsce używanych dawniej prostowników wahadłowych i elektrolitycznych zajęły obecnie prostowniki rtęciowe. Wyzyskano w nich działanie rozżarzonej elektrody. Mianowicie prąd elektryczny porusza się w metalach prawie bez przeszkód i wśród normalnych warunków nie może metalu opuścić. Na tym polega przewodnictwo metali z jednej strony, a z drugiej izolujące działanie powietrza i innych ciał, które nie są przewodnikami.

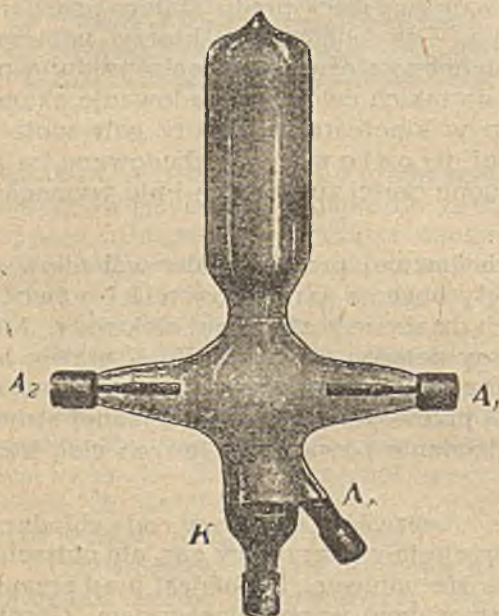
Można wprowadzić „oderwać” elektrony od chłodnego metalu i zmusić je do przejścia w otaczający gaz, ale potrzebne jest do tego bardzo wysokie napięcie. Natomiast prąd przepływa łatwo do metali z przestrzeni wypełnionej gazem. Granica między chłodnym metalem a otaczającym ten metal gazem jest doskonałym zaworem elektrycznym: prąd przechodzi z gazu do metalu, ale nie przechodzi z chłodnego metalu do gazu. Tego pojęcia „chłodny metal” nie należy jednak brać dosłownie, ponieważ działanie zaworowe występuje także i wtedy, gdy temperatura metalu dochodzi do około 800° C. Ta tempe-

ratura jest stosunkowo niska w porównaniu z temperaturą, do jakiej trzeba metal ogrzać (około 3000°), ażeby umożliwić elektronom odrywanie się od metalu i przechodzenie w gaz.

Gdy w bańce szklanej, napełnionej gazem, umieścimy na przeciw siebie dwie elektrody metalowe, jedną chłodną, drugą rozżarzoną, to prąd o napięciu normalnym, doprowadzony do elektrod, może płynąć tylko od elektrody rozżarzonej (tzw. katody) do elektrody chłodnej (anody), ale nie popłynie w kierunku odwrotnym, bo zapobiega temu chłodna anoda.

Na tym właśnie zjawisku polega działanie prostownika rтęciovego. Prostownik taki składa się z bańki szklanej lub żelaznej, opróżnionej z powietrza i posiadającej w swych ścianach umocowane szczelnie elektrody. Elektroda „gorąca” nie może być wykonana z metalu stałego, ponieważ metal taki,

rozżarzony prądem, paruje i zużywa się w krótkim czasie. Elektrode „gorącą” robimy z metalu płynnego, mianowicie z rtęci, która zamienia się wprawdzie w gaz przy temperaturze około 3000° C, ale odnawia się samoczynnie, gdyż para rtęci skrapla się na ścianach bańki i spływa z powrotem do najniższego punktu bańki (katody).



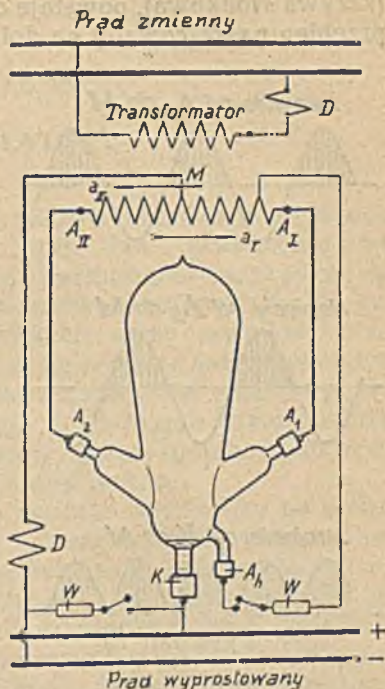
Rys. 149.

W wykonaniu technicznym (rys. 149) bańka ma u góry dwie anody A_1 i A_2 , u dołu katodę rтęciovą K , połączone jak

na rys. 150. Ażeby katodę K rozżarzyć, trzeba stworzyć na chwilę połączenie metaliczne między katodą K i anodami A_1 i A_2 . Służy do tego anoda pomocnicza A_3 , składająca się również z rtęci. Gdy przechylimy bańkę, rtęć z A_3 łączy się na

chwile z rtęcią z K, wskutek czego zamyka się ten obwód prądu, który służy do rozżarzenia katody K, po czym — po doprowadzeniu bańki do pierwotnego położenia, przerywa się połączenie między K i A_h , powstaje łuk świetlny, który momentalnie rozżarza katodę i tym samym prostownik zaczyna pracować.

Rys. 150 podaje schemat połączeń prostownika prądu jednofazowego (celem wyprostowania prądu trójfazowego bańka musiałaby mieć jeszcze trzecią anodę). Do sieci prądu zmiennego (u góry) jest załączony transformator z dławikiem D w uzwojeniu pierwotnym. Strona wtórna transformatora A_1 i A_{II} jest połączona z anodami A_1 i A_2 . Punkt środkowy M uzwojenia wtórnego transformatora jest przez dławik D załączony do bieguna ujemnego przewodu prądu stałego (u dołu).

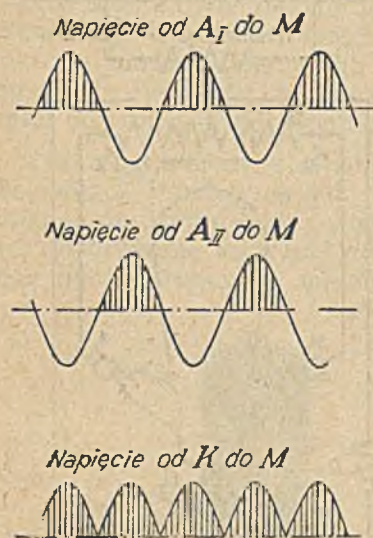


Rys. 150.

Gdy prąd wtórny drga w kierunku a_1 , wówczas prąd płynie przez A_1 i A_{II} drogą następującą: $M - A_1 - A_1 - K -$ sieć prądu stałego — biegun ujemny — $D - M$. Gdy prąd płynie przez uzwojenie wtórne w kierunku a_{II} , jego droga prowadzi przez $M - A_{II} - A_2 - K -$ sieć prądu stałego — biegun ujemny — M . Anoda pomocnicza A_h jest przez wyłącznik i opornik W załączona do punktu leżącego w pobliżu końca A_1 uzwojenia wtórnego transformatora. Prócz tego można łączyć K z punktem M przez inny opór W . Gdy przechylimy bańkę w ten sposób, ażeby rtęć znajdująca się nad K stworzyła zwarcie z rtęcią nad A_h , katoda K rozżarza się i prąd zaczyna płynąć.

Jeżeli przebieg napięcia od A_1 do M jest taki, jak to przedstawia górna krzywa na rys. 151, wtedy wykresowana część

napięcia przepędza prąd przez bańkę od A_I . Wobec tego, że przebieg napięcia od A_{II} do M jest odwrotny niż od A_I do M (krzywa środkowa), powstaje dla katody K , zasilanej z A_I i A_{II} , przebieg naszkicowany na dolnym rysunku 151.



Rys. 151.

Napięcia i natężenia prądu strony pierwotnej i wtórnej pozostają w niezmiennym stosunku, a to: przy przetwarzaniu prądu jednofazowego na prąd stały napięcie skuteczne prądu jednofazowego wynosi 1,11-krotność napięcia prądu stałego, przy przetwarzaniu prądu trójfazowego napięcie fazowe (nie napięcie skojarzone) wynosi 0,855 część napięcia prądu stałego. Natężenia prądu ustawiają się równocześnie w ten sposób, że natężenie skuteczne prądu jednofazowego wynosi 0,785, a natężenie prądu trójfazowego 0,587 część natężenia prądu stałego.

Moc prostownika rctęciowego zależy od liczby amperów, dla jakiej jest zbudowany, a nie od mocy w watach. Na przykład prostownik zbudowany dla 500 amperów daje przy 500 woltach prądu stałego 250 kilowatów, a przy 110 woltach prądu stałego tylko 55 kilowatów.

W łuku rctęciowym występuje spadek napięcia niezależny od dostanego i odbieranego napięcia i prawie niezależny od obciążenia. Sprawność prostownika nie zależy natomiast od obciążenia, lecz od napięcia prądu stałego. Na przykład sprawność prostownika, zbudowanego dla 500 amperów, wynosi 94,5% przy napięciu 500 woltów, a tylko 75% przy napięciu 110 woltów.

Małe prostowniki (aż do około 100 amperów) mają bańki szklane (trwałość takiego prostownika wynosi około 5000 godzin). Bańki większych prostowników są wykonane z żelaza i pracują przez całe lata. Wobec tego, że wskutek porowatości żelaza pogarsza się z czasem próżnia wewnątrz bańki, stosuje się pompy, które stale opróżniają wnętrze bańki z powietrza.

ROZDZIAŁ XV

AKUMULATORY

W ogniwie galwanicznym energia chemiczna przetwarza się w energię elektryczną (str. 14). Na odwróceniu tego zjawiska polega elektroлиза, posługująca się prądem elektrycznym do wywoływania procesów chemicznych. Do przeprowadzania procesów chemicznych służy ogniwo rozkładcze: w naczyniu znajduje się roztwór soli pewnego metalu, a w tym elektrolicie są zanurzone dwie elektrody, połączone ze źródłem prądu stałego; prąd płynie przez elektrolit od elektrody dodatniej do ujemnej i na tej ujemnej elektrodzie osiada metal wydzielający się z elektrolitu.

Ilość metalu wydzielonego podczas elektrolizy na elektrodzie zależy od natężenia prądu i czasu działania prądu. Ciężar wydzielonego metalu jest więc taki sam, bez względu na to, czy np. przesyłamy przez elektrolit prąd o natężeniu 5 amperów przez 2 godziny, czy prąd 2 amperów przez 5 godzin. Faraday stwierdził, w jakim stosunku pozostają wydzielone ilości różnych ciał przy takiej samej pracy pewnej liczby amperogodzin. To prawo Faradaya brzmi: wydzielone ilości mają się tak do siebie, jak ich równoważniki chemiczne.

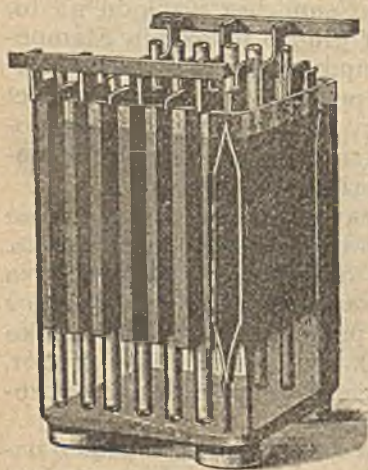
Chemia uczy, że w roztworze zawierającym wodór można 1 gram wodoru zastąpić przez x gramów innego pierwiastka. Te x gramów są równoważnikiem chemicznym wodoru. Na przykład 1 gram wodoru można zastąpić przez 108 gramów srebra albo 23 gramy sodu itd. Gdy połączymy szeregowo kilka ogniw rozkładczych i w jednym z nich wydzielimy wodór, w drugim srebro, w trzecim sól, to ciężary osadów muszą pozostawać do siebie w stosunku 1 : 108 : 23.

W drodze dokładnych pomiarów stwierdzono, że prąd o natężeniu 1 ampera wydziela z roztworu azotanu srebra w jednej sekundzie 1,1183 miligrama srebra. Dlatego za jednostkę „1 amper” uważamy takie natężenie, które w czasie 1 sekundy strąca z roztworu azotanu srebra 1,1183 miligrama srebra. Jest to tzw. „amper urzędowy”. Ponieważ według ustawy jeden om równa się oporowi słupa rtęci o przekroju 1 mm², wysokie-

go na 1,063 metra przy temperaturze 0° , przeto jeden volt jest tym napięciem, które jest konieczne, ażeby w przewodniku o oporze 1 oma wywołać strumień prądu o natężeniu 1 ampera (prawo Ohma, str. 29).

W ogniwie galwanicznym energia chemiczna przetwarza się w energię elektryczną, w ogniwie rozkładczym jest przeciwnie: z energii elektrycznej powstaje energia chemiczna. Te obie przemiany odbywają się w akumulatorze, zwanym także ogniwem „wtórnym” (dla odróżnienia od ogniwa galwanicznego, które jest ogniwem „pierwotnym”). Akumulator pracuje jako ogniwo galwaniczne i ogniwo rozkładcze. Gdy doślemy prąd stały do akumulatora, działa on jako ogniwo rozkładcze, po czym oddaje prąd działając jako ogniwo galwaniczne. Akumulator można w ten sposób „ładować” i przez to gromadzić energię elektryczną na zapas. Nazwa pochodzi od słowa łacińskiego: *accumulare* = gromadzić.

Rolę pośrednika między energią chemiczną i elektryczną spełnia najlepiej ołów. Stąd też powstały akumulatory ołowiane (wynalazek Planté'a). Akumulator taki widzimy



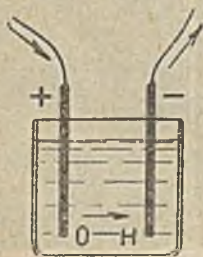
Rys. 152.

na rys. 152: w naczyniu szklanym (ebonitowym, celuloidowym, drewnianym) są ustawione płyty dodatnie i ujemne w ten sposób, że jedna płyta dodatnia znajduje się między dwiema płytami ujemnymi (na kraju stoją płyty ujemne). Ażeby płyty nie mogły się stykać z sobą w razie wykrzywienia, są one przedzielone rurkami szklanymi lub deseczkami. Za elektrolit służy rozcieńczony kwas siarkowy (ciężar właściwy od 0,15 do 1,23, zależnie od przepisów fabrycznych). Taki zespół nazywamy „ogniwem”, chociaż nazwa ta nie jest ścisła, bo ogniwem jest każda para płyt, a „ogniwo” na rys. 152 składa się właściwie z trzech ogniw.

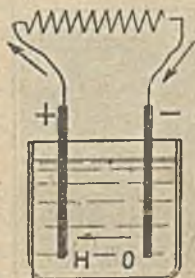
Wszystkie płyty (elektrody) składają się w stanie pierwotnym z czystego ołowiu. Gdy dwie takie elektrody połączy-

my ze źródłem prądu stałego o odpowiednim napięciu (około 2,7 wolta na każde ogniwo), rozpoczyna się elektrolityczny rozkład kwasu siarkowego (H_2SO_4). Tlen wędruje do płyty dodatniej (+) i zamienia jej powierzchnię w nadtlenek ołowiu (PbO_2); płyta ujemna (-) pozostaje czystym ołowiem. Wodór, uwalniający się przy rozkładzie elektrolitu, służy podczas dalszych ładowań do tego, ażeby zredukować siarczan ołowiu ($PbSO_4$) tworzący się przy wyładowaniu na płycie ujemnej. Po naładowaniu stoją naprzeciw siebie w elektrolicie dwa chemicznie różne przewodniki (płyta dodatnia = nadtlenek ołowiu, płyta ujemna = czysty ołów), a ich napięcie elektryczne wynosi około 2,2—2,3 wolta. W razie dalszego dosyłania prądu z ogniwa wydobywa się wodór i tlen w postaci banieczek. Mówimy wtedy, że akumulator „gazuje”, co jest znakiem, że jest „naładowany”. Proces ten przedstawia rys. 153.

Gdy odłączymy teraz ogniwo od źródła prądu i połączymy jego bieguny z odbiornikiem, zaczyna płynąć prąd, odbywa się odwrotny proces chemiczny (rys. 154). Wodór (H_2



Rys. 153.



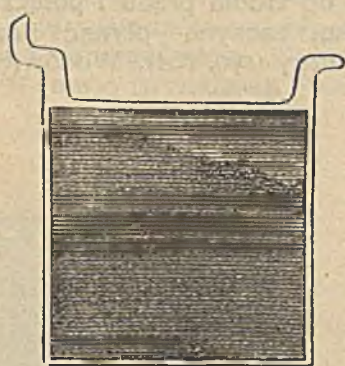
Rys. 154.

wędruje do płyty dodatniej, siarczan (SO_4) do płyty ujemnej; tutaj tworzy się siarczan ołowiu ($PbSO_4$), woda (H_2O) staje się wolna, co znaczy, że podczas wyładowania kwas siarkowy rozrzedza się. Ogniwo wolno wyładowywać tylko do tego stopnia, ażeby napięcie nie spadło poniżej 1,8 wolta. Dalsze wyładowywanie doprowadziłoby do zniszczenia płyt wskutek nadmiernego wytwarzania siarczanu ołowiu. Stopień naładowania i wyładowania można więc stwierdzić przez pomiar gęstości elektrolitu.

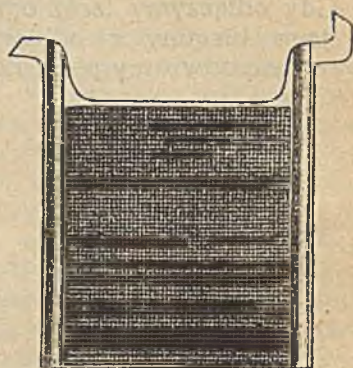
Tę ilość prądu, którą akumulator może oddać przy spadku napięcia od 2,2 wolta (stadium naładowania) do 1,82 wolta (stadium wyładowania), nazywamy jego pojemnością. Wy-

rażamy ją nie w kilowatogodzinach, lecz zazwyczaj w amperogodzinach, ponieważ napięcie dla wszystkich ogniów jest zawsze takie samo, bez względu na to czy ogniwa są wielkie, czy małe. Pojemność zależy od wielkości i ilości płyt. Ponieważ w oddziaływaniu chemicznym bierze udział tylko powierzchnia płyt, musi ona być jak największa. Osiągamy to w ten sposób, że powierzchnie płyt nadajemy kształt kraty i w zagłębieniach kraty umieszczamy porowate związki ołowiu albo nadajemy płytom kształt żeberek, między którymi znajduje się „czynna” masa. Fabryki poddają płyty „formowaniu”, co znaczy, że przez wielokrotne ładowanie i wyładowanie nadają im powierzchnię gąbczastą. Płyta dodatnia jest brunatna (rys. 155), płyta ujemna jest szara (rys. 156).

Na każdy decymetr kwadratowy powierzchni płyty dodatniej można liczyć średnio 0,9—1,3 ampera gęstości prądu. Te-



Rys. 155.



Rys. 156.

oretycznie ogniwo o pojemności np. 600 amperogodzin może oddawać 120 amperów przez 5 godzin albo 60 amperów przez 10 godzin. W praktyce jest inaczej, bo pojemność jednego i tego samego ogniwa może być różna, zależnie od tego czy pobieramy prąd o wielkim natężeniu przez czas krótszy, czy prąd o małym natężeniu przez czas odpowiednio dłuższy. Im krótszy czas wyładowania przy wielkim natężeniu, tym mniejsza pojemność praktyczna. Wyjaśnienie tego zjawiska: w przeciągu krótkiego czasu płyty nie poddają się tak dokładnie działaniu chemicznemu jak w czasie dłuższym; prócz tego pewną rolę odgrywa „przychodzenie do siebie” ogniwa, które przez pewien czas nie pracuje pod pełnym obciążeniem (w akumula-

torze wyładowanym, pozostawionym choćby na krótki czas w spokoju, napięcie wzrasta samoczynnie na 2,01 wolta; mówimy wtedy, że akumulator „przychodzi do siebie” (jednak stan taki nie trwa długo).

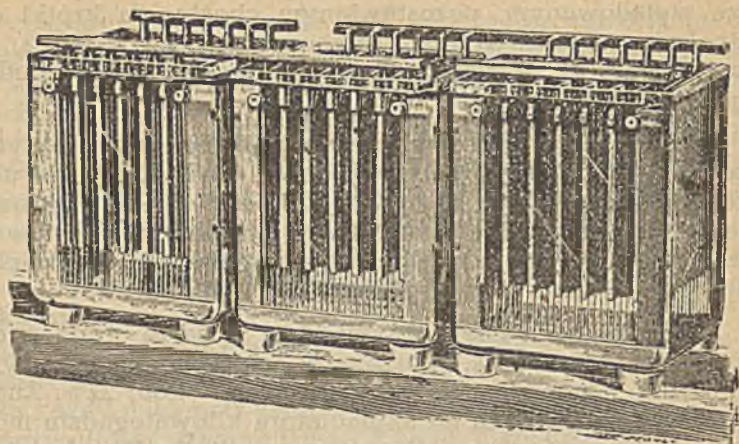
Podczas ładowania i wyładowywania powierzchnie płyt nie przetwarzają się bez reszty. Z masy płyt dodatnich ulega przemianie chemicznej najwyżej 75%, z masy płyt ujemnych zaledwie około 50%, ale tylko przy powolnym wyładowaniu słabym prądem. Przy szybkim wyładowaniu prądem o wielkim natężeniu stosunek ten może spaść do 45% i 25%.

Z przemianami chemicznymi idzie w parze strata energii elektrycznej. Ta strata, mierzona w amperogodzinach, wynosi około 10%, a mierzona w watogodzinach—około 22%. Znaczy to, że ze stu dostanych do akumulatora kilowatogodzin można uzyskać z powrotem, w najlepszym razie, tylko 78 kilowatogodzin. A zatem sprawność akumulatora, wyrażona w kilowatogodzinach, wynosi najwyżej 78% (fabryki akumulatorów ręczą tylko za sprawność 75%). Na pogarszanie się sprawności wpływa samowyładowanie akumulatora, który stoi przez pewien czas beczynnie; w ołowiu znajdują się zawsze ślady innych metali, np. antymonu, które powodują, że między płytami odbywa się proces chemiczny (akumulator naładowany, który nie pracuje, wyładowuje się kompletnie w przeciągu kilku tygodni).

Podczas ładowania napięcie akumulatora wzrasta najpierw szybko na 2,13 wolta, potem powoli na 2,2 wolta i wreszcie prędkiej na 2,7 wolta. Przy napięciu 2,4 wolta zaczyna się gazowanie. Przy wyładowaniu napięcie ogniwa spada najpierw powoli na 2 wolty, później prędkiej do 1,97, a wreszcie stopniowo do 1,83 wolta. Ogniwa nie wolno wyładowywać poniżej 1,8 wolta.

W praktyce liczymy na ogniwo 2 wolty. Celem uzyskania wyższych napięć łączymy ogniwa szeregowo, stwarzając w ten sposób baterie akumulatorów. Baterię taką, złożoną z trzech ogniw, widzimy na rys. 157; biegun dodatni jednego ogniwa jest połączony z biegunem ujemnym następnego za pomocą listewek ołowianych.

Napięcie akumulatora spada podczas pracy. Gdy więc chcemy, ażeby bateria dawała napięcie niezmienne, musimy w miarę wyładowania dołączać do baterii ogniwa dodatkowe (tzw. ogniwa dołączne). Do dołączania takich ogniw



Rys. 157.

służą przełączniki, zwane ładownicami, budowane w kształcie okrągłym (rys. 158) lub prostokątnym.



Rys. 158.

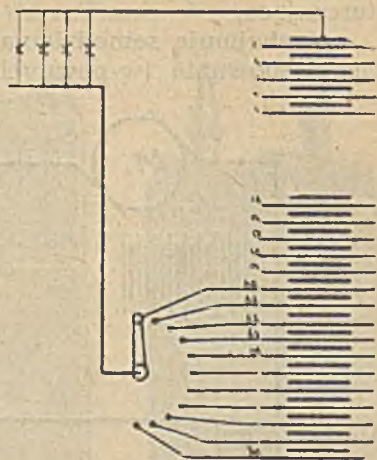
Przykład. — Bateria złożona z 60 ogniw ma na początku ładowania napięcie $60 \cdot 2 = 120$ woltów. Gdy napięcie spadło na $60 \cdot 1,9 = 114$ woltów, musimy dołączyć trzy ogniwa dołączne, które dają potrzebną resztę napięcia $3 \cdot 2 = 6$ woltów, tak że napięcie całej baterii wynosi znowu $114 + 6 = 120$ woltów.

Tego rodzaju układ w połączeniu z ładownicą widzimy na rys. 159. Gdy bateria jest naładowana, drążek ładownicy spoczywa na styku 60, napięcie baterii wynosi $60 \cdot 2 = 120$ woltów. Gdy napięcie spadło poniżej przepisanej normy na 1,7 wolta (na każde ogniwo), drążek ładownicy leży na styku 70 wiodącym do ostatniego ogniwa dołącznego. Teraz napięcie baterii wynosi $1,7 \cdot 70 = 119$ woltów.

Jeżeli bateria ma być ładowana przez prądnicę i równocześnie ma zasilac sieć, liczba ogniw dołącznych musi być większa, ponieważ napięcie ogniw waha się między 2,7 wolta (koniec ładowania) i 1,83 wolta (koniec wyładowania).

Przykład. — Jeżeli napięcie sieci ma wynosić stale 120 woltów, to bateria musi zawierać przy końcu ładowania $120 : 2,7 = 44$ ogniwa, przy końcu wyładowania $120 : 1,83 = 68$ ogniw; ładownica powinna mieć $68 - 44 = 24$ złącz.

Do ładowania akumulatorów bywają używane prądnice boczniowe. Najprostszy przykład współpracy takiej prądnicy z akumulatorami podaje rys. 160. Zastosowano tutaj ładownicę podwójną, tj. z dwoma drążkami stykowymi, które można załączać do różnych ogniw. W narysowanym położeniu drążek wiodący do prądnicy M łączy ogniwo 45, drążek wiodący do sieci łączy ogniwo 61.

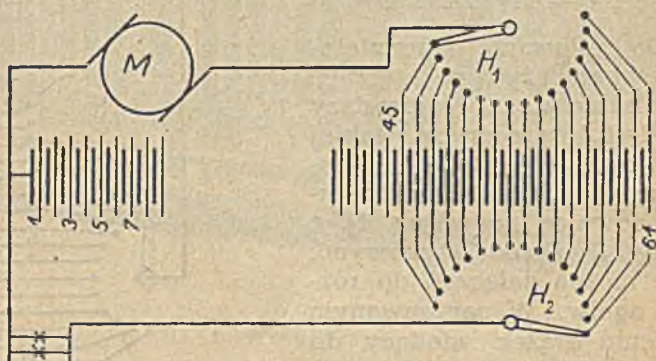


Rys. 159.

Jeżeli podczas ładowania sieć przewodów ma być zasilana, nie można ładować akumulatorów bezpośrednio z prądnicy, ponieważ odbiorniki otrzymywałyby napięcie zbyt wysokie. W takich przypadkach stosuje się prądnicę dodatkową, zbudowaną w ten sposób, że dzięki wzrastającemu wzbudzeniu magnesów może ona wytworzyć dodatkowe napięcie. Prądnica taka jest połączona z prądnicą główną szeregowo. Ładownica może pracować samoczynnie: mały silnik jest załączany przez przekaźnik w ten sposób, że biegnie w jedną lub drugą stronę i dzięki odpowiedniemu połączeniu z ładownicą załącza lub wyłącza ogniwa.

Wadą akumulatorów jest — oprócz małej sprawności — mała stosunkowo trwałość; przy starannej obsłudze można liczyć, że płyty ujemne wytrzymają najwyżej 6 lat (płyty dodatnie trzymają się dłużej). Przeciwno akumulatorom przemawia też ich wysoka cena oraz wielki ciężar w porównaniu z mocą. Jeden kilogram ciężaru ogólnego akumulatora wydaje od 2,5 do 5 amperogodzin, zależnie od wielkości i stopnia zużycia, albo od 4,75 do 9,5 watogodzin, jeżeli przyjmemy, że średnie napięcie wyładowcze wynosi 1,9 wolta. Mimo tych wad są one wartościowym środkiem pomocniczym, ponieważ:

- a) stanowią rezerwę gotową w każdej chwili do pracy,
 b) wspierają ruch prądnic, gdy moc maszyn nie jest wystarczająca,
 c) obejmują samodzielną dostawę prądu w czasie małego zapotrzebowania (w pewnych elektrowniach maszyny pracują



Rys. 160.

tylko podczas największego obciążenia, zazwyczaj od zmroku do północy, po czym, po odłączeniu maszyn, dostawę prądu obejmują akumulatory),

d) jako „baterie wyrównawcze” służą do wyrównywania wahań w obciążeniu (np. w urządzeniach kolejowych).

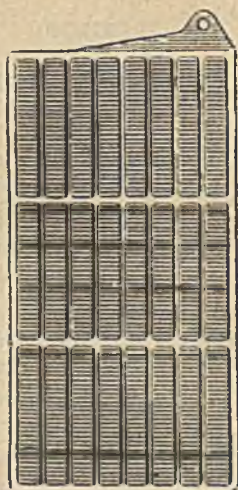
Edison wynalazł akumulatory żelazoniklowe. Elektrolit składa się z roztworu wodorotlenku potasu z dodatkiem wodorotlenku litu, płyta dodatnia (rys. 161) jest zrobiona z wodorotlenku niklu, płyta ujemna (rys. 162) z mieszaniny sproszkowanego żelaza i wodorotlenku żelaza. Akumulator wygląda jak zamknięte naczynie żelazne o prostokątnym przekroju (rys. 163). Czynna masa obu płyt jest sproszkowana i umieszczona w rurkach z podziurkowanej i poniklowanej blachy żelaznej, a rurki są wtłoczone w żelazną ramkę. Całość jest sztywna i silna. Z elektrolitu bierze udział w procesie chemicznym tylko woda, wodorotlenek nie ulega zmianom.

Napięcie tuż po ukończeniu ładowania wynosi 1,8 wolta. Podczas wyładowania napięcie spada najpierw na 1,37, a potem, w przeciągu 15 minut, na 1,23 wolta, po czym utrzymuje się na stałej wysokości i w przeciągu około 4 godzin spada na 1,15 wolta. Z wyładowaniem można by pójść jeszcze dalej, lecz działałoby się to kosztem napięcia, choć nie przyniosłoby ogniwiu szkody. Po rozpoczęciu ładowania napięcie wzrasta

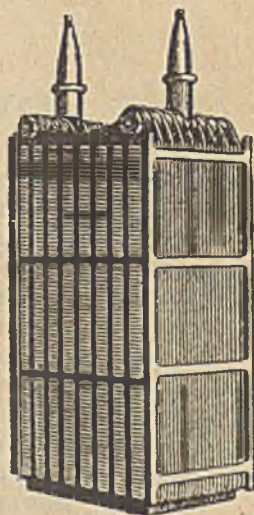
szybko na 1,5 wolta i po upływie około 3 godzin osiąga wartość najwyższą. Po upływie dalszej pół godziny ładowanie jest ukończone. Na ogniwo liczy się 1,2 wolta.



Rys. 161.



Rys. 162.



Rys. 163.

Pojemność zależy od czasu ładowania i natężenia prądu ładowczego. Normalny czas wyładowania wynosi niespełna 4 godziny. Przy 10-godzinnym wyładowaniu z odpowiednio zmniejszonym natężeniem pojemność (w watogodzinach) wzrasta o 4%, a przy wyładowaniu 2-godzinnym maleje o 6,5%. Przez przeładowanie można zwiększyć pojemność akumulatora o 10%, na czym jednak cierpi sprawność.

Sprawność wyrażona w amperogodzinach wynosi około 72%, jeżeli ładowanie i wyładowanie trwa przez czas normalny (tj. około 4 godzin). Sprawność wyrażona w watogodzinach wynosi 52%.

ROZDZIAŁ XVI

OGRZEWANIE ELEKTRYCZNE

Prąd elektryczny, przepływając przez opór, traci część swego napięcia, ale ta strata nie jest jednoznaczna ze stratą energii. Gdyby energia elektryczna ginęła w przewodniku bez wywoływania pewnych zjawisk, byłoby to sprzeczne z prawem zachowania energii, według którego nic w przyrodzie nie ginie. Energia elektryczna nie ginie, lecz przemienia się w ciepło: drut, który spowodował spadek napięcia, ogrzewa się.

Zjawisko to opisał szczegółowo badacz angielski J. Joule (czytaj: Dżaul). Stwierdził on przede wszystkim, że ilość ciepła wytwarzanego przez prąd w przewodniku jest tym większa, im dłużej prąd płynie, a w szczególności: ilość ciepła jest wprost proporcjonalna do czasu działania prądu.

Następnie ustalił Joule, że ilość ciepła, wytworzonego w przewodniku przez prąd, jest tym większa, im większy jest opór przewodnika, a więc ilość ciepła jest wprost proporcjonalna do wielkości oporu.

Joule ustalił też związek między ilością ciepła a natężeniem prądu, mianowicie: ilość ciepła, wytworzonego w przewodniku przez prąd, jest tym większa, im większe jest natężenie prądu; ilość ta jest proporcjonalna do kwadratu natężenia.

Napięcie prądu nie wywiera wpływu na wytwarzanie ciepła: gdy przez przewodnik prześlemy prąd o napięciu 1 wolta albo 100 woltów, albo 500 woltów, powstanie ta sama ilość ciepła, o ile tylko natężenie prądu będzie w tych wszystkich przypadkach takie samo. Także i rodzaj materiału, z jakiego jest wykonany przewodnik, jest bez wpływu na produkcję ciepła, pod warunkiem jednak, że opór porównywanych drutów jest taki sam. Gdy ten opór jest rozmaity, drut o większym oporze da więcej ciepła niż drut o mniejszym oporze. Jeżeli więc chcemy, ażeby straty cieplne w przewodniku były jak najmniejsze, musimy wykonać przewodnik z materiału jak najlepiej przewodzącego. I na odwrót, jeżeli chcemy wytworzyć w przewodniku wielką ilość ciepła, musimy zastosować materiał o wielkim oporze.

Na wywiązywanie się ciepła w przewodniku składają się więc trzy czynniki: czas działania prądu, natężenie prądu i opór przewodnika. Wobec tego wymienione wyżej trzy reguły można ująć w jedno prawo, zwane prawem Joule'a, które brzmi: ilość ciepła, wytworzonego w przewodniku w jednostce czasu, zależy od iloczynu oporu przewodnika i kwadratu natężenia prądu.

Na czym polega powstawanie ciepła w przewodniku? Na pytanie to daje odpowiedź porównanie tego zjawiska z doświadczeniem wziętym z codziennego życia. Wiadomo, że silne ciepło wywiązuje się wtedy, gdy ręką hamujemy rozwijającą się pod obciążeniem linę. Ilość ciepła, jaką ręka odczuwa, zależy przede wszystkim od oporu, który przeciwstawiamy ruchowi przez objęcie liny; im silniej zaciskamy palce dookoła liny, tym boleśniej możemy się poparzyć. Prócz tego wywiązywanie się ciepła zależy od szybkości (siły), z jaką lina przebiega między naszymi palcami (odpowiednik: natężenie prądu). Wreszcie ilość ciepła zależy od czasu, przez który chcemy bieg liny hamować; z każdą sekundą ręka odczuwa coraz więcej ciepła. Ponieważ nic z niczego nie powstaje, okazuje się, że ciepło okupiliśmy zmniejszeniem się szybkości i siły pociągowej liny. Ilość ciepła odpowiada więc stracie energii; inaczej być nie może, bo przecież ciepło jest także postacią energii.

Podobnie jest z prądem elektrycznym. Także i tutaj ta ilość energii, która wpływa do przewodnika, jest na jego końcu wyczerpana. Prąd elektryczny, pokonując opór, stracił napięcie, a tę stratę możemy zmierzyć za pomocą woltomierza załączonego raz na początku, drugi raz na końcu przewodnika. Iloczyn natężenia prądu przepływającego przez przewodnik i występującej przy tym straty napięcia, a więc iloczyn wyrażony w amperach pomnożonych przez wolty, czyli w watach, jest proporcjonalny do ilości ciepła.

Jednostką ciepła jest kaloria gramowa bądź kilogramowa, czyli ta ilość ciepła, jaka jest potrzebna do ogrzania 1 grama bądź 1 kilograma wody o 1 stopień (od 14 do 15° C.).

Liczbę kaloryj gramowych otrzymujemy, gdy liczbę watosekund pomnożymy przez 0,24 albo gdy liczbę watogodzin pomnożymy przez 864. Gdy pomnożymy liczbę watogodzin przez 0,864, dostaniemy liczbę kaloryj kilogramowych. Jedna watosekunda daje więc 864 kaloryj gramowych albo 0,864 kaloryj kilogramowych bądź też na odwrót, na wytworzenie 1 kalorii kilogramowej trzeba $1 : 0,864 = 1,157$ kilowatogodziny.

Liczby powyższe odpowiadają sprawności 100%, która istniałaby wtedy, gdyby energia elektryczna zamieniała się bez strat w dające się wykorzystać ciepło. W rzeczywistości występują straty, tak że np. sprawność grzejników, używanych do gotowania, wynosi 80—90%. Dlatego z jednej watogodziny otrzymujemy tylko 80—90% z 864 kaloryj gramowych, a więc od 690 do 770 kaloryj, albo odwrotnie, na wytworzenie 1 kalorii kilogramowej potrzeba od 1,45 do 1,3, czyli średnio 1,4 watogodzin.

Ażeby np. ogrzać 2,5 litra wody z 20° na 80° C., czyli o 60°, musimy doprowadzić do wody $2,5 \cdot 60 = 150$ kaloryj kilogramowych. Wobec tego, że na 1 kalorię potrzeba średnio 1,4 watogodziny, zużycie prądu w naszym przykładzie wyniosłoby $1,4 \cdot 150 = 210$ watogodzin.

Moc, dla jakiej grzejnik ma być zbudowany, zależy od czasu, w obrębie którego ma dojść do żadanego ogrzania. Jeżeli 2,5 litra (albo: kilograma) wody ma się nagrzać do 60° w przeciągu 30 minut, czyli 1/2 godziny, musimy zużyć $210 : 1/2 = 420$ watów. Gdyby to samo nagrzanie miało trwać tylko 15 minut, czyli 1/4 godziny, liczba watów wyniosłaby $210 : 1/4 = 840$ (ponieważ liczba watów równa się liczbie watogodzin, podzielonej przez liczbę godzin).

Można też obliczyć w przybliżeniu czas, jaki jest potrzebny do uzyskania pewnej temperatury. Na przykład mamy grzejnik półlitrowy do gotowania wody pobierający 1,5 ampera przy napięciu 220 woltów, czyli $1,5 \cdot 220 = 330$ watów. Chcemy wiedzieć, w jakim czasie ogrzeje się 0,5 kg wody do 85° C. Potrzeba na to $0,5 \cdot 85 = 42,5$ kaloryj kilogramowych. Jedna taka kaloria wymaga średnio 1,4 watogodziny, dla 42,5 kaloryj kilogramowych potrzeba $1,4 \cdot 42,5 = 59,5$ watogodzin. Wobec tego, że grzejnik pobiera 330 watów, czas ogrzewania wynosi $59,5 : 330 = 0,18$ godziny, czyli $0,18 \cdot 60 =$ okrągło 11 minut.

Ciepło możemy więc wytwarzać za pomocą elektryczności albo przez zastosowanie wielkiej mocy przez czas krótki (ogrzewanie jest szybkie), albo też przez użycie małej mocy przez czas długi (ogrzewanie powolne, stosowane np. w zasobnikach, czyli przyrządach do podgrzewania wody na zapas).

Jeżeli chodzi o wytwarzanie ciepła do takich celów, jak gotowanie, ogrzewanie pomieszczeń itp., stosujemy z reguły ogrzewanie oporowe nadające się dla wszystkich rodzajów prądu i wszystkich napięć. Tutaj prąd przepływa przez przewodnik o wielkim oporze i ogrzewa go.

Najprostszy grzejnik, pracujący na zasadzie ogrzewania oporowego, składa się ze spiralki drucianej, którą zanurzamy w naczyniu napełnionym płynem (rys. 164); po załączeniu prądu spirala, sporządzona z izolowanego drutu o wielkim oporze, ogrzewa się i oddaje ciepło płynowi. Pierwszy taki grzejnik powstał w roku 1882.

Przeważną część współczesnych grzejników ma druty oporowe wbudowane w ściany, lub w dna najrozmaitszych naczyń i przyrządów, jak np. garnki (rys. 165), przyrządy do sterylizacji

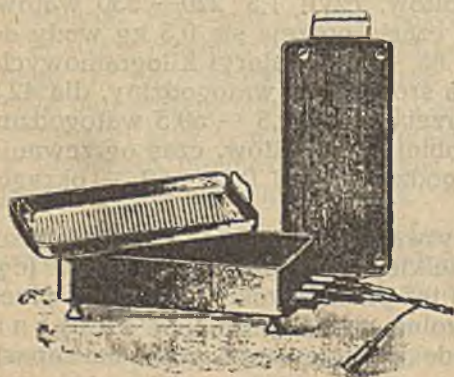


Rys. 164.



Rys. 165.

zacji (rys. 166), poduszki elektryczne, żelazka do prasowania, rurki do włosów, kolby do lutowania, piecyki (rys. 167) itd.



Rys. 166.

Niektóre z tych przyrządów mają większą ilość oporników grzejących, które można łączyć szeregowo lub równolegle i w ten sposób regulować temperaturę. Istnieją też piecyki elektryczne posiadające lampy zamiast oporników metalowych (rys. 168).

Grzejniki z opornikami metalowymi są przeznaczone do wytwarzania niskich stosunkowo temperatur od 100 do około

250°, jakie są potrzebne do gotowania i ogrzewania pomieszczeń. Nie nadają się one do wytwarzania wyższych temperatur,

bo punkt topliwości drutów oporowych nie jest dostatecznie wysoki. Jeżeli w miejsce drutów zastosujemy krzemiany (np. związek krzemu z węglem), materiały o wielkiej odporności na nagrzanie i o bardzo wielkim oporze, możemy uzyskać temperatury aż do około



Rys. 167.

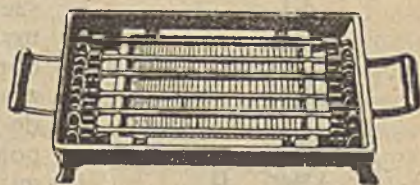


Rys. 168.

1800° C. Grzejniki krzemianowe mają kształt prętów lub rurek o różnych przekrojach (rys. 169). Zastosowanie: cele techniczne i laboratoryjne.

Odmianą ogrzewania oporowego jest ogrzewanie elektrodowe. Tutaj sam płyn ogrzewany jest opornikiem; ogrzewa się on pod wpływem prądu bezpośrednio, a zatem bez strat. Do ogrzewania elektrodowego nadaje się tylko prąd zmienny (prąd stały powodowałby rozkład elektrolityczny płynów).

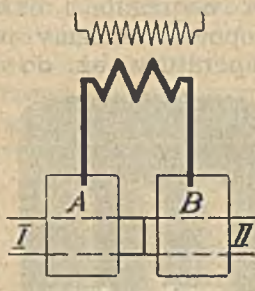
Zastosowanie: ogrzewanie wielkich ilości płynów (niektóre fabryki wytwarzają w ten sposób parę zużywając na to tysiące kilowatów prądu).



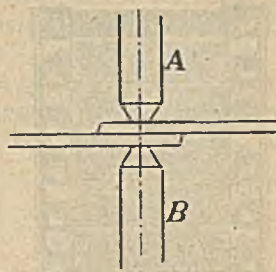
Rys. 169.

Ciepło elektryczne wykorzystano do najrozmaitszych celów, np. do spawania metali, do czego służą maszyny zwane spawarkami. Można tu zastosować albo prąd o wielkim natężeniu, albo wielki opór. Spawarki pracują według pierwszego sposobu za pomocą prądu zmiennego i transformatorów

wbudowanych wprost w maszynę (chodzi o uniknięcie strat w przewodach). Spawanie metali w postaci prętów, rur itp. odbywa się w myśl rys. 170. Do obydwu części przedmiotu spawa-



Rys. 170.



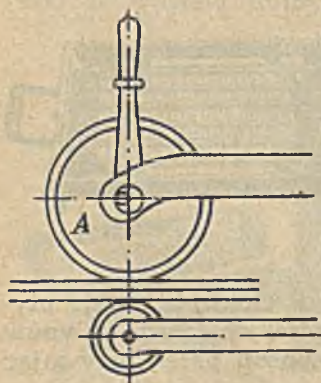
Rys. 171.

nego I i II dopływa prąd z transformatora przez imadła A i B. Po nagraniu w miejscu styku maszyna sprasowuje obydwie części razem. Jest to tzw. spawanie powierzchniowe.

Do spawania przedmiotów płaskich, blach itp. służy spawarka zbudowana według rys. 171. Prąd płynie przez ruchome pręty A i B, których końce mają nieznaczny przekrój i rozżarza umieszczone między nimi przedmioty. Po spojeniu jednego punktu przychodzi kolej na następne (spawanie punktowe).

Do bieżącego spawania blach „na szew” służy maszyna pracująca w myśl rys. 172. Prąd dopływa przez obracający się krążek A, który można podczas ruchu przyciskać do przesuwającej się blachy za pomocą drążka. Między elektrodami powstaje rodzaj szwu, podobnie jak w maszynie do szycia. Szew może być jednolity albo złożony z drobnych punktów, zależnie od szczegółów konstrukcyjnych spawarki. Temperatura wynosi około 1500° C. Kolby do lutowania pracują przy temperaturze 250—300°, przyrządy do ogrzewania nitów 800—1000°, piece do hartowania 900—1300°.

Ogrzewanie łukowe wchodzi w rachubę tam, gdzie potrzebne są bardzo wysokie temperatury (około 3700°). Po-



Rys. 172.

lega ono na zjawisku odkrytym w roku 1809 przez chemika angielskiego H. Davy'ego. Davy połączył bieguny baterii galwanicznej złożonej z 2000 ogniw dwoma prętami węglowymi, zetknął końce tych węgli z sobą i, gdy następnie końce węgli oddalił, zaczęły się one żarzyć. Prąd płynął przez powietrze między końcami węgli i wytworzał tam oślepiająco jasny, błękitnawy łuk świetlny w postaci półksiężyca (rys. 173). Taki „łuk” powstaje wtedy tylko, gdy obydwa węgle mają położenie poziome, bo ogrzane powietrze wygina płomień w górę; jeżeli węgle stoją pod kątem prostym, powstaje rodzaj płaszcza świetlnego, którym są otoczone końce węgli.



Rys. 173.

Powstawanie łuku tłumaczymy tym, że prąd ogrzewa silnie miejsce stykania się węgli, bo napotyka tutaj na szczególnie wielki opór. Gdy oddalimy od siebie końce węgli, one niejako parują; cząstki węgla przebiegają przez warstwę powietrza i pośredniczą w przepływie prądu. Te cząstki przeciwstawiają prądowi jeszcze większy opór, a przy pokonywaniu tego oporu wywiązują się tak duże ilości ciepła, że rozżarzają się zarówno końce węgla jak i powietrze między nimi. Powstaje przy tym temperatura aż do około 3700° , której nie mogą się oprzeć ani same węgle, ani inne ciała znajdujące się w obrębie płomienia.

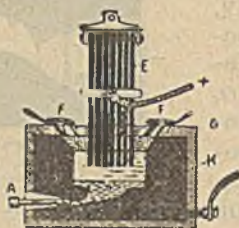
Z odkrycia Davy'ego skorzystał Despretz. Zauważył on, że węgiel „dodatni” (połączony z dodatnim biegunem źródła prądu) wydrąża się podczas płonienia łuku, gdyż stąd odrywają się duże cząstki węgla, które biegną do węgla „ujemnego”. Ten „krater” wykorzystał Despretz w ten sposób, że węglowi dodatniemu dał kształt tygla i w tym tyglu umieszczał materiały, które zamierzał stopić (rys. 174). Despretz stworzył pierwszy wzór pieca łukowego, którym, wielokrotnie powiększonym, posługuje się obecnie przemysł. Do zasilania pieców nie służą już baterie galwaniczne, lecz potężne prądnice.

Najczęściej używany jest piec typu skonstruowanego przez Heroult'a (rys. 175). Przystawialna elektroda E składa się z wiązek płyt węglowych (jedna płyta nie mogłaby doprowadzić potrzebnych prądów, których natężenie przekracza 12000 amperów). Za elektrodę ujemną służy wielka komora węglowa K ułożona w osłonie metalowej G. Tę komorę napęlnia się materiałem, który ma być poddany stopieniu, np. solą glinu (kry-

olitem), do której dodaje się podczas stapiania tlenek glinu (przez otwory F). Celem uruchomienia pieca trzeba elektrodę dodatnią E opuścić tak, ażby zetknęła się z elektrodą ujemną K. Po zamknięciu w ten sposób obwodu prądu i po podniesieniu elektrody E powstaje między elektrodami łuk świetlny, który stapia sól glinu. Łuk świetlny przerywa się, gdy elektroda E



Rys. 174.



Rys. 175.

znajduje się w dostatecznym oddaleniu od K, ale przepływ prądu trwa, ponieważ elektroda E tkwi w roztopionej masie. Tlenek glinu rozkłada się na tlen i glin. Czysty metal gromadzi się na dnie elektrody K, skąd można go wypuścić otworem A. Podobnie odbywa się wyta-

pianie sodu, potasu i magnezu.

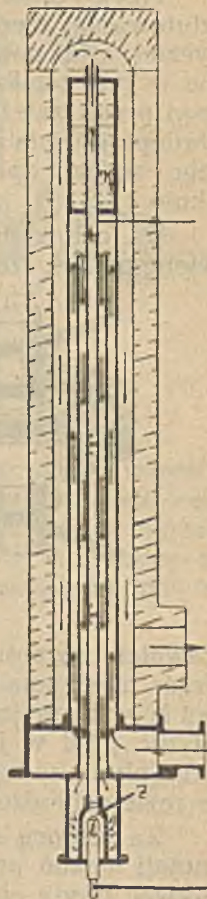
Piec Heroult'a jest raczej ogniwem rozkładczym, a nie piecem. Łuk świetlny tylko zapoczątkowuje cały proces, a powstawanie glinu odbywa się na drodze elektrochemicznej. Inaczej jest z wytwarzaniem karbidów, czyli związków metali i metaloidów z węglem. Wyprodukowanie karbidu jest zasługą Moisson'a. Piec do wyrobu karbidu nie różni się zasadniczo od pieca do wytapiania glinu. Podobnie jak tam, tak i tutaj wiązka prętów węglowych sięga w głąb drugiej elektrody węglowej, która ma kształt komory. Tę komorę napęlnia się mieszaniną metalu i węgla. Przez opuszczenie i podniesienie górnej elektrody powstaje łuk świetlny, zawartość komory stapia się, po czym piec pracuje jako piec oporowy. Metal łączy się teraz z węglem, a tlenek węgla ulatnia się. W ten sposób powstaje np. połączenie wapnia z węglem, węglík wapnia, zwany pospolicie „karbidem”. Jest to produkt wysokiej wartości; w połączeniu z wodą daje acetylen, gaz używany do spawania i oświetlenia, prócz tego jest on materiałem wyjściowym dla produkcji alkoholu, kauczuku itd.

Łuk elektryczny wykorzystano również do wytwarzania kwasu azotowego z powietrza. Metodę tego procesu i aparaturę opracował m. i. prof. I. Mościcki, b. prezydent R. P. Służą do tego piece budowane w różnych odmianach. Jeden z nich widzimy w przekroju na rys. 176. Powietrze przepływa wzdłuż łuku świetlnego, który przy napięciu 5000 woltów ma długość 5 metrów. Powietrze jest prowadzone w ten sposób, że pod-

grzewa się na zewnętrznej ścianie rury, wewnątrz której znajduje się łuk i dopiero stąd przedostaje się do łuku. Łuk powstaje w miejscu E przez przybliżenie Z, po czym wydłuża się aż do górnego końca rury, która jest chłodzona. Pod wpływem wysokiej temperatury oraz wskutek następnego ochłodzenia azot atmosferyczny łączy się chemicznie z tlenem w tlenek azotu, który następnie przechodzi w obecności tlenu w kwas podazotawy, a ten w połączeniu z wodą daje kwas azotowy. Ten kwas jest materiałem wyjściowym dla produkcji nawozów sztucznych, środków wybuchowych itp.

Znaczenie opisanego wyżej procesu jest olbrzymie, bo złoża naturalne związków azotowych są na wyczerpaniu. Natomiast nad każdym kilometrem kwadratowym ziemi znajduje się azot w ilości pokrywającej zapotrzebowanie całej kuli ziemskiej na około 20 lat.

Przemysł stalowy przechodzi stopniowo na piece elektryczne. Dzięki tym piecom można nie tylko stopić stal przy dowolnie wysokiej temperaturze i bez obawy o zanieczyszczenie, ale także zaprawiać ją chromem, niklem, manganem, wolframem itp. i w ten sposób wytwarzać stal wysokowartościową. Do tych celów bywają używane piece indukcyjne (wynalazek Szweda Kjellina udoskonalony przez Röchlinga i Rodenhausera). Piec indukcyjny nie posiada elektrod (rys. 177). Płaski płaszcz K, wykonany z ogniotrwałego materiału, ma w środku otwór, w którym tkwi rdzeń żelazny E, otoczony zwojami grubego drutu. Wzdłuż ściany płaszczka K jest wydrążone zagłębienie S, które wypełnia się surówką. Całość jest olbrzymim transformatorem, którego uzwojenie pierwotne (wysokiego napięcia) stanowią druty dookoła rdzenia E, a uzwojenie wtórne (niskiego napięcia) składa się z zagłębienia S wypełnionego surówką i będącego jednym tylko zwojem. Gdy do uzwojenia pierwotnego E doślemy prąd zmienny o wysokim napięciu, w uzwojeniu wtórnym S powstaje prąd o niskim

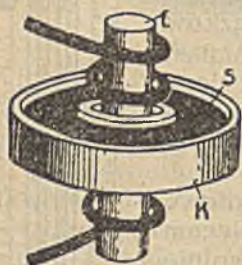


Rys. 176.

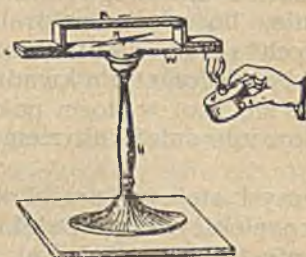
napięciu, lecz potężnym natężeniu, który, ponieważ nie musi wykonywać pracy mechanicznej, przetwarza się całkowicie w ciepło i stapia umieszczoną w zagłębieniu surówkę.

Fizyk Peltier odkrył, że w razie ogrzania miejsca złączenia (zlutowania) dwóch różnych metali powstaje siła elektromotoryczna, a po połączeniu wolnych końców obydwu metali płynie w tym zamkniętym obwodzie prąd elektryczny. Wielkość tego prądu zależy od rodzaju stykających się z sobą metali. Najlepiej działa zestawienie bizmutu z antymonem. Sprawność tego rodzaju procesu jest bardzo mała i wynosi zaledwie około 1%.

Do celów demonstracyjnych służy urządzenie przedstawione na rys. 178. Na stojaku drewnianym H jest umieszczony



Rys. 177.



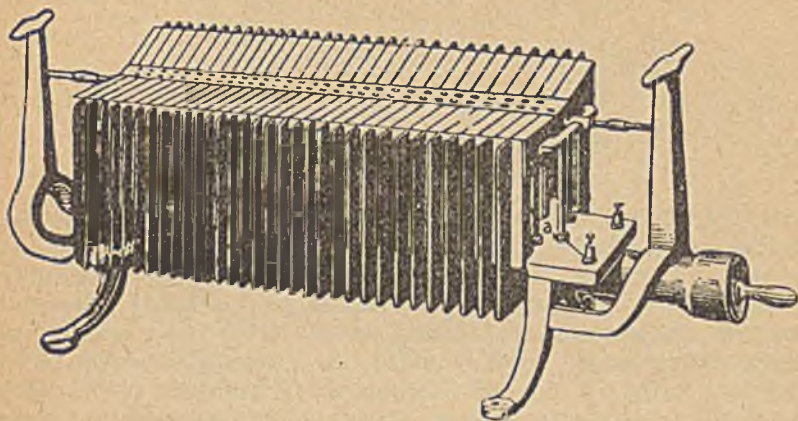
Rys. 178.

kawalek bizmutu W, do którego końców jest przylutowana część miedziana K. Między K i W znajduje się igła magnetyczna N wskazująca kierunek prądu. Wskutek ogrzania części W płynie prąd w jednym kierunku, w razie ogrzania części K prąd płynie w kierunku przeciwnym. To samo dzieje się także w razie ochłodzenia.

Za pomocą dwóch zlutowanych z sobą skrawków różnych metali można przez „dodatnie” lub „ujemne” ogrzanie otrzymywać prądy elektryczne. Te prądy są bardzo słabe. Ażeby uzyskać napięcie nadające się do celów praktycznych, trzeba łączyć duże ilości takich „ogni” w baterię termiczną. Bateria taka, złożona z 66 ogni (rys. 179), daje napięcie międzyzinciskowe 2,5 wolta przy natężeniu 3 amperów. Do ogrzewania służy gaz (zużycie gazu 190 litrów na godzinę).

Zastosowanie baterji termicznych ogranicza się do tych przypadków, gdzie dla braku innego źródła trzeba mieć prąd za wszelką cenę.

Elektryczność termiczną wykorzystano do pomiarów wysokich temperatur. Prądy termiczne powstają wskutek różnicy



Rys. 179.

temperatur miejsca zlutowanego, a natężenie prądu wzrasta do pewnego stopnia w miarę wzrostu temperatury. Jeżeli więc ogniwo termiczne daje prąd o oznaczonym natężeniu, można z tego natężenia wnioskować o temperaturze istniejącej w miejscu zlutowanym. Na tej zasadzie polega działanie pirometrów termoelektrycznych.

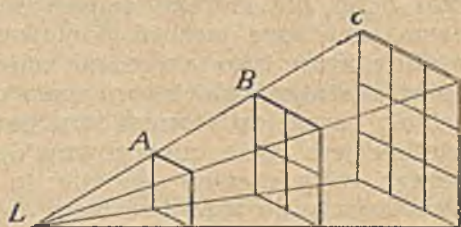
ROZDZIAŁ XVII

OŚWIETLENIE ELEKTRYCZNE

Każde źródło światła, bez względu na to, czy to jest źródło „pierwotne” (np. słońce, lampa), czy „wtórne” (np. przedmiot oświetlony słońcem lub lampą), posiada pewną jasność (natężenie światła). Tę jasność wymierzamy w świecach normalnych (ŚN). Jeżeli jasność źródła światła wynosi np. 50 świec, wytwarza ono łokie światło, jakie wytworzyłoby 50 świec skupionych w miejscu źródła światła. „Świeca normalna” jest specjalna lampa przechowywana w wielkich laboratoriach fotometrycznych.

W zagadnieniu oświetlenia światło odbierane ważniejsze jest od światła nadawanego: światło nadawane charakteryzujemy podając jasność źródła światła; światło odbierane określamy w ten sposób, że podajemy oświetlenie (natężenie oświetlenia) mierzone w luksach (w skróceniu Lx). Lampa o jasności jednej świecy normalnej daje w odległości 1 metra oświetlenie 1 luksa.

Jasność każdej lampy może być różna zależnie od tego, w jakim kierunku wysyła ona światło (jasność pozioma, pionowa, średnia sferyczna itd.). Oświetlenie zmniejsza się odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości. Objaśnia to rys. 180. Lampa L oświetla kartkę papieru A umieszczoną w odległości 1 metra. Jeśli kartkę odalimy znowu o metr, ta sama ilość światła rozłoży się na czterokrotnie większą powierzchnię B tak, że kartka w odległości 2 metrów będzie oświetlona cztery razy słabiej. Kartka C umieszczona w odległości trzy razy większej będzie oświetlona dziewięć razy słabiej itd. Jeżeli lampa L ma jasność 100 świec, oświetlenie w A wyniesie 100



Rys. 180.

luksów, oświetlenie w B wyniesie $100 : 4 = 25$ luksów, oświetlenie w C spadnie na $100 : 9 = 11$ luksów itd.

Przy ocenie oświetlenia mieszkań itp. miarodajne jest oświetlenie przyziemne istniejące w odległości 1 metra powyżej podłogi. Dla mieszkań najlepsze jest oświetlenie przyziemne między 30 a 50 luksami, dla klatek schodowych i korytarzy około 10 luksów, dla biur 50—70 luksów, dla sal rysunkowych 90—120 luksów, dla pracowni przeznaczonych do robót precyzyjnych oraz dla wystaw sklepowych około 150 luksów, dla stołów operacyjnych co najmniej 200 luksów, dla studiów kinematograficznych aż do 2000 luksów. Oświetlenie wytwarzane przez słońce w południe ładnego letniego dnia osiąga prawie 100 000 luksów.

Ażeby stworzyć sobie obraz ekonomii różnych źródeł światła i móc je z sobą porównywać, musimy wiedzieć, ile jednostek energii (np. watów) potrzeba na wytworzenie 1 świecy normalnej (= liczba watów na świecę = „zużycie właściwe watów”) bądź też, ile świec normalnych otrzymujemy z każdej jednostki energii (= liczba świec na wat = „jasność właściwa”).

Źródło światła wysyła w ciągu jednostki czasu pewną ilość światła, czyli pewien strumień świetlny. Jednostką strumienia świetlnego jest lumen (w skróceniu Lm). Strumień świetlny pozostaje w różnym stosunku do jasności lampy, zależnie od tego czy chodzi o jasność poziomą, średnią sferyczną itd.

Wszędzie, gdzie istnieje światło, mamy do czynienia ze strumieniem świetlnym. Gdy światło dzienne wpada do pokoju przez okno, nie możemy powiedzieć, czy światło to, posiada pewną oznaczoną jasność, ponieważ chodzi tutaj o strumień świetlny, który jako taki można zmierzyć. Światło wybiegające w postaci stożka z obiektywu aparatu projekcyjnego i padające na biały ekran jest również strumieniem świetlnym. Strumień świetlny jest także nieodzowny do oświetlenia miejsca roboczego. Gdy chcemy oświetlić to miejsce dwa razy silniej, potrzebujemy do tego dwa razy większego strumienia świetlnego. Strumień świetlny musimy zwiększyć dwukrotnie także wtedy, gdy tak samo jasno ma być oświetlone miejsce robocze o wymiarach dwa razy większych. Wynika z tego, że strumień świetlny jest proporcjonalny zarówno do wielkości oświetlanych płaszczyzn jak i do jasności lampy. Ten prosty związek można wyrazić wzorem:

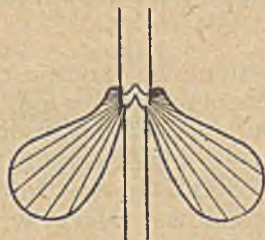
$$\text{lumeny} = \text{metry kwadratowe} \times \text{luksy}$$

Jeżeli powierzchnia oświetlona wynosi 1 metr kwadratowy, a oświetlenie równa się 1 luksowi, do uzyskania tego oświetlenia konieczny jest strumień świetlny 1 lumen. Jeden lumen jest to więc strumień świetlny, który na powierzchni jednego metra kwadratowego wytwarza oświetlenie wielkości 1 luksa.

Pierwszą lampą elektryczną była lampa łukowa, zbudowana przez Davy'ego (p. str. 173). Gdy lampa taka jest zasilana prądem stałym, węgiel dodatni spala się szybciej, a na jego końcu powstaje wydrążenie, zwane kraterem (rys. 181). Dlatego węgiel dodatni jest grubszy. W razie zasilania prądem zmiennym obydwie węgle mają tę samą średnicę i spalają się równomiernie (rys. 182). Na każdy amper pobranego prądu oddaje lampa łukowa około 100 świec normalnych.

Promieniowanie światła jest różne, zależnie od rodzaju prądu zasilającego (rys. 181, 182). Napięcie lampy łukowej wynosi 30—45 woltów. Tego napięcia nie można zmieniać dowolnie. Wobec tego,

że lampa płonie przy tak niskim napięciu, a napięcie sieci jest z reguły wyższe, trzeba nadmiar napięcia usuwać za pomocą opornika albo też łączyć kilka lamp szeregowo. Prócz tego każda lampa musi być wyposażona w mechanizm (ręczny lub samoczynny) do regulowania łuku. Mechanizm taki spełnia szereg czynności:



Rys. 181.



Rys. 182.

- a) wyrównuje spalanie się węgli,
- b) stara się o to, ażeby natężenie prądu nie uległo zmianom,
- c) oddala węgle od siebie, gdy opór przejściowy maleje wskutek za małej odległości końców węgli i gdy tym samym natężenie prądu wzrasta, tudzież węgle przybliża, gdy w odwrotnym przypadku natężenie prądu spada,
- d) styka końce węgli z sobą w chwili załączania lampy i oddala je, gdy węgle już się rozżarzyły.

Ilość mechanizmów regulacyjnych jest bardzo wielka. Pomijamy je tutaj, zwłaszcza że lampy łukowe są obecnie używane tylko wyjątkowo (np. w kinematografii, w zakładach produkcyjnych).

Przed lampami załączonymi do sieci znajduje się zawsze opornik. Opornik taki spełnia podobną rolę jak koło zamachowe maszyny parowej: unieszkodliwia małe wahania prądu. W lampach zasilanych prądem zmiennym podobną rolę spełniają dławiki.

Lampa łukowa posiadająca zwyczajne węgle świeci przez około 15—20 godzin, po czym trzeba węgle wymieniać na nowe. Ten czas starano się przedłużyć przez stworzenie lamp długopalnych: łuk otoczony jest cylindrem i płonie w atmosferze ubogiej w tlen, co zmniejsza szybkość spalania się węgla; płoną one przy napięciu 90—150 woltów. Celem polepszenia wyzyskania energii wprowadzono węgle płomienne, nasycone solami pewnych metali; łuk takich lamp jest dłuższy od zwyczajnego (10—16 mm), ale mniej spokojny. Lampy z węglami płomiennymi wymagają napięcia około 55 woltów.

W technice oświetleniowej panuje obecnie lampa żarowa zwana w skróceniu żarówką. Działanie takiej lampy polega na zjawisku, zaobserwowanym na początku 19 stulecia przez Haare'a, że za pomocą prądu elektrycznego można rozżarzyć drut do białości. Pierwszą żarówkę nadającą się do celów praktycznych zbudował Edison w r. 1879. Oparł się on na spostrzeżeniach Sawyera i Mana, że metale stapiają się, gdy się je rozżarzy, a nie stapia się węgiel, który jednak spala się. H. Maxim, wynalazca karabina maszynowego, wpadł na pomysł, ażeby umieścić włókno węglowe w atmosferze gazu świetlnego, który jest połączeniem węgla i wodoru. Ten pomysł doprowadził do niespodziewanego wyniku: rozżarzone włókno węglowe porywało cząstki węgla z gazu, wyrównywało w ten sposób swoje nierówności i — co najważniejsze — nie spalało się.

Dopiero Edison stworzył żarówkę we właściwym tego słowa znaczeniu. Wykonał on włókno węglowe nie z papieru, jak jego poprzednicy, lecz ze zwęglonych włókien bambusowych, opracował sposób łączenia włókna z drucikami doprowadzającymi prąd, skonstruował trzonek lampy i oprawkę w takiej postaci, jaką dzisiaj posługujemy się i zamiast w atmo-

sferze gazu umieścić włókno w bańce szklanej opróżnionej z powietrza (próżnia wewnątrz bańki jest nieodzowna, bo inaczej włókno połączyłoby się z tlenem atmosferycznym i zamieniłoby się momentalnie w popiół). Końce włókna są dołączone do drucików platynowych (stop 54% żelaza i 46% niklu ze śladem węgla, o rozszerzalności zbliżonej do rozszerzalności szkła), zatopionych szczególnie w ścianie bańki szklanej i wiodą do punktów A i B, przez które dopływa prąd (rys. 183). Włókna dzisiejszych żarówek węglowych są wykonane z celulozy. Żarówka taka zużywa od 3 do 3,8 wata na każdą wydawaną świecę normalną, zależnie od napięcia sieci (im wyższe napięcie, tym większe zużycie prądu). Trwałość żarówki węglowej wynosi około 1000 godzin. Przy końcu tego czasu jasność maleje. Żarówka powinna pracować przy takim napięciu, dla jakiego została zbudowana. W razie przekroczenia tego napięcia jasność lampy wzrasta, ale równocześnie zmniejsza się jej trwałość. Żarówki węglowe są dzisiaj używane tylko wyjątkowo. Znajdują się w handlu o jasnościach 5, 10, 16, 25, 32 i 50 świec normalnych.



Rys. 183.

Sprawność żarówek węglowych starano się polepszyć przez zmetalizowanie włókna; zużycie prądu spadło na 2,2 wata na świecę. Następnie wprowadzono na rynek żarówki z włóknem metalowym. Włókna robiono z osmu, następnie z tantalu (zużycie prądu spadło na 1,6 i 1,5 wata na świecę). Żarówki takie mogły pracować tylko w pozycji wiszącej, ponieważ włókno wyginało się w stanie ogrzany.

Dzisiejsze żarówki mają włókna wolframowe. Zależnie od budowy rozróżniamy dwie grupy żarówek wolframowych: w jednej rozpięty jest gładki drucik wolframowy, w drugiej jest rozpięta w bańce szklanej spiralka zwinięta z drutu wolframowego. Wolfram przewodzi znacznie lepiej niż węgiel i dlatego drut w żarówce wolframowej musi być bardzo długi i cienki. Pierwotnie wyrabiano druciki wolframowe na drodze chemicznej; obecnie wyrabia się je podobnie jak inne druty, przez wyciąganie. Temperatura rozżarzonego włókna w żarówce wynosi około 2000° C.

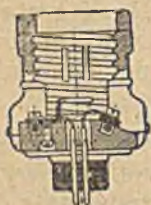
Na rys. 184 widzimy żarówkę wolframową z drucikiem rozpiętym na dwóch grupach trzymadeł. Prąd dopływa podobnie jak w żarówce węglowej. Wnętrze bańki jest opróżnione

z powietrza (stąd nazwa: ż a r ó w k a p r ó ż n i o w a). Trzonek żarówki, za pomocą którego można załączać lampę do sieci, jest zakończony gwintem odpowiadającym gwintowi w oprawce (rys. 185); koniec trzonka, oznaczony na rys. 183 literą A, styka się z wystającą we wnętrzu oprawki płytką, a część nagwintowana przylega do gwintu wewnątrz oprawki; od owej płytki oraz od gwintu w oprawce wiodą połączenia na zewnątrz. Oprawkę tego rodzaju nazywamy oprawką edisonowską (średnica gwintu na trzonku wynosi 26 mm). Istnieją też oprawki o innych średnicach: 39 mm, 13 mm, 9,2 mm. W urządzeniach, gdzie żarówki są narażone na wstrząsy, stosuje się lampy z oprawkami bagnetowymi (rys. 186).

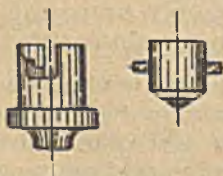


Rys. 184.

Zużycie prądu wynosi od 1,05 do 1,35 wata na jedną świecę normalną. Im większa żarówka, tym mniejsze stosunkowo zużycie prądu na każdą świecę. Lampy takie są wyrabiane o jasnościach 5, 10, 15, 25, 40, 60, 75 i 100 świec i dla różnych napięć aż do 260 woltów. Trwałość wynosi około 1400 godzin. Jeżeli żarówka świeci np. przez 2 godziny w warunkach normalnych, tj. pod przepisany napięciem, jej trwałość zmniejsza się o 2 godziny. Jeżeli jednak ta sama żarówka będzie przez 2 godziny załączona do sieci o napięciu wyższym od normalnego, wówczas jej trwałość skraca



Rys. 185.



Rys. 186.

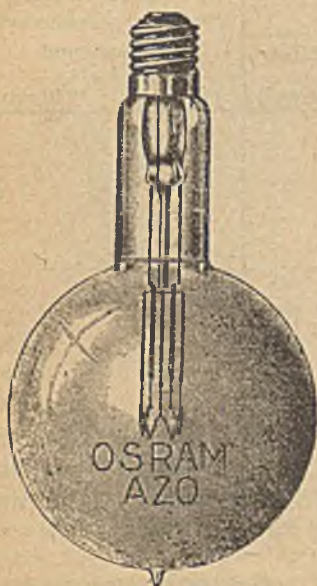
się więcej niż o dwie godziny. Stałe wahania napięcia sieci wpływają nader szkodliwie na trwałość żarówki; np. wzrost napięcia o 12% zmniejsza trwałość żarówki o połowę. Trwałość żarówki jest większa, gdy zasilamy ją prądem o napięciu niższym od normalnego, równocześnie jednak maleje jej jasność.

W miarę podwyższania napięcia prądu, który zasilają żarówkę, jej jasność wzrasta kosztem trwałości, ponieważ drut stopia się (paruje) wskutek nadmiernego ogrzania. Ażeby temu parowaniu przeciwdziałać, umieszczono włókno wolframowe w bańce wypełnionej obojętnym azotem o ciśnieniu prawie

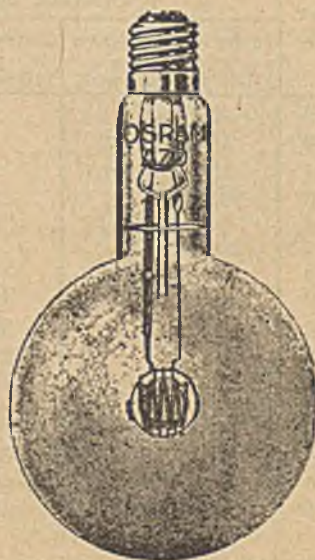
równym ciśnieniu atmosferycznemu. W ten sposób powstały żarówki napełniane gazem, zwane też półwatkami (większe żarówki, począwszy od około 200 watów, zużywają po 0,5 wata na każdą wydawaną świecę normalną). Ciśnienie azotu, którego wprowadzenie zawdzięczamy amerykańskiemu uczonemu Langmurowi, powstrzymuje parowanie, dzięki czemu można ogrzać włókno silniej (aż do około 2600° C.) i tym samym zwiększyć jasność. W parze z polepszeniem jasności idzie jednak zmniejszenie sprawności, ponieważ gaz ułatwia ciepłu przechodzenie od włókna do szkła i tym samym na zewnątrz, tak że lampa wydziela wiele bezużytecznego ciepła, co jest jednoznaczne ze stratą energii świetlnej. Ażeby zmniejszyć promieniowanie ciepła na zewnątrz, nadano drucikowi kształt spiralki, dzięki czemu promieniowanie jednego zwoju przenosi się przede wszystkim na zwój sąsiedni i jest wykorzystywane, zamiast marnować się.



Rys. 187.



Rys. 188.



Rys. 189.

Trwałość półwatówek wynosi przeciętnie 800 godzin. Dwie takie żarówki widzimy na rys. 187 i 188. Są one wyrabiane w różnych wielkościach, dla obciążenia aż do 10 000 watów. Małe żarówki zużywają średnio po 0,9 wata na świecę, wielkie po 0,5 wata.

Oprócz żarówek „normalnych” w postaci gruszek (rys. 187) albo kul (rys. 188) znajdują się w handlu różne lampy specjalne, np. żarówki rzutnicze (rys. 189), rurkowe (rys. 190), samochodowe itd. Najmniejsze żarówki, używane w medycynie (np. do wzorników), mają średnicę 3 mm, długość 5 mm.



Rys. 190.

Związek między różnymi typami żarówek próżniowych i półwatowych a ich jasnościami i przynależnymi strumieniami świetlnymi podaje załączona tabela.

Liczba watów	Średnia jasność przestrzenna w świecach norm.				Strumień świetlny żarówek półwatowych w lumenach	
	żarówki próżniowe		żarówki półwatowe			
	110 volt.	220 volt.	110 volt.	220 volt.	110 volt.	220 volt.
10	6	—	—	—	—	—
20	15	12	—	—	—	—
25	19	16	—	—	—	—
40	32	27	37	—	460	—
60	48	44	62	—	775	—
75	—	—	82	68	1 020	850
100	80	74	120	100	1 500	1 250
150	—	—	200	170	2 500	2 120
200	—	—	276	250	3 450	3 140
300	—	—	450	400	5 600	5 000
500	—	—	800	750	10 000	9 400
750	—	—	1 200	1 150	15 000	14 400
1 000	—	—	1 650	1 550	20 600	19 300
1 500	—	—	2 600	2 400	32 500	30 000

Żarówki „gołe”, tj. bez opraw i reflektorów, można instalować tylko wyjątkowo, ponieważ ich włókno, skupione na

małej przestrzeni, daje rażący blask, przekraczający 1000 świec na 1 cm² powierzchni świecącej, gdy tymczasem oko ludzkie nie odczuwa ślepienia dopiero przy blasku poniżej 0,75 świecy na 1 cm². Od każdego sztucznego oświetlenia wymagamy, ażeby nie dawało światła rażącego nasz wzrok i już z tego powodu goła żarówka, a zwłaszcza półwatówka, nie nadaje się do celów oświetleniowych bez specjalnej oprawy czy też reflektora. Prócz tego goła żarówka promieniuje światło w sposób nieodpowiedni do oświetlenia miejsc roboczych. I tak: żarówka z rys. 188, posiadająca drucik ułożony w zygzak, promieniuje przeważnie w kierunku poziomym, a blisko połowa całej ilości światła kieruje się w górę; tej krzywej promieniowania odpowiada rys. 191. Żarówka z drutem ułożonym w postaci poziomego koła (rys. 187) zachowuje się już lepiej (rys. 192), ale i tutaj duża część światła idzie w górę.

Jak więc widzimy, zwykła lampa dostarcza w rzeczywistości światło w postaci produktu „surowego”, który dopiero trzeba „przerobić” przez zastosowanie odpowiednich opraw bądź też reflektorów. Reflektory takie i oprawy dają — zależnie od szczegółów konstrukcyjnych — trzy zasadnicze rodzaje oświetlenia:



Rys. 191.



Rys. 192.

a) oświetlenie bezpośrednie: światło, promieniowane przez żarówkę w górną półkulę, jest rzucone przez oprawę (reflektor) w dolną półkulę pod kątem przestrzennym około 90°. Zastosowanie: oświetlenie zewnętrzne oraz oświetlenie wewnątrz, gdy mają być oświetlone ściany i podłoga, ale nie sufit. Istnieją też odmiany takiego oświetlenia bezpośredniego, mianowicie oświetlenie bezpośrednie dolne i boczne;

b) oświetlenie półpośrednie: główna część światła jest rzucona w górną półkulę i odbija się od sufitu, a tylko nieznaczna część światła silnie rozproszonego kieruje się wprost w dolną półkulę. Zastosowanie: pomieszczenia z białym sufitem, biura wszelkiego rodzaju, warsztaty do robót dokładnych, sale szkolne, rysunkowe (brak blasku, łagodne cienie);

c) oświetlenie pośrednie: całe światło dawane przez lampę jest rzucone w górną półkulę, tj. na sufit. Zastosowanie: pomieszczenia z białym sufitem, sale szkolne, rysunkowe, wystawowe, czytelnie i biura, gdzie niepożądane jest odbijanie się światła od szkła lub papieru (oświetlenie pod każdym względem higieniczne, pozbawione blasku i cieni).

Reflektory, oprawy i wszelkie rozpraszacze marnują wprawdzie poważną część światła wysyłanego przez lampę, ale ich wydajność nie jest tak zła, jakby można było sądzić. Sprawność różnych opraw i rozpraszaczy — o ile są zastosowane na właściwych miejscach — jest prawie tak samo wielka, z wyjątkiem oświetlenia pośredniego, które wymaga o około 25% prądu więcej, żeby dać tak samo silne oświetlenie jak inne oprawy. Sprawność najlepszych opraw przekracza tylko wyjątkowo 50%. Mimo to nie jest ona mała. Należy bowiem uwzględnić, że celem urządzenia oświetleniowego nie jest kierowanie światła wyłącznie na pewną płaszczyznę czy też miejsce robocze; także ściany i sufit powinny być do pewnego stopnia oświetlone, inaczej pomieszczenie wywiera ponure wrażenie.

Według wzoru umieszczonego na str. 180 strumień świetlny równa się iloczynowi powierzchni i średniego oświetlenia. Gdy znamy wielkość powierzchni (np. wymiary podłogi) i strumień świetlny, jaki pada na ową powierzchnię, możemy obliczyć średnią wartość oświetlenia (tj. natężenia oświetlenia) na podstawie wzoru:

$$\text{średnie oświetlenie} = \frac{\text{strumień świetlny}}{\text{powierzchnia}}$$

Wzór powyższy obowiązywałby wtedy, gdyby sprawność reflektorów i opraw wynosiła 100%. Wobec tego, że na oświetloną powierzchnię przedostaje się tylko część wytwarzanego przez lampę strumienia świetlnego, musimy uwzględnić w obliczeniach sprawność opraw (reflektorów). Jeżeli oprawa daje światło bezpośrednie lub półpośrednie, sprawność wynosi

średnio 0,44. Sprawność opraw dla oświetlenia pośredniego wynosi przeciętnie 0,33. Dla hal fabrycznych sprawność opraw wynosi 0,4—0,3 (oświetlenie bezpośrednie lub półpośrednie) bądź 0,26—0,2 (oświetlenie pośrednie). Gdy więc uwzględnimy sprawność, otrzymamy dla strumienia świetlnego wzór następujący:

$$\text{lumeny} = \frac{\text{luksy} \times \text{powierzchnia}}{\text{sprawność}}$$

Przykład. — Biuro o powierzchni 5 · 5 m (= 25 m²) chcemy oświetlić półpośrednio (sprawność = 0,44) w ten sposób, ażeby na każdy metr kwadratowy powierzchni przyziemnej przypadło oświetlenie 60 luksów. Ile lumenów ma dawać żarówka półwatowa, jeśli napięcie sieci wynosi 110 woltów? Liczymy:

$$\text{lumeny} = \frac{60 \cdot 25}{0,44} = \frac{1500}{0,44} = 3410 \text{ lumenów.}$$

Tabela wydrukowana na str. 186 wskazuje, że w tym przypadku należy zastosować żarówkę 200-watową.

Gdy znamy strumień świetlny lampy (w lumenach), a chcemy wiedzieć, jakie będzie oświetlenie (w luksach) w warunkach jak w powyższym przykładzie, liczymy:

$$\text{luksy} = \frac{\text{lumeny} \times \text{sprawność}}{\text{powierzchnia}} = \frac{3410 \cdot 0,44}{25} = 60 \text{ luksów.}$$

Ażeby oświetlenie było prawidłowe i pozbawione niepożądanych cieni, lampy powinny być umieszczone po lewej stronie osób pracujących. Lampy należy instalować nad stołami, bilardami itp. na wysokości 0,7—0,8 m powyżej miejsca roboczego, w pokojach mieszkalnych na wysokości około 2 m nad podłogą. Jeżeli oświetlenie ma być jednostajne, należy zamiast jednej lampy jasnej instalować więcej lamp odpowiednio słabszych (im mniejszy odstęp między lampami, tym jednostajniejsze jest oświetlenie).

Lampa rtęciowa składa się z opróżnionej z powietrza rury szklanej, na której końcach są wtopione elektrody. Elektrode ujemną stanowi rtęć, elektroda dodatnia może być wykonana z rtęci albo z innego materiału (węgla, żelaza). Światło jest zielonawo-niebieskie, jasne, ale dla oka nieprzyjemne, ponieważ zawiera mało promieni czerwonych. Odmianą lampy rtęciowej jest lampa kwarcowa, która zamiast długiej rury szklanej posiada krótką rurkę kwarcową. Wobec tego, że kwarc wytrzymuje wyższe temperatury niż szkło, można

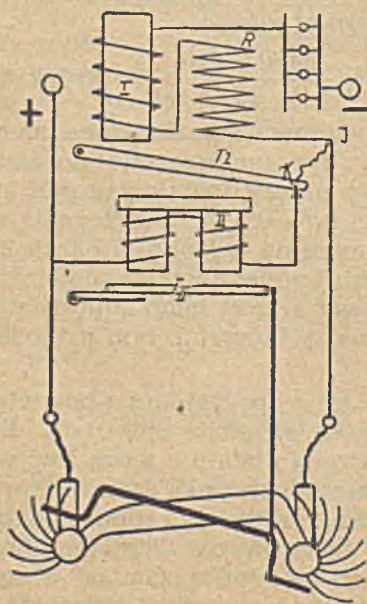
ogrzewać parę rtęciową silniej i tym samym zwiększyć wydajność lampy. Lampa kwarcowa powinna być otoczona szklaną osłoną, ponieważ wytwarzane przez nią obfite promieniowanie nadfioletowe jest bardzo niebezpieczne dla oczu (szkło nie przepuszcza promieni nadfioletowych).

W rurce lampy znajduje się rtęć. Przy załączaniu trzeba lampę przechylić, wskutek czego rtęć przelewa się od jednego bieguna do drugiego w postaci cienkiego włókna, które jednak przerywa się natychmiast, rtęć zamienia się w parę, a lampa zaczyna świecić. Rtęć znajduje się w małych naczyniach kwarcowych umieszczonych na obydwu końcach palnika. Te naczynia mają wachlarzowate chłodnice z blachy miedzianej, które regulują wachlarzowanie ciepła i tym samym natężenie prądu.

Lampy rtęciowe, szklane i kwarcowe, mają szerokie zastosowanie, np. w medycynie, w oświetleniu studiów kinematograficznych, w powiększalnikach fotograficznych itp. Prócz tego używane bywają do sterylizacji wody. Na zasadzie lamp rtęciowych pracują również prostowniki (str. 153).

Budowę i działanie lampy kwarcowej objaśnia rys. 193. U dołu widzimy dwa naczynka z rtęcią oraz chłodnice miedziane. Zapalenie (przechylenie) lampy odbywa się samoczynnie. Przy załączeniu prądu magnes II podnosi twornik T_{II} i tym samym palnik. Teraz rtęć przepływa od naczynka do naczynka, urywa się i zaczyna świecić. Gdy prąd już płynie przez rurkę, zaczyna działać magnes I, podnosi twornik T_I i przerywa obwód magnesu T_{II} , a palnik powraca do pierwotnego położenia.

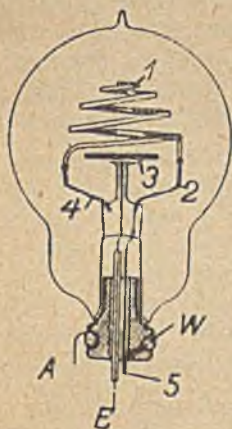
Trwałość lampy kwarcowej wynosi przeszło 1000 godzin. Zużycie prądu wynosi 0,25—0,3 wata na świecę normalną. Lampy kwarcowe można zasilać tylko prądem stałym.



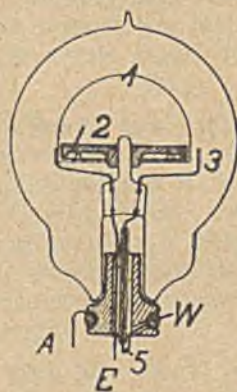
Rys. 193.

Do celów reklamowych, sygnalizacyjnych itp. służą lampy jarzące. W lampach takich jarzy się gaz. Zużycie prądu jest minimalne (np. przy napięciu 220 woltów lampa zużywa 4 waty). Na rys. 194 widzimy przekrój takiej lampy zbudowanej dla prądu zmiennego. Jedna elektroda składa się z drutu żelaznego zwiniętego w spiralę (1). Druga elektroda (3) jest zrobiona z krążka żelaznego. Prąd dopływa przez trzonek, zupełnie tak samo jak w żarówkach (na rysunkach trzonek nie jest narysowany). Prąd wpływa w punkcie A do opornika W o oporze około 5000 omów, następnie płynie do przewodnika 5, a stąd przez 2 do 1. Spiralka 1 opiera się na drucie 4. Elektroda 3 jest połączona z drutem E. W podobnej lampie prądu stałego (rys. 195) jedna elektroda (katoda) jest zrobiona z blachy żelaznej 1, druga z drutu 3; trzymadło 2 jest zrobione z magnezu. Inne części są podobne jak na rys. 194.

Wiadomo, że światło wysłane przez rozżarzone ciało stałe i rozłożone przez pryzmat rozpada się na mnóstwo barwnych odcieni, które niedostrzegalnie przechodzą od czerwieni przez barwę żółtą i zieloną do niebieskiej i fioletowej. Natomiast gaz, w przeciwieństwie do ciał stałych, wysyła ograniczo-



Rys. 194.



Rys. 195.

ną skalę promieniowań, reszty zaś mu brakuje. I tak: powietrze daje barwę fioletową, azot—żółtą, neon—pomarańczową, para rtęciowa—zielonawo-niebieską, gaz świetlny—białą itp.

Wyładowania elektryczne przechodzą najłatwiej przez neon. Tę właściwość wyzyskano do budowy lamp „zimnych”.

Działanie takich lamp polega na zjawisku, że rozrzedzony gaz (o ciśnieniu kilku tysięcznych atmosfery), zamknięty w rurze szklanej, świeci w obrębie rury, do której dopływa prąd zmienny o wysokim napięciu. Mówimy tu o „zimnym” świetle, ponieważ temperatura takiej rury nie przekracza 150° . Gdy rura jest napełniona neonem, mówimy o lampie neonowej. Napięcie, wynoszące 200 woltów na każdy metr długości rury, dawane jest przez małe transformatory, których uzwojenie pierwotne jest połączone ze źródłem prądu, a uzwojenie wtórne wprost z końcami rury. Zużycie prądu wynosi około 1,5 wata na świecę normalną.

ROZDZIAŁ XVIII

PRYZRZĄDY POMIAROWE

Podstawowym przyrządem pomiarowym jest amperomierz, czyli przyrząd do mierzenia natężenia prądu (amperów). Zależnie od sposobu działania rozróżniamy amperomierze elektrolityczne (używane do celów laboratoryjnych), elektromagnetyczne, magnetoelektryczne, elektrodynamiczne, indukcyjne i ciepłe (termiczne).

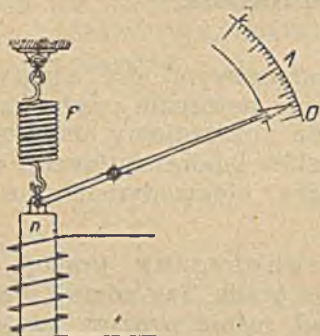
Amperomierz elektromagnetyczny pracuje pod wpływem działania magnetycznego prądu. Jak wiemy, magnetyzm cewki, przez którą płynie prąd, rośnie wraz ze wzrostem liczby amperozwojów (str. 60). Jeżeli więc cewka posiada pewną oznaczoną liczbę zwojów, jej siła magnetyczna wzrasta w miarę wzrostu natężenia prądu, ale ten wzrost nie jest jednostajny, gdyż dwa razy większe natężenie nie daje dwa razy silniejszego magnetyzmu.

Budowę takiego amperomierza objaśnia rys. 196. Prąd, który ma być zmierzony, płynie przez cewkę, która staje się magnesem i wciąga w swe wnętrze rdzeń żelazny *n*. Ruchowi rdzenia przeciwdziała sprężyna *F*. Cewka musi wywiązać tym więcej siły, im głębiej usiłuje rdzeń wciągnąć. Siła cewki odpowiada natężeniu prądu, natężenie prądu odpowiada więc położeniu rdzenia. Wskazówka połączona z rdzeniem podaje na podziałce natężenie prądu w amperach.

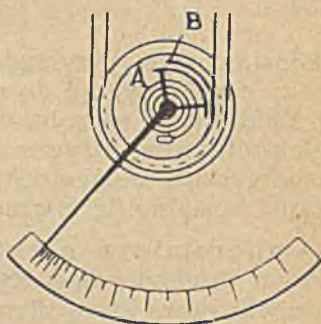
W innych amperomierzach tego typu siłę cewki przeciwdziała nie sprężyna, lecz ciężar wskazówki bądź też rdzenia. Odmienne wykonanie amperomierza elektromagnetycznego widzimy na rys. 197. Wewnątrz cewki jest osadzony ćwierćcylindryczny płaszcz *B*. Naprzeciw niego znajduje się połączony ze wskazówką podobny płaszcz *A*. Cewka magnesuje obydwa płaszcze, które odpychają się jako bieguny jednoimiennie, a tym samym przesuwają wskazówkę wzdłuż podziałki.

Wobec tego, że magnetyzm nie wzrasta proporcjonalnie do wzrostu natężenia prądu, amperomierze elektromagnetyczne mają podziałki niejednostajne, co znaczy, że wskazówka odchyła się inaczej, np. między 2 i 3 amperami, inaczej między 4 i 5 amperami. Wynika z tego mała dokładność tych przyrządów.

Jednostajną podziałkę mają amperomierze magneto-elektryczne (z cewką ruchomą). Tę cewkę obej-



Rys. 196.

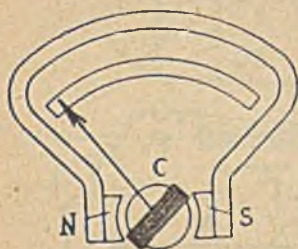


Rys. 197.

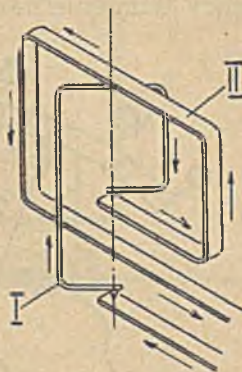
mują bieguny magnesu trwałego N—S (rys. 198). Gdy cewka pod wpływem prądu staje się magnesem, obraca się i przestawia wskazówkę. Ruchowi cewki przeciwdziałają dwie spiralne sprężynki umieszczone na cewce u góry i spełniające zarazem rolę przewodów doprowadzających prąd. Amperomierz nie ma ruchomych części żelaznych, a cewka jest nawinięta na nieruchomym cylindrze stalowym skupiającym linie magnetyczne. Dokładność pomiarów jest bardzo wielka. Jeżeli jeden stopień podziałki odpowiada $1/1000$ części ampera, nazywamy taki przyrząd miliamperomierzem. Przyrządów z cewką ruchomą można używać tylko do pomiarów prądu stałego, ponieważ pod wpływem prądu zmiennego wskazówka musiałaby tylko drgać w obie strony.

Jeżeli zamiast magnesu stałego z rys. 198 zastosujemy drugą cewkę, powstanie amperomierz elektrodynamiczny. Schemat takiego przyrządu podaje rys. 199. Prąd płynie przez dwie cewki, z których jedna jest ruchoma. Pod wpływem wzajemnego oddziaływania cewka II stara się obracać. Podziałka tych przyrządów nie jest jednostajna. Nadają się one do dokładnych pomiarów prądu zmiennego.

Jeżeli amperomierz posiada nieruchomą cewkę i ruchomy magnes w postaci igły magnesowej, nazywamy go galwanoskopem (str. 15). W większości przypadków galwanoskopy nie służą do pomiarów, lecz tylko do porównywania dwóch różnych natężeń, albo np. do wskazywania kierunku prądu, gdzie nie chodzi o to, ażeby wskazówka określała ampery, lecz tylko, by się mniej lub więcej odchyłała. Jeżeli gal-



Rys. 198.

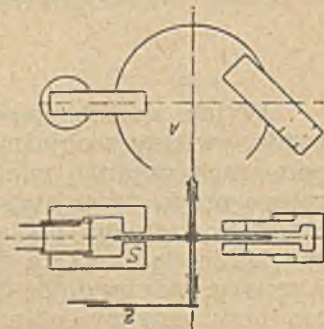


Rys. 199.

wanoskop posiada podziałkę, nazywamy go galwanometrem.

Amperomierze indukcyjne, przeznaczone do pomiarów prądu zmiennego, pracują w myśl rys. 200. Drganie prądu w cewce S wytwarza w krążku glinowym strumień prądu, który działa odpychająco, czyli usiłuje tarczę obrócić (prądy wirowe); ruchowi cewki S przeciwdziała sprężyna spiralna.

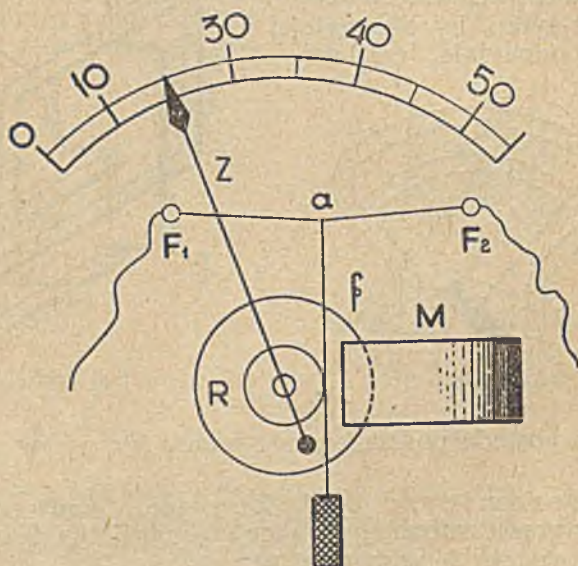
Amperomierz cieplny pracuje w myśl rys. 201. Ogrzewanie się i spowodowane tym rozszerzanie się drucika platynowego a stanowi miarę natężenia przepływającego prądu. Rozszerzanie się drucika a przenosi się przez włókno f oraz kółko R na wskazówkę Z. Na osi kółka R znajduje się krążek miedziany,



Rys. 200.

który obraca się między biegunami silnego magnesu M i w ten sposób przytłumia drgania wskazówki. Przyrządy takie pracują nie bardzo dokładnie, nadają się do prądu stałego i zmiennego.

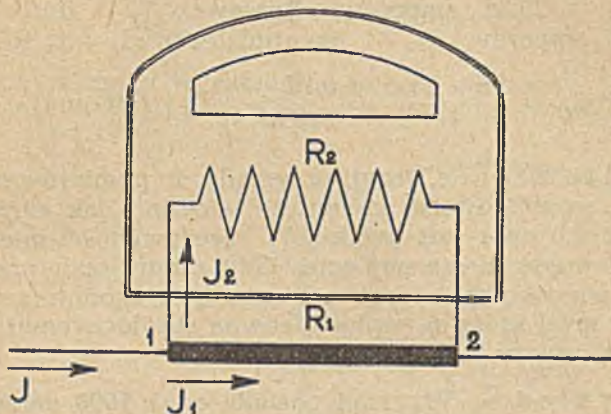
Ażeby wskazówki przyrządów pomiarowych nie drgały przez czas dłuższy w jedną i drugą stronę, stosujemy tzw. tłumienie (tj. tłumienie zbyt gwałtownych ruchów wskazówki). Tłumienie takie może być mechaniczne (powietrzne) albo magnetyczne (prądy wirowe jak na rys. 201). Przyrząd posiadający tłumienie nazywamy *a p e r i o d y c z n y m*.



Rys. 201.

W jaki sposób amperomierz ma być załączony w obwód prądu, wiemy z objaśnień do rys. 17 i nast. (str. 31). Przy pomiarach prądu o wielkim natężeniu nie można prowadzić całego prądu przez amperomierz, ponieważ przyrząd nie wytrzymałby takiego obciążenia, chyba że byłby dostosowany specjalnie do wielkich natężeń, co znowu zwiększyłoby jego wymiary. Ażeby dojść do celu za pomocą zwyczajnych amperomierzy, radzimy sobie w ten sposób, że prąd mierzony dzielimy i tylko jego część wyzyskujemy do pomiarów, resztę zaś prądu przeprowadzamy obok amperomierza. Amperomierz jest wtedy załączony jak na rys. 202: przed amperomierzem jest załączony równolegle opornik R_1 , zwany *b o c z n i k i e m*. Prąd mierzony dzieli się na dwa prądy częściowe I_1 i I_2 . Część I_2 płynie przez amperomierz, część I_1 przez bo-

cznik. Jeśli amperomierz ma opór R_2 , istnieje stosunek $I_1 : I_2 = R_2 : R_1$. Gdy znamy stosunek $R_1 : R_2$, wiemy tym samym, o ile



Rys. 202.

więcej prądu przepływa obok amperomierza niż przez sam amperomierz. Wystarczy więc zmierzyć tylko I_2 , po czym można obliczyć I_1 . Suma $I_1 + I_2$ daje natężenie prądu, który płynie razem przez obydwa odgałęzienia.

Przykład. — Opór amperomierza R_2 wynosi 1 om, opór bocznika R_1 wynosi $1/99$ oma. Obok amperomierza przepływa prąd I_1 o natężeniu, które jest 99 razy większe od natężenia prądu I_2 , ponieważ

$$I_2 : I_1 = R_1 : R_2 = \frac{1}{99} : 1 = 1 : 99.$$

Cały prąd I wynosi $I_1 + I_2 = 99 I_2 + I_2 = 100 I_2$. Prąd jest zatem 100 razy większy od tego prądu, który płynie przez amperomierz. Jeżeli amperomierz jest tak zbudowany, że jeden stopień podziałki odpowiada $1/1000$ części ampera, to w tym przypadku odchylenie wskazówki o jeden stopień podziałki wskaże prąd I , czyli prąd o natężeniu $100/1000 = 1/10$ ampera.

Do amperomierzy (miliamperomierzy) są dostarczane boczniki o rozmaitych oporach, tak że jeden i ten sam przyrząd może służyć do pomiarów w różnych zakresach.

Przykład. — Miliamperomierz ma opór 1 oma oraz podziałkę obejmującą 150 stopni. Tym przyrządem chcemy mierzyć prądy o natężeniu aż do 30 amperów. Przy pełnym od-

chyleniu wskazówki płynie przez przyrząd prąd o natężeniu $150/1000 = 0,15$ ampera. Jeżeli to odchylenie ma odpowiadać natężeniu 30 amperów, obok przez bocznicę musi płynąć $30 - 0,15 = 29,85$ amperów. Ponieważ $I_2 = 0,15$ ampera, $I_1 = 29,85$ amperów, $R_2 = 1$ om, tudzież $I_1 : I_2 = R_2 : R_1$, przeto

$$R_1 = \frac{I_2 \cdot R_2}{I_1} = \frac{0,15 \cdot 1}{29,85} = 1/199 \text{ oma.}$$

Woltomierze, czyli przyrządy do pomiarów napięcia (woltów), są zbudowane zasadniczo tak samo jak amperomierze, tylko ich opór jest wielki. W rzeczywistości mierzą one natężenie prądu, a nie napięcie. Gdy znamy opór przyrządu, możemy wnioskować o jego napięciu, a to zgodnie z prawem Ohma, w myśl którego napięcie równa się iloczynowi natężenia prądu i oporu.

Przykład. — Przyrząd posiada opór 5000 omów i jest tak zbudowany, że wskazówka odchyła się o jeden stopień, gdy przepływa przezeń prąd o natężeniu 1/1000 ampera. Gdy wskazówka odchyła się o 25 stopni podziałki, czyli gdy wskazuje prąd 25/1000 ampera, potrzebne jest do tego napięcie

$$\frac{25}{1000} \cdot 5000 = 125 \text{ woltów.}$$

Napięciu 125 woltów odpowiada więc odchylenie wskazówki o 25 stopni podziałki. Jeżeli podziałka będzie oznaczona w ten sposób, że odchylenie wskazówki o jeden stopień równa się 5 woltom, powstanie woltomierz.

Każdy amperomierz może pracować jako woltomierz, jeśli tylko powiększymy odpowiednio jego opór. W tym celu załączamy przed amperomierzem szeregowo opornik dodatkowy (rys. 203).

Przykład. — Amperomierz R_2 ma 1 om oporu, opór opornika dodatkowego R_1 wynosi 999 omów. Opór całego układu wynosi $999 + 1 = 1000$ omów. Gdy wskazówka odchyła się przy natężeniu 1/1000 ampera o 1 stopień podziałki, wtedy odchyleniu o 1 stopień odpowiada napięcie:

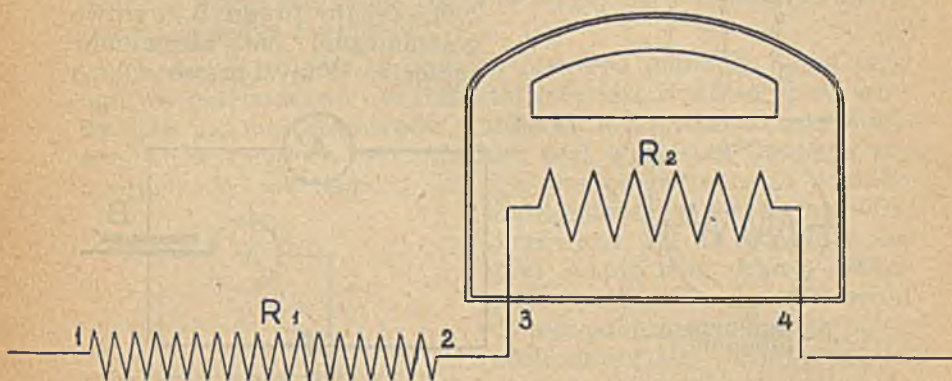
$$\frac{1}{1000} \cdot 1000 = 1 \text{ wolt.}$$

W razie załączenia opornika dodatkowego R_1 o oporze 99

omów odchylenie wskazówki o jeden stopień podziałki odpowiadałoby napięciu

$$\frac{1}{1000} \cdot (99 + 1) = 0,1 \text{ wolta.}$$

Prądy zmienne wysokiego napięcia mierzymy pośrednio, za pomocą transformatorów pomiarowych. Nie



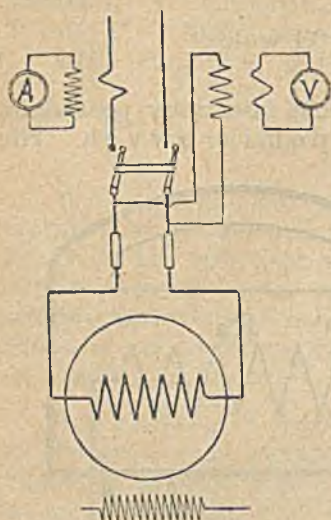
Rys. 203.

załączamy więc woltomierza wprost do sieci wysokiego napięcia, lecz mierzymy napięcie niższe, przetransformowane w dół (rys. 204, po prawej stronie); nie mierzymy też natężenia prądu wysokiego napięcia, lecz prąd przetransformowany w dół (rys. 204, po lewej stronie). Takie transformatory pomiarowe nazywamy, odpowiednio do ich przeznaczenia, transformatorami napięciowymi bądź prądowymi.

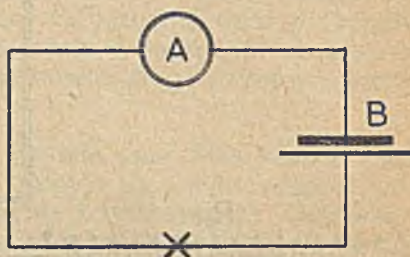
Do pomiarów mocy służą watomierze. Przyrząd taki można uważać za połączenie amperomierza z woltomierzem. Jeżeli w przyrządzie naszkicowanym na rys. 196 zamiast żelaznego rdzenia umieścimy cewkę woltomierza, ruchy wskazówki będą zależne nie tylko od siły cewki A, bo wskazówkę przestawia i napina sprężynę iloczyn sił magnetycznych A i B. Przykład wskaże teraz iloczyn woltów i amperów, czyli waty.

W urządzeniach prądu stałego watomierze nie są właściwie potrzebne, ponieważ napięcie jest znane, a jeden rzut oka na amperomierz daje obraz obciążenia. Watomierze spotykamy głównie w urządzeniach prądu zmiennego. Tutaj wato-

mierz wskazuje iloczyn natężenia, napięcia i współczynnika mocy. Są to przyrządy działające na zasadzie elektrodynamicznej lub indukcyjnej.

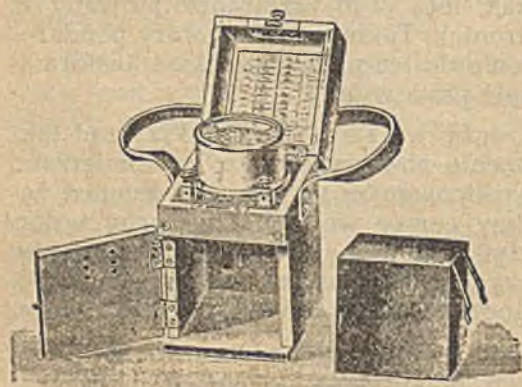


Rys. 204.



Rys. 205.

natężenie prądu jest tym mniejsze, im większy jest opór. Odchylenie wskazówki amperomierza A jest zatem miarą oporu. Przy wielkim oporze odchylenie wskazówki jest małe, bo napięcie ogniwa B wytwarza w obwodzie tylko mały prąd; przy małym oporze odchylenie wskazówki jest wielkie.



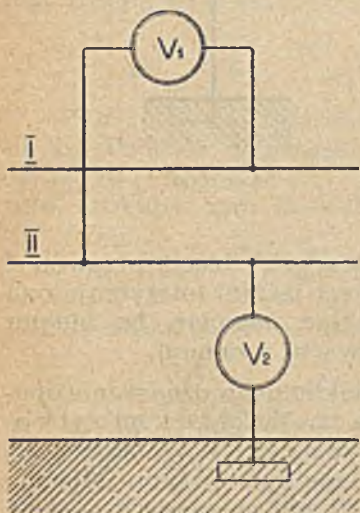
Rys. 206.

Tego rodzaju przyrządy, posiadające wbudowane ogniwo galwaniczne, znajdują się w użyciu jako mierniki izolacji (rys. 206). Miernik taki może mieć zamiast ogniwa induktor, czyli małą prądnicę, napędzaną ręcznie za pomocą korbki. Przy pewnej oz-

naczonej liczbie obrotów korbki inductor daje pewne oznaczone napięcie, podobnie jak ogniwo.

Pomiary izolacji konieczne są np. wtedy, gdy chcemy stwierdzić, czy w nowo wykonanej instalacji nie ma gdzieś zwarcia albo takiego wadliwego połączenia, które mogłoby do zwarcia doprowadzić (takie miejsce zdradza się przez zbyt mały opór). Analogicznie badamy izolację przewodów, a to: izolację względem ziemi, izolację względem kadłuba maszyny, izolację między biegunami.

Badanie izolacji za pomocą niskiego napięcia, jakie daje ogniwo galwaniczne lub inductor, nie jest wystarczające wtedy, gdy nie ma bezpośredniej usterki, lecz tylko słabsze miejsce, które mogłoby być przebite pod wpływem napięcia roboczego. Wtedy badamy izolację względem ziemi za pomocą



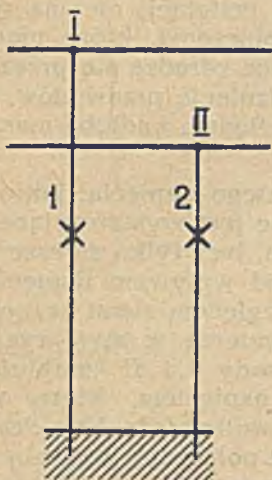
Rys. 207.

woltomierza w myśl rys. 207. Przewody I i II znajdują się pod napięciem, które wskazuje woltomierz V_1 . Przewód II jest połączony z ziemią przez woltomierz V_2 . Jeżeli przewód I jest dobrze izolowany, to przez połączenie, wiodące przez V_2 do ziemi, prąd płynąć nie może, wskazówka woltomierza V_2 nie odchyła się. Gdy przewód I jest połączony z ziemią, woltomierz V_2 wskazuje tak samo jak woltomierz V_1 .

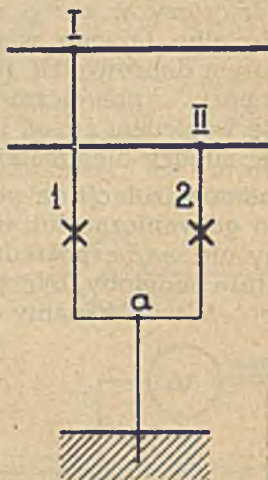
Układem z rys. 207 można też posługiwać się do trwałej kontroli stanu izolacji. W tym przypadku zamiast woltomierza V_2 załączamy żarówkę, która świeci w razie istnienia zwarcia. Nie chodzi tutaj o ustalenie wielkości oporu instalacji względem ziemi, lecz tylko o stwierdzenie, czy nie ma zwarcia z ziemią, bądź też, który z przewodów ma to zwarcie.

Na rys. 208 widzimy układ urządzenia do kontroli zwarcia z ziemią wyposażony w dwie żarówki. Od obydwu przewodów I i II wiodą do ziemi połączenia przez żarówki 1 i 2 albo, jak na rys. 209, obydwie żarówki 1 i 2 leżą w połączeniu

szeregowym między przewodami I i II, od punktu zaś a wie-
dzie połączenie do ziemi. Dopóki obydwa przewody I i II
są dobrze izolowane, obydwie lampy świecą tak samo jasno

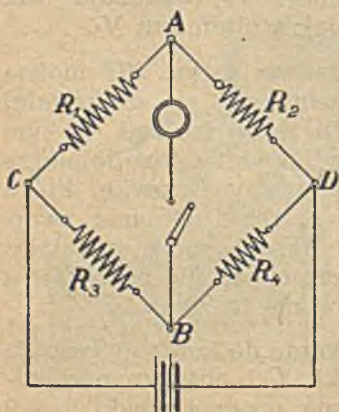


Rys. 208.



Rys. 209.

(każda przy połowie napięcia roboczego). Jeżeli przewód I
ma zwarcie z ziemią, żarówka 2 świeci jaśniej (otrzymuje ona
teraz pełne napięcie, bo biegun 1 jest zwarty z ziemią).



Rys. 210.

Do dokładnego oznaczania opo-
ru służą tzw. układy mostko-
we (wynalazca: Wheatstone). Is-
lotę układu mostkowego objaśnia
rys. 210. Opór nieznanany R_1 porów-
nujemy z trzema oporami znany-
mi, R_2 , R_3 i R_4 . Przez zmienia-
nie jednego ze znanych oporów, np.
oporu R_2 , możemy doprowadzić do
tego, że przez galwanometr O prąd
w ogóle nie popłynie (przyrząd
wskazuje „zero”). Wtedy w pun-
kcie A istnieje takie samo napię-
cie jak w punkcie B , przez opor-
nik R_1 płynie taki sam prąd I_1 jak

przez opornik R_2 , przez opornik R_3 płynie taki sam prąd I_2 jak przez opornik R_4 . Przepływ prądu przez:

$$R_1 \text{ wymaga napięcia} \dots U_1 = R_1 \cdot I_1$$

$$R_2 \dots \dots \dots U_2 = R_2 \cdot I_1$$

$$R_3 \dots \dots \dots U_3 = R_3 \cdot I_2$$

$$R_4 \dots \dots \dots U_4 = R_4 \cdot I_2$$

Ponieważ między A i B nie ma różnicy napięć (inaczej prąd musiałby przepływać przez galvanometr), przeto $U_1 = U_3$ oraz $U_2 = U_4$. Wynika z tego, że

$$R_1 \cdot I_1 = R_3 \cdot I_2 \text{ oraz } R_2 \cdot I_1 = R_4 \cdot I_2 \text{ albo:}$$

$$R_1 = \frac{I_2}{I_1} \cdot R_3 \text{ oraz } \frac{I_2}{I_1} = \frac{R_2}{R_4}$$

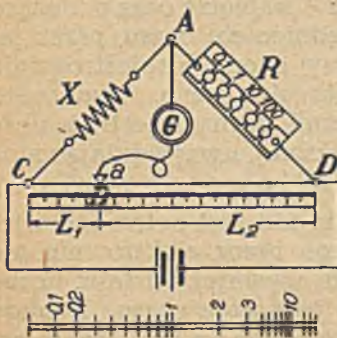
Gdy drugie równanie wstawimy w pierwsze, otrzymamy:

$$R_1 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_4} \text{ albo } \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

Przykład. — Chcemy ustalić wielkość nieznanego oporu R_1 . Podczas ustawiania mostka okazuje się, że $R_2 = 10$ omów, $R_3 = 6$ omów, $R_4 = 3$ omy. Gdy galvanometr wskazuje zero, szukany opór R_1 wynosi:

$$R_1 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_4} = \frac{10 \cdot 6}{3} = 20 \text{ omów.}$$

Oporniki używane do tego rodzaju pomiarów są wbudowane w skrzynkach oraz posiadają przełączniki wtyczkowe.



Rys. 211.

Z trzech znanych oporów R_2 , R_3 i R_4 można oporniki R_3 i R_4 zastąpić naprężonym drutem, bo w przytoczonym uprzednio równaniu nie jest potrzebna wielkość R_3 i R_4 , lecz tylko stosunek wartości $R_3 : R_4$. Jeżeli obydwa oporniki R_3 i R_4 są zrobione z takiego samego materiału, wówczas stosunek ich długości wskaże potrzebną wartość. Schemat takiego mostka widzimy na rys. 211. Styk a przesuwamy na drucie, dopóki nie powstanie właściwy stosunek między L_1 i L_2 . Na rysunku jest wyjęta wtyczka „10 omów”.

Styk a przesuwamy na drucie, dopóki nie powstanie właściwy stosunek między L_1 i L_2 . Na rysunku jest wyjęta wtyczka „10 omów”.

Teraz $L_1 : L_2 = 0,25 : 0,75$, szukana wielkość x wynosi:

$$R \cdot \frac{0,25}{0,75} = 10 \cdot \frac{0,25}{0,75} = 3,33 \text{ oma.}$$

Przyrząd może być i tak zbudowany, że podziałka pod drutem podaje od razu stosunek L_1 do L_2 . Do pomiarów całkiem małych oporów służy mostek podwójny Thomsona, w którym są całkowicie wyrównane wpływy drutów doprowadzających prąd.

Wszystkie pomiary: natężenia, napięcia i oporu polegają na pomiarach natężenia prądu. Przez kombinację amperomierza ze znanymi opornikami bądź bocznikami można wykonywać pomiary wszelkiego rodzaju. W użyciu znajdują się mierniki uniwersalne nadające się do wszystkich pomiarów. Przyrząd taki jest precyzyjnym miliamperomierzem; w połączeniu z bocznikiem staje się amperomierzem, przez zastosowanie opornika pracuje jako woltomierz, rozpięty drut i przełącznik wtyczkowy zezwalają na pomiary oporu.

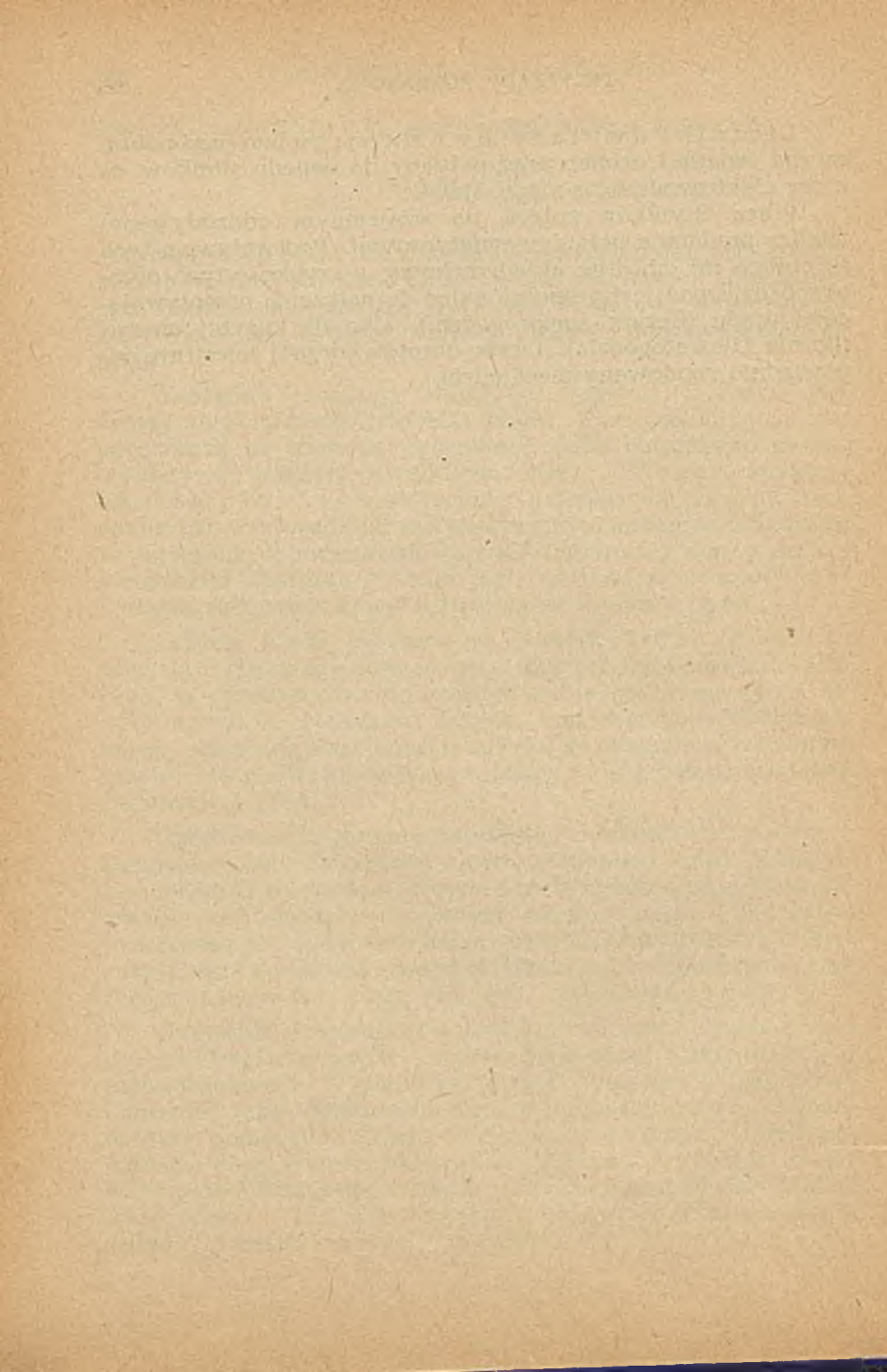
Zużycie prądu ustalamy za pomocą liczników. Te wszystkie przyrządy pomiarowe, o których była mowa dotychczas, są przeznaczone do kontrolowania pracy maszyn i innych urządzeń. Natomiast liczniki, umieszczone u odbiorców prądu, rejestrują ilość energii zużytej w pewnym oznaczonym czasie. Na podstawie wskazań licznika elektrownia wystawia rachunki za prąd.

Chodzi tutaj o pomiary natężenia \times napięcie oraz o bieżące sumowanie tych iloczynów z uwzględnieniem czasu, przez jakie odbiorniki są czynne. Innymi słowy chodzi o rejestrowanie energii odbieranej w pewnym okresie czasu. Jednostką praktyczną jest kilowatogodzina. Licznik, który rejestruje ilość zużytej przez odbiorcę energii elektrycznej, uwzględniając moc i czas, nazywamy licznikiem kilowatogodzin.

Używanie licznika kilowatogodzin nie jest potrzebne wtedy, gdy napięcie prądu dostarczanego przez elektrownię nie ulega wahaniom. W takim przypadku wystarczy ustalić liczbę amperów, jakie odbiorca pobiera w jednostce czasu. Robimy to przy pomocy licznika amperogodzin. Jeżeli np. napięcie sieci wynosi 200 woltów, a licznik wykazuje odbiór 60 amperogodzin, odpowiada to zużyciu energii $60 \cdot 220 = 13200$ watogodzin = 13,2 kilowatogodzin. Mówimy tutaj o zużyciu „prądu”, zamiast o zużyciu „watów”.

Liczniki dwutaryfowe zliczają osobno prąd pobrany dla światła i osobno prąd pobrany do napędu silników, za który elektrownie liczą niższe stawki.

Praca liczników polega na wzajemnym oddziaływaniu między prądami a polami magnetycznymi. Pod wpływem tych sił obraca się lub drga układ ruchomy, a szybkość tych obrotów bądź drgań jest proporcjonalna do natężenia przepływającego prądu (licznik amperogodzin), albo do zużytej energii (licznik kilowatogodzin). Liczbę obrotów (drgań) rejestruje odpowiednio zbudowany mechanizm.



ROZDZIAŁ XIX

PRZESYŁANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Elektrotechnika zawdzięcza swój rozwój i znaczenie głównie temu, że można energię elektryczną wytwarzać w jednym miejscu i za pomocą cienkich drutów przesyłać do miejsc odległych i tam zużytkować. Energia elektryczna jest najbardziej podatna z tych wszystkich odmian energii jakimi rozporządzamy. Za pomocą prostych oporników można ją przetwarzać w energię cieplną. W lampach, nie wymagających zapalania ani obsługi, pracuje ona jako energia świetlna. W silnikach, zbudowanych znacznie prościej niż wszelkie silniki mechaniczne, zamienia się w energię mechaniczną. Co więcej przez odpowiedni dobór silnika można sprostać różnym wymaganiom. Silnik można tak zbudować, że pracuje z niezmienną liczbą obrotów bez względu na to, jak zmienia się obciążenie, można go również skonstruować w ten sposób, ażeby przy małym obciążeniu biegł szybciej niż przy pełnym.

Przed kilkudziesięciu jeszcze lata nie można było wykorzystać wodospadu, jeżeli jego najbliższa okolica nie nadawała się np. do zbudowania fabryki elektrochemicznej. Dzisiaj odalenie fabryki od elektrowni może wynosić setki kilometrów. W rozległych zakładach przemysłowych musiano dawniej ustawiać osobną maszynę parową w każdym budynku, gdyż nie było innej możliwości napędzania maszyn roboczych. Obecnie wytwarzamy energię elektryczną centralnie i rozprowadzamy ją po wszystkich budynkach. W ten sposób oszczędzamy na kosztach obsługi maszyn w poszczególnych budynkach, bo silnik elektryczny raz wprowadzony w ruch nie wymaga nadzoru. Prócz tego koszt wytwarzania energii jest mniejszy, ponieważ wielka maszyna centralna zużywa bez porównania mniej węgla czy innego środka napędowego niż większa liczba mniejszych maszyn.

Utarło się wyrażenie: przesyłanie „siły”. To wyrażenie jest błędne. Chodzi tutaj nie o przesyłanie siły, lecz iloczynu

siły i drogi. Fizyka nazywa ten iloczyn pracą bądź energią. Należy zatem mówić: przesyłanie i rozdzielanie pracy albo energii elektrycznej. W tym znaczeniu rozumiemy pod powyższym pojęciem te wszystkie środki pomocnicze, które są potrzebne do przeniesienia (przesłania) pracy lub energii od źródła do miejsca odbioru (zużycia). Dopóki woda, zgromadzona w największej choćby zaporze, nie znajduje się w ruchu, przedstawia ona siłę; ta woda wytwarza dającą się zużytkować pracę dopiero wtedy, gdy spływa w dół oraz gdy odbywa drogę. Podobnie i para w kotle stanowi siłę, a pracę wytwarza dopiero wtedy, gdy porusza tłoki maszyny parowej, czyli gdy odbywa drogę.

Do przesyłania energii elektrycznej potrzeba szeregu maszyn. Przede wszystkim musi istnieć maszyna napędowa (parowa, gazowa, turbina wodna, wiatrak). Ruch tej maszyny przenosi się na prądnicę, z której prąd płynie przewodami wprost, albo za pośrednictwem transformatorów do odbiorników (silników, lamp, grzejników, ogniw rozkładczych).

Cała praca, przenoszona w każdej jednostce czasu z maszyny napędowej na prądnicę, zużywa się po pierwsze na pokonanie oporów tarciovych maszyn, po drugie na wytwarzanie w prądnicy prądów wirowych, które zamieniają się w ciepło i, podobnie jak straty spowodowane tarciem, nie dają pożytku, po trzecie maszyna napędowa wytwarza w prądnicy siłę elektromotoryczną, dzięki której prąd płynie przez przewody i przez odbiorniki.

Ogół mocy tego prądu, wyrażony w watach, równa się sile elektromotorycznej prądnicy w woltach, pomnożonej przez natężenie prądu w amperach. Część tej mocy zużywa się w samej prądnicy, a ta część, którą prądnica oddaje na zewnątrz do przewodów i odbiorników, równa się tylko iloczynowi napięcia międzyzaciśkowego prądnicy i natężenia prądu.

Moc w obwodzie zewnętrznym służy po pierwsze do pokonania oporu przewodów, po drugie do zasilania odbiorników. Na zaciskach odbiorników (silników, lamp itd.) istnieje pewne oznaczone napięcie międzyzaciśkowe. To napięcie, pomnożone przez natężenie, daje moc pochłanianą przez odbiorniki. Część tej mocy marnuje się bezużytecznie na pokonanie oporów tarciovych (np. w silnikach) bądź na wytwarzanie ciepła (w przewodach i lampach), a dopiero reszta służy do celów, dla których odbiorniki są przeznaczone (np. do poruszania obrabiarek za pomocą silników elektrycznych, do oświetlenia mieszkań itp.).

Stosunek całej pracy użytecznej odbiorników do ogółu pracy, przejętej przez prądnicę, określa sprawność urządzenia do przesyłania pracy elektrycznej. Sprawność jest tym lepsza, im mniejsze są straty w odbiornikach i przewodach. Na wielkość strat w odbiornikach wpływać nie możemy, bo są one zależne od szczegółów konstrukcyjnych. Możemy natomiast zmniejszać straty w przewodach, a to na tej zasadzie, że straty w przewodach są tym mniejsze, im mniejsze jest natężenie prądu (str. 144).

Ażeby mieć możliwość przesyłania dużych energii z małymi stratami w przewodach, a więc z małym natężeniem, musimy dążyć do podwyższenia napięcia przesyłanego prądu. Moc, jaką maszyna może wydać lub przejąć, jest zależna od iloczynu jej napięcia i natężenia; jeżeli więc natężenie ma być małe, napięcie musi być wysokie, ażeby w rezultacie powstała taka sama moc. Dlatego w urządzeniach do przesyłania energii elektrycznej na wielkie odległości stosujemy z reguły prąd z m i e n n y, gdyż możemy go łatwo i bez większych strat transformować.

Przykład. — Energię wodospadu, która w prądnicie występuje jako moc 736 kilowatów, zamierzamy przesłać na odległość 5 kilometrów. Przed zbudowaniem elektrowni musimy zastanowić się, jaki rodzaj prądu będzie najwłaściwszy. Mamy trzy alternatywy: a) prąd stały o napięciu 2000 woltów, b) prąd jednofazowy o napięciu 40000 woltów, c) prąd trójfazowy o napięciu również 40000 woltów.

a) Napięcie prądu stałego ma wynosić 2000 woltów. Wobec tego, że ma być przesłana moc 736000 watów, prąd będzie miał natężenie $736000 : 2000 = 368$ amperów. Projektujemy wykonanie przewodów z drutów miedzianych o przekroju 200 mm² (łączna długość drutów = 10000 m). Opór tego przewodu wynosi:

$$\frac{\text{opór właściwy} \times \text{długość}}{\text{przekrój}} = \frac{0,0175 \cdot 10\,000}{200} = 0,875 \text{ oma.}$$

Spadek napięcia w drutach = natężenie \times opór = $368 \cdot 0,875 = 320$ woltów. Stracie ulega $320 \cdot 368 = 117760$ watów = okrągło 118 kilowatów. Na miejscu odbioru mamy do dyspozycji $736 - 118 = 618$ kilowatów.

b) Napięcie prądu jednofazowego ma wynosić 40000 woltów przy współczynniku mocy 0,8, przewody mają być zrobione

z drutów miedzianych o przekroju 20 mm^2 . Moc przesłana $736\,000 \text{ watów} = 40\,000 \cdot I \cdot 0,8$, wobec czego natężenie

$$I = \frac{736\,000}{40\,000 \cdot 0,8} = 23 \text{ ampery.}$$

Opór obydwu drutów wynosi:

$$R = 0,0175 \cdot \frac{10\,000}{20} = 8,75 \text{ oma.}$$

Spadek napięcia w drutach $= I \cdot R = 23 \cdot 8,75 =$ okrągło 200 woltów. Stracie ulega więc $200 \cdot 23 = 4600$ watów $= 4,6$ kilowata. Z wyprodukowanych 736 kilowatogodzin uzyskujemy $736 - 4,6 = 731,4$ kilowatów.

c). Napięcie prądu trójfazowego ma wynosić również $40\,000$ woltów, przekrój trzech przewodów miedzianych $= 20 \text{ mm}^2$, współczynnik mocy $= 0,8$. Liczymy jak wyżej pod b): $736\,000 = 1,73 \cdot 40\,000 \cdot I \cdot 0,8$, a zatem natężenie

$$I = \frac{736\,000}{1,73 \cdot 40\,000 \cdot 0,8} = 13,3 \text{ amperów.}$$

Opór jednego drutu

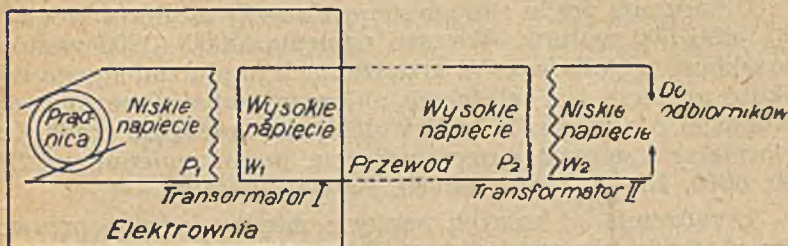
$$R = 0,0175 \cdot \frac{5000}{20} = 4,37 \text{ oma.}$$

Spadek napięcia $= 13,3 \cdot 4,37 = 58$ woltów. Strata w trzech przewodach wynosi $3 \cdot U \cdot I = 3 \cdot 13,3 \cdot 58 = 2320$ watów $= 2,32$ kilowata. Na miejscu odbioru rozporządzamy mocą $736 - 2,32 = 733,68$ kilowata.

Projekt elektrowni prądu stałego odpada. Pozostaje wybór między prądem jednofazowym a trójfazowym; prąd trójfazowy daje mniejsze straty, ale wymaga trzech przewodów. Ciężary przewodów z powyższego przykładu mają się do siebie jak $10 : 1 : 1,5$.

Przesyłanie prądu zmiennego na większe odległości przy użyciu transformatorów odbywa się według schematu, który widzimy na rys. 212. Elektrownia wytwarza prąd o średnio wielkim natężeniu i pewnym oznaczonym, nie nadmiernie wysokim napięciu (np. 5000 albo $10\,000$ woltów). Ten prąd dopływa do uzwojenia pierwotnego P_1 transformatora I ustawionego w elektrowni i transformuje się w górę tak, że z przynależnego uzwojenia wtórnego W_1 płynie do przewodu dalekonośnego

prąd o wysokim napięciu (np. 60 000 albo 100 000 woltów), ale o małym natężeniu. Na miejscu odbioru prąd wpływa do uzwo-



Rys. 212.

jenia pierwotnego P_2 transformatora II, transformuje się w dół w prąd o wielkim natężeniu, ale niskim napięciu roboczym (np. 220 woltów) i tak przetransformowany wypływa z uzwojenia wtórnego W_2 do sieci rozdzielczej, a stąd do odbiorników.

Wobec tego, że prąd stały jest dla pewnych celów niezbędny, wielkie elektrownie produkują go oprócz prądu zmiennego. Sam prąd stały wytwarzają nieliczne tylko małe elektrownie zasilające niewielkie obszary. Prąd stały można wprowadzić przetwarzając na prąd zmienny, ale jest to połączone z niedogodnościami i stratami. Natomiast prądu zmiennego nie można używać w elektrochemii, do ładowania akumulatorów i wszędzie tam, gdzie chodzi o działania jednokierunkowe. Ażeby do tych celów wyzyskać prąd zmienny, trzeba — jak wiemy — przetwarzać go bądź „prostować” w prąd stały.

Jeżeli chodzi o przesyłanie na wielkie odległości, to prąd zmienny góruje nad prądem stałym, jednak używanie bardzo wysokich napięć ma też swoje słabe strony. Wystarczy tu wymienić niebezpieczeństwo dla życia ludzkiego w razie dotknięcia przewodu, czemu w obrębie osiedli trzeba zapobiegać przez używanie kosztownych urządzeń ochronnych albo przez stosowanie drogich kabli podziemnych zamiast napowietrznych drutów. Dlatego miasta, które posiadają własne elektrownie, nie produkują prądu o bardzo wysokim napięciu, lecz ograniczają się do napięć kilku tysięcy woltów i dosyłają ten prąd kablami do tzw. podstacy transformatorowych, skąd, po przetransformowaniu w dół na napięcie robocze, dopływa on do odbiorców. Przy zaopatrywaniu kilku miejscowości z jednej wielkiej elektrowni można posługiwać się bez zastrzeżeń przewodami napowietrznymi i przesyłać nimi prąd

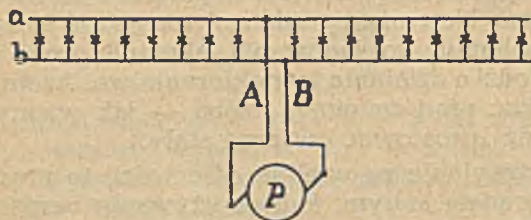
o bardzo wysokim napięciu również do podstacyj transformatorowych.

Urządzenia prądu stałego mają z reguły napięcia 110, 220, 400 albo 500 woltów. Wyższe napięcia, 1000—3000 woltów, spotykamy wyjątkowo. W urządzeniach prądu zmiennego wysokość napięcia jest właściwie nieograniczona. Przewody dalekonośne o napięciu 200 000 woltów nie należą do rzadkości. „Normalne” są następujące napięcia prądu zmiennego: 220, 380, 6000, 15000, 35000, 60000, 100 000 woltów.

Urządzenia, w których napięcie między jednym przewodem a ziemią nie przekracza 250 woltów, a napięcie między samymi przewodami nie wynosi więcej jak 500 woltów, nazywamy urządzeniami niskiego napięcia. Urządzenia o wyższych napięciach są już urządzeniami wysokiego napięcia.

Zależnie od sposobu prowadzenia przewodów rozróżniamy różne układy.

Układ dwuprzewodowy wprowadzono wtedy, gdy żarówki edisonowskie można było zasilać tylko prądem o napięciu 110 woltów, chociaż spotykamy go i dzisiaj w małych urządzeniach rozdzielczych. W układzie dwuprzewodowym (rys. 213) prądnicą P bądź inne źródło prądu



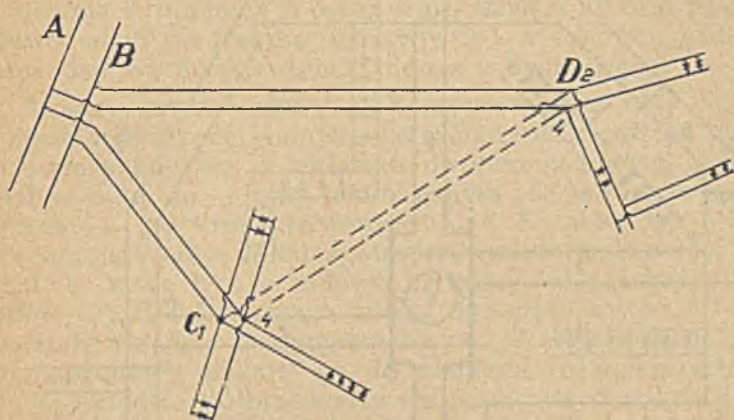
Rys. 213.

stałego lub jednofazowego oddaje prąd przez szyny zbiorcze do dwóch przewodów głównych A i B. Od tych przewodów, które biegną przez całe urządzenie, odgałęziają się przewody a-b, do których są dołączone

odbiorniki (żarówki, silniki itp.). Te odbiorniki są z reguły połączone równolegle, chociaż w niektórych przypadkach trzeba stosować połączenie szeregowe (np. lamp łukowych).

Jeżeli elektrownia zasila większy obszar, np. kilka dzielnic miasta (rys. 214), wówczas od przewodów głównych A—B wiodą do poszczególnych dzielnic przewody zasilające do punktów węzłowych (zasilających) C—D, od których znów prowadzą przewody odgałęźne w postaci sieci ulicznej. Przewody zasilające są zazwyczaj prowadzone w postaci pierścienia. Punkty zasilające są z sobą połączone

przewodami wyrównawczymi (linie wykreskowane na rys. 214). Gdy rejon „C” jest silnie obciążony, a zapotrzebowanie prądu w rejonie „D” jest małe, prąd może dopływać do rejonu „C” także drogą 1—2, 4—3. W razie przerwania



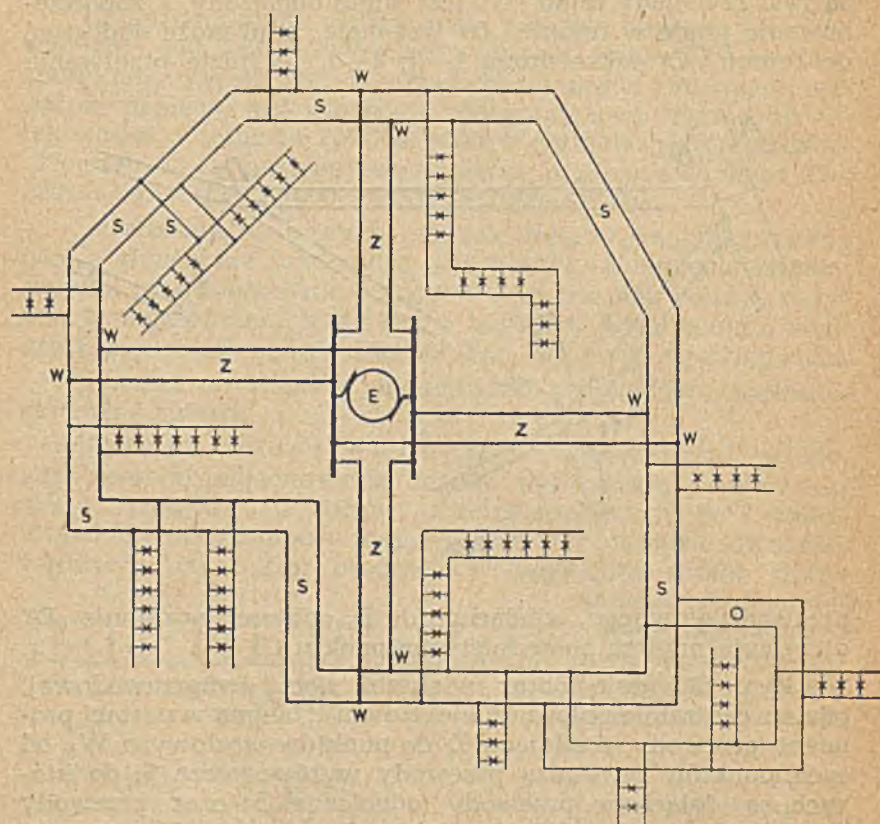
Rys. 214.

przewodu głównego, wiodącego do D, odbiorcy w rejonie „D” otrzymują prąd za pośrednictwem punktu C.

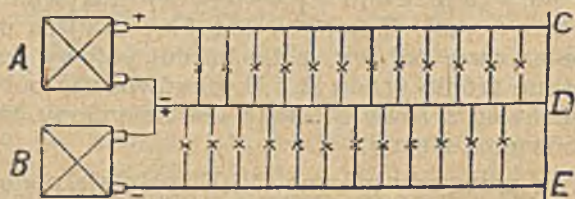
Rys. 215 daje obraz większej sieci dwuprzewodowej, gdzie z centralnie położonej elektrowni E biegną w postaci promieni przewody zasilające Z do punktów węzłowych W; od tych punktów prowadzą przewody wyrównawcze S, do których są dołączone przewody odgałęźne O oraz przewody wiodące do poszczególnych miejsc odbioru.

Układ trójprzewodowy składa się z dwóch szeregowo połączonych układów dwuprzewodowych (rys. 216); przewody C i E są przewodami głównymi (zasilającymi), przewodnik D służy za przewód wyrównawczy (nazywamy go przewodem zerowym). Tutaj poszczególne miejsca odbioru są podzielone na dwie połowy, a dla każdej połowy jest przewidziane osobne źródło prądu A i B, obydwie zaś połowy mają wspólny przewód zerowy D, który jest uziemiony, tj. połączony przewodząco z ziemią.

Obydwa przewody główne C i E spełniają podobne zadanie jak obydwie przewody w układzie dwuprzewodowym (rys. 213). Przewód zerowy D (rys. 214) działa tylko wyrów-



Rys. 215.



Rys. 216.

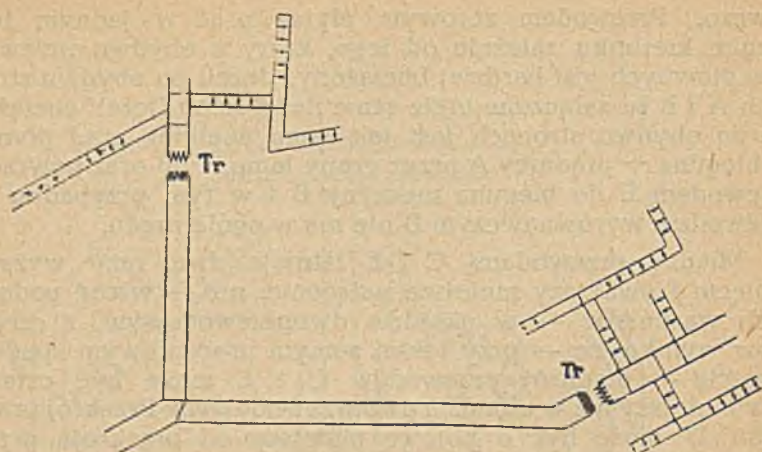
nawczo. Przewodem zerowym płynie prąd w jednym lub drugim kierunku zależnie od tego, który z obydwu przewodów głównych jest bardziej obciążony. Jeżeli po obydwu stronach A i B są załączone takie same ilości lamp (jeżeli obciążenie po obydwu stronach jest tak samo wielkie), prąd płynie od bieguna + prądnicy A przez grupy lamp A i B oraz powraca przewodem E do bieguna maszyny B i w tym przypadku w przewodzie wyrównawczym D nie ma w ogóle prądu.

Między przewodami C i E istnieje dwa razy wyższe napięcie i dwa razy mniejsze natężenie, niż — wśród podobnych warunków — w układzie dwuprzewodowym, z czego znów wynika, że — przy takim samym procentowym spadku napięcia — przekrój przewodów C i E może być cztery razy mniejszy niż w układzie dwuprzewodowym. Przekrój przewodu D może być o połowę mniejszy od przekroju przewodów C i E, tak że waga miedzi ogranicza się do $\frac{3}{4}$ wagi miedzi w układzie dwuprzewodowym. Z tego powodu układ trójprzewodowy nadaje się do zasilania rozleglejszych sieci. W układzie trójprzewodowym mamy do dyspozycji dwa różne napięcia: niższe między C — D i E — D, wyższe między C — E; wyższe napięcie możemy wykorzystać do przesyłania prądu na większe odległości, a napięciem niższym zasilac bliżej położone odbiorniki.

Odległość między elektrownią a punktami odbioru nie powinna przekraczać pewnych granic, gdyż inaczej przewody zasilające musiałyby mieć wielkie przekroje i byłyby zbyt kosztowne. Ta odległość wynosi dla 100—190 woltów w układzie dwuprzewodowym 500—800 metrów, w układzie trójprzewodowym 1200—1800 metrów. Przy napięciu 200—240 woltów odległości te mogą być dwa razy większe.

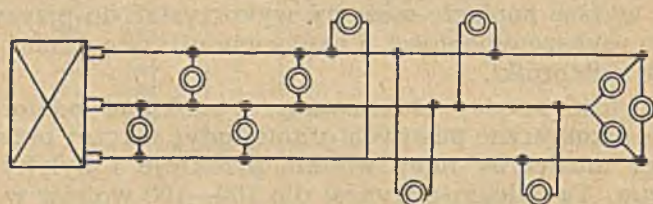
W układach prądu jednofazowego przesyłanie i rozdzielanie prądu odbywa się podobnie jak w układzie dwuprzewodowym prądu stałego, z tą tylko różnicą, że przewodami zasilającymi płynie prąd wysokiego napięcia, który poddajemy transformacji w dół w podstacjach transformatorowych Tr (rys. 217).

Trzy zasadnicze układy prądu trójfazowego przedstawiają rys. 218, 219 i 220. Jak wiemy, twornik prądnicy trójfazowej ma trzy uzwojenia (grupy cewek), a każde z tych uzwojeń ma dwa końce. Te końce uzwojeń są tak ujęte, że prowadzą do trzech zacisków maszyny. Jeżeli uzwojenia są połączone w ten sposób, że tworzą trójkąt, powstaje połączenie w trójkąt (rys.



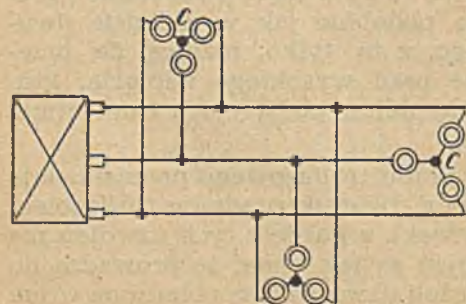
Rys. 217.

218). Gdy uzwojenia zbiegają się w jednym punkcie, powstaje połączenie w gwiazdę (rys. 219).



Rys. 218.

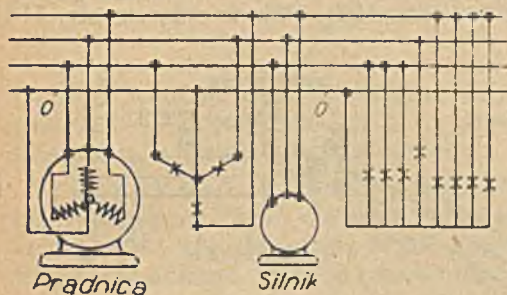
Przy połączeniu w trójkąt (rys. 218) odbiorniki są załączone pojedynczo lub grupami bezpośrednio między dwiema przewodami głównymi, zwane też przewodami fazowymi albo „fazami”.



Rys. 219.

Przy połączeniu w gwiazdę odbiorniki muszą być załączone w grupach, a nie pojedynczo (rys. 219). Tutaj dwa zaciski każdej grupy odbiorników są połączone z dwoma przewodami głównymi (fazowymi), a trzeci

zacisk każdej grupy jest połączony z punktem zerowym c , który jest wspólny dla trzeciego zacisku każdej innej grupy odbiorników.



Rys. 220.

Od tego punktu zerowego może również wybiegać przewód zerowy O (rys. 220). Powstaje w ten sposób układ trójfazowy z przewodem zerowym, posiadający razem cztery przewody. Przewód zerowy O jest uziemiony i połączony z punktem zero-

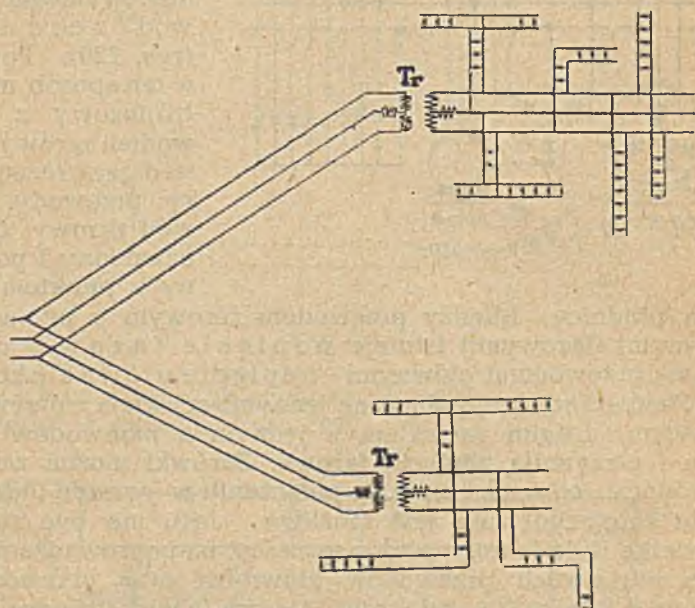
wym prądnicy. Między przewodem zerowym a przewodami głównymi (fazowymi) istnieje napięcie fazowe, między dwoma przewodami głównymi—napięcie główne (skojarzone). Żarówki są tutaj połączone jednym zaciskiem z przewodem zerowym, drugim zaciskiem z jednym z przewodów głównych i otrzymują napięcie fazowe. Żarówki można załączać pojedynczo, co w zwyczajnym połączeniu w gwiazdę (bez przewodu zerowego) nie jest możliwe. Jeśli ma być zasilana niewielka ilość lamp, można poprzestać na poprowadzeniu jednego lub dwóch przewodów głównych oraz przewodu zerowego. Silniki są załączone trzema zaciskami do trzech przewodów głównych. Silnik otrzymuje napięcie skojarzone, wyższe 1,73 razy od napięcia dopływającego do żarówek. W układzie trójfazowym z przewodem zerowym rozporządzamy więc dwoma napięciami. Jeżeli lampy świecą np. przy napięciu fazowym 220 woltów, silniki pracują przy napięciu skojarzonym $1,73 \cdot 220 = 380$ woltów.

Na rys. 221 widzimy przykład sieci prądu trójfazowego; z elektrowni wiodą przewody wysokiego napięcia do podstacji transformatorowych Tr , skąd, po przetransformowaniu w dół na napięcie robocze, prąd rozplywa się do sieci rozdzielczej.

Obliczanie przekroju przewodów prądu stałego poznaliśmy na str. 144. Obliczanie spadku napięcia w przewodach prądu jednofazowego odbywa się tak samo jak przy prądzie stałym. Jeżeli ma być uwzględniony współczynnik mocy, który jest prawie zawsze mniejszy od 1, wów-

czas natężenie prądu jest przy takiej samej mocy większe niż przy prądzie stałym.

Przy obliczaniu natężenia prądu trójfazowego trzeba uwzględnić skojarzenie faz (str. 103). Jak wiemy ze str. 114,



Rys. 221.

moc prądu trójfazowego wynosi $1,73 \times \text{napięcie} \times \text{natężenie}$; wobec tego natężenie musimy obliczać według wzoru:

$$\text{natężenie} = \frac{\text{moc}}{1,73 \times \text{napięcie}}$$

Jeżeli ma być uwzględniony współczynnik mocy ($\cos \varphi$), obowiązuje dla natężenia wzór następujący:

$$\text{natężenie} = \frac{\text{moc}}{1,73 \times \text{napięcie} \times \cos \varphi}$$

Przykład. Moc = 80000 watów, napięcie = 1000 woltów, współczynnik mocy = 0,77. Natężenie prądu wynosi więc:

$$\frac{80000 \text{ watów}}{1,73 \cdot 1000 \text{ woltów} \cdot 0,77} = 60 \text{ amperów.}$$

Po ustaleniu natężenia można obliczyć przekrój przewodów za pomocą wzoru:

$$q = \frac{3 \cdot I^2 \cdot L}{k \cdot n}$$

(w tym wzorze użyto następujących skrótów: I = natężenie prądu, L = pojedyncza długość przewodu, k = przewodność miedzi, n = strata mocy w watach).

Przykład. — Analogicznie jak w przykładzie przytoczonym na str. 144 chcemy przesłać moc 80 000 watów ze stratą 10%, tj. ze stratą 8000 watów, na odległość 1000 m. Przekrój każdego z trzech przewodów wynosi:

$$q = \frac{3 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 1000}{57 \cdot 8000} = 23,7 \text{ mm}^2$$

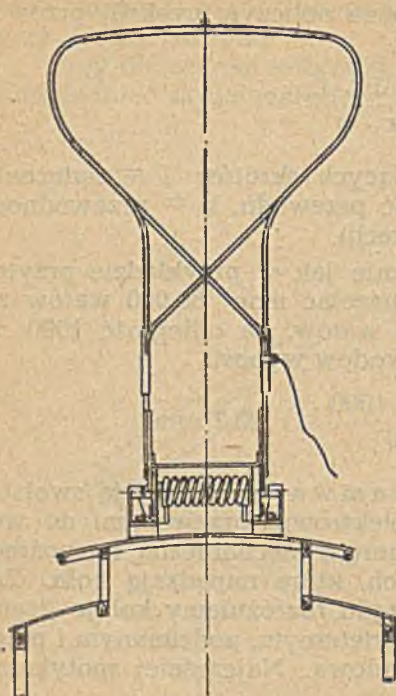
Koleje elektryczne i tramwaje wymagają swoistego zasilania. Prąd płynie z elektrowni przewodami do wozów i tam zamienia się w energię mechaniczną za pośrednictwem silników elektrycznych, które napędzają koła. Zależnie od sposobu dosyłania prądu rozróżniamy koleje (tramwaje) z dosyłaniem prądu napowietrznym, podziemnym i przez osobną szynę, zwaną szyną prądową. Najczęściej spotykamy dosyłanie napowietrzne.

Nad torem jest rozpięty goły (tj. nie izolowany) przewód „jezdny”, zawieszony na izolowanych wieszakach (rys. 222). Ten przewód jest załączony do jednego bieguna ele-



Rys. 222.

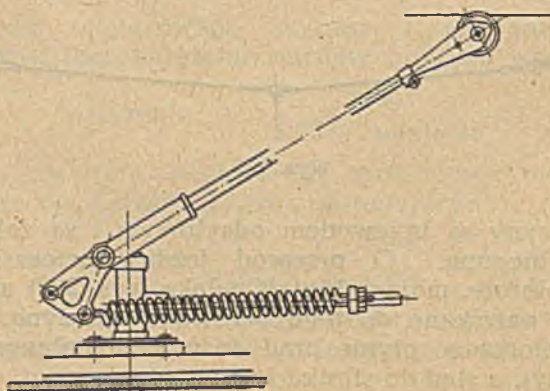
ktrowni, szyny są przewodem odsyłowym i są załączone do drugiego bieguna. O przewód jezdny ociera się urządzenie odbiorcze, mające kształt pałaka (rys. 223) albo krążka (rys. 224), naciskane do tego przewodu sprężyną. Od urządzenia odbiorczego płynie prąd do przestawialnego opornika (nastawnicy), a stąd do silnika i następnie do szyn. W wozach kolei szybkiej urządzenie odbiorcze ma kształt równoległoboku.



Rys. 223.

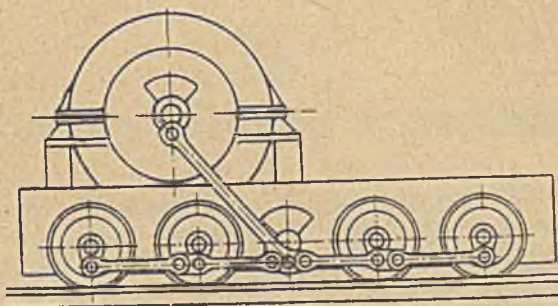
W wozach tramwajowych i lekkich wozach kolejowych koła są napędzane przez silnik elektryczny za pośrednictwem przystawki zębatej; silnik znajduje się pod wozem. W lokomotywach elektrycznych i wielkich wozach, gdzie silnik nie może się zmieścić w obrębie podwozia, jest on zmontowany wyżej, a napęd kół jest wykonany podobnie jak w lokomotywach parowych (rys. 225).

Oprócz kolei elektrycznych, biegnących po szynach ułożonych na ziemi, ważne zadanie spełniają koleje nadziemne przeznaczone do przewozu ludzi bądź towarów. Wóz kolejki towarowej przedstawia rys. 226. Ażeby jeden wóz nie najeżdżał na drugi, cała trasa jest podzielona na odcinki, a te

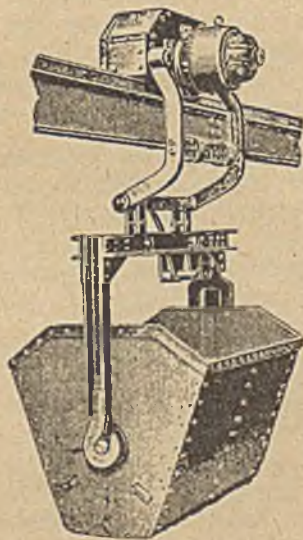


Rys. 224.

odcinki są załączane i wyłączane przez same wozy, tak że każdy wóz wyłącza ten odcinek, który właśnie przebył; dlatego



Rys. 225.



Rys. 226.

jeden wóz jest oddzielony od następnego co najmniej o długość jednego odcinka.

ROZDZIAŁ XX

ROZDZIELANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Przewody wiodące od źródeł prądu nie prowadzą wprost do sieci, lecz do rozdzielni, czyli do urządzenia, gdzie są skupione przyrządy pomiarowe i kontrolne, ładownice, regulatory, wyłączniki, bezpieczniki, a więc to wszystko, co jest konieczne do śledzenia i normowania ruchu elektrowni.

W pierwszych latach techniki prądu silnego, około roku 1880, prądnica była połączona bezpośrednio z odbiornikami; gdy potrzebowano prądu, puszczano maszynę w ruch, a zatrzymywano ją, gdy prąd nie był już potrzebny. Co najwyżej wyposażano prądnicę w jednobiegunowy wyłącznik, bezpiecznik, woltomierz i żarówkę kontrolną, a przyrządy te były umieszczone na deszczułce ustawionej obok prądnicy.

Później, gdy nauczono się łączyć prądnice równolegle, pojawiły się tablice rozdzielcze, najpierw drewniane, później marmurowe. Przyrządy na takiej tablicy były połączone gołymi przewodami, co stanowiło niebezpieczeństwo dla obsługi i wymagało wielkiej uwagi i przytomności umysłu przy dokonywaniu połączeń; niejedna drewniana tablica spłonęła, gdy wskutek stopienia się bezpiecznika lub wskutek nieuwagi obsługi dochodziło do powstawania łuku świetlnego.

Z biegiem lat napięcia wzrosły z setek na dziesiątki tysięcy woltów, moc niejednej elektrowni wynosi 100 000 kilowatów, a z jednej wspólnej sieci, składającej się z przewodów o długości tysięcy kilometrów, korzystają miliony odbiorców i setki osiedli w całych okręgach i prowincjach. W tak rozległych urządzeniach występują podczas załączania lub wyłączania prądu i podczas nagłych zwarć potężne zmiany w obciążeniu, których skutki muszą wytrzymać w pierwszym rzędzie urządzenia rozdzielcze. Nic więc dziwnego, że do kierowania ruchem wielkich elektrowni konieczne są skomplikowane, nieraz wielopiętrowe rozdzielnie, albo rozległe rozdzielnie

napowietrzne, których projektowanie i budowa nastęrczają konstruktorom więcej trudności, niż inne części elektrowni.

Urządzenie rozdzielcze pracuje w ogólnych zarysach w ten sposób, że przewody łącznikowe wiodą prąd od każdej prądnicj przez wyłączniki do szyn zbiorczych, od których odgałęzają się znowu przez szereg wyłączników przewodów zasilające w postaci kabli podziemnych lub przewodów napowietrznych. Do przewodów wiodących od prądnic i od urządzenia rozdzielczego są załączone przyrządy pomiarowe do pomiarów natężenia, napięcia, mocy, częstotliwości, współczynnika mocy, zgodności faz, stanu izolacji itp. Do wyposażenia rozdzielni należą też urządzenia ochronne i zabezpieczające przed zwarciami, przed występowaniem niedopuszczalnych przetężeń, prądów wstecznych i przepięć. Regulatory, przestawialne ręcznie lub samoczynnie, dla maszyn, transformatorów i akumulatorów, służą do nastawiania właściwego napięcia bądź liczby obrotów. Te wszystkie przyrządy, ujęte w grupy, są umieszczone na tablicach, słupach, ścianach, pulpitych, wózkach. Te znowu grupy są połączone między sobą przewodami głównymi, pomiarowymi, sygnalizacyjnymi. W urządzeniach rozdzielczych są wyposażone także podstacje, punkty zasilające i odbiorniki.

Przewody, które łączą elektrownię z odbiornikami, są zasadniczo wykonane z miedzi „elektrolitycznej“, której jakość jest ściśle unormowana. Przewody napowietrzne są budowane także z glinu. Cynk wchodzi w rachubę wyjątkowo tam, gdzie opór przewodów nie jest wielki (np. instalacje domowe). W urządzeniach sygnalizacyjnych spotykamy też przewody żelazne i brązowe.

Dobór najmniejszego dopuszczalnego przekroju poprzecznego drutów przewodowych zależy od trzech czynników: w przewodach nie powinna występować niedopuszczalnie wysoka strata napięcia, przewody nie powinny nagrzewać się nadmiernie, przewody muszą mieć równocześnie dostateczną wytrzymałość mechaniczną. Wobec tego, że przewody o wielkim przekroju mają wielką stosunkowo powierzchnię promieniowania, można każdy milimetr kwadratowy większego przekroju obciążyć silniej, niż milimetr kwadratowy przekroju cieńszego przewodu.

Przekroje poprzeczne przewodów są znormalizowane. Załączone zestawienie podaje najwyższe dopuszczalne trwałe obciążenie izolowanych przewodów miedzianych oraz kabli

miedzianych ułożonych nie pod ziemią. Obok natężenia w amperach podane są natężenia, dla jakich mają być zbudowane oddosne bezpieczniki.

Przekrój mm ²	0,75	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120
Obciążenie amperów	9	11	14	20	25	31	43	75	100	125	160	200	240	280
Bezpiecznik amperów	6	6	10	15	20	25	35	60	80	100	125	160	190	225

Dla przewodów ułożonych na powietrzu oraz dla kabli podziemnych dopuszczalne są następujące najwyższe obciążenia:

Przekrój mm ²	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185
Obciążenie amperów	46	60	86	118	162	206	266	340	420	500	590	690

Spadek napięcia w sieci rozdzielczej nie powinien przekraczać 2—3%, bo inaczej jasność załączonych lamp ulega zbyt wielkim wahaniom. W przewodach wiodących do silników oraz do lamp łukowych dopuszczalny jest wyższy spadek napięcia. Pod pojęciem „spadek napięcia” rozumiemy tę liczbę woltów, o jaką napięcie na końcu przewodu jest mniejsze niż na początku. Jeżeli np. napięcie międzyczaskowe prądnicy wynosi 113 woltów, a w odbiorniku 110 woltów, spadek napięcia wynosi $113 - 110 = 3$ woltów.

Do obliczania przekroju przewodów służą zasadniczo wzory przytoczone na str. 144 i 219. Projektowanie szczegółowe sieci rozdzielczych wymaga zawiłych obliczeń, których omawiać tutaj nie będziemy.

Zależnie od wykonania i przeznaczenia rozróżniamy przewody gołe oraz przewody izolowane (do których zaliczamy także kable).

Przewody gołe nie posiadają izolacji. Te przewody, które mają tylko powłokę chroniącą je przed wpływami chemicznymi, zaliczamy również do gołych przewodów (do tej kategorii należy np. drut otoczony warstwą włókniastą, która jest przepojona minią i olejem lnianym).

Przewody izolowane dzielą się na cztery grupy, a mianowicie:

a) przewody do układania na stałe; mogą być wykonane jako przewody z izolacją gumową (dla napięć do 750 woltów).

tów), przewody z impregnowaną izolacją papierową (używane do uziemień oraz jako przewody zerowe), przewody płaszczowe (przeznaczone do układania na wyprawie) oraz przewody opancerzone (dla napięć aż do 1000 woltów),

b) przewody do instalowania w świecznikach; istnieją one w dwóch odmianach: tzw. żyły oprawkowe (przeznaczone do instalowania w świecznikach i na świecznikach) oraz sznury zwieszakowe (do instalowania lamp wiszących),

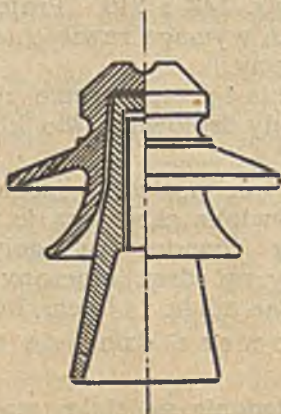
c) przewody do odbiorników przenośnych wyrabiane w dwóch zasadniczych typach: jako tak zwane sznury pokojowe (dla suchych pomieszczeń mieszkalnych i niskich napięć), tudzież jako tzw. sznury warsztatowe w wykonaniu lekkim (z osłoną bawełnianą) bądź ciężkim (kabelki opancerzone),

d) kable wyrabiane w czterech odmianach: kable obołowione z izolacją gumową, kable obołowione z izolacją papierową, kable jednożyłowe dla prądu stałego, kable wielożyłowe (te dwie ostatnie odmiany z przewodami pomiarowymi lub bez nich).

Przewody gołe prowadzimy na izolatorach porcelanowych, których wielkość zależy od przekroju drutów i od napięcia sieci. Mają one kształt pojedynczych lub wielokrotnych dzwonów zależnie od wysokości napięcia. Na rys. 227 widzimy przekrój izolatora dla niskiego napięcia, na rys. 228 i 229



Rys. 227.



Rys. 228.

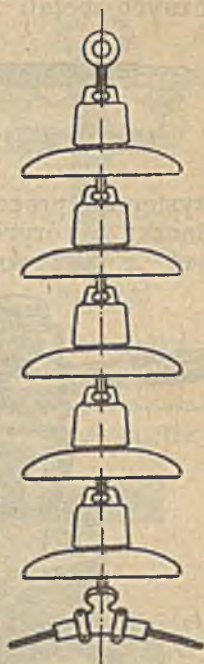


Rys. 229.

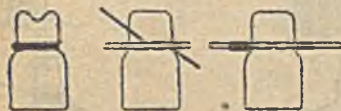
izolatory dla wyższych napięć. Przewody wysokiego napięcia powyżej 70000 woltów montujemy na izolatorach wiszących (rys. 230).

Izolatory są umocowane na trzpieniach, a te na słupach lub wspornikach. Słupy mogą być drewniane impregnowane, żelazne (rurowe lub kratowe) albo żelbetonowe (o przekroju okrągłym lub prostokątnym). Słupy powinny w 1/5 części swej długości tkwić w ziemi. W miękkiej ziemi oraz tam, gdzie występuje silny naciąg, trzeba stosować kotwy bądź otaczać nasadę słupa betonowym cokołem. Odstęp od słupa do słupa wynosi na ogół 35—40 metrów. W urządzeniach wysokiego napięcia spotykamy odstępy ponad 100 metrów. Odstęp między drutami zależy od naprężenia i od odstępu słupów; wynosi on 25—100 cm. W urządzeniach wysokiego napięcia przewody napowietrzne muszą być prowadzone na wysokości co najmniej 6 metrów nad ziemią; na skrzyżowaniach nad drogami wysokość zawieszenia nie może być mniejsza niż 7 metrów. Przy napięciach powyżej 750 woltów słupy muszą być oznaczone strzałką ostrzegawczą.

Przewody napowietrzne są przymocowane do izolatorów za pomocą drutów, których wiązanie może być rozmaicie wykonane. Kilka przykładów podają rys. 231 i 232. Końce przewodów powinny być z sobą zlutowane. Miejsca zlutowane



Rys. 230.



Rys. 231.



Rys. 232.

mają małą wytrzymałość na ciągnięcie; dlatego łączymy je przez owinięcie drutami (rys. 233) albo za pomocą złączek

(rys. 234). Glinu nie można lutować; końce przewodów glinowych trzeba łączyć mechanicznie. Miejsce połączenia dwóch różnych metali musi być chronione przed wilgocią (inaczej

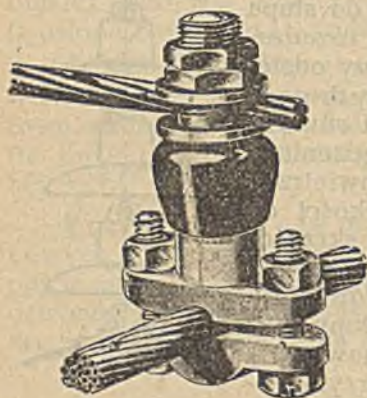


Rys. 233.

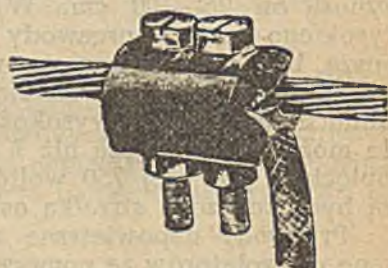


Rys. 234.

występują procesy elektrolityczne); służą do tego specjalne złączki, z których jedną widzimy na rys. 235. Łączenie odgałęzień z przewodami głównymi odbywa się za pomocą różnego rodzaju zacisków odgałęźnych (rys. 236); połączenie takie musi być wykonane starannie, bo inaczej wskutek

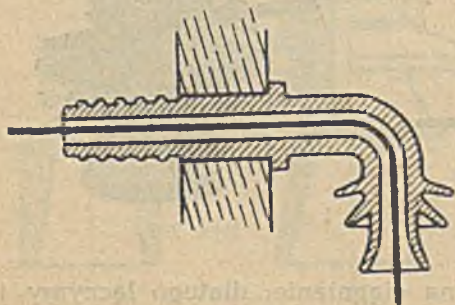


Rys. 235.



Rys. 236.

oporu przejścia może dojść do nadmiernego nagrzania. Do doprowadzania przewodów napowietrznych do budynków służą różnego rodzaju izolatory wpustowe (rys. 237).



Rys. 237.



Rys. 238.

Jeżeli przewód ma przechodzić przez dach, robi się to przy użyciu specjalnych izolatorów (rys. 238) albo rur żelaznych (rys. 239).



Rys. 239.

Przewody izolowane posiadają dla odróżnienia w obrębie izolacji barwną nitkę bawełnianą. Przewody płaszczowe (rys. 240) mają osłonę miedzianą lub żelazną obołowioną (można je prowadzić na ścianach bez izolatorów). Jeżeli przewody izolowane mają być prowadzone obok siebie na ścianie (na wyprawie), odstęp między nimi powinien wynosić 5 cm, a od ściany 1 cm; umocowuje się je co 80 cm na gałkach izolacyjnych (rys. 241). Do umocowania gałek w ścianie służą kołki metalowe. Jeżeli kilka przewodów biegnie na ścianie obok siebie równoległe, gałki są umieszczone na płaskich trzy-

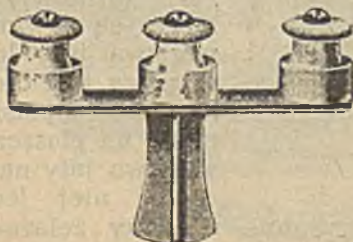


Rys. 240.

madłach żelaznych (rys. 242). Do przytwierdzania przewodów płaszczowych i opancerzonych oraz rurek izolacyjnych służą skobelki (rys. 243).



Rys. 241.



Rys. 242.



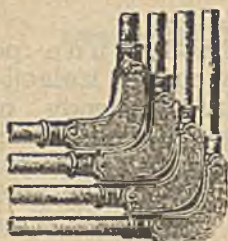
Rys. 243.

Coraz bardziej rozpowszechnia się prowadzenie przewodów w rurkach izolacyjnych, wyrabianych jako rurki izolowane bez płaszcza metalowego, albo z płaszczem miedzianym lub żelaznym, bądź też jako rurki metalowe bez wkładki izolacyjnej. Rurki takie układamy z reguły pod wyprawą.

Do łączenia rurek służą tulejki (rys. 244). Przez pokarbowanie rurki specjalnym narzędziem można ją wyginać, chociaż istnieją też kolanka i narożniki rurkowe (rys. 245). W punktach odgałęźnych umieszcza się puszki, których pokrywy można odejmować (rys. 246). Oprócz okrągłych istnieją też puszki odga-



Rys. 244.



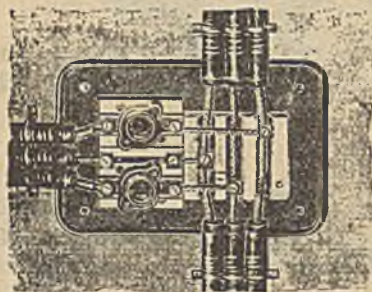
Rys. 245.



Rys. 246.

łęzne prostokątne, których ściany można wymieniać, zależnie od tego, ile rurek ma wybiegać z puszki; w puszcze jest miejsce na bezpieczniki (rys. 247).

Przewody podziemne, o ile muszą być izolowane, są wykonane w postaci tzw. kabli (uziemione przewody zerowe w układach trójprzewodowych prądu stałego i w układach trójfazowych prowadzimy zazwyczaj ziemią jako gołe ocynkowane druty miedziane).



Rys. 247.

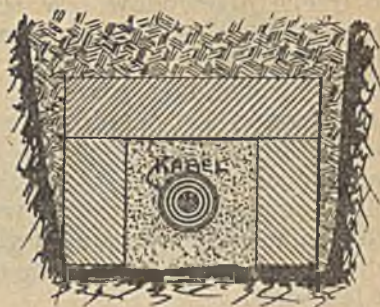
Kable mają jeden lub więcej żył (drułów) miedzianych, które są owinięte izolującą warstwą juty lub papieru, ta warstwa jest otoczona jednym lub dwoma płaszczami ołowianymi, na płaszczu znajduje się warstwa juty nasyconej terem, a na niej jeden lub dwa

pancerze zwinięte spiralnie z taśmy żelaznej; zewnętrzny pancierz jest nieraz chroniony przed rdzewieniem warstwą naterowanej juty. Gdy kabel jest narażony na większe ciągnięcie, opancerzenie jest wykonane nie z taśmy, lecz z ocynkowanych drutów żelaznych. W urządzeniach prądu stałego bywają używane kable jednożyłowe, w urządzeniach prądu jedno-fazowego lub trójfazowego muszą być w jednym kablu umieszczone dwie bądź trzy żyły. Na rys. 248 widzimy w przekroju kabel trójżyłowy posiadający również trzy żyły pomia-

rowe. Kable układa się albo w piasku otoczonym cegłami (rys. 249), albo w skrzynkach kablowych. Do odgałęzień i połączeń

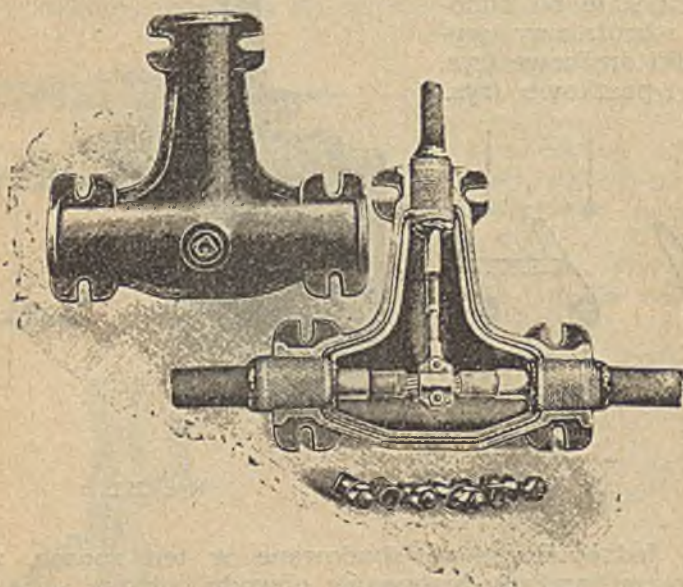


Rys. 248.



Rys. 249.

służą mufy kablowe (rys. 250); wewnątrz muf wypełnia się specjalną masą kablową.



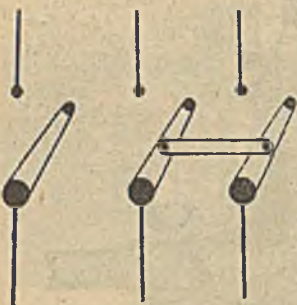
Rys. 250.

Ważną grupę przyrządów pomocniczych stanowią łączniki dzielące się na wyłączniki i przetaczniki. Wyłącznik

może być jednobiegunowy, dwubiegunowy lub trójbiegunowy, zależnie od tego, czy służy do przerywania jednego, dwóch lub trzech przewodów. W schematach rysujemy wyłączniki jak na rys. 251 (wyłącznik jednobiegunowy) i rys. 252 (wyłącznik dwubiegunowy). Ażeby otworzyć obwód elektryczny, wystarczy wprowadzić przerwać jeden biegun, jednak wtedy cały przewód jest połączony z drugim biegunem i znajduje się pod napięciem tego bieguna; dlatego w przewodzie przerwanym jednobiegunowo nie wolno wykonywać żadnych robót. Z tego powodu montujemy wyłączniki dwubiegunowe w odgałęzieniach dla większej liczby lamp, a użycie wyłączników jednobiegunowych ogranicza się do odgałęzień z pojedynczymi lampami.

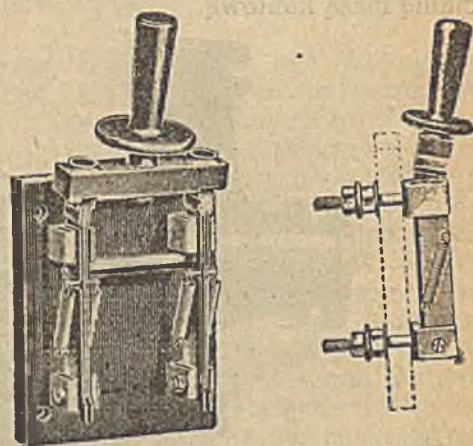
Wymiary wyłączników zależą od natężenia prądu (działanie cieplne) i od napięcia, pod jakim przewód się znajduje. Na wyłączniku znajduje się napis: „tyle i tyle amperów przy tylu i tylu voltach”.

Zależnie od budowy rozróżniamy wyłączniki drążkowe (rys. 253) i puszkowe (rys.



Rys. 251.

Rys. 252.

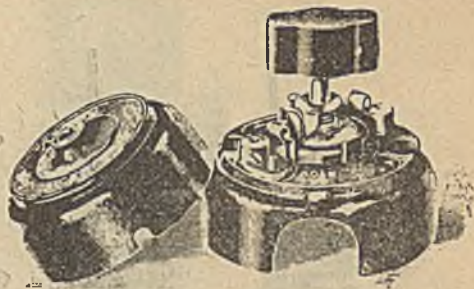


Rys. 253.

254). Jedne i drugie są zbudowane w ten sposób, że pod wpływem sprężyny przerwanie obwodu odbywa się momentalnie. Wyłączniki wysokiego napięcia mają budowę tego rodzaju, że łuk świetlny, powstający w chwili oddalania się styków, zostaje zdmuchnięty przez ogrzane prądem powietrze. W urządzeniach wysokiego napięcia stosujemy też wyłączniki olejowe; styki znajdują się w zamkniętej skrzynce wypełnio-

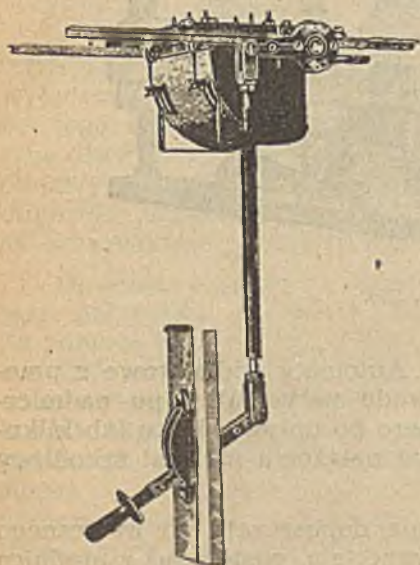
nej olejem; wskutek wysokiego oporu izolacji olejowej obwód przerywa się szybko i łuk świetlny nie może powstawać.

W urządzeniach rozdzielczych wysokiego napięcia wyłączniki są zawsze zmontowane poza tablicą rozdzielczą i dlatego posiadają mechanizm umożliwiający ich uruchamianie od przedniej ściany tablicy; wyłączniki takie są budowane najczęściej jako wyłączniki olejowe (rys. 255). Do wyłączenia przewodów napo-



Rys. 254.

wietrznych wysokiego napięcia służą wyłączniki słupowe, zbudowane np. w ten sposób, że powstający w chwili wyłączenia łuk świetlny rozplywa się między wystającymi ku górze rozkami (rys. 256).

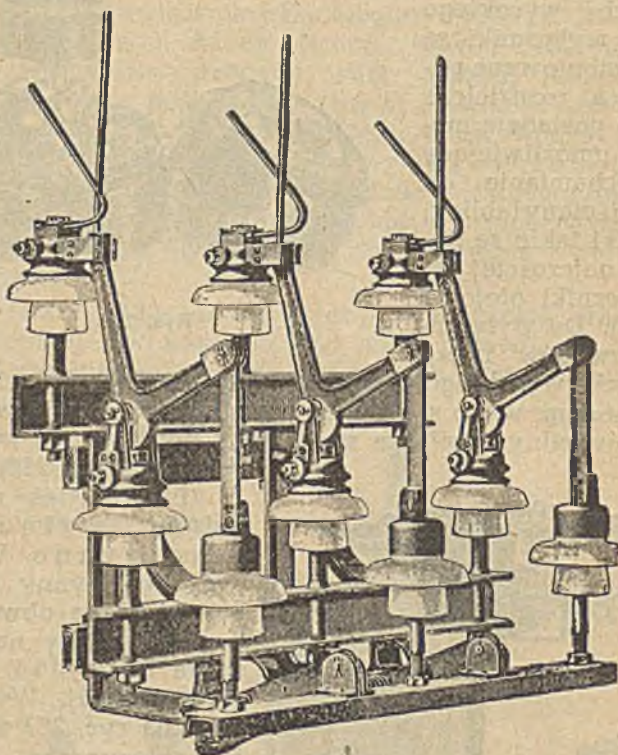


Rys. 255.

Istnieją też różnego rodzaju wyłączniki samo cz y n n e. Wyłącznik samoczynny zanikowy przerywa obwód prądu wtedy, gdy natężenie spada do 5—10% wartości normalnej. Wyłącznik taki (na rys. 257 widzimy jednobiegunowy wyłącznik zanikowy, zamknięty i otwarty) posiada elektromagnes, którego siła jest wystarczająca do przytrzymywania drążka w pozycji załączonej; gdy prąd słabnie, osłabia się magnetyzm, drążek odrywa się pod własnym ciężarem lub pod działaniem sprężyny i przerywa obwód.

Do ochrony prądnic, silników i różnych urządzeń przed skutkami nadmiernego wzrostu natężenia prądu służą samo-

czynne wyłączniki nadmiarowe (rys. 258) zbudowane tak, że przerywają obwód samoczynnie wtedy, gdy natężenie

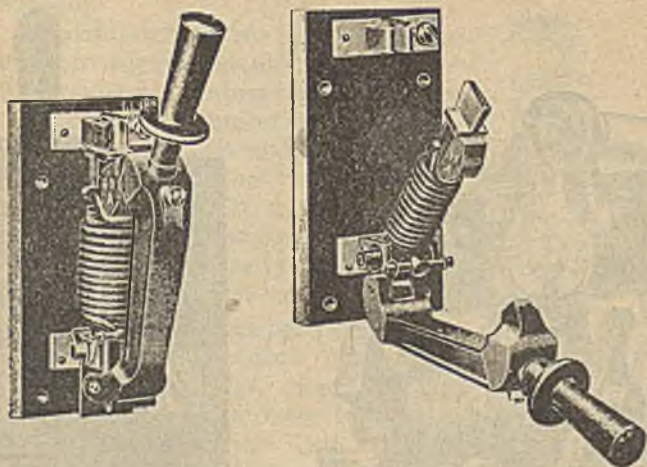


Rys. 256.

wzrasta ponad pewną normę. Automaty nadmiarowe z przełącznikami nie wyłączają obwodu natychmiast po nadmiernym wzroście prądu, lecz dopiero po upływie kilku lub kilkunastu sekund (chwilowy wzrost natężenia nie jest szkodliwy dla maszyn i aparatów).

Automaty wsteczne nie dopuszczają do wstecznego płynięcia prądu. Bywają używane tam, gdzie wraz z prądnicą pracuje bateria akumulatorów. Gdy napięcie prądnicy spada np. wskutek defektu maszyny napędowej, akumulatory zaczęłyby oddawać prąd do prądnicy i temu właśnie zapobiega automat.

Automaty mogą być zbudowane w ten sposób, że nie tylko wyłączenie, ale i załączenie odbywa się samoczynnie. Istnieją



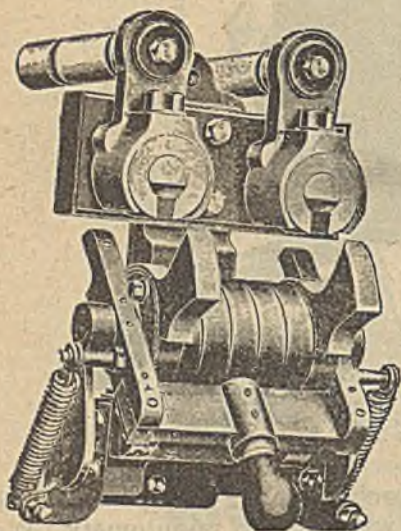
Rys. 257.

też wyłączniki urządzone do uruchamiania z odległości. Także wyłączniki olejowe mogą być wyposażone w automaty. Wobec tego, że wszystkie prądy wysokiego napięcia są niebezpieczne dla życia, a z zewnątrz nie można dojrzeć, czy wyłącznik olejowy jest faktycznie otwarty, przed każdym wyłącznikiem olejowym znajduje się odłącznik, za pomocą którego można niezawodnie pozbawić przewód prądu.

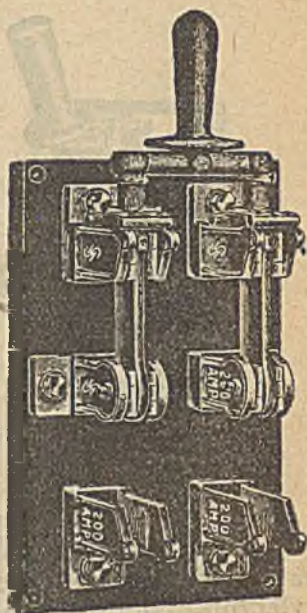
Do zmiany połączeń służą przełączniki, budowane jako przyrządy drążkowe (rys. 259) i puszkowe (rys. 254). Za pomocą przełącznika drążkowego, którego schemat podaje rys. 260, można załączać kolejno lampy 1, 2 lub 3, albo wszystkie wyłączać. Przełącznik z rys. 261 zezwala na załączanie lamp 1, 1 oraz 2, 1 oraz 3, tudzież na wyłączenie wszystkich trzech. Za pomocą przełącznika puszkowego („pokrętne”) można — zależnie od jego budowy — wykonywać najrozmaitsze połączenia. Załączanie odbiorników przenośnych odbywa się za pomocą gniazdek i wtyczek.

Automaty nadmiarowe są dość kosztowne. Dlatego nie można ich wbudowywać wszędzie tam, gdzie przewód się odgałęzia i gdzie zaczyna się przewód o mniejszym przekroju, a więc w miejscu, które powinno być zabezpieczone przed

nadmiernym nagrzewaniem się. Do ochrony takich miejsc służą bezpieczniki, które przepalają się w razie wzrostu

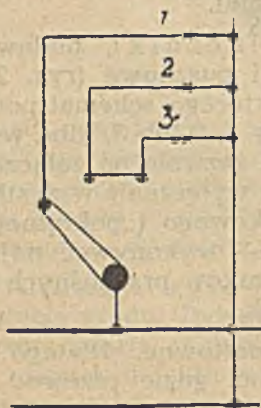


Rys. 258.

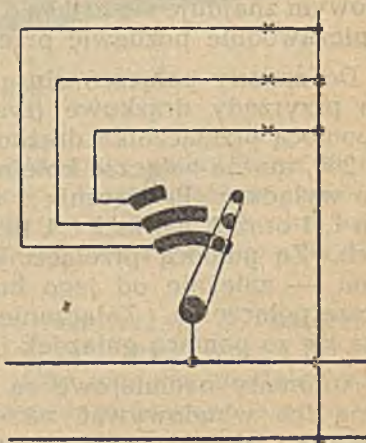


Rys. 259.

natężenia prądu o około 25 % ponad normę i w ten sposób obwód przerywają.



Rys. 260.



Rys. 261.

Istnieją bezpieczniki jednobiegunowe, dwubiegunowe i trójbiegunowe (te ostatnie przeznaczone do urządzeń prądu trójfazowego).

W urządzeniach, które są pod stałym nadzorem stosujemy bezpieczniki drutowe lub paskowe, umieszczone między dwoma zaciskami na materiale izolacyjnym (rys. 262, 263). Bezpieczniki takie są zazwyczaj umieszczone w skrzynkach ochronnych. Bezpieczniki wysokiego napięcia są z reguły umieszczone w rurkach porcelanowych lub szklanych (rys. 264, 265) albo w oleju (bezpieczniki olejowe).

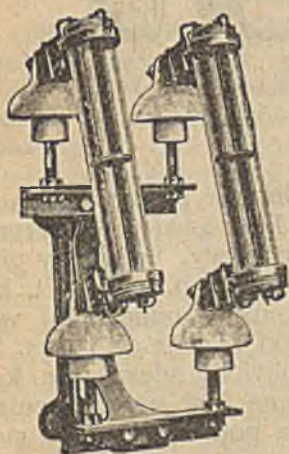
W urządzeniach trójprzewodowych prądu stałego nie wolno zabezpieczać przewodu zerowego, gdyż w razie przepalenia się zabezpieczenia tego właśnie przewodu dołączone doń odbiorniki otrzymywałyby nadmiernie wysokie napięcie.

W sieci rozdzielczej niskiego napięcia bezpieczniki są montowane na słupach, np. w sposób podany na rys. 266. In-

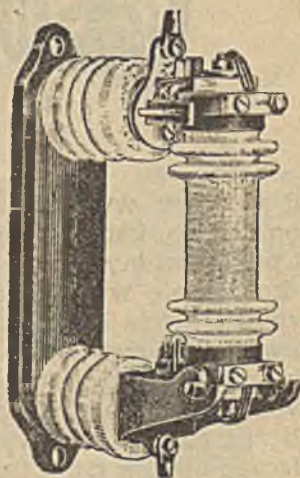


Rys. 262.

Rys. 263.



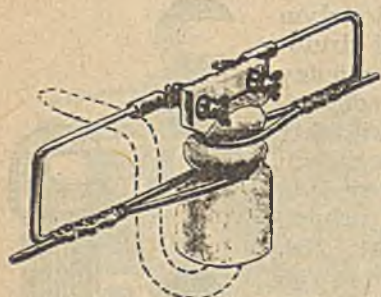
Rys. 264.



Rys. 265.

stalacje domowe i w ogóle słabsze odgałęzienia są zabezpieczane tzw. bezpiecznikami korkowymi (rys. 267). Na każdym

takim bezpieczniku jest podane napięcie i natężenie prądu, przy jakim przepalają się. Budowa korków uniemożliwia uży-



Rys. 266.

wanie bezpieczników zbyt silnych. W instalacjach domowych bezpieczniki są skupione na tabliczce rozdzielczej (rys. 268) albo w skrzynce ochronnej. Jeżeli instalacja domowa jest zasilana z sieci dwuprzewodowej, wówczas prąd dopływa przewodami (kablami) do tzw. złącza domowego, czyli tablicy lub skrzynki zawierającej bezpieczniki „główne” (przez wyjęcie tych bezpieczników można wyłączyć prąd w całym

budynku). Gdy elektrownia rozprowadza prąd kablami, złącze znajduje się z reguły w piwnicy. Od złącza wybiega tzw. prze-



Rys. 267.

wód pionowy wykonany z przewodników płaszczowych albo chroniony rurkami izolacyjnymi. Dla każdej kondygnacji jest przeznaczony osobny przewód pionowy. Przewody pionowe kończą się w puszkach odgałęźnych (np. rys. 247), które zawierają także bezpieczniki. Od puszki odgałęźnej wiodą przewodniki przez licznik do tabliczki rozdzielczej (rys. 268), do której są załączone poszczególne obwody mieszkania; każdy obwód posiada bezpiecznik (wskazane jest umieszczenie na tabliczce rozdzielczej wyłącznika, za pomocą którego można wyłączać prąd w całej instalacji domowej).

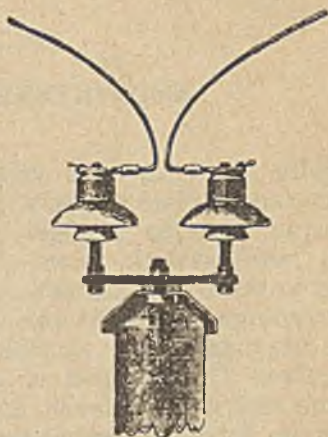
Gdy sieć zasilająca prądu stałego jest trójprzewodowa, do złącza mogą prowadzić także trzy przewody, w tym jednak przypadku bezpieczniki główne mogą być wykonane tylko dwubiegunowo (przewód zerowy nie otrzymuje bezpiec-

nika). Bezpieczniki trójbiegunowe wchodzi w rachubę tylko przy prądzie trójfazowym.

Do ochrony przewodów napowietrznych przed wyładowaniami elektryczności atmosferycznej służą odgromniki, budowane z reguły w kształcie różków (odgromniki różkowe, rys. 269). Jeden różek jest połączony z przewodem,



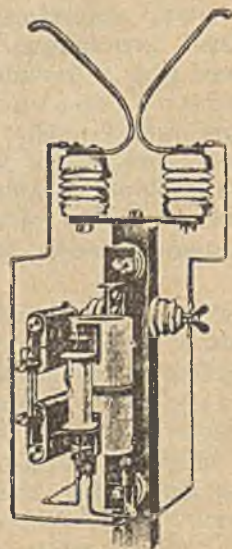
Rys. 268.



Rys. 269.

drugi jest uziemiony za pomocą drutu. Piorun uderzający w przewód przeskakuje przestrzeń między różkami i sływa do ziemi; ogrzane powietrze pędzi płomień w górę, dopóki on się nie przerwie. Istnieją też różnego rodzaju zestawienia odgromników różkowych z bezpiecznikami i przekąźnikami (rys. 270).

Do ochrony maszyn przed wyładowaniami atmosferycznymi służą dławiki (cewki indukcyjne), umieszczone na końcach przewodu (wyładowanie takie jest prądem zmiennym o bardzo wielkiej częstotliwości i dlatego samoindukcja dławika stanowi dla niego zaporę nie do przebycia). Urządzenia wysokiego napięcia muszą być prócz tego wyposażone w bezpieczniki przepięciowe chroniące przed skutkami nadmiernego wzrostu napięcia.



Rys. 270.

ROZDZIAŁ XXI

SYGNALIZACJA ELEKTRYCZNA

Sygnalizacja elektryczna polega na tym, że w odległym punkcie wytwarzamy na drodze elektrycznej sygnał celem przywołania kogoś, zwrócenia uwagi, że chcemy wejść do środka, ostrzeżenia, że ktoś niepowołany otwiera drzwi, przywołania straży pożarnej, skontrolowania stanu wody w zbiorniku itp. Sygnał może być akustyczny (dzwonki, syreny) albo optyczny (klapki, żarówki). Urządzenie sygnalizacyjne składa się z przyrządów stykowych do zamykania i otwierania obwodu, przyrządów sygnałowych akustycznych lub optycznych, źródła prądu (ogniwa galwaniczne bądź też prąd pobierany z sieci) oraz z przewodów łączących przyrządy stykowe, sygnałowe i źródło prądu.

Do wywołania sygnału konieczne jest zamknięcie obwodu, tak ażeby prąd mógł uruchomić urządzenie sygnałowe. Jeżeli sygnał odzywa się wtedy, gdy zamykamy obwód, tj. gdy zmuszamy prąd do pracy, do roboty, mówimy o **prądzie roboczym**: ten prąd roboczy pracuje dopóty tylko, dopóki jego obwód jest zamknięty. Można też urządzić się inaczej, mianowicie przez cały obwód urządzenia przesyłać ciągle prąd, który jednak nie uruchamia sygnału, a dopiero celem uruchomienia sygnału musimy ten prąd przerwać (wtedy mówimy o **prądzie ciągłym**).

W jednym i drugim przypadku potrzebne są do zamykania i otwierania obwodu tzw. **przyciski**, wyrabiane w najrozmaitszych odmianach w kształcie puszek, prętów, guzików itp. Najbardziej rozpowszechniony jest przycisk guzikowy. Przedstawia go rys. 271 (widok z góry oraz widok z boku). Na płytce A są osadzone dwie sprężyny mosiężne f , f_1 , których wolne końce znajdują się w małej odległości ponad sobą. Drugie końce sprężyn są przytrzymywane przez śrubki zaciskowe a , b , do których dołączamy przewody prowadzące do źródła prądu i do przyrządu sygnałowego. Obwód

jest zatem zamknięty, gdy końce obydwu sprężyn stykają się z sobą, a stykają się wtedy, gdy naciskamy guzik C. Płytkę A posiada dwa otworki c, d, przez które przechodzą śrubki, za pomocą których można cały przycisk przymocować np. do drzwi. Całość jest osłonięta przykrywką (linia wykreskowana na dolnym rysunku), która służy równocześnie za prowadnicę dla guzika C.



A
Rys. 271.

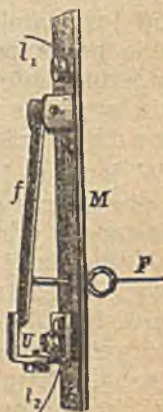
Przyciski ruchome, przeznaczone np. do zawieszania nad stołami, łózkami itp., mają urządzenie stykowe umieszczone w osłonie w kształcie gruszki (rys. 272), gałki (rys. 273) itp. Osobne przyciski są przeznaczone do osadzania w podłogach, ścianach, na ramach okiennych, na drzwiach. Istnieją też różnego rodzaju przyciski działające tylko podczas otwierania drzwi, dotknięcia pewnego przedmiotu, przerwania nitki itd. Przycisk nitkowy zabezpiecza drzwi i okna przed włamaniem w ten sposób, że w chwili otwierania okna lub drzwi odgina się albo przerywa się nitka i dzięki temu odzywa się sygnał. Jeden z takich przycisków przedstawia rys. 274. Na mosiężnej



Rys. 272.



Rys. 273.

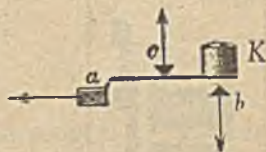


Rys. 274.

szynie M jest osadzona sprężyna f , której dolny koniec znajduje się między dwoma stykami U. Na dolnej części sprężyny f jest osadzony pręcik metalowy z uszkiem, do którego jest przymocowana nitka F. Ta nitka jest w normalnym stanie tak naprężona, że sprężyna f nie dotyka żadnego ze styków U. W razie naprężenia lub zerwania nitki F dolny koniec sprężyny f styka się z jednym ze styków U i tym samym zamyka obwód. Przewodniki wiodące do źródła prądu i do przyrządu sygnałowego załączamy do zacisków 1_1 i 1_2 .

Przyciski przeznaczone na prąd ciągły mają o jeden zacisk więcej niż przyciski prądu roboczego. Przyczyna jest ta, że urządzenie na prąd ciągły znajduje się stale pod prądem, a w momencie przerywania tego obwodu dodatkowy zacisk załącza inny obwód, który uruchamia sygnał i pracuje dopóty, dopóki trwa nacisk na urządzenie stykowe przycisku. Na przykład przycisk nitkowy z rys. 274 posiada w tym przypadku zamiast sprężyny f dwie izolowane od siebie sprężyny, z których każda jest połączona z jednym przewodem dosyłowym. Dopóki nitka F jest prawidłowo naprężona, dopóty każda sprężyna dotyka jednego z obydwu styków U i obwód prądu jest zamknięty. Gdy jednak nitka F przerywa się albo gdy zmienia się jej naprężenie, sprężyny przerywają obwód i równocześnie zamyka się inny obwód prądu, który powoduje odezwanie się sygnału.

W niektórych układach sygnalizacyjnych spotykamy urządzenia stykowe, podobne do tzw. klucza telegraficznego (rys. 275). Guzik przyciskowy K jest tutaj osadzony na elastycznej dźwigni a , z drugim przewodnikiem jest połączony przy prądzie roboczym styk b , przy prądzie ciągłym — styk c .



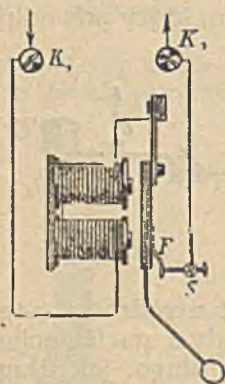
Rys. 275.

Dzwonek elektryczny może być urządzony w ten sposób, że daje jeden krótki sygnał za każdym naciśnięciem guzika przyciskowego, albo że pracuje tak długo, jak długo trwa ten nacisk. Najczęściej spotykamy to drugie rozwiązanie. Dzwonek taki, urządzony na prąd r o b o c z y, pracuje w myśl rys. 276 (czasza dzwonka nie jest narysowana). Prąd dopływa z baterii do zacisku K_1 , skąd przedostaje się do uzwojenia elektromagnesu. Naprzeciw elektromagnesu znajduje się zawieszony elastycznie na sprężynie twornik, będący równocześnie młoteczką dzwonka. Gdy prąd dopływa do elektromagnesu, ten przyciąga do siebie młoteczek, który tym samym oddala się

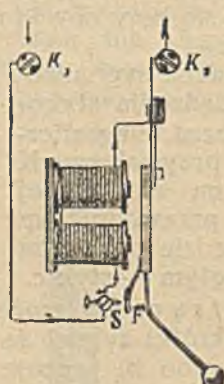
od śrubki stykowej S i uderza o czasę dzwonka. Wskutek oddalenia się młoteczka od śruby S przerywa się obwód prądu, młoteczek oddala się od elektromagnesu i powraca do styku S, po czym gra rozpoczyna się na nowo. Przez przestawianie śrubki S można zmieniać szybkość ruchów młoteczka.

Dzwonków takich, zwanych dzwonekami grzechotnymi, nie można łączyć szeregowo, ponieważ ich tworniki (młoteczki) nie drgają równomiernie i musiałyby sobie nawzajem przeszkadzać. Do szeregowego łączenia większej ilości dzwoneków są przeznaczone dzwoneki boczniowe. Dzwonek taki widzimy na rys. 277. Gdy prąd jest załączony, elektromagnes przyciąga do siebie młoteczek, a sprężyna F styka się ze śrubką S. Teraz uzwojenie elektromagnesu jest zwarte i nie wiedzie prądu (ponieważ cały prąd płynie przez młoteczek), młoteczek odskakuje z powrotem, zwarcie znika, prąd płynie znowu przez uzwojenie. Za każdym przyciągnięciem przez magnes młoteczek uderza o czasę dzwonka.

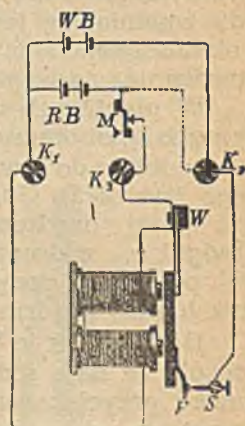
Dzwonek na prąd ciągły różni się od wyżej opisanych dzwoneków tym, że posiada trzeci zacisk K_3 połączony z dzwonekiem w punkcie W (rys. 278). Bateria prądu ciągłego RB jest załączona między K_1 i K_3 i dosyła do odwrotu prąd



Rys. 276.



Rys. 277.



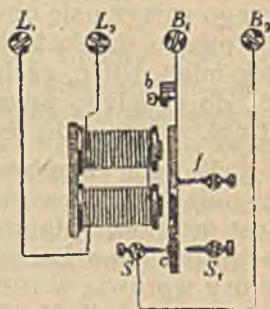
Rys. 278.

„ciągły“, pod wpływem którego elektromagnes przyciąga do siebie młoteczek F. Z chwilą przzerwania tego prądu młoteczek odskakuje od śruby stykowej S, a dzwonek pracuje jak zwykajny dzwonek grzechotny, otrzymując teraz prąd od drugiej baterii „roboczej” WB, która jest załączona między zaciski K_1

i K_2 . Do tego celu można też wykorzystać baterię prądu ciągłego RB, jeżeli jeden biegun zostanie połączony z zaciskiem K_2 . Gdy ustaje nacisk na guzik stykowy przycisku, młoteczek zostaje przyciągnięty przez elektromagnes (teraz pracuje bateria prądu ciągłego) i dzwonek przestaje działać.

Jeżeli do jednego przewodu jest załączonych więcej dzwonek, które wymagałyby ustawienia wielkiej baterii galwanicznej, można zastosować *przełącznik* w połączeniu z mniejszą baterią. Przełącznik, reagujący na słabe prądy, zamyka obwód baterii „miejscowej”, która wprawia w ruch przynależny dzwonek. Przełącznik może być urządzony na prąd roboczy albo na prąd ciągły: w pierwszym przypadku pracuje po zamknięciu, w drugim po przerwaniu obwodu.

Budowę przełącznika na prąd roboczy objaśnia rys. 279. Do zacisków L_1 i L_2 , które są połączone z końcami uzwojenia elektromagnesu, są załączone przewodniki wiodące do przycisku. Do zacisków B_1 i B_2 jest załączona bateria miejscowa wraz z dzwonkiem. Zacisk B_1 jest połączony z młoteczkiem (twornikiem), który jest osadzony elastycznie na sprężynie. Do zacisku B_2 jest załączony styk S , przed śrubą S znajduje się styk c umieszczony na końcu twornika. Gdy przez uzwojenie elektromagnesu płynie prąd, twornik zostaje przyciągnięty, a styk c przylega do śruby S . Teraz obwód baterii miejscowej jest zamknięty i dzwonek pracuje. Z chwilą przerwania prądu twornik odskakuje od magnesu pod wpływem sprężyny f oraz otwiera wskutek tego obwód miejscowy. Przełącznik prądu ciągłego jest zbudowany podobnie, tylko zacisk B_2 jest połączony ze śrubą S_1 , a styk c znajduje się po stronie zwróconej do S_1 . Bateria miejscowa jest zatem przerywana, dopóki twornik jest przyciągnięty pod wpływem baterii „liniowej” (ustawionej obok przycisku), a dzwonek zaczyna pracować wtedy, gdy prąd liniowy jest przerywany i styk c leży na śrubie S_1 .



Rys. 279.

Jeżeli mają być uruchamiane niezależnie od siebie dwa dzwonki, załączone do jednego i tego samego przewodu, stosujemy *przełącznik spolaryzowany*, który działa tylko wtedy, gdy prąd ma pewien określony kierunek. Jest on urzą-

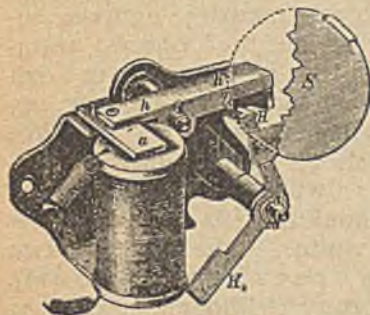
dzony jak zwyczajny przekaźnik, tylko rdzeń elektromagnesu i twornik są magnesowane stale przez trwałe magnesy stalowe, tak że istnieje początkowo przyciąganie. Przekaznik taki może pracować „na przyciąganie” albo „na odpychanie”, co znaczy, że może zamykać obwód prądu miejscowego przy przyciąganiu twornika, albo przy jego odrywaniu się od elektromagnesu. W pierwszym przypadku sprężyna f jest tak ustawiona, że twornik w stanie spoczynku leży na izolowanej śrubie stykowej S_1 i zostaje przyciągnięty dopiero wtedy, gdy elektromagnes wzmacnia się pod wpływem prądu posiadającego odpowiedni kierunek; twornik styka się wtedy ze stykiem S i zamyka obwód miejscowy, gdy tymczasem prąd o przeciwnym kierunku nie porusza twornika. Gdy przekaznik pracuje „na odpychanie”, twornik w stanie spoczynku jest przyciągnięty i nie zmienia tego położenia, nawet gdy elektromagnes wzmacnia się pod wpływem prądu; dopiero gdy przeciwnie skierowany prąd zmniejsza lub znosi przyciąganie, twornik odrywa się pod wpływem sprężyny f i styka się ze stykiem S_1 , wskutek czego zamyka się obwód prądu miejscowego. Jeżeli dwa spolaryzowane przekaźniki połączymy szeregowo lub równolegle, tak mianowicie, ażeby prąd dopływał do jednego przez zacisk L_1 , do drugiego przez zacisk L_2 , wówczas pracuje jeden albo drugi, zależnie od tego, jaki kierunek ma prąd.

W tych urządzeniach, gdzie jeden dzwonek ma być uruchamiany z kilku różnych miejsc (np. w hotelach), konieczna jest możliwość ustalania, skąd sygnał pochodzi. Oprócz wspólnego dzwonka każdy przewód posiada osobny elektromagnes, który wprawia w ruch tzw. *zapadkę*, zwaną też „*klapką*”, większą zaś ilość klapek skupia tzw. *numerator*. Przewodniki biegną przez przynależne elektromagnesy klapek do wspólnego przewodu odsyłowego, do którego jest załączony dzwonek bądź przekaznik oraz bateria.

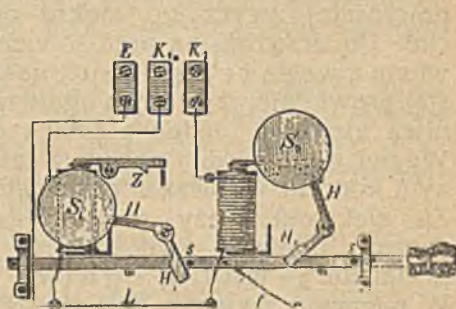
Budowa klapek może być rozmaita. Przykład widzimy na rys. 280, rys. 281, rys. 282: twornik a elektromagnesu jest osadzony na ramieniu dźwigni h , której drugie ramie jest tak obliczone, że dzięki swojemu ciężarowi podtrzymuje twornik w pewnym oddaleniu od bieguna elektromagnesu. Równocześnie ząb Z przytrzymuje górne ramie H dźwigni HH_1 , w położeniu poziomym, podczas gdy dolne ramie H , stara się wskutek swego ciężaru opaść w dół; na górnym ramieniu jest osadzona klapka papierowa lub blaszana. W chwili przyciągnięcia twornika ząb Z zwalnia dźwignię HH_1 , która obraca się około 90° w lewo, tak że klapka leży przed elektromagnesem. W tej po-

zycji klapka jest widoczna przez okienko szklane, a umieszczony na niej napis wskazuje, z którego punktu pochodzi sygnał.

Większa ilość kłapek jest skupiona w numeratorze (w skrzynce), która posiada odpowiednią ilość okienek oraz urzą-

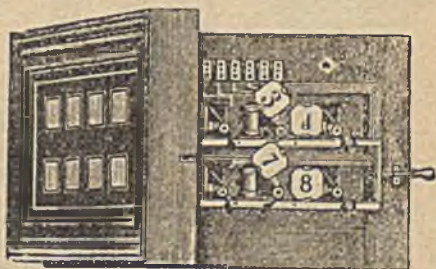


Rys. 280.



Rys. 281.

dzenie do podnoszenia tych kłapek, które opadły. Rys. 281 przedstawia budowę numeratora z dwiema kłapkami S_1 i S_2 (z których S_1 opadła w dół). Początek uzwojenia każdego elektromagnesu jest połączony ze śrubą zaciskową K_1 bądź K_2 , a końce wiodą przez wspólny przewodnik L do zacisku E i stąd do baterii i do wspólnego dzwonka. Pręt miedziany m , przesuwalny w dwóch prowadnicach, posiada pręciki s znajdujące się obok ramienia H klapki opadniętej. Za przesunięciem pręta m w lewo opadnięta dźwignia HH_1 powraca pod wpływem pręcika s do swojego pierwotnego położenia, górne ramię zazębia się znowu z zębem Z i pozostaje w tym położeniu. Pręt m powraca do dawnego położenia pod wpływem sprężyny f . Na rys. 282 widzimy otwarty numerator z ośmioma kłapkami, które są umieszczone w dwóch szeregach ponad sobą. Obydwie klapki 4 i 8 są opadnięte i widać je przez okienka po prawej stronie, gdy tymczasem inne klapki są zakryte. Są też numeratory zbudowane w ten sposób, że



Rys. 282.

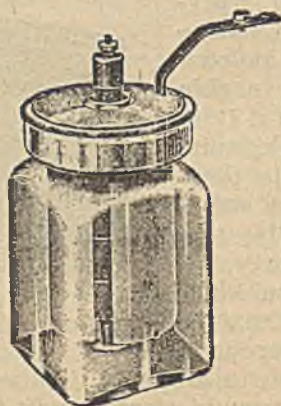
klapki można podnosić na drodze elektrycznej, albo że klapka po opadnięciu zamyka styk i powoduje odezwanie się sygnału akustycznego lub optycznego w innym pomieszczeniu.

Jako źródła prądu dla urządzeń dzwonekowych wchodzi w rachubę przede wszystkim baterie galwaniczne, a najczęściej zwyczajne, mokre ogniwa, rzadziej ogniwa suche. Do urządzeń na prąd roboczy można brać ogniwa zestawione z węgla i cynku, oparte zasadniczo na pierwotnym i dzisiaj prawie nie używanym ogniwie Leclanché'go (są to tzw. ogniwa niestałe). Jedno z takich ogniw widzimy na rys. 283. Węgiel sięga do dna naczynia szklanego i jest zanurzony dolnym końcem w mieszaninie węgla i dwutlenku manganowego. Za elektrolit służy roztwór salmiaku. Siła elektromotoryczna ogniwa wynosi 1,46 wolta. Odmianą ogniwa Leclanché'go jest tzw. ogniwo woreczkowe (rys. 284). W naczyniu szklanym jest umieszczony cylinder cynkowy, w środku znajduje się węgiel, otoczony masą złożoną z węgla i dwutlenku manganowego oraz owinięty woreczkiem. Naczynie jest napełnione roztworem salmiaku. Siła elektromotoryczna wynosi 1,6 wolta. Ogniwo suche różni się od innych ogniw typu Leclanché'go tym, że jego elektrolit jest zrobiony w porowatą masę (np. z mąką) albo w gęstą papkę. Nazwa „ogniwo suche” nie jest ściśła, gdyż ogniwo naprawdę „suchych” w ogóle nie ma.

Do urządzeń na prąd ciągły można brać tylko ogniwa zestawione z cynku i miedzi, czyli tzw. ogniwa stałe, które pracują bardziej równomiernie. Z ogniw tego typu wielkim



Rys. 283.



Rys. 284.



Rys. 285.

wzięciem cieszą się ogniwa Meidingera, zwane też ogniwami balonowymi (z uwagi na kształt). Ogniwo takie (rys. 285) ma siłę elektromotoryczną 0,95 wolta. Podobny skład ma ogniwo Meidingera „otwarte”, zwane też ogniwem Krügera (rys. 286), tudzież ogniwo Grove'a i ogniwo Bunsena. Wielkość baterii galwanicznej powinna być dobrana odpowiednio do ilości i rodzaju dzwonek, przy czym musi być uwzględniony opór dzwonek oraz pobór prądu.

Tam, gdzie ostry głos dzwonka nie jest pożądany, stosujemy brzęczyki, czyli przerywacze, w których twornik drga tak szybko, że działając na elastyczną przeponę wydaje jednostajne brzęczenie albo — zależnie od szczegółów konstrukcyjnych — czysty, łagodny ton.

Dzwonek na prąd zmienny (np. prąd dostarczany przez induktor korbkowy albo przez sieć prądu zmiennego za pośrednictwem małego transformatora, zwanego reduktorem) pracuje w myśl rysunku 287.

Widzimy tutaj magnes stalowy N—S w postaci podkowy o krótkich pieńkach. Na dolnym pieńku, czyli na biegunie południowym S znajduje się mały elektromagnes, na drugim pieńku (biegunie północnym N) jest zawieszony twornik *a*. Ten twornik ma pod wpływem bieguna N w obydwu końcach magnetyzm północny, gdy tymczasem górne końce rdzeni elektromagnesu mają magnetyzm południowy. Gdy prąd płynie przez uzwojenie, magnetyzm południowy jednego pieńka słabnie, drugiego wzrasta i twornik *a* przechyla się ku niemu. Gdy przez



Rys. 286.



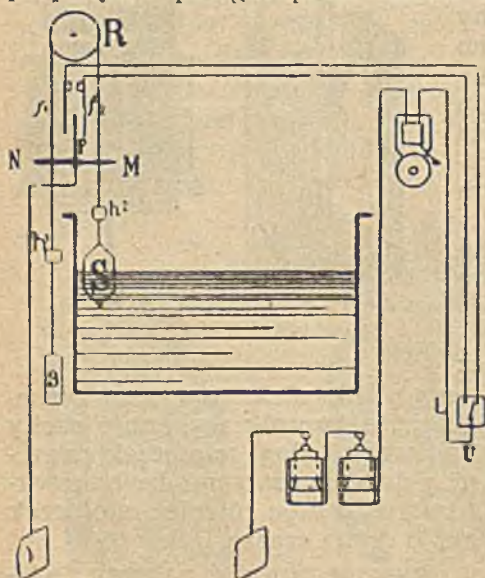
Rys. 287.

uzwojenie płynie prąd zmienny, pieńki elektromagnesu wzmacniają się na zmianę i osłabiają, a twornik wykonuje ruchy drgające. Z twornikiem jest połączony długi młoteczek zakończony kulką, która leży między dwiema czaszami dzwonekowymi. Odpowiednio do drgań twornika drga również młoteczek i uderza raz o jedną, drugi raz o drugą czaszę.

Dzwonki elektryczne są używane również w sygnalizacji pożarowej. Straż pożarna spełnia tym lepiej swo-

je zadanie, im prędzej może zjawić się na miejscu pożaru i im prędzej dowiaduje się, gdzie pożar wybuchł. W mniejszych osiedlach służy do tego urządzenie składające się z dzwonka alarmowego umieszczonego w strażnicy oraz z szeregu przycisków rozmieszczonych w różnych punktach miasta i dostępnych dla każdego przechodnia. W większych miejscowościach dzwonki już nie wystarczają, gdyż tutaj chodzi o dokładne wskazanie miejsca pożaru oraz o udzielenie straży bliższych informacji. W takich przypadkach są zainstalowane w różnych punktach miasta telefony i telegrafy: telegraf podaje do strażnicy automatycznie znaki, a ze znaków tych można się zorientować, z jakiego punktu pochodzi alarm, telefonem zaś można porozumieć się ze strażnicą ustnie.

Za pomocą opisanych wyżej urządzeń można alarmować straż pożarną dopiero wtedy, gdy pożar wybuchł. Jeżeli nikt pożaru nie zauważy, instalacja nie spełnia zadania. Dlatego w takich miejscach, które wymagają szczególnej ochrony, np. w teatrach, magazynach, fabrykach itp. umieszczamy automaty, które alarmują już wtedy, gdy temperatura najbliższego otoczenia podnosi się powyżej pewnej normy, a więc działają przed albo w chwili wybuchu pożaru. Działanie tych przyrządów polega np. na rozszerzaniu się metalu pod wpływem ciepła. Pręcik metalowy lub blaszka, wydłużając się wskutek nagrzania, zamyka obwód prądu i w ten sposób powoduje odezwanie się dzwonka w strażnicy. Automat może być urządzony również w ten sposób, że zaczyna działać wtedy, gdy temperatura otoczenia wzrasta szybciej, niż odpowiadałoby to warunkom normalnym.

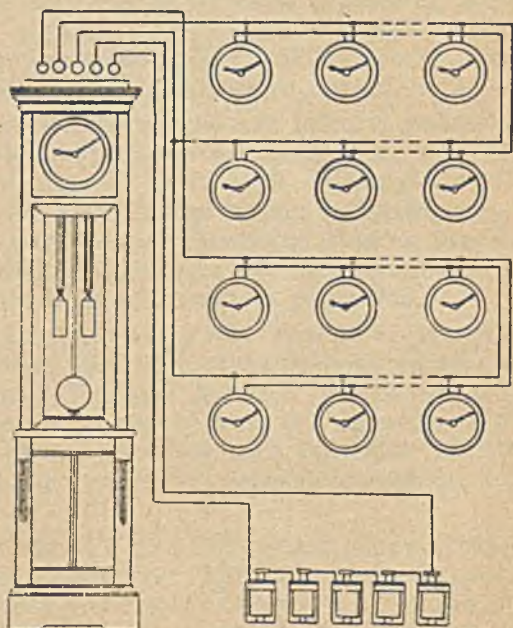


Rys. 288.

Dzwonki elektryczne można wykorzystać do rozmaitych celów, np. do kontrolowania rozpoczęcia i zakończenia

pewnej pracy, do kontrolowania poziomu wody itd. Schemat prostego urządzenia do wskazywania poziomu wody widzimy na rys. 288. Pływak S wisi na łańcuchu, który przesuwają się po krążku R i jest obciążony przeciwwagą g . Na łańcuchu są umieszczone w odpowiednich odstępach nad pływakiem i nad przeciwwagą tulejki h_1 i h_2 . Gdy zwierciadło wody w zbiorniku przybrało poziom najwyższy, tulejka h_2 opiera się o prawe ramię ruchomej dźwigni M—N, podnosi je i przyciska ramię p do sprężyny stykowej f_1 . Teraz obwód prądu zostaje zamknięty i odzywa się dzwonek (przewodem odsyłowym jest w tym przypadku ziemia). Maszynista zatrzymuje pompę i przez przełożenie przełącznika U na styk L przerywa obwód prądu. Tym samym urządzenie jest przygotowane do sygnalizowania najniższego stanu wody. Gdy zwierciadło wody osiąga poziom najniższy, tulejka h_1 podnosi ramię N i naciska p do sprężyny stykowej f_2 , tak że dzwonek odzywa się ponownie.

Bardzo ważnym działem sygnalizacji elektrycznej jest sygnalizacja kolejowa (telegrafy, telefony, dzwonki, sygnały blokowe, blokowanie stacji, przestawianie zwrotnic, samoczynne zatrzymywanie pociągów itp.). Z rozlicznych działań sygnalizacji elektrycznej należy jeszcze wymienić zegary elektryczne. W zegarach takich prąd stanowi bezpośrednią siłę napędową albo służy tylko do regulowania chodu. Siłę napędową prądu wykorzystujemy w elektrycznych zegarach wahadłowych: skutek drgań wahadła załączają się chwilowo prądy elektryczne i przez elektromagnetyczne przyciąganie lub odpychanie wzma-



Rys. 289.

cniają ruchy wahadła o tyle, ile wymagają tego straty spowodowane tarciem, oporem powietrza itp. Inne znów zegary elektryczne nie mają własnego mechanizmu zegarowego, a ich wskazówki poruszają się pod wpływem uderzeń prądu wysyłanych periodycznie przez zegar główny (rys. 289). Zegar główny, mechaniczny lub elektryczny, przesyła w odstępach np. co 1 minutę impulsy do zegarów „wtórnych”, których wskazówki przesuwiają się skokami pod wpływem tych impulsów.

ROZDZIAŁ XXII

TELEGRAFY

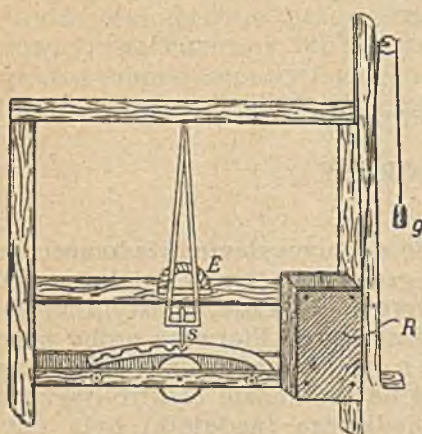
Telegraf jest to urządzenie do przesyłania wiadomości na odległość. Nazwa pochodzi z greckiego: tele = daleko, w dal, grafein = pisać. Istnieją telegrafy optyczne, akustyczne, elektryczne, pneumatyczne i hydrauliczne. Pierwsze próby stworzenia telegrafu elektrycznego pochodzą z r. 1808 (Sommering). Ten telegraf polegał na rozkładzie elektrolitycznym zakwaszonej wody. Stacja nadawcza (nadajnik) była połączona ze stacją odbiorczą (odbiornikiem) 35 drutami; każdy drut odpowiadał literze bądź cyfrze. W razie przesłania prądu przez jeden z drutów występowały w ogniwie rozkładczym odbiornika w przynależnym miejscu banieczki gazowe i w ten sposób można było stwierdzać, o jaką literę chodzi.

W roku 1833 Gauss i Weber zbudowali telegraf wskazówkowy, którego działanie polegało na odchyleniu się igły magnesowej; ich śladami poszedł w r. 1840 Wheatstone. Te wszystkie urządzenia miały tę słabą stronę, że pracowały z małą szybkością i nie pozostawiały trwałych śladów przesłanych wiadomości. W razie przeoczenia lub fałszywego odczytania jakiegoś znaku nie było już mowy o poprawce.

Niedogodności te usunął telegraf elektromagnetyczny, wynaleziony w roku 1832 przez malarza amerykańskiego Samuela Morse'a. Telegraf Morse'a, zastosowany po raz pierwszy praktycznie w Ameryce w r. 1837, pracuje w ten sposób, że krócej lub dłużej trwający ruch twornika elektromagnesu służy do robienia znaków na przesuwającym się pasku papierowym.

Pierwotny telegraf Morse'a (rys. 290) wcale nie jest podobny do telegrafu współczesnego (rys. 299), ale zasada działania jest ta sama. Morse zmontował swój telegraf na stojaku malarzkim (rys. 290). Przed elektromagnesem E wisi trójkątna rama drewniana zaopatrzona w twornik, który, przyciągany przez elektromagnes, zmusza ryłec s do wykonywania ruchów

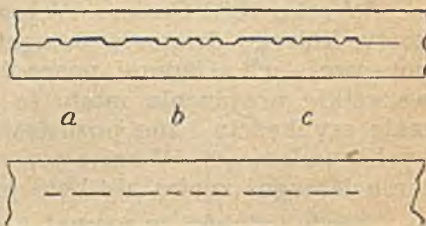
na przesuwającym się u dołu pasku papierowym. W stanie spoczynku rylec robi na pasku papierowym kreskę. Wskutek



Rys. 290.

przyciągnięcia twornika przez elektromagnes rylec odchyła się, a to odchylenie trwa krócej lub dłużej, zależnie od tego, przez jak długi czas jest przyciągnięty twornik. Z krótszych i dłuższych odchylen rylca stworzył Morse swój pierwszy alfabet telegraficzny, którego przykład widzimy na rys. 291 u góry. Do przesuwania paska papierowego służył mechanizm R poruszany ciężarkiem g. Morse ulepszył później swój wynalazek w ten sposób, że

rylec nie stykał się stale z papierem, lecz dotykał go tylko wtedy, gdy twornik był przyciągnięty; dzięki temu znaki alfabetu nie były już z sobą połączone, lecz oddzielone przerwami, a alfabet składał się z kombinacji krótszych i dłuższych znaków, czyli „kropek” i „kresek” (rys. 291 u dołu).

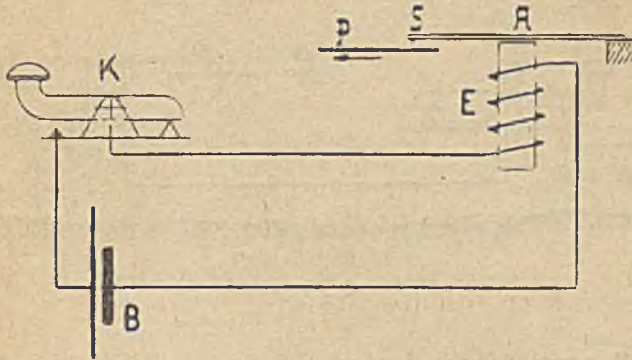


Rys. 291.

Telegraf Morse'a pracuje właściwie podobnie jak dzwonek elektryczny (rys. 292). Wskutek naciśnięcia tzw. klucza K na jednej stacji zamyka się obwód baterii B, a na drugiej stacji elektromagnes E przyciąga twornik A, ten zaś naciska rylec S do przesuwającej się taśmy papierowej P (do przesuwania taśmy służy mechanizm zegarowy). Zależnie od tego, czy klucz jest naciśnięty przez czas dłuższy lub krótszy, rylec S robi na papierze znaki krótsze lub dłuższe, z których składa się alfabet.

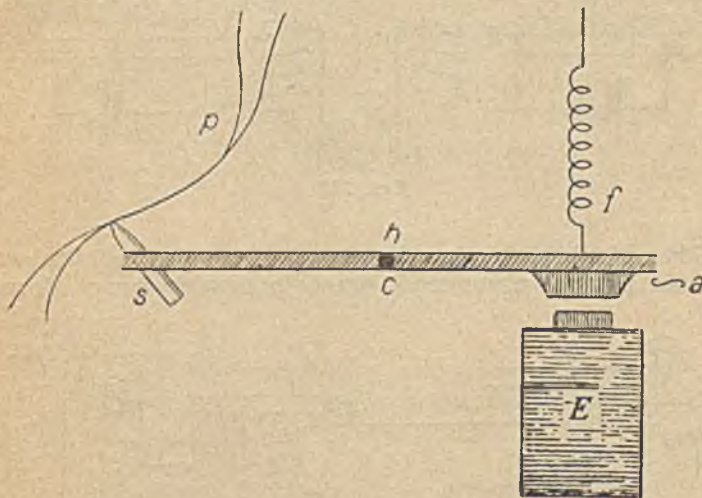
Część elektromagnetyczna aparatu telegraficznego Morse'a pracuje jak pokazano na rys. 293. Dzwignia h, osadzona ruchomo w punkcie c, posiada na prawym końcu twornik a, na

lewym końcu rylec *s*. Gdy prąd płynie przez uzwojenie elektromagnesu *E*, twornik *a* zostaje przyciągnięty w dół, drugi



Rys. 292.

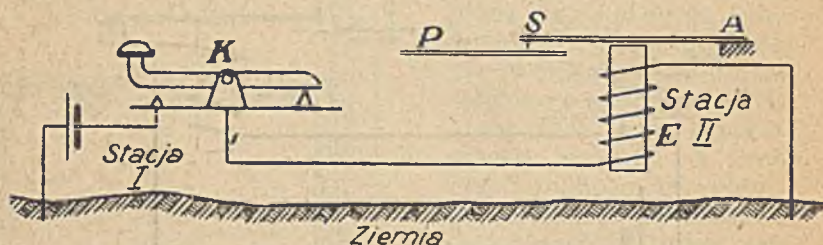
koniec dźwigni porusza się w górę, rylec *s* styka się z papierem *p*. Gdy prąd przestaje płynąć, twornik odskakuje pod wpływem sprężyny *f*, rylec *s* oddala się od papieru.



Rys. 293.

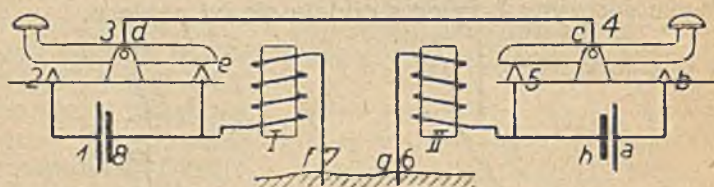
Na rys. 292 stacja nadawcza (klucz) jest połączona ze stacją odbiorczą dwoma przewodami! Jeden z nich można zastąpić ziemią; wtedy od jednej stacji do drugiej wie-

dzie jeden tylko przewód dosyłowy, a rolę przewodu odsyłowego spełnia ziemia. Powstaje wtedy układ naszkicowany na rys. 294.



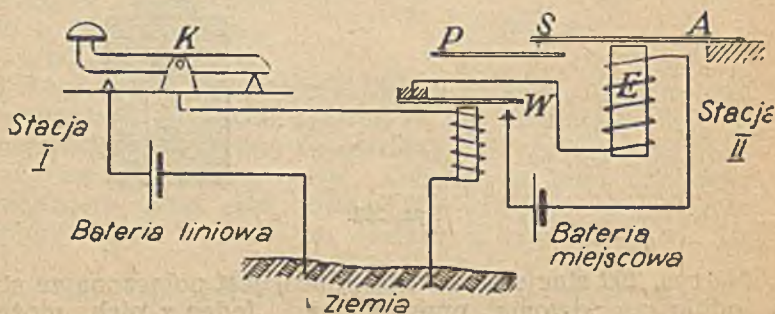
Rys. 294.

Jeśli przewód ma być wykorzystany do telegrafowania w obydwu kierunkach, stosujemy układ z rys. 295. Liczby 1, 2, 3... wskazują drogę prądu przy telegrafowaniu w jedną stronę, litery *a*, *b*, *c*... przy telegrafowaniu w drugą stronę.



Rys. 295.

Gdy odległość między dwiema stacjami jest wielka, wtedy natężenie prądu płynącego przez przewód przy nieznac-

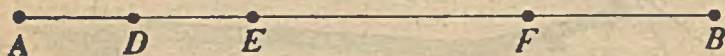


Rys. 296.

nym napięciu ogniów galwanicznych, jest tak małe, że nie wystarcza do uruchomienia rylca. W takim przypadku dopływające do odbiornika słabe impulsy prądu wyzyskujemy do zamykania innego obwodu „miejscowego“, którego źródło znajduje się tuż obok odbiornika i dopiero ten drugi obwód wprawia aparat w ruch. Jest to tzw. układ przekaźnikowy. Schemat takiego układu widzimy na rys. 296. Na stacji II znajduje się bateria miejscowa i aparat Morse'a z rylcem S, poruszającym przez elektromagnes E. W tym obwodzie leży również przekaźnik, złożony z elektromagnesu i twornika W, który spełnia równocześnie rolę wyłącznika. Do przekaźnika dopływa prąd z baterii liniowej. Przekaźnik zamyka obwód baterii miejscowej, której prąd wpływa do elektromagnesu i powoduje przyciągnięcie rylca S.

Według naszkicowanych wyżej układów znak Morse'a powstaje za każdorazowym wzbudzeniem elektromagnesu E, czyli za każdorazowym zamknięciem obwodu. W takim przypadku mówimy o prądzie roboczym (str. 241). Prądu roboczego nie używamy wtedy, gdy do jednego przewodu ma być załączona większa liczba aparatów telegraficznych, wtedy bowiem w każdej stacji musiałaby być ustawiona bateria tak wielka, aby mogła pokonywać opór całego przewodu albo choćby opór odcinka aż do stacji najbardziej oddalonej (w tym przypadku każda stacja musiałaby posiadać przełącznik do odłączania tego odcinka, który ma spoczywać).

Sprawę tę objaśnia rys. 297. Litery A i B oznaczają stacje końcowe, litery D, E, F oznaczają stacje leżące między tymi stacjami końcowymi. Stacje A i B muszą posiadać baterie

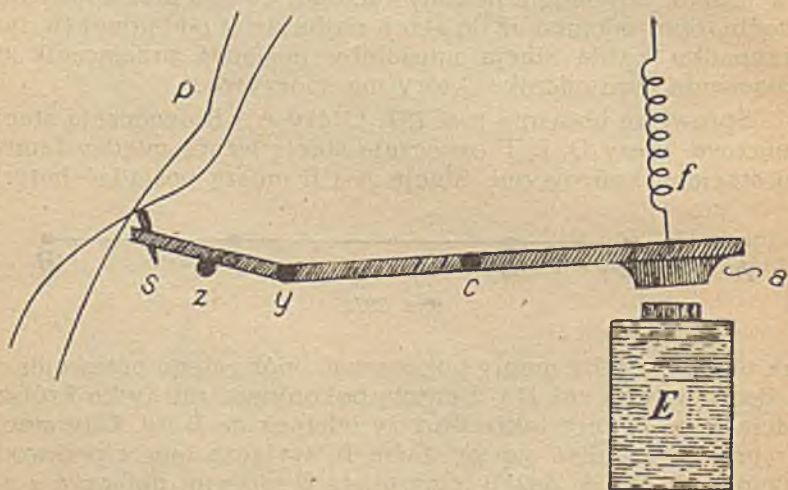


Rys. 297.

tak wielkie, ażeby mogły pokonywać opór całego przewodu od A do B, baterie zaś D i E muszą pokonywać nie tylko krótszy odcinek do A, lecz także dłuższy odcinek do B itd. Gdy stacja E chce porozumieć się ze stacją B, wyłącza ona z przewodu odcinek do D i A. Jeżeli telegrafista E zapomni połączyć z sobą odcinki E A i E B, wtedy A i D nie mogą już porozumiewać się z F i B.

Ażeby tym niedogodnościom zapobiec, wprowadzono dla tzw. ruchu „omnibusowego” urządzenie, dzięki któremu prze-

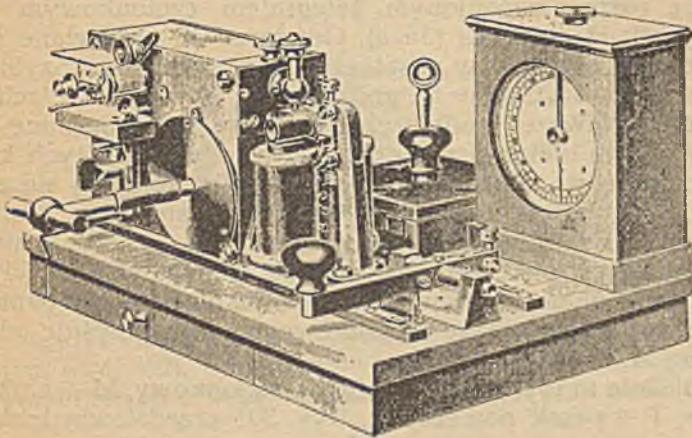
wód znajduje się stale pod prądem; jest to prąd ciągły (str. 241). W tym wypadku wystarczy do zasilania całego przewodu bateria takiej wielkości, jaką przy prądzie roboczym musielibyśmy ustawić w A lub B. Tę baterię dzielimy na części i rozdzielamy na stacje A, B, D, E, F. Tworniki wszystkich aparatów telegraficznych są stale przyciągnięte. Gdy prąd zostaje przzerwany w jakimkolwiek punkcie przewodu, tworniki wszystkich aparatów oddalają się od elektromagnesów pod wpływem sprężyn, o których mówiliśmy uprzednio. Ażeby jednak na papierze mogły mimo to powstawać znaki, dźwignia pisząca musi być tak wykonana, aby w tym momencie, kiedy prawy koniec dźwigni posiadający twornik porusza się w górę, jej drugi koniec posiadający rylce wykonywał ten sam ruch. Uzyskujemy to w ten sposób, że z dwuramienniej dźwigni, używanej przy prądzie roboczym (rys. 293), robimy dwie dźwignie dwuramienne (rys. 298). Gdy twornik *a* porusza się w górę pod wpływem sprężyny *f*, równocześnie porusza się w dół lewy koniec *y* dźwigni, osadzonej ruchomo w punkcie *c*. Tutaj jest osadzona na zawiasie druga dźwignia, która w punkcie *y* porusza się w dół, a jej koniec, na którym jest osadzony rylce *s*, porusza się w górę.



Rys. 298.

Kompletna stacja nadawczo-odbiorcza telegrafu Morse'a (rys. 299) zawiera następujące części:

- a) klucz jako nadajnik (na rys. 299 na przodzie),
 b) aparat piszący jako odbiornik (rękojeść po lewej stronie służy do naciągania sprężyny przesuwającej papier),



Rys. 299.

c) galwanometr, który wskazuje obecność prądu (na rysunku po prawej stronie),

d) odgromnik celem ochrony przed wyładowaniami atmosferycznymi,

e) przełącznik celem zmiany drogi prądu,

f) przekaźnik jako samodzielny klucz do zamykania obwodu miejscowego, jeżeli przewód jest tak długi, że sam prąd liniowy nie może uruchomić aparatu piszącego,

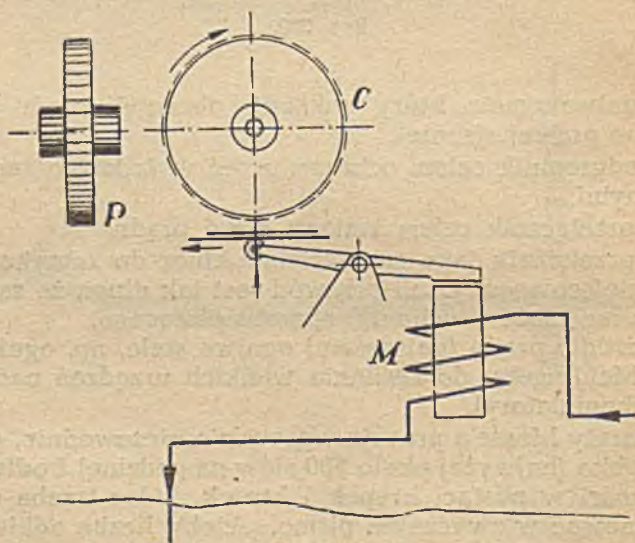
g) źródło prądu (najczęściej ogniwa stałe, np. ogniwa Daniella, Meidingera; do zasilania wielkich urządzeń nadają się lepiej akumulatory).

Aparaty Morse'a pracują wprawdzie niezawodnie, ale niezbyt szybko (najwyżej około 500 słów na godzinę) i odtwarzają wiadomości w postaci kropek i kresek, które trzeba dopiero transponować w zwyczajne pismo. Ażeby liczbę odbieranych znaków powiększyć, wprowadzono odbiór słuchowy polegający na tym, że odbiornik nie daje znaków w postaci kropek i kresek, lecz wystukuje znaki. Wprawny telegrafista może odebrać w ten sposób 600—700 słów na godzinę. Okazało się, że ucho pracuje dokładniej od oka, bo pomyłki i znie-

kształcenia telegramów zdarzają się przy odbiorze słuchowym stosunkowo bardzo rzadko.

Celem zwiększenia szybkości przekazywania znaków stworzono różne typy telegrafów czcionkowych. Najbardziej rozpowszechnionym telegrafem czcionkowym jest telegraf Hughes'a (Juza). Odtwarza on przesyłane wiadomości bezpośrednio w postaci drukowanych liter. Szybkość wynosi 1300—1500 słów na godzinę. Na obydwu stacjach, tj. na stacji nadawczej i odbiorczej obracają się napędzane mechanicznie lub elektrycznie krążki, a na obrzeżach tych krążków znajdują się czcionki. Obydwa krążki obracają się z taką samą szybkością, tak że jeśli na jednej stacji np. litera A znajduje się na samym dole, taka sama litera A znajduje się na dole krążka czcionkowego także i na drugiej stacji. Gdy w tym właśnie momencie prąd zostanie zamknięty, pasek papierowy podnosi się do krążka czcionkowego i równocześnie odbija się litera A.

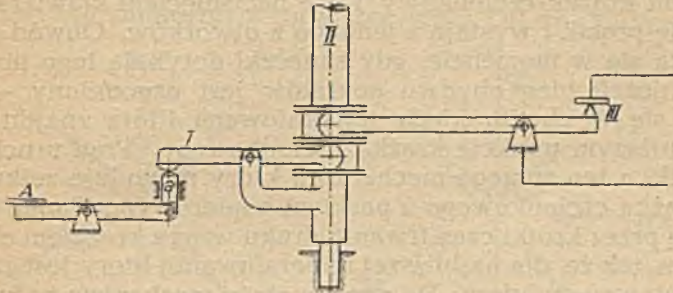
Objaśnia to rys. 300 (C = krążek czcionkowy, M = elektromagnes, P = pasek papierowy). Rys. 301 przedstawia budowę



Rys. 300.

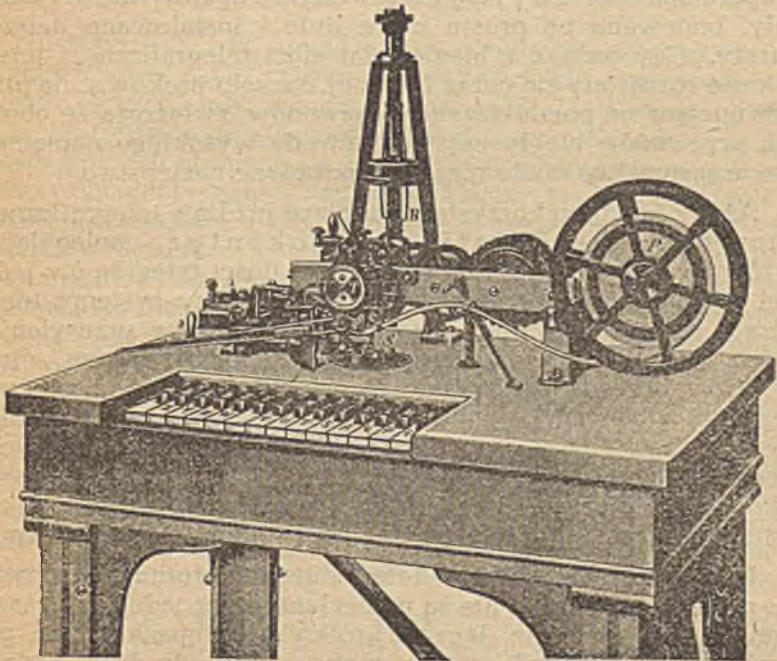
nadajnika. Dźwignia I obraca się dookoła wału II. Za naciśnięciem klawisza A podnosi się pręcik *a*. Gdy dźwignia I nadbiega nad ten pręcik *a*, on podnosi się również i zamyka styk w III.

Teraz prąd płynie do drugiej stacji, a ponieważ tutaj litera A znajduje się na dole krążka czcionkowego, na pasku papierowym występuje litera A.



Rys. 301.

Aparat Hughes'a jest równocześnie nadajnikiem i odbiornikiem (rys. 302). Uzgadnianie biegu aparatów na obydwu korespondujących z sobą stacjach odbywa się za pomocą regu-



Rys. 302.

iałora R. Do wysyłania znaków służy klawiatura złożona z 28 klawiszy, tudzież saneczki S, które obracają się nad 28 otworami krążka pręcikowego i wykonują taką samą liczbę obrotów jak krążek czcionkowy T. Za naciśnięciem klawisza podnosi się pręcik i wystaje z jednego z otworków. Obwód prądu zamyka się w momencie, gdy saneczki dotykają tego pręcika, co — jeżeli bieg obydwu aparatów jest uzgodniony — odbywa się w chwili, kiedy telegrafowana litera znajduje się w najniższym punkcie krążka czcionkowego. Prąd uruchamia twornik, a ten sprzęga mechanizm, który powoduje zetknięcie się krążka czcionkowego z paskiem papierowym. Papier porusza się przez krótki czas trwania druku wraz z krążkiem czcionkowym, tak że dla najbliższej telegrafowanej litery jest zawsze przygotowane miejsce. Do napędu służy mechanizm poruszany ciężarem albo silnik elektryczny. Tekst telegramów ukazuje się w odbiorniku w postaci drukowanych liter.

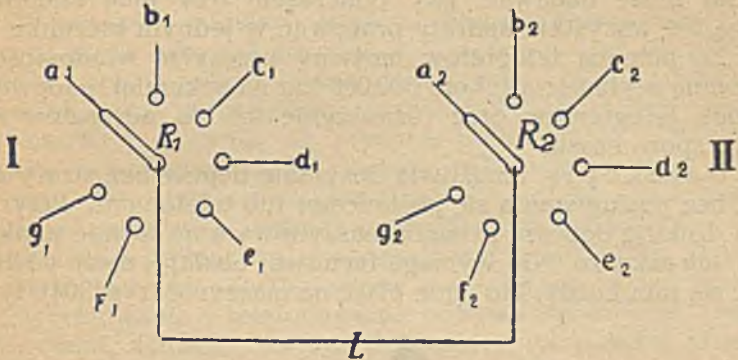
Aż do końca ubiegłego stulecia cały ruch telegraficzny opierał się — z wyjątkiem komunikacji transoceanicznej — na aparatach Morse'a i Hughes'a. Jeżeli te aparaty nie wystarczały, budowano po prostu nowe linie i instalowano dalsze aparaty. Gdy jednak z biegiem lat sieci telegraficzne i telefoniczne rozrastały się coraz bardziej, zaczęło brakować na ulicach miejsca na pomieszczenie przewodów, zwłaszcza że obok tych przewodów biegły często przewody wysokiego napięcia, a takie sąsiedztwo miało nieraz niepożądane następstwa.

Ażeby lepiej wykorzystać istniejące już linie telegraficzne, wprowadzono telegrafię wielokrotną, polegającą na równoczesnym przesyłaniu większej ilości telegramów jednym i tym samym przewodem. Stworzono trzy systemy tego rodzaju telegrafii: system „duplex” (równoczesne przesyłanie dwóch telegramów w przeciwnych kierunkach), system „diplex” (równoczesne przesyłanie dwóch telegramów w jednym kierunku) i system „quadplex” (równoczesne przesyłanie czterech telegramów, po dwa w każdym kierunku). Z tych trzech systemów ma pewne znaczenie w telegrafii kablowej tylko system pierwszy („duplex”). Opracowano również kilka systemów przesyłania telegramów przewodami telefonicznymi.

Istnieje też inny system telegrafii wielokrotnej, mianowicie: znaki telegraficzne nie są przesyłane przez jeden i ten sam przewód równocześnie, lecz w krótkich odstępach jeden po drugim; jeden nadajnik wysyła znaki wtedy, gdy drugi nadajnik spoczywa. Jako odbiorniki mogą pracować w tym systemie

zarówno telegrafy Morse'a i Hughes'a, jak i aparaty czcionkowe Baudota, albo aparaty Rowlanda, Mercadiera itp.

Zasadę tego rodzaju telegrafii objaśnia rys. 303. Na obydwu korespondujących z sobą stacjach I i II znajdują się tzw.



Rys. 303.

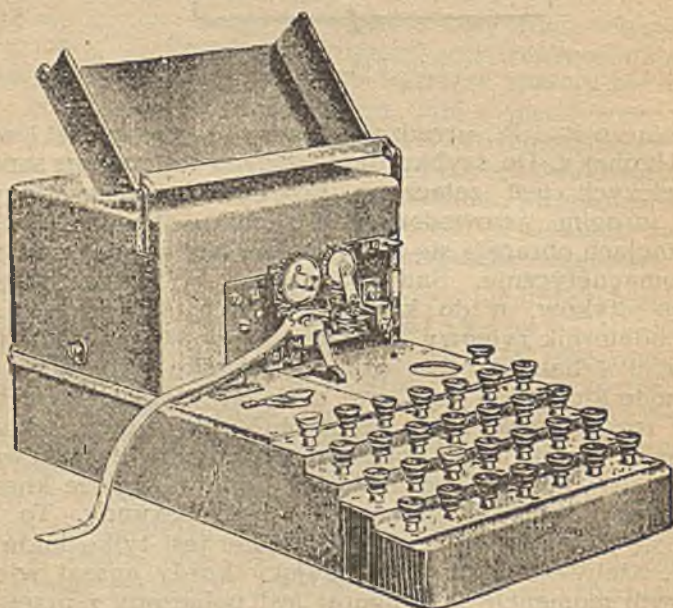
rozdzielacze R_1 i R_2 , urządzone podobnie jak saneczki w aparacie Hughes'a. Do szybko obracających się ramion saneczek rozdzielczych jest załączony przewód L łączący obydwie stacje (drugim przewodem jest ziemia). Saneczki w obydwu stacjach obracają się z identyczną szybkością, regulowaną elektromagnetycznie. Saneczki biegną w każdej stacji po szeregu styków, a do każdego z tych styków jest załączony odbiornik rylcowy lub czcionkowy wraz z nadajnikiem (kluczem) i baterią. Na naszym rysunku odbiorniki te są oznaczone literami a_1 do g_1 oraz a_2 do g_2 . Wyobraźmy sobie, że ramię rozdzielacza robi jeden obrót w jednej sekundzie. W czasie tego jednego obrotu ramię załącza do przewodu L odbiorników. W ten sposób każdy odbiornik może korzystać z przewodu kolejno przez $1/7$ część sekundy. To samo dzieje się i na drugiej stacji. Potrzebne jest tylko takie urządzenie, ażeby urzędnik obsługujący każdy aparat wiedział, w którym momencie jego aparat jest połączony z przewodem (odnośne znaki daje telefon). Jeżeli jedna stacja ma np. 7 aparatów, na takiej samej ilości aparatów odbiera druga stacja.

Opisany wyżej system telegrafii wielokrotnej wynalazł w r. 1874 telegrafista francuski Baudot. Dziełem tego wynalazcy jest również nazwany jego imieniem telegraf czcionkowy posiadający tylko 5 klawiszy. Współpracować może z sobą od

dwóch do sześciu takich aparatów (na każdej stacji). Najczęściej spotykamy układy złożone z czterech aparatów. Szybkość telegrafowania wynosi wtedy 7200 słów na godzinę, rozdzielacz robi 180 obrotów na minutę. W układzie takim jeden aparat może nadawać, gdy tymczasem trzy inne odbierają; mogą też wszystkie aparaty pracować w jednym kierunku itd.

Za pomocą telegrafów możemy przysyłać wiadomości z ogromną szybkością (około 300 000 km na sekundę), nadawanie jednak telegramów oraz roznoszenie ich do adresatów wymaga sporo czasu.

Dalekopis umożliwia dosyłanie depezb bez straty czasu i bez posługiwania się posłańcami lub telefonami. Przyrząd taki drukuje depeze pismem maszynowym na taśmie papierowej lub arkuszu. Nie wymaga fachowej obsługi; może posługiwać się nim każdy, kto umie pisać na maszynie (rys. 304). Dale-



Rys. 304.

kopis pracuje w ogólnych zarysach podobnie jak telegraf Hughes'a. Za naciśnięciem jednego z 28 klawiszy (z czego dwa klawisze są białe) krążek czcionkowy przyjmuje pewne oznaczone położenie i wybija znak na przybliżającym się do niego papierze.

Uruchomienie dwóch połączonych z sobą dalekopisów polega na naciśnięciu górnego „białego” klawisza. Za naciśnięciem drugiego białego klawisza drukują się cyfry i znaki pisarskie (podobnie jak maszyna do pisania drukuje cyfry i znaki za naciśnięciem „zmieniacza”).

W wielkich miastach istnieją centrale dalekopisowe, do których mogą załączać się abonenci, podobnie jak do centrali telefonicznej. Agencje prasowe i redakcje, oddziały wielkich przedsiębiorstw są połączone przewodami, przez które płyną wiadomości i zlecenia za pomocą dalekopisów. Dalekopis odbiera wiadomości także i wtedy, gdy nikogo obok niego nie ma, a po przejęciu depezy zatrzymuje się samoczynnie. Za pomocą osobnego łącznika centrala może przekazywać wiadomości do większej liczby abonentów równocześnie. Dalekopis może być też skombinowany z telefonem w ten sposób, że telegrafowanie i telefonowanie odbywa się na tym samym przewodzie. Istnieją również dalekopisy, za pomocą których można przesyłać pismo odręczne i rysunki.

Jeżeli chodzi o ilość przesyłanych znaków, to szczytem doskonałości są telegrafy maszynowe konstrukcji Wheatstone'a, Pedersena, Siemensa itd. Nadawanie telegramów nie odbywa się za pomocą klucza Morse'a czy też ręcznie obsługiwanych klawiszy jak w telegrafie Hughes'a, lecz za pomocą mechanizmów kluczowych, wprawianych w ruch przez podziurkowane taśmy papierowe. Te taśmy, których otworki odpowiadają pewnym oznaczonym znakom Morse'a, przebiegają, napędzane silnikiem elektrycznym, przez mechanizm kluczowy i kierują nim w rytmie znaków Morse'a.

Np. telegrafem maszynowym Siemensa można nadawać i odbierać dziesiątki tysięcy znaków na godzinę. W odbiorniku występują telegramy wprost w drukowanych słowach bądź w szyfrach, które odszyfrowują się maszynowo. Tekst telegramu musi być przed nadaniem wybity na taśmie papierowej. Na obydwu brzegach taśma posiada po jednym rzędzie małych otworków służących do jej przesuwania (podobnie jak film kinematograficzny), a pośrodku pięć szeregów większych otworków, które są kombinacjami znaków Morse'a (rys. 305). Każdej literze alfabetu odpowiada inne rozmieszczenie tych otworków. Gdy taśma przesuwa się przez mechanizm kluczowy nadajnika, wprawia ona w ruch pięć urządzeń stykowych, które są nawzajem nieco przesunięte, tak że powstają uderzenia prądu w krótkich odstępach czasu. Do przesłania każdego znaku potrzeba zawsze 5 uderzeń prądu. Do robienia otwor-

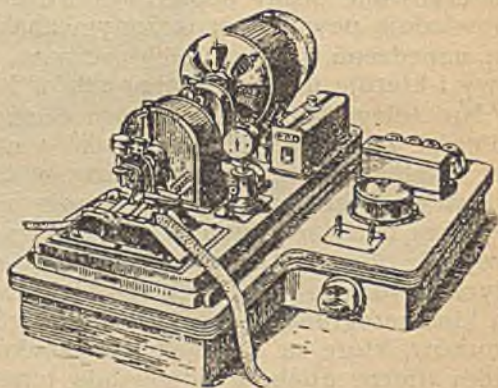
ków w taśmie papierowej służy mechanizm podobny do maszyny do pisania (rys. 307). Ażeby wykorzystać całkowicie jeden nadajnik, trzeba przygotowywać taśmy na czterech maszynach. W odbiorniku (rys. 308) znaki występują na taśmie papierowej w postaci pisma maszynowego.

Ze szczególnymi trudnościami walczy telegrafia transoceaniczna, która posługuje się kablami podmorskimi. Długie kable posiadają wielki opór, tak że w razie posługiwania się aparatami, o których mówiliśmy dotychczas, byłoby potrzebne bardzo wysokie napięcie, ażeby podtrzymać nieodzowne dla ruchu natężenie prądu, wysokimi napięciami

pracować jednak nie można, ponieważ zagrożąoby to izolacji kabla. Prócz tego kable zachowują się podobnie jak kondensatory i przejmują wielkie ładunki elektryczne: żyła miedziana kabla stanowi jedną okładkę, jego opancerzenie drugą, a izolacja odgrywa rolę dielektryka. Kondensator taki posiada znaczną pojemność, a jego naładowanie wymaga pewnego czasu, wskutek czego między zamknięciem prądu w nadajniku a przyciągnięciem twornika w odbiorniku upływa bez porównania więcej czasu niż w telegrafii napowietrznej. Dlatego do od-



Rys. 305.

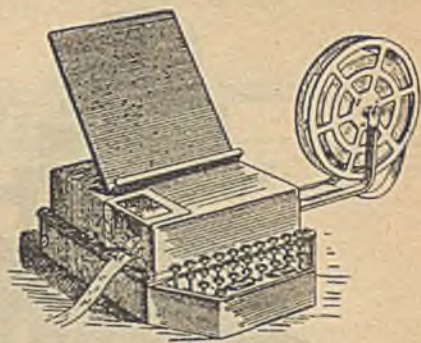


Rys. 306.

biornika napływają uderzenia prądu nie ostro odgraniczone, lecz jakby zamazane i niewyraźne, tym więcej niewyraźne, im

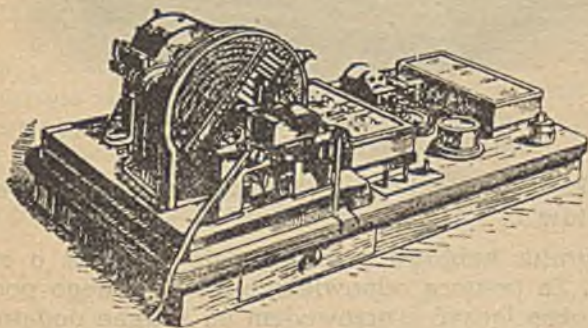
szybciej nadchodzą znaki. Ażeby te trudności pokonać, zbudowano szereg przyrządów w rodzaju galwanoskopu, które przy pomocy niezwykle lekkich urządzeń piszących rejestrują nadpływające znaki w postaci linii falowej.

Są to telegrafy l e w a r k o w e pracujące mniej więcej z szybkością aparatu Morse'a. Najwięcej rozpowszechniony jest „Siphon Recorder”, wynaleziony w roku 1867 przez W. Thomsona (rys. 309). Jego działanie polega na znanym nam zjawisku, że cewka, zawieszona między biegunami magnesu, odchyliła się, gdy prąd przepływa przez



Rys. 307.

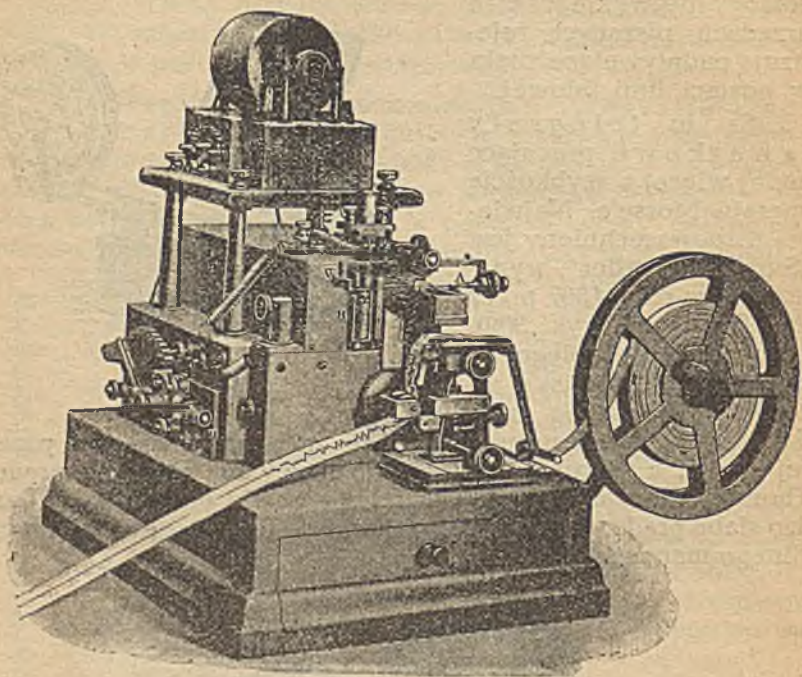
jej zwoje, a kierunek odchylenia zależy od kierunku prądu. Thomson zauważył, że do odchylenia cewki potrzebne są bardzo słabe prądy, jeżeli tylko znajduje się ona między biegunami silnego magnesu.



Rys. 308.

Uproszczony schemat układu magnetycznego w telegrafie Thomsona podaje rys. 310. Na izolowanej ramce R, która wisi na dwóch nitkach jedwabnych F między biegunami silnego magnesu stalowego N-S, jest nawinięty cienki izolowany drut miedziany. We wnętrzu ramki R znajduje się część żelazna E, która nie poddaje się ruchom ramki, lecz tylko skupia linie

siły magnesu N-S. Za pomocą urządzenia F_1 można regulować ruchliwość ramki R odpowiednio do szybkości, z jaką napły-

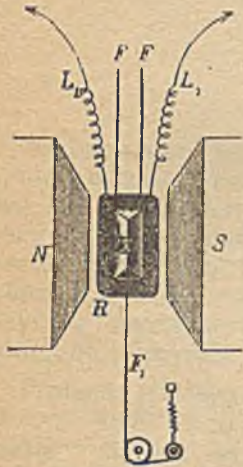


Rys. 309.

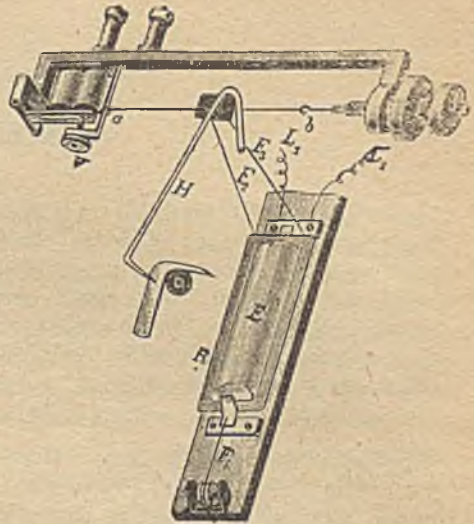
wają znaki. Prąd dopływa do cewki za pośrednictwem spiralnych drutów L_1 i L_2 .

Telegrafia kablowa posługuje się prądami o zmiennym kierunku. Za pomocą odpowiednio zbudowanego podwójnego klucza można łączyć z przewodem na zmianę dodatni i ujemny biegun baterii. Odpowiednio do tego przez cewkę R płyną prądy o zmiennym kierunku, tak że cewka odchyła się raz w lewo, raz w prawo, a te odchylenia przenoszą się przez nitki F_2 i F_3 (rys. 311) na nitkę poprzeczną $a-b$, na której jest umocowany lewarek, tj. zagięta rurka szklana H wraz z metalowym siodełkiem. Rurka H wykonuje wszystkie ruchy ramki R i zamienia te ruchy w widoczne znaki. Mianowicie tylny koniec rurki H jest zanurzony w naczynku z farbą, drugi zaś koniec przesuwa się pionowo z góry w dół. Pod wpływem tzw. wibra-

toru V, który pracuje podobnie jak dzwonek elektryczny i jest połączony z nitką *a-b*, lewarek H wykonuje ruchy drgające, wskutek których wyrzuca farbę na papier. Dopóki cewka R



Rys. 310.



Rys. 311.

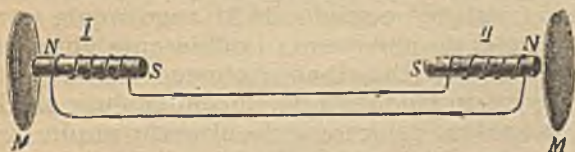
spoczywa, powstaje na papierze długa linia prosta. Gdy jednak ramka odchyli się w jedną lub drugą stronę, na pasku papierowym powstają odchylenia skierowane w dół lub w górę, a odchylenia te odpowiadają znakom alfabetu Morse'a. Odchylenie w górę (przez prąd dodatni) oznacza kropkę, odchylenie w dół (przez prąd ujemny) oznacza kreskę (rys. 309).

ROZDZIAŁ XXIII

TELEFONY

Amerykanin Page zauważył w r. 1837, że cienka igła stalowa, umieszczona wewnątrz cewki, wydaje tony, gdy prąd przerywa się w krótkich odstępach, oraz że wysokość tego tonu zależy od liczby przerw prądu. Spostrzeżenie to wykorzystał Reiss i zbudował w r. 1861 „stuczne ucho”, za pomocą którego można było przesyłać dźwięki na niewielką odległość; tony muzyczne występowały znośnie, natomiast mowa była niezkształcona. Przyrząd ten poszedł wkrótce w zapomnienie.

Profesor fizjologii w Bostonie Graham Bell, zademonstrował w r. 1876 na wystawie światowej w Filadelfii pierwszy, nadający się już do praktycznego użytku, telefon, czyli przyrząd do przesyłania głosu na odległość. Zasadę tego wynalazku objaśnia rys. 312. Elastyczna przepona („membrana”) żelazna M jest umieszczona tuż przed magnesem S otoczonym uzwojeniem cewki N. Fale głosowe, powstające podczas mó-



Rys. 312.

wienia, uderzają o przeponę M stacji I i wprawiają ją w drgania odpowiadające drganiom głosowym. Drgająca przepona wytwarza zmiany w polu magnetycznym magnesu S, a te zmiany indukują w uzwojeniu N prądy o zmiennym kierunku i zmiennym natężeniu. Prądy indukowane w N płyną przez przewód do stacji II, gdzie przepływają przez uzwojenie N, wzmacniają lub osłabiają magnetyzm magnesu S i wytwarzają tym samym zmiany w jego polu magnetycznym. Te zmiany pola

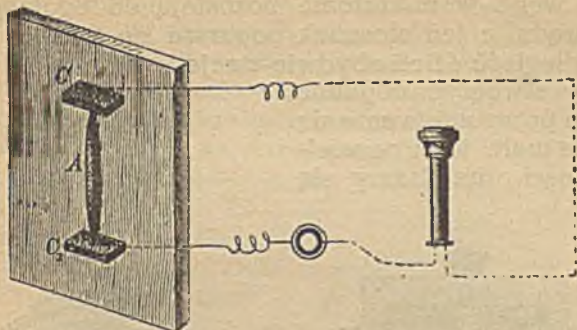
magnetycznego przyciągają silniej lub słabiej przepone M , która wskutek tego wykonuje drgania odpowiadające drganiom przepony M stacji I. Drgania przepony w stacji II wytwarzają fale głosowe, dostępne dla ludzkiego ucha.

Telefon Bella, pozbawiony osobnego źródła prądu, oddaje wiernie wszelkie dźwięki nie fałszując ich barwy, ale zawodzi, gdy obydwie stacje są oddalone o kilkanaście kilometrów, a siła głosu w stacji II jest zawsze mniejsza od siły głosu w stacji I. Dzieje się to z tego powodu, że energia drgających cząstek powietrza udziela się najpierw przeponie w stacji I, gdzie część jej ulega stracie; dalsza strata powstaje wskutek przemiany ruchu przepony w prąd elektryczny, który to prąd musi pokonać opór przewodu wiodącego do stacji II, gdzie znów powstają straty przy przemianie energii elektrycznej w fale głosowe. Wobec tych strat siła głosu w stacji odbiorczej musi być mniejsza niż w stacji nadawczej.

Hughes (wynalazca telegrafu czcionkowego) wpadł na pomysł, ażeby fal głosowych nie używać do wytwarzania energii elektrycznej, lecz do wywoływania zmiennego natężenia prądu dopływającego z osobnego źródła, np. z ogniwa galwanicznego. W tym celu zbudował mikrofon, wykorzystując właściwość węgla, który zmienia swój opór pod wpływem mechanicznego nacisku (str. 26). Istota pomysłu Hughes'a jest następująca: jeżeli przez dwa stykające się z sobą kawałki węgla płynie prąd, to przez zmianę nacisku w miejscu stykania się węgli można zmieniać opór przejścia i tym samym zmieniać natężenie prądu, do którego węgle są załączone. W telefonie Bella do nadawania i odbierania głosu służą identyczne urządzenia, pozbawione osobnego źródła prądu. Natomiast w urządzeniu Hughes'a do słuchania służy słuchawka, do mówienia mikrofon, załączony do obwodu prądu, a zadaniem telefonu jest wzmacnianie lub osłabianie natężenia prądu w obwodzie mikrofonowym.

Pierwszy mikrofon Hughes'a widzimy na rys. 313. Do pionowo ustawionej cienkiej deszczułki są przymocowane ponad sobą dwa kawałki węgla C i C_1 . Te węgle posiadają wydrążenia, w których jest osadzony pręt węglowy A w ten sposób, ażeby jego styk z węglami C i C_1 , był luźny. Od węgli C i C_1 , prowadzi przewód do ogniwa galwanicznego i do telefonu. Gdy o deszczułkę uderzają fale głosowe, drga ona i przez to zmienia się styk między prętem A i węglami C i C_1 , tym samym zmienia się opór przejścia i powstają wahania prądu.

du, odpowiadające dokładnie falom głosowym i występujące w telefonie jako dźwięki dostępne dla naszych uszu.



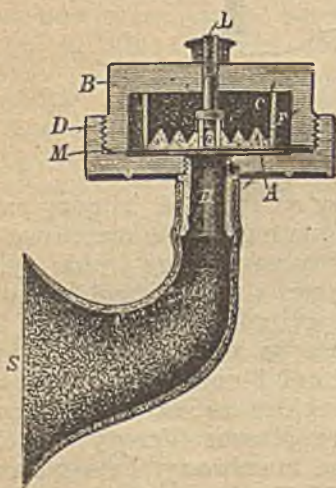
Rys. 313.

Współczesny mikrofon widzimy na rys. 314. Między puszkami drewnianymi B i D jest osadzona membrana metalowa M. Na dnie puszek B jest przymocowany za pomocą śrubki cylinder węglowy C posiadający na dolnej stronie współśrodkowe zagłębienia. Przestrzeń między tym cylindrem a membraną jest wypełniona ziarnkami węgla, które są połączone z jednym biegunem baterii galwanicznej (drugi biegun jest połączony z węglem C za pośrednictwem śrubki i zacisku L). Ziarenka węglowe są przytrzymywane przez płaszcz filcowy F, który równocześnie tłumí drgania własne membrany. Fale głosowe dostają się do mikrofonu drogą S—H. Słuchawka dzisiejsza jest zbudowana w myśl rys. 315 (membrana odjęta). Układ magnetyczny składa się z dwóch magnesów pierścieniowych M, na których spoczywają rozdzielone na cztery części nasady biegunowe. Celem uzyskania dobrego działania można układ magnetyczny przybliżać do przepony lub oddalać od niej za pomocą śrubki. Przez połączenie mikrofonu ze słuchawką stworzono bardzo wygodny w użyciu mikrotelefon (rys. 321).

Gdybyśmy w prostym układzie, naszkicowanym na rys. 312, pozostawili na jednej stacji słuchawkę, a na drugiej zainstalowali mikrofon, mielibyśmy z całego urządzenia tym mniej poaciechy, im większa odległość dzieli obydwie stacje. Im większa ta odległość, tym większy jest opór przewodu łączącego obydwie stacje i tym większym zmianom ulega natężenie prądu baterii zasilającej mikrofon, który jeżeli ma prawidłowo pracować, musi otrzymywać pewne oznaczone natężenie. Prócz

tego dobre działanie urządzenia telefonicznego zależy od stosunku, w jakim zmiany oporu przejścia w miejscach stykania się węgli w mikrofonie pozostają do ogólnego oporu obwodu prądu, a ten stosunek pogarsza się tym bardziej, im większa odległość dzieli obydwie stacje.

Ażeby stworzyć dogodne warunki do porozumiewania się zarówno na małe jak i na wielkie odległości, urządza się



Rys. 314.



Rys. 315.

w ten sposób, że mikrofon nie działa wprost na przewód, lecz jest połączony wraz z baterią i tzw. cewką indukcyjną w zamknięty obwód miejscowy. Ta cewka indukcyjna, to nic innego jak mały transformator. Składa się ona z rdzenia żelaznego, otoczonego małą ilością zwojów grubego drutu, które tworzą uzwojenie pierwotne, tudzież z uzwojenia wtórnego posiadającego dużą ilość zwojów cienkiego drutu. Z uzwojeniem pierwotnym jest połączony mikrofon i jego bateria, uzwojenie wtórne jest załączone do przewodu wiodącego do drugiej stacji; do tego przewodu jest również załączony telefon.

Powstaje teraz układ przedstawiony na rys. 316; T = słuchawka, M = mikrofon, B = bateria, I₁ i I₂ = uzwojenie pierwotne i wtórne cewki indukcyjnej. Cewka indukcyjna działa zgodnie

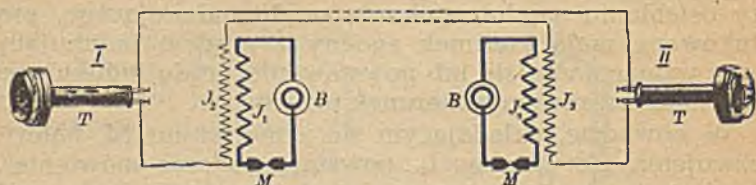
z prawami indukcji, w myśl których prąd elektryczny w chwili powstawania i znikania oraz w chwili wzmacniania się i osłabiania wytwarza w sąsiednim obwodzie prądy indukcyjne. Przy osłabianiu się lub znikaniu prądu indukującego, prądy indukowane mają kierunek zgodny z prądem indukującym, a przy wzmacnianiu się lub powstawaniu prądu indukującego, prądy indukowane mają kierunek przeciwny.

W obwodzie, składającym się z mikrofonu M, baterii B i uzwojenia pierwotnego I_1 , powstają podczas mówienia do mikrofonu bardzo silne zmiany prądu, ponieważ opór ogólny jest mały w stosunku do oporu przejścia między węglami w mikrofonie. Te wahania prądu wzbudzają w uzwojeniu wtórnym I_2 prądy indukcyjne o zmiennym kierunku, które płyną przez przewód i wprawiają w ruch membranę słuchawki T w drugiej stacji. Opór ogólny obwodu mikrofonowego nie zmienia się, bez względu na to czy do uzwojenia wtórnego cewki indukcyjnej jest załączony długi, czy też krótki przewód. Dlatego stosunek oporu przejścia między węglami do oporu ogólnego jest zawsze taki sam, a prąd wpływający do przewodu nie zmienia swego natężenia.

Cewka indukcyjna spełnia jeszcze jedno ważne zadanie. Mianowicie uzwojenie wtórne ma znacznie więcej zwojów, niż uzwojenie pierwotne. Wskutek tego prądy występujące w uzwojeniu pierwotnym, posiadające duże natężenie, ale nieznaczne napięcie, wyłaniają się w uzwojeniu wtórnym jako prądy o nieznacznym natężeniu, ale wysokim napięciu. Im wyższe napięcie prądu, tym większy opór przewodu może prąd pokonywać (prawo Ohma), tak że dzięki cewce indukcyjnej odległość między stacjami I i II może być większa.

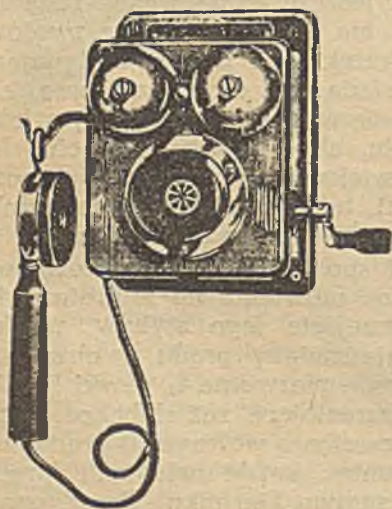
Rys. 316 wyjaśnia, w jaki sposób odbywa się rozmowa między stacjami I i II. Podczas mówienia do mikrofonu M w stacji I zmienia się opór przejścia jego styków węglowych, wskutek czego występują zmiany prądu w obwodzie mikrofonowym, a przez uzwojenie pierwotne I_1 cewki indukcyjnej przepływają prądy raz wzrastające, raz słabnące. Każdy wzrost prądu wywołuje w uzwojeniu wtórnym I_2 prąd przebiegający w odwrotnym kierunku, każde osłabienie prądu indukuje prąd płynący w tym samym kierunku. Przez uzwojenie wtórne płyną więc prądy zmienne, których przebieg odpowiada dokładnie falom głosowym wzbudzającym mikrofon M. Te prądy płyną przewodem do słuchawki T w stacji II i osłabiają tutaj lub wzmacniają magnetyzm słuchawki, z czego wynikają drgania membrany, które wywołują drgania fal gło-

sowych w powietrzu. Gdy stacja II mówi do stacji I, odbywa się taki sam proces, tylko w odwrotnym kierunku.



Rys. 316.

Stacja telefoniczna, zwana po prostu „aparatem”, składa się z mikrofonu, słuchawki, źródła prądu, zabezpieczenia przeciw wyładowaniom atmosferycznym oraz dzwonka, którym abonent daje sygnał centrali pośredniczej, że chce rozmawiać z inną stacją. Całość jest zamontowana w skrzynce drewnianej lub metalowej, urządzonej do zawieszenia na ścianie albo do ustawienia na stole. Na rys. 317 widzimy stację telefoniczną ścienną z dzwonkiem prądu zmiennego, wprawianym w ruch za pomocą induktora korbkowego. Są też aparaty bezinduktorowe, których dzwonek jest zasilany przez baterię centralną znajdującą się w stacji pośredniczej. Celem przywołania urzędu wystarczy podnieść słuchawkę, a połączenia dzwonka z baterią dokonuje samoczynnie przełącznik hakowy, na którym słuchawka normalnie spoczywa; w urzędzie odzywa się dzwonek albo zaświeca się mała żarówka (rys. 321). Abonent podaje centrali numer stacji, z którą chce rozmawiać, a centrala dokonuje

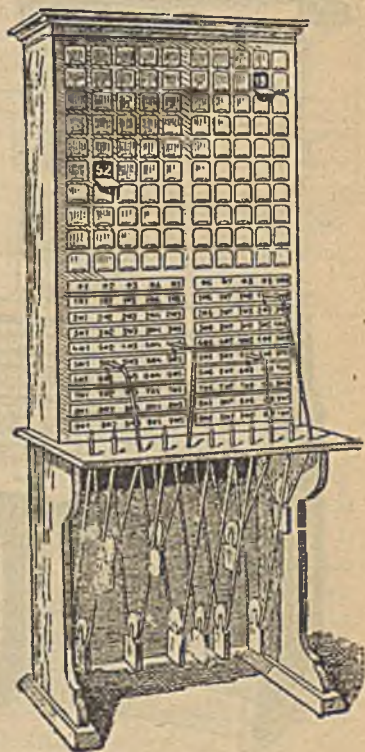


Rys. 317.

połączenia i posyła do wzywanego abonenta sygnał dzwonkowy. Zakończenie rozmowy sygnalizuje w urzędzie klapka bądź żarówka.

Centrala pośrednicza przyjmuje zgłoszenia abonentów, łączy tych abonentów z abonentami zwanymi tudzież czuwa nad tym, ażeby po skończeniu rozmowy abonenci zostali rozłączeni. Potrzebne są do tego specjalne urządzenia. W małych urządzeniach pośredniczych znajdują się łącznice klapkowe, z których każda może obsłużyć 50 abonentów (rys. 318). Każdy abonent ma tutaj osobne urządzenie sygnałowe. Gdy abonent dzwoni, w szafce spada klapka i odsłania numer abonenta dzwoniącego; urzędnik łączy się z nim, zapytuje o numer wołanej stacji, łączy tę stację ze stacją abonenta wołającego i rozłącza obydwie stacje po skończeniu rozmowy.

W górnej połowie łącznicy są umieszczone klapki, w dolnej połowie znajdują się tzw. gniazdka, oznaczone numerami abonentów. Gdy abonent dzwoni do urzędu, klapka oznaczona jego numerem spada, urzędnik łączy swój aparat odzewowy z tym gniazdkiem, które jest oznaczone numerem abonenta wołającego i zgłasza się wymieniając swój numer lub instytucję, do której należy łącznica, następnie, po usłyszeniu numeru abonenta wywołwanego, wyjmuje z gniazdka swoją wtyczkę odzewową i w jej miejsce wkłada wtyczkę sznura łącznikowego, którego drugi koniec łączy z gniazdkiem abonenta wywołanego. Po przywołaniu tego abonenta sygnałem dzwonkowym rozmowa może się już odbyć. Natychmiast po wykonaniu połączenia urzędnik podnosi klapki (istnieją też klapki z samoczynnym podnoszeniem), które znowu opadają, gdy abonenci „oddzwaniają”, tj. dają znak dzwonkami, że rozmowa skończona. Nowe łącznice nie posiadają kła-



Rys. 318.

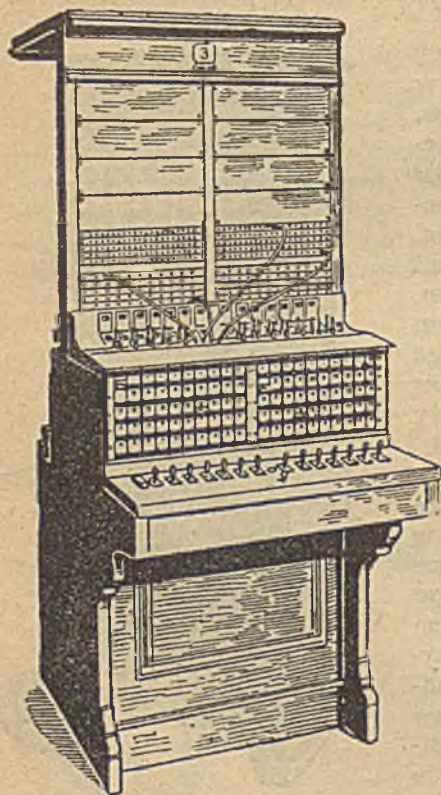
pek, lecz żarówki, które sygnalizują zgłaszanie się abonentów oraz zakończenie rozmowy.

Jedna łącznica jest przeznaczona dla 50 abonentów. Dla dalszych 50 abonentów potrzebna jest dalsza łącznica. Do łączenia łącznic między sobą nie wystarczają już sznury wtyczkowe. Trzeba posługiwać się osobnymi przewodami, a urzędnicy obsługujący poszczególne łącznice porozumiewają się z sobą głosem. Gdyby w jednym pomieszczeniu stała większa ilość łącznic, musiałoby dochodzić do rozgardiaszu i do ustawicznych pomyłek i nieporozumień.

Zapobiega temu pole wielokrotne (wynalazek Amerykanina Scribnera). Pole to (rys. 319) ma 100, 200 lub więcej kłapek. Różnica między łącznicą kłapkową a polem wielokrotnym polega na tym, że w polu przewody wiodące od abonentów nie są doprowadzone bezpośrednio do przynależnych kłapek, lecz przebiegają najpierw przez wszystkie pola i w każdym polu są załączone do gniazdka łącznikowego. Po przejściu przez wszystkie pola przewód łączy się z kłapką odzewową oraz z przynależnym do tej klapki gniazdkiem odzewowym.

Sposób prowadzenia przewodów przedstawia schematycznie rys. 320. Pionowe kolumny I, II, III i IV wyobrażają cztery pola wielokrotne urzędu posiadającego 1000 abonen-

tów. Na każdym 100 abonentów przypada jedno pole, z których każde ma 100 kłapek wraz z przynależnymi gniazdami,



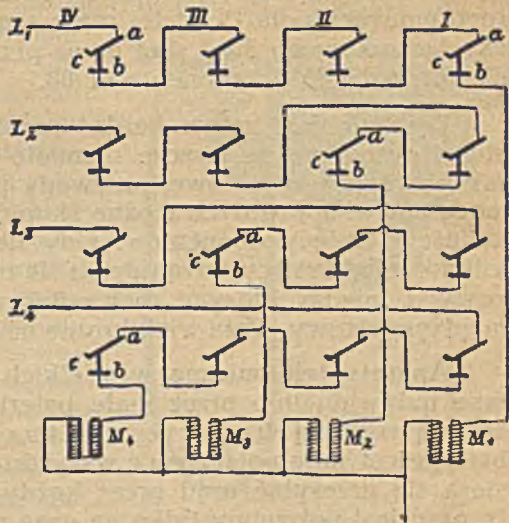
Rys. 319.

tudzież 900 gniazdek łącznikowych. Pole I zawiera numery abonentów od 1 do 100, pole II obejmuje numery od 101 do 200, pole III numery od 201 do 300 itd. L, oznacza jeden przewód z pierwszej grupy

abonentów oznaczonych numerami od 1 do 100; klapka należąca do tego przewodu znajduje się więc w polu I. Jak jednak wynika z rysunku, przewód ten, po przejściu przez pola X, IX, VIII, VII, VI i V, wiedzie najpierw do gniazdka łącznikowego w polu IV, stąd do jednego gniazdka łącznikowego w III i II, następnie do gniazdka odzewowego w polu I i dopiero teraz dopływa do elektromagnesu klapki M_1 i wreszcie do ziemi (w liniach dwuprzewodowych istnieje przewodnik odsyłowy).

Podobnie i przewód L_2 , który należy do jednego z abonentów posiadających numer między 101 a 200, prowadzi najpierw do poszczególnych gniazdek łącznikowych w polach od X do III, następnie do gniazdka łącznikowego w polu I, dalej do gniazdka odzewowego w polu II i stąd dopiero do klapki M_2 w tym samym polu. Podobnie załączone są wszystkie inne przewody i dzięki temu można w każdym polu połączyć każdego abonenta z jakimkolwiek innym, załączonym do urzędu.

Jeżeli np. zgłasza się abonent posiadający numer między 301 i 400, wówczas spada przynależna klapka w polu IV, a więc np. klapka M_4 . Urzędnik wkłada wtyczkę swojego aparatu odzewowego do przynależnego do tej klapki gniazdka (leżącego powyżej M_4) i zapytuje, z którym numerem abonent chce rozmawiać. Abonent żąda np. nr 88, który w naszym schemacie znajduje się w polu I, czyli posiada tutaj swoją klapkę. Urzędnik nie potrzebuje łączyć się z polem I, lecz



Rys. 320

tylko w „swoim” polu IV łączy za pomocą sznura wtyczkowego gniazdko abonenta wołającego z gniazdkiem nr 88. Tym samym połączenie jest wykonane. Prąd płynie teraz z przewodu L_1 wołającego abonenta do gniazdka a-b w dolnym szeregu gniazdek pola IV, dalej przez sznur łącznikowy do gniazdka łącznikowego 88, i stąd przez przynależny do tego gniazdka przewód L_1 do abonenta nr 88.

Łączenie jest zatem bardzo proste, chociaż w rzeczywistości potrzebne są jeszcze rozmaite urządzenia pomocnicze, jak przyrządy sygnałowe, przewody podsłuchowe itp. Za pomocą pól wielokrotnych można skupić w jednym urządzeniu kilkanaście tysięcy abonentów. Gdy liczba abonentów wynosi kilkadziesiąt tysięcy, urządzenie dzieli się na kilka urzędów dzielnicowych, między którymi ruch odbywa się podobnie jak ruch międzymiastowy. Pola wielokrotne mają kształt szaf lub stołów.

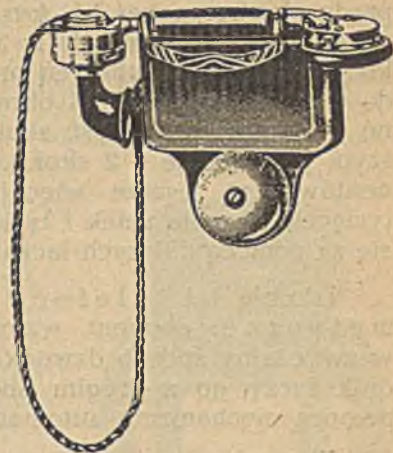
Aparaty telefoniczne w wielkich centralach nie są zasilane indywidualnie przez małe baterie galwaniczne, lecz posiadają wspólną baterię centralną (akumulatory). Ta bateria jest stale połączona z wszystkimi przewodami i dlatego stara się przesyłać prąd przez każdy przewód. Wobec tego, że prąd jest potrzebny tylko na czas rozmowy, zamykamy mu drogę za pomocą kondensatora załączonego przed dzwonkiem każdego aparatu telefonicznego. Prąd zaczyna płynąć dopiero wtedy, gdy przez podniesienie słuchawki sam mikrofon łączy się z przewodem. W centrali jest połączony z przewodem przekaźnik, który wzbudza się pod wpływem dopływającego doń prądu i załącza żarówkę, która wskazuje urzędnikowi, że dany abonent chce rozmawiać. Wzywianie urzędu odbywa się zatem przez podniesienie słuchawki (rys. 321).

Praca urzędników w centralach jest prosta i czysto mechaniczna, lecz mimo to nużąca i wyczerpująca. Dlatego pomyłki w połączeniach są na porządku dziennym, a z pomyłek takich wynikają często przykre scysje między abonentami i urzędnikami.

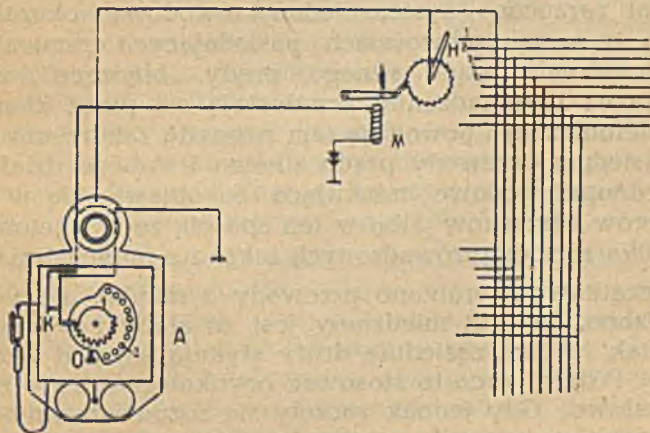
Już w kilka lat po wprowadzeniu pierwszych telefonów, Almon Stowger, zirytowany pomyłkami ze strony urzędu telefonicznego w Kansas City (U.S.A.), zaczął przemysliwać nad zastąpieniem urzędników automatami. Po kilkuletniej pracy stworzył on telefon automatyczny. Pierwszą centralę automatyczną zainstalowano w r. 1892 w LaPorte (U.S.A.).

Na ziemiach polskich pierwszą taką centralę otrzymał Poznań (1912), po nim Kraków.

Działanie telefonu automatycznego objaśniają rys. 322 i 323. Na przedniej stronie aparatu (rys. 322) znajduje się tarcza numerowa 1 z liczbami 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0. Gdy abonent A chce rozmawiać np. z abonentem nr 3, zdejmuje słuchawkę, wkłada palec do otworu 3 tarczy i robi ruch w lewo, dopóki palec nie napotka na opór w punkcie 0. Przez ten ruch napina się wewnątrz aparatu sprężyna, która po usunięciu palca nadaje tarczy pierwotne położenie. Wraz z tarczą obraca się osadzone z nią na wspólnej osi kółko zębate; jego zęby odpowiadają otworom tarczy. Gdy kółko zębate zostało przekręcone w lewo i następnie powraca, zamyka



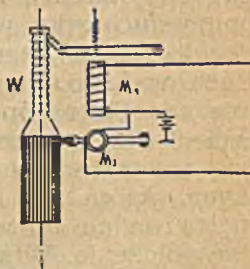
Rys. 321.



Rys. 322.

trzy razy styk K i za każdym razem zamyka obwód prądu baterii ustawionej w centrali. Te trzy uderzenia prądu wzbudzają

trzykrotnie elektromagnes M w urzędzie i przesuwają dźwignię H o trzy skoki naprzód, a dźwignia ta tworzy połączenie abonenta A z abonentem nr 3. Jeżeli abonentów jest więcej (powyżej 10) i ma być zawołany np. abonent nr 32, dźwignia H wykonuje kolejno różne ruchy. Przy pierwszej serii uderzeń prądu elektromagnes M_1 (rys. 323) podnosi cały wał o odpowiednią liczbę skoków (w naszym przykładzie o 3 skoki). Przy drugiej serii uderzeń prąd dopływa do elektromagnesu M_2 i obraca wrzeciono o odpowiednią ilość skoków (w naszym przykładzie o 2 skoki). Jeżeli abonentów jest jeszcze więcej (setki lub tysiące), łączenie setek i tysięcy odbywa się za pomocą dalszych łączników.



Rys. 323.

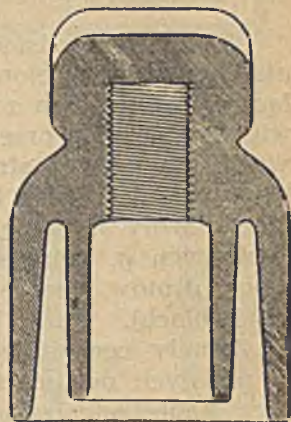
Istnieją też telefony półautomatyczne: abonent wzywa centralę w zwyczajny sposób dzwonkiem, a urzędnik łączy go z drugim abonentem za pomocą mechanizmu automatycznego.

Przewody telefoniczne (i telegraficzne, czyli tzw. „linie”) składały się dawniej tylko z jednego przewodu dosyłowego; za przewód odsyłowy służyła ziemia. Z biegiem lat zarzucono system jedнопrzewodowy, okazało się bowiem, że w miejscowościach posiadających tramwaje oraz inne urządzenia prądu silnego, prądy „błądzące”, wytwarzane przez te urządzenia, przedostają się przez ziemię do sieci telefonicznej i powodują tam rozmaite zaburzenia. Prócz tego sąsiednie przewody prądu silnego i słabego działają na linie jedнопrzewodowe indukująco, co objawia się w postaci szmerów i trzasków albo w ten sposób, że w telefonie słychać kilka rozmów prowadzonych także na innych liniach.

Początkowo wyrabiano przewody z miedzi, ale wkrótce stwierdzono, że drut miedziany jest za słaby i wydłuża się łatwo, tak że dwa sąsiednie druty stykają się pod wpływem wiatru. Później zaczęto stosować ocynkowane druty żelazne bądź stalowe. Gdy jednak zaczęły się rozpowszechniać telegrafy pracujące z wielką szybkością, druty żelazne zawiodły, a to z powodu ich samoindukcji. Jak wiemy, samoindukcja wpływa opóźniająco na powstawanie i znikanie prądu elektrycznego. Wobec tego, że drut żelazny ulega magnesowaniu, jego samoindukcja wpływa tym wybitniej na uderzenia prądu,

im szybciej one po sobie następują. Zaczęto więc szukać lepszego materiału przewodowego i znaleziono go w postaci brązu, który składa się z miedzi z domieszkami żelaza, ołowiu i cyny.

Przewody napowietrzne są zawieszane na słupach drewnianych lub żelaznych, albo na stojakach dachowych, lub wspornikach za pośrednictwem izolatorów porcelanowych (rzadziej szklanych lub kauczukowych), które mają kształt podwójnych dzwonów. Przekrój takiego izolatora widzimy na rys. 324. Porcelana odznacza się wielką trwałością i nieznaną przewodnością ciepła, dzięki czemu przy szybkim obniżaniu się temperatury powietrze, które znajduje się wewnątrz dzwonu, nie oddaje zbyt szybko swego ciepła, tak że wilgoć nie osiada tam łatwo, a deszcz i mgła mają utrudniony dostęp (w razie zawilgocenia prąd spływałby z przewodu do ziemi drogą przez izolator, jego trzon i słup).

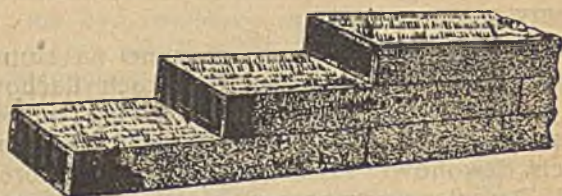


Rys. 324.

Druty brązowe mają średnice 1,5 mm, 2 mm, 2,5 mm, 3 mm, 4 mm, 4,5 mm i 5 mm. Z drutów 1,5 mm są wykonywane połączenia między abonentami i centralą. Inne średnice są przeznaczone do ruchu między-miastowego oraz do budowy szczególnie ważnych linii. Dobór średnicy drutu zależy nie tylko od odległości między miejscowościami, lecz także od długości innych przewodów, z którymi odnośny przewód ma być w razie potrzeby łączony.

W obrębie miast brak nieraz miejsca na prowadzenie drutów ulicami na słupach. Prowadzimy więc słupy na dachach na stojakach żelaznych albo pod ziemią jako kable. Taki kabel składa się z jednej lub więcej żył miedzianych, odpowiednio izolowanych i zabezpieczonych przed wpływami chemicznymi i mechanicznymi. Pierwotnie robiono izolację z gumy, później zaczęto stosować izolację papierową. Długie kable transoceaniczne posiadają tylko jedną żyłę (gdyby obok siebie przebiegało więcej żył, działałyby one na siebie indukująco w ten sposób, że równoczesna praca na wszystkich żyłach nie byłaby możliwa). Kable podziemne posiadają wielkie ilości

żył (1000 i więcej). Kable takie układamy albo bezpośrednio w ziemi, albo w osłonach (kanałach cementowych, rys. 325).



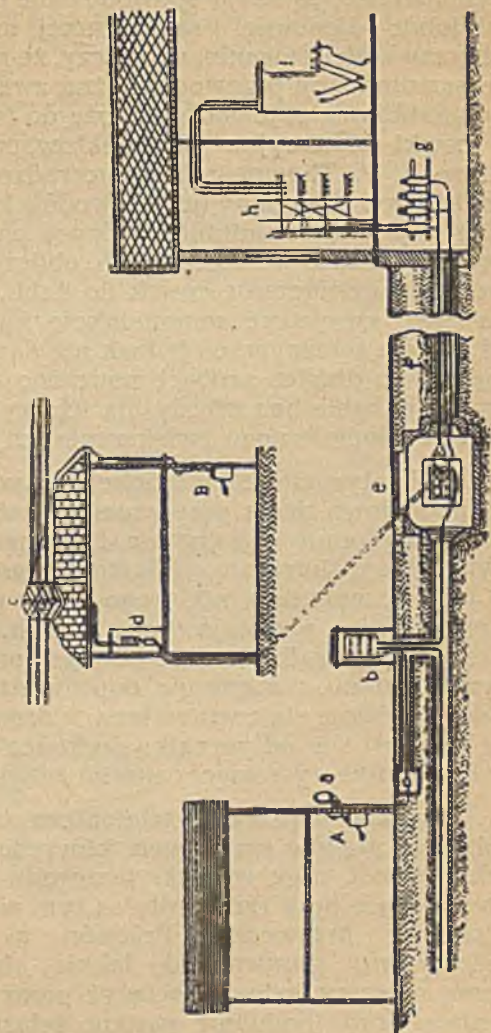
Rys. 325.

Rys. 326 przedstawia schematycznie różne sposoby łączenia abonentów telefonicznych z centralą. Abonent A jest połączony z urzędem za pośrednictwem kabla, do abonenta B wiedzie od kabla przewód napowietrzny. W centrali narysowanej po prawej stronie przewody dobiegają do łącznicy klapkowej *i*. Między kablami i łącznicą znajduje się rozdzielacz główny *h*, same zaś kable kończą się w końcówkach kablowych *g*, które są połączone z rozdzielaczem *h* za pomocą drutów (liczba tych drutów odpowiada liczbie żył w kablach). Poza końcówkami kablowymi rozpoczynają się kanały cementowe (rys. 325). Do tych kanałów sięgają w pewnych odstępach studnie (włazy) kablowe *e*, od których kable odgałęziają się w różnych kierunkach. W naszym przykładzie narysowano dwa takie odgałęzienia. Jeden kabel prowadzi do skrzynki *d*, stąd do stojaka dachowego *c*, po czym przechodzi w przewody napowietrzne. Do jednego z tych przewodów jest załączony aparat telefoniczny abonenta B. Drugi kabel dobiega do rozdzielacza *b*, w którym żyły kabla są rozdzielone na różne cieńsze kable, te zaś dochodzą do skrzynek *a*, od których odgałęziają się przewody do poszczególnych aparatów telefonicznych (A). Wszystkie aparaty i przewody napowietrzne są chronione za pomocą bezpieczników przed wylądowaniami atmosferycznymi oraz przed skutkami przypadkowego zetknięcia się z przewodami prądu silnego.

Telefonia operuje bardzo słabymi prądami. Prąd taki, zanim przepłynie przez przewód, musi go niejako wypełnić sobą, czyli „naładować”, podobnie jak rura wodociągowa musi napełnić się wodą, zanim zacznie tę wodę oddawać. W urządzeniach prądu silnego takie napełnianie przewodów elektrycznością nie odgrywa na ogół roli. Jeżeli jednak prądy są

słabe, jeżeli zmieniają ustawicznie kierunek i natężenie, jeżeli pojemność przewodów jest wielka, zjawiska powyższe występują wybitnie i mają przykre następstwa. Przy telegrafowaniu objawia się to — jak wiemy — przez „zalewanie” znaków Morse’a. Przy telefonowaniu na większe odległości pogarsza się siła i czystość głosu. Gdy pojemność przewodu (np. kabla) jest wielka, nie można porozumiewać się nawet na odległość kilkadziesiąt kilometrów, bo słabe prądy muszą oddawać wielkie ładunki, tak że na pośredniczenie w rozmowie nic już nie pozostaje.

Przewód, a zwłaszcza kabel, zachowuje się jak kondensator. Pojemność takiego kondensatora zależy przede wszystkim od dielektryku, czyli od izolatora, jakim jest otoczona miedziana żyła. Guma posiada wielką stałą dielektryczną, papier mniejszą, powietrze najmniejszą. Dlatego właśnie pojemność przewodów napowietrznych jest mała, a kable telefoniczne mają izolację papierowo-powietrzną.



Rys. 326.

Pojemność przewodów zależy także od ich samoindukcji. Samoindukcja unicestwia skutki pojemności. Im większa samoindukcja przewodu, tym mniej prądu zużywa się na ładowanie i tym mniejsze są straty spowodowane oporem. Przez odpowiedni dobór pojemności i samoindukcji można zapobiec ich wzajemnemu oddziaływaniu, co znaczy, że przez sztuczne zwiększenie samoindukcji przewodu można zwalczać skutecznie niepożądane objawy pojemności. Służą do tego cewki Pupina, tj. cewki indukcyjne zaprojektowane przez fizyka angielskiego S. P. Thompsona i wprowadzone przez prof. Pupina. Cewki takie załączamy do przewodów kablowych i napowietrznych w pewnych punktach, których położenie musi być oznaczone w drodze szczegółowych obliczeń. Poważne trudności nastęrczało dołączanie cewek do kabli. Toteż starano się początkowo zwiększyć samoindukcję kabli przez owijanie ich żył drutem żelaznym, co jednak nie dawało dobrych wyników. Dopiero po długich próbach nauczono się wbudowywać cewki Pupina w kable bez szkody dla ich wytrzymałości mechanicznej i bez nadmiernego zwiększania ich obwodu.

Oddziaływanie samoindukcji na pojemność można objaśnić poglądowo przez porównanie ze struną. Gdy szarpniemy strunę, wykonuje ona drgania, które po pewnym czasie nikną, czyli ulegają tłumieniu. Wielkość tego tłumienia zależy m. i. od jakości materiału, z którego jest wykonana struna. Cienka i lekka struna przestaje drgać wcześniej, niż gruba i ciężka. Energia doprowadzona do ciężkiej struny przenosi się z mniejszymi stratami, niż energia doprowadzona do struny lekkiej. Podobnie dzieje się z wprawioną w drgania liną, w której energia przenosi się od początku do końca w postaci linii falowej: im lżejsza lina, tym więcej energii zużywa się po drodze.

Tak samo i przewód telefoniczny wykonuje drgania pod wpływem prądów zmiennych, których źródłem jest mikrofon: elektryczność drga wzdłuż przewodu po jego powierzchni, a powstające przy tym straty są tym większe, im większa jest pojemność przewodu. Przewód o wielkiej pojemności możemy więc porównać do lekkiej struny bądź liny. Lekką strunę możemy jednak obciążyć przez owinięcie jej gęstymi zwojami drutu (podobnie owijano żelaznym drutem żyły kabla telefonicznego). Przez „obciążenie” przewodu żelazem można zrobić przewód niejako „cięższym”. Z drugiej jednak strony owinięcie przewodu drutem jest jednoznaczne ze zwiększeniem jego powierzchni, a więc i pojemności, tak że

w ten sposób nie można wyrównać pojemności w stopniu wystarczającym. Natomiast cewki Pupina nie zwiększają pojemności, lecz tylko unicestwiają jej działanie. Zalety cewek Pupina występują także w przewodach napowietrznych: umożliwiają one porozumiewanie się na wielkie odległości albo — gdy odległość nie ulega zmianie — na użycie cieńszych i tym samym tańszych drutów.

Mimo stosowania cewek Pupina nie można prowadzić rozmów telefonicznych na dowolnie wielkie odległości. Natężenie prądów telefonicznych zależy od siły głosu działającego na przeponę mikrofonu. Głos ludzki jest za słaby, gdy dwie stacje telefoniczne są połączone bardzo długim przewodem; w miarę zwiększania się odległości słabe prądy tracą tak wiele na natężeniu, że wreszcie nie mogą już wprawić w ruch telefonu w odległej stacji odbiorczej. Zresztą podobnie dzieje się i w telegrafii: gdy przewód jest długi, posługujemy się przekąźnikiem, który słabe dobiegające doń bodźce przekazuje innemu obwodowi i w ten sposób działa jako „wzmacniacz”. Takich wzmacniaczy elektromagnetycznych nie można jednak używać w telefonii, ponieważ z powodu swojej bezwładności nie mogą one nadążyć za zmianami, jakim ulega prąd telefoniczny (liczba tych zmian wynosi od 400 do około 1500 na sekundę). Do wzmacniania prądów telefonicznych nadają się tylko przyrządy pozbawione bezwładności. Są nimi wzmacniacze lampowe, takie same, jakimi posługuje się radiotechnika. Wzmacniają one takie nawet prądy, które leżą poniżej granicy dostępnej dla najbardziej doskonałych telefonów.



PRASADNICZA SZKOŁA CHEMICZNA
Ministerstwa Przemysłu Chemicznego
w Gliwicach, ul. Sowńskiego 1 p
Telefon 24-21

Akumulator ołowiowy 158
 Akumulator żelazonikłowy 164
 Amalgamowanie cynku 18
 Amper 22, 30, 157
 Amperogodzina 24
 Amperomierz 22, 31, 193
 Amperosekunda 24
 Amperozwój 60
 Aparat odzewowy 277
 Aparat telefoniczny 276
 Automat (wyłącznik) 233
 Automat pożarowy 250
 Autotransformator 138, 149
 Atom 2

Badanie izolacji 201
 Bateria akumulatorów 161
 Bateria centralna 280
 Bateria galwaniczna 41
 Bateria kondensatorów 42
 Bateria termiczna 176
 Bateria wyrównawcza 164
 Bezpiecznik 236
 Bezpiecznik napięciowy 150
 Bezpiecznik przepięciowy 239
 Bezwładność elektromagne-
 tyczna 71
 Bieg jałowy transformatora 150
 Biegun dodatni, ujemny 16
 Biegun następczy, pośredni 88
 Biegun pomocniczy, równo-
 wążący 93
 Biegun zwrotny 93
 Blask źródła światła 187

Centrala pośrednicza 277
 Centymetr (pojemność) 24
 Centymetr (samoodukcja) 72
 Cewka indukcyjna 274
 Cewka Pupina 286
 Ciepło elektryczne 167
 Cosinus φ 104
 Częstotliwość 78, 106

Dalekopis 264
 Depolaryzator 17
 Dielektryk 8
 Dławik 72, 182, 239
 Dołączanie 42
 Drgający prąd stały 80
 Dzwonek bocznikowy 244

Dzwonek grzechotny 244
 Dzwonek na prąd zmienny 249

Elektroda 14
 Elektrolit 17
 Elektroliza 157
 Elektromagnetyzm 57
 Elektron 2
 Elektryczność 2
 Elektryczność galwaniczna 13
 Elektryzowanie 5
 Energia elektryczna 22
 Eter świetlny 2

Fala prądu zmiennego 78
 Farad 8
 Faza 110
 Ferromagnetyzm 55
 Fluid elektryczny 1

Galwanometr, galwanoskop 15,
 195
 Gałka izolacyjna 229
 Gęstość linii sił 53
 Glin 174
 Gniazdko 235
 Gwiazda 114

Henr 72
 Histereza magnetyczna 60

Igła magnezowa 15, 47
 Ilość elektryczności 21
 Indukcja elektromagnetyczna 64
 Indukcja elektryczna 69
 Indukcja magnetyczna 50
 Induktor 82
 Iskra otwarcia 71
 Iskrenie maszyny 84
 Izolator 3, 226, 283
 Izolator wpustowy 228

Jasność źródła światła 179

Kabel 226, 230, 283
 Kaloria 168
 Karbid 174
 Kąt fazowy 103
 Kilogramometr 23
 Kilowat 23
 Kilowatogodzina 23

Klucz Morse'a 243, 259
 Kolej elektryczna 219
 Kolektor 79, 86
 Kondensator 8
 Koniogodzina 24
 Koń mechaniczny 23
 Korek bezpiecznikowy 237
 Klapka 246, 277
 Kulomb 21
 Kwas azotowy 174

Lampa jarząca 191
 Lampa kwarcowa 190
 Lampa łukowa 181
 Lampa neonowa 192
 Lampa rtęciowa 190
 Lampa żarowa 183
 Liczba obrotów maszyny 94
 Licznik 204
 Linia telefoniczna 282
 Linie siły 7, 53
 Luks 179
 Lumen 180

Ładownica 162
 Łącznica klapkowa 277
 Łuk świetlny 173

Magnes czasowy i trwały 50
 Magnes cząstkowy 49
 Magnes naturalny i sztuczny 47
 Magneśnica 85
 Magnetyzm 47
 Miernik izolacji 200
 Mikrofarad 272
 Mikrotelefon 273
 Miliamperomierz 194
 Moc 22, 44
 Moc pozorna, rzeczywista 104
 Moc prądnicą 94
 Moc prądu zmiennego 103, 115
 Moment magnetyczny 52
 Moment obrotowy 122
 Mostek Wheatstone'a 202
 Mufa kablowa 231

Nabiegunnik 88
 Nadajnik Morse'a 259
 Napięcie 7
 Napięcie fazowe 110, 217
 Napięcie główne (skojarzone)
 110, 217
 Napięcie międzyzaciłkowe 20
 Napięcie skuteczne 101

Nasada biegunowa 88
 Nasylenie magnetyczne 50, 61
 Natężenie prądu 22
 Natężenie oświetlenia 179
 Natężenie pola magnet. 53
 Natężenie skuteczne 102
 Natężenie światła 179
 Niskie napięcie 212
 Numerator 247

Obwód pierwotny, wtórny 69
 Obwód wewnętrzny, zewnętrzny
 19, 44
 Obwód zamknięty 13, 33
 Odbiornik Morse'a 259
 Odbiór słuchowy 259
 Odłączanie 42
 Odgromnik 239
 Odłącznik 235
 Ogniwo dołączne 161
 Ogniwo niestałe 17
 Ogniwo rozkładcze 157
 Ogniwo stałe 18, 248
 Ogniwo suche 18, 248
 Ogniwo Volty 13
 Ogniwo woreczkowe 248
 Ogrzewanie elektrodowe 171
 Ogrzewanie indukcyjne 175
 Ogrzewanie łukowe 172
 Ogrzewanie oporowe 169
 Okładka kondensatora 8
 Okres prądu zmiennego 78
 Om 25, 30
 Omomierz 200
 Opornik 26, 170, 182
 Opornik pomiarowy 198
 Opornik regulacyjny 91
 Opornik rozruchowy 138
 Opór 24
 Opór bezindukcyjny, indukcyjny 72
 Opór magnetyczny 55, 61
 Opór przejścia 26
 Opór wewnętrzny, zewnętrzny 19
 Opór właściwy 25
 Oprawka żarówki 184
 Orzęciowanie cynku 18
 Oświetlenie 179, 188
 Oświetlenie przyziemne 180
 Otarcie obwodu 42

Piec indukcyjny 175
 Piec łukowy 173
 Pirometr termoelektryczny 177
 Podstacja transformatorowa
 150, 211

Pojemność 7, 42
 Pojemność akumulatora 159
 Pojemność przewodów 285
 Polaryzacja 17
 Pole elektryczne 7
 Pole magnetyczne 53
 Pole rozproszone 147
 Pole wielokrotne 278
 Pole wirujące 132
 Połączenie równoległe, szere-
 gowe 39
 Połączenie w gwiazdę 114
 Połączenie w trójkąt 113
 Poślizg 136
 Potencjał 8
 Półwatówka 185
 Praca elektryczna 22
 Prawo indukcji 67
 Prawo Joule'a 168
 Prawo Kirchhoffa 36
 Prawo Ohma 29
 Prawo Ohma dla magnetyzmu 61
 Prąd bezmocny, bezwatowy 104
 Prąd błądzący 282
 Prąd ciągły 241, 258
 Prąd dwufazowy 109
 Prąd elektryczny 15
 Prąd indukcyjny 64
 Prąd jednofazowy 109
 Prąd otwarcia 71
 Prąd roboczy 241, 257
 Prąd stały 67, 82
 Prąd trójfazowy 110
 Prąd zamknięcia 70
 Prąd zmienny 67, 76
 Prądnicza 66, 75
 Prądnicza bocznikowa 90
 Prądnicza dodatkowa 163
 Prądnicza głównikowa 89
 Prądnicza głównikowo-boczniko-
 wa 92
 Prądnicza jednofazowa 109
 Prądnicza niedowzbudzona, prze-
 wzbudzona 93
 Prądnicza trójfazowa 110
 Prądnicza trójprzewodowa 97
 Prądnicza wzbudzająca 107
 Prostownik rtęciowy 153
 Przeciwdziałanie twornika 84
 Przekaznik 245, 257
 Przekładnia transformatora 146
 Przełącznik 236
 Przełącznik trójkąt-gwiazda 137
 Przenikalność magnetyczna 54, 61
 Przerwanie obwodu 42

Przesunięcie faz 103
 Przesyłanie energii elektr. 207
 Przetężenie 70
 Przetwornica dwutwornikowa,
 jednotwornikowa 151
 Przewodnik 3, 7
 Przewodność 25
 Przewód dosyłowy, odsyłowy 33
 Przewód fazowy (główny) 216
 Przewód goły, izolowany 225
 Przewód odgałęźny 212
 Przewód pionowy 238
 Przewód płaszczowy 229
 Przewód wyrównawczy 213
 Przewód zasilający 212, 224
 Przewód zerowy 213, 217
 Przycisk dzwonek 241
 Przyrząd pomiarowy 193
 Przyrząd pomiarowy aperi-
 odczynny 196
 Punkt węzłowy 212
 Punkt zasilający 212
 Puszka odgałęźna 230

Reflektor 187
 Regulator 224
 Reguła lewej ręki 122
 Reguła prawej ręki 59, 68
 Rotor 106
 Rozbieganie silnika 125
 Rozdzielnia 223
 Rozpraszanie linii siły 53
 Rozrusznik 121
 Równoważnik chemiczny 157
 Różnica potencjałów 14
 Ruch omnibusowy 257
 Rurka izolacyjna 229

Samoodukcja 69
 Samoodukcja przewodów 282
 Samowzbudzenie 83
 Silnik asynchroniczny 132
 Silnik bocznikowy 124
 Silnik głównikowo-bocznikowy 125
 Silnik głównikowy 122
 Silnik indukcyjny 134
 Silnik jednofazowy 141
 Silnik prądu stałego 119
 Silnik repulsyjny 142
 Silnik rozruchowy 152
 Silnik synchroniczny 131
 Silnik trójfazowy kolektorowy 140
 Siła elektromotoryczna 16, 19,
 64, 66
 Siła magnetomotoryczna 54, 61

Siła przeciwelektromotoryczna 120
 Skobelek 229
 Skrzynka kablowa 231
 Solenoid 58
 Spadek napięcia 34, 225
 Spawarka 171
 Spółczynnik mocy 104
 Spółczynnik temperatury 26
 Sprawność 44, 96, 188, 209
 Stała dielektryczna 10
 Stan elektryczny 5
 Stator 106
 Stojan 106, 136
 Strata napięcia 34
 Straty w maszynie 95
 Strefa obojętna 48, 77, 93
 Strumień świetlny 181
 Sygnalizacja elektryczna 241
 Synchronizacja maszyn 116
 Szczotki 88, 138
 Szyny zbiorcze 97, 224

Świeca normalna 179

Tablica rozdzielcza 223, 238
 Telefon 271
 Telefon automatyczny 280
 Telefon półautomatyczny 282
 Telegraf Baudota 263
 Telegraf Hughesa 260
 Telegraf lewarkowy 267
 Telegraf maszynowy 265
 Telegraf Morse'a 253
 Telegrafia transoceaniczna 266
 Telegrafia wielokrotna 262
 Tłumienie przyrządów pomiarowych 196
 Tramwaj 219
 Transformator 143
 Transformator napięciowy, prądowy 199
 Transformator olejowy 148
 Transformator pomiarowy 148 199
 Transformator rozruchowy 149, 138
 Trójkąt 113
 Turbogenerator 94, 115
 Twornik 52, 62, 76
 Twornik bębnowy 86
 Twornik kłatkowy 137
 Twornik z pierścieniami ślizgowymi 138
 Twornik zwarty 137

Układ dwuprzewodowy 212
 Układ hamulcowy 127
 Układ jednofazowy 215
 Układ mieszany 42
 Układ mostkowy 202
 Układ przekątnikowy 257
 Układ równoległy, szeregowy 41
 Układ trójfazowy 215
 Układ trójprzewodowy 213

Wat 23

Watogodzina 23
 Watomierz 105, 199
 Watosekunda 24
 Wirnik 106, 136
 Wirnik zwarty z uzwojeniem fazowym 137
 Wolt 21, 29, 158
 Woltamper 105
 Woltomierz 21, 32, 198
 Wtyczka 235
 Wycinek kolektora 86
 Wyłączanie prądu 42
 Wyłącznik 232
 Wyłącznik nadmiarowy 234
 Wyłącznik różkowy 233
 Wyłącznik samoczynny 233
 Wyłącznik wsteczny 234
 Wyłącznik zanikowy 233
 Wysokie napięcie 212
 Wzmacniacz telefoniczny 287

Zacisk 228

Załączanie prądu 42
 Zamknięcie obwodu 42
 Zapadka 246
 Zasada dynamoelektryczna 83
 Zasobnik 169
 Zegar elektryczny 251
 Zespół maszynowy 96, 115
 Zgodność biegu maszyn 97, 116
 Złączka 227
 Zmiana kierunku obrotów silnika 126, 139
 Zmiana prądu zmiennego 78
 Zniekształcenie pola 93
 Zwarcie 42
 Zwora magnetyczna 52

Żarówka fazowa 116

Żarówka półwatowa, próżniowa 184

Żarówka węglowa 183



WYDAWNICTWA W.I.N.W.

W. Dobrowolski

15 minut gimnastyki porannej. II wyd. 110.—

W. Dobrowolski

Lekka atletyka. Metodyka i trening. II wyd. 250.—

Inż. J. i T. Grabowscy

Piłka nożna 120.—

T. Fonferko

Praktyczna budowa kajaka jedno- i dwuosobowego . . 300.—

Ppłk dr J. Mazurek

Zaprawa marszowa 45.—

II. Zapolski-Downar

Dubelfówka śrutowa. Nabój. Strzelanie. III wyd. 140.—

J. Pálfi

Piłka nożna. Teoria i trening

Z. Mycielski

Dziu — Dżitsu

J. Dobranszky

Technika boksu

BG Politechniki Śląskiej
nr inw.: 102 - 137921



Dyr.1 137921

