

238.700
21.

PROF. MIECZYSLAW POZARYSKI

KRÓTKI ZARYS ELEKTROTECHNIKI

PODRĘCZNIK DLA
SZKÓŁ ZAWODOWYCH

CZEŚĆ I ZASADNICZA

PRĄD ELEKTRYCZNY, JEGO ŹRÓDŁA, PRZEWODY I OD-
BIORNIKI, ŁĄCZNIE Z URZĄDZENIAMI ELEKTRYCZNYMI
PRZESYŁANIA SIŁY I OŚWIETLENIA ORAZ OBSŁUGA

ZE 137 RYS. W TEKŚCIE



WARSZAWA
WYDAWNICTWO J. LISOWSKIEJ
1928

II 298.700

G.1.

KRÓTKI ZARYS ELEKTROTECHNIKI.
CZĘŚĆ I ZASADNICZA

PROF. MIECZYSLAW POŻARYSKI

KRÓTKI ZARYS ELEKTROTECHNIKI

PODRĘCZNIK DLA
SZKÓL ZAWODOWYCH

CZEŚĆ I ZASADNICZA

PRĄD ELEKTRYCZNY, JEGO ŹRÓDŁA, PRZEWODY I OD-
BIORNIKI, ŁĄCZNIE Z URZĄDZENIAMI ELEKTRYCZNYMI
PRZESYŁANIA SIŁY I OŚWIETLENIA ORAZ OBSŁUGA

ZE 137 RYS. W TEKŚCIE



WARSZAWA
WYDAWNICTWO J. LISOWSKIEJ
1927



298.700

2.1.



Drukarnia Wł. Łazarzkiego
w Warszawie, Złota 7/9.

1965 W 917/168

PRZEDMOWA

Krótki zarys elektrotechniki ujęty został w trzech częściach, które do pewnego stopnia są od siebie niezależne. Część I — „Prąd elektryczny jego źródła, przewody i odbiorniki łącznie z urządzeniami elektrycznymi przesyłania siły i oświetlenia oraz obsługa“ zawiera podstawowe wiadomości o własnościach i miarach prądu elektrycznego, oraz o budowie źródeł, odbiorników i całych urządzeń. Część II — „Silniki elektryczne, oświetlenie elektryczne, ogrzewanie elektryczne, i galwanotechnika“ oraz Część III — „Technika prądów słabych, radiotechnika, piorunochrony i elektrotechnika w medycynie“ omawiają wszystkie najważniejsze zastosowania prądu elektrycznego.

Każdy technik najwięcej ma do czynienia z silnikiem i z lampką elektryczną, to też część I-a Zarysu elektrotechniki w wielu razach może wystarczyć dla zdobycia najniezbędniejszych wiadomości w tej dziedzinie.

Część II i III przeznaczone są tylko dla uzupełnienia treści zawartej w części I-ej. Książka jest przystosowana do wymagań szkół zawodowych, kształcących młodzież w różnych zawodach, po uprzednim ukończeniu szkoły powszechnej; to też wykład w tej książce jest prowadzony w przypuszczeniu, że czytelnik zna zasady fizyki i matematyki w zakresie szkoły powszechnej.

Rysunki w tej książce są przeważnie na nowo przygotowane. Zdjęć fotograficznych łaskawie udzieliło Polskie Towarzystwo Elektryczne, Brown-Boveri i Związek Elektrowni Polskich. Niektóre rysunki są wzięte z katalogów i ogłoszeń.

P. inż. J. Pawlikowskiemu należy się wdzięczność za uwagi co do treści i za pomoc przy korekcie.

AUTOR

Warszawa wiosną 1927 r.

WSTĘP.

Z HISTORJI ELEKTROTECHNIKI.

Praktyczne zastosowanie prądu elektrycznego w technice zostało zapoczątkowane niespełna pięćdziesiąt lat temu. Podstawy jednak tej umiejętności sięgają czasów starożytnych.

Późny rozwój elektrotechniki tłumaczy się tą okolicznością, że zjawiska elektryczne są bardzo subtelne, przeważnie trudne do rozpoznania i badania. Dopiero po dokładnem opracowaniu teorii tych zjawisk t. j. szeregu skojarzonych ze sobą wyobrażeń myślowych, popartych rachunkiem, stało się możliwem stosowanie elektrycznych i magnetycznych własności ciał w praktyce technicznej.

W czasach starożytnych, przed Narodzeniem Chrystusa i w średniowieczu wiadomości o elektrycznych i magnetycznych zjawiskach były wśród ludzkości nadwyraz skąpe.

Oprócz bursztynów¹⁾, które przy pocieraniu nabierają własności przyciągania ciał lekkich i kopalnej żelaznej rudy magnetycznej, przyciągającej żelazo do wieku XII w Europie nic więcej nie znano.

Dopiero w wieku XII zjawily się magnesy stalowe w kompasach, służących do rozpoznania stron świata. Jest to pierwszy wynalazek należący niewątpliwie do dziedziny elektro-

¹⁾ Bursztyn po grecku nazywa się *elektron*, stąd słowo—„elektryczność“.

techniki. Przynieśli go arabowie z Chin, gdzie podobno był znany w głębokiej starożytności.

Prace teoretyczne w nauce o elektryczności i magnetyzmie zapoczątkował angielski lekarz Gilbert ¹⁾ dopiero w roku 1600.

Pierwszym elektrotechnikiem był amerykański Benjamin Franklin, który w roku 1755 stwierdził doświadczalnie elektryczną istotę piorunu i wynalazł piorunochron.

Podstawowe odkrycie prądu elektrycznego w przewodnikach dokonane zostało przez włoskiego lekarza Galvaniego w roku 1786.

Na zasadzie tego odkrycia już w roku 1792 Volta zbudował pierwsze ogniwo galwaniczne ²⁾.

Własności magnetyczne prądu spostrzegł duńczyk Oersted ³⁾ w roku 1820, a w kilka lat później francuz Amper i Niemiec Ohm stworzyli teorię prądu elektrycznego.

Drugie odkrycie podstawowe dla spóczesnej elektrotechniki zawdzięczamy sławnemu samoukowi Michałowi Faraday'owi ⁴⁾ w Anglii. Faraday odkrył w roku 1831 zjawisko indukcji, czyli wzniesanie prądów elektrycznych za pomocą poruszającego się magnesu, albo za pomocą innego prądu przebiegającego w pobliżu.

Opierając się na pracach Faraday'a, Pixii skonstruował w roku 1832 pierwszą magneto-elektryczną maszynę, która przy obracaniu dawała prąd. Dopiero jednak w roku 1867 Niemiec Werner Siemens ⁵⁾ i Anglik C. Wheatston ⁶⁾ jednocześnie wpadli na pomysł zastosowania w takiej maszynie elektromagnesów zasilanych prądem, wziętym z tej samej maszyny, czyli — **samowzbudzenia**.

Siemens proponował łączyć w jeden obwód „szeregowo“ uzwojenia elektromagnesów z ruchomymi zwojami maszyny

¹⁾ Czytaj Dżilber.

²⁾ Tak nazwane od nazwiska Galvaniego.

³⁾ Czytaj Ersztred.

⁴⁾ Czytaj Faradejowi.

⁵⁾ Czytaj Simens.

⁶⁾ Czytaj Witston.

i odbiornikami prądu. Wheatston doradzał prąd płynący z ruchomych uzwojeń rozdzielić i jedną część skierować do elektromagnesów, a drugą do odbiorników. W następnych kilku latach włoski Pacinotti ¹⁾, francuz Gramme ²⁾ i Niemiec Hefner Alteneck ³⁾ udoskonaliли budowę wirującej części maszyny czyli twornika. Tak powstała najważniejsza ze współczesnych maszyn elektrycznych **prądnicą elektryczną** czyli **dynamomaszyną** jeszcze inaczej **generator elektryczny**. Marcel Deprez ⁴⁾ jeden z pierwszych zastosował dynamomaszynę jako silnik około roku 1870.

W siedemnaście lat później w roku 1887 w Szwajcarii zostało wykonane pierwsze urządzenie przenoszenia siły na odległość za pomocą stałego prądu elektrycznego mocy 50 koni. Spóczesne wielkie sieci elektryczne dla przesyłania siły na wielkie odległości prądem trójfazowym biorą swój początek od urządzenia wykonanego w Niemczech w roku 1891. Wtedy poraz pierwszy przesłano za pomocą prądu trójfazowego siłę turbiny wodnej mocy 150 koni z miasteczka Lauffen nad Neckarem do Frankfurtu nad Menem na odległość 177 kilometrów, stosując transformatory na stacji wysyłającej i na stacji odbiorczej.

Wykonanie tego urządzenia zawdzięczamy współpracy dwóch firm elektrotechnicznych: szwajcarskiej i niemieckiej.

Brown ze strony Szwajcarii a Doliwo-Dobrowolski ze strony Niemiec byli najwybitniejszymi elektrotechnikami, przyjmującymi udział w wykonaniu tego przedsięwzięcia.

Zastosowanie prądu elektrycznego do kolejnictwa zapoczątkowano w Europie w roku 1879, ale znaczny rozwój osiągają koleje elektryczne najprzód w Ameryce, dopiero później, za przykładem Ameryki, podjęto stopniową elektryfikację, narażenie kolei miejskich, a potem i dalekobieżnych w Europie.

Oświetlenie elektryczne w początku swoim wiąże się z wy-

¹⁾ Czytaj Paczynotti.

²⁾ Czytaj Gram.

³⁾ Czytaj Alteneck.

⁴⁾ Czytaj Marsel Deprec.

nalezieniem w roku 1848 lampy łukowej z regulatorem przez Foucault'a¹⁾, który zastosował odkrycie dokonane w roku 1813 przez Davy'ego²⁾, polegające na spostrzeżeniu jasnego bardzo światła, tak zwanego, łuku elektrycznego, inaczej łuku Volty przy przepływie prądu elektrycznego pomiędzy węglami, gdzie tworzy się rodzaj płomienia. Szybki jednak rozwój oświetlenia elektrycznego rozpoczął się dopiero na skutek zastosowania praktycznych lamp żarowych, wynalezionych przez sławnego Amerykanina Edisona w roku 1879. Europa zapoznała się z temi lampami poraz pierwszy na wystawie wszechświatowej 1881 roku w Paryżu.

Lampy Edisona były węglowe i oświetlenie elektryczne temi lampami z trudnością wytrzymywało konkurencję oświetlenia gazowego, po zastosowaniu jednak w roku 1906-ym drucików wolframowych, oświetlenie elektryczne już niema równorzędnych współzawodników.

Elektrochemję zapoczątkowała pierwsza elektroliza wykonana przez Carlisle'a i Nicholson'a³⁾ w roku 1800.

Pierwszy akumulator zbudował Plante w roku 1860.

Zastosowanie prądu elektrycznego do telegrafii wprowadził Amerykanin Morse⁴⁾, który w roku 1844 zbudował swój pierwszy aparat telegraficzny.

Telefony zawdzięczają swój rozwój techniczny i szerokie zastosowanie głównie połączeniu dwóch słynnych wynalazków amerykańskich: słuchawki Grahama Bell'a z roku 1876, z mikrofonem Hughes'a⁵⁾ z roku 1878.

Spółczesna radiotechnika oparta jest na pracach teoretycznych sławnego angielskiego matematyka i fizyka James'a Clerk'a Maxwell'a⁶⁾ z roku 1864 i na epokowych doświadczeniach Niemca Henryka Hertza z roku 1888 nad falami elektro-

¹⁾ Czytaj Fukolta.

²⁾ Czytaj Dewiego.

³⁾ Czytaj Karla i Nikolsona.

⁴⁾ Czytaj w słowie Morse literę s jak z.

⁵⁾ Czytaj Juza.

⁶⁾ Czytaj Dżemsa Klerka Maksuela.

magnetycznymi, oraz Richardson'a, J.J. Thomson'a¹⁾ i wielu innych nad własnościami ciał rozżarzonych i przewodnością gazów.

Prace naukowe nad falami elektromagnetycznymi doprowadziły do wynalezienia telegrafu bez drutu przez Włocha Guglielmo Marconiego²⁾ w roku 1896.

Inne badania pozwoliły Amerykaninowi De Forestowi w roku 1902 wpaść na pomysł trójelektrodowej lampy katodowej, a duńczykowi Poulsenowi³⁾ w tymże roku zapoczątkować radiotelefonję.

Z tego krótkiego zarysu historycznego widzimy jak olbrzymiej i wytrwałej pracy licznych uczonych i techników w ciągu setek lat zawdzięcza swój rozwój społeczny elektrotechnika.

Z wielu nazwisk ludzi zasłużonych na tym polu zdołaliśmy wymienić tylko najwybitniejsze.

¹⁾ Czytaj Riczardsona i Tomsona.

²⁾ Czytaj Markoniego.

³⁾ Czytaj Paulsenowi.

ROZDZIAŁ I.

PRĄD ELEKTRYCZNY I JEGO ŹRÓDŁA.

1. OBWÓD ELEKTRYCZNY.

Wszystkie urządzenia elektryczne, tak rozpowszechnione obecnie, opierają się na zjawisku prądu elektrycznego. Elektryczność w ruchu jest tym czynnikiem, który świeci, grzeje, porusza maszyny i wozy a także w mgnieniu oka przenosi na odległość znaki pisarskie i dźwięki mowy ludzkiej lub instrumentów muzycznych.

We wszystkich urządzeniach elektrycznych współczesnych mamy przyrządy, wprawiające w ruch elektryczność — nazywamy je **źródłami prądu** oraz przyrządy odbiorcze, które, że tak powiem, prąd odbierają i dla tego zwane są **odbiornikami** — jak np. lampy, silniki i t. p.

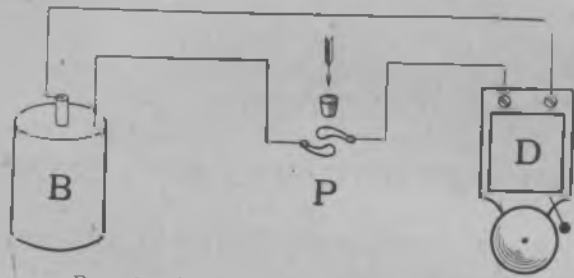
Większość znaczących urządzeń elektrycznych posługuje się przewodami elektrycznymi, najczęściej drutami dla przeprowadzenia prądu elektrycznego ze źródeł do odbiorników i tylko najnowsze urządzenia radiowe wznecają prąd w odbiornikach za pomocą fal elektromagnetycznych, biegnących w eterze¹⁾, tak jak światło.

Źródła prądu przewody i odbiorniki zazwyczaj stanowią jeden obieg zamknięty w kółko, zwany obwodem elektrycz-

¹⁾ Subtelny ośrodek wypełniający cały wszechświat.



nym. Dla przykładu rozważymy najprostszy obwód dzwonka elektrycznego (rys. 1). B — ogniwo galwaniczne jest **źródłem** prądu. D — dzwonek — **odbiornikiem**, P — przycisk — tak zwany — przerywaczem prądu, on **zamyka i otwiera styk** między sprężynkami.



Rys. 1. Obwód dzwonka elektrycznego.

Gdy w przycisku sprężynki zetkną się, mówimy, że przerywacz jest zamknięty, dzwonek dzwoni, bo po obwodzie płynie prąd elektryczny. Prąd płynie **w kółko**: z ogniwa do dzwonka, z dzwonka przez sprężynki przycisku do ogniwa i t. d. Prąd ten płynie po drutach miedzianych i przez roztwór soli w ogniwie, gdyż miedź i roztwory soli są dobrymi przewodnikami elektryczności.

Wogóle prąd stały może płynąć tylko w obwodzie zamkniętym, t. j. w takim, w którym spotyka wszędzie dobre przewodniki elektryczności.

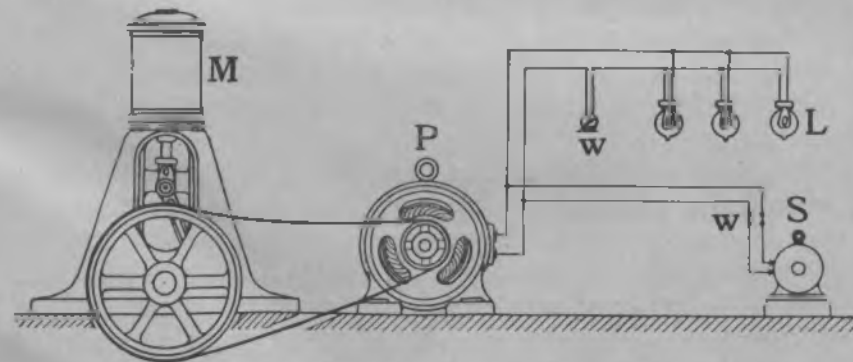
Obwód elektryczny, składający się wyłącznie z dobrych przewodników elektryczności, nazywamy obwodem **zamkniętym**, jeżeli zaś w obwodzie jest przerwa wypełniona złym przewodnikiem, to mówimy, że obwód jest **przerwany** lub **otwarty**. Jeżeli np. sprężynki w przycisku dzwonka nie stykają się, to mówimy, że przerywacz jest otwarty, prąd nie płynie, dzwonek nie dzwoni, gdyż pomiędzy tymi sprężynkami jest **powietrze** — zły przewodnik elektryczności — inaczej **izolator**, czyli odosobniacz, wtedy obwód jest **przerwany**. Czasem zdarzyć się może, że pomimo przyciśnięcia guzika

w przycisku, dzwonek nie dzwoni, tu przyczyną bywa nieraz przerwa w obwodzie, która zachodzi gdy np. zapomniano oczyścić dobrze końce drutów, zaciśnięte pod śrubki stykowe. Śnież, kurz i t. p. na drutach i śrubkach są to wszystko **izolatory**. Mówimy wtedy, że mamy w obwodzie zły kontakt, czyli — zły styk.

Urządzenia elektryczne tylko wtedy mogą działać dobrze, gdy mają wszystkie **dobre** kontakty, będzie to wówczas, gdy we wszystkich stykach powierzchnie metalowe będą czyste i mocno ściśnięte ze sobą.

Poza tem musi być w dobrym stanie źródło prądu i odbiornik. Jeżeli zamknąć obwód bez źródła prądu np. obwód na rys. 1 bez ogniwa galwanicznego, to prąd nie popłynie. W ogniwie więc jest ta siła elektromotoryczna, która wprawia w ruch elektryczność.

Bez porównania większe znaczenie praktyczne jako źródło prądu ma **prądnica elektryczna**, zwana inaczej **dynamomaszyną** lub generatorem. Obwód prądnicy widzimy na rys. 2, tu maszyna parowa albo silnik spalinowy **M** obraca prądnicę **P**, która daje prąd do lampek **L** i do silnika elektrycznego **S**; **W** i **W** przerywacze, za pomocą których możemy przerwać dopływ prądu do lamp albo do silnika i w ten sposób zgasić lampy lub zatrzymać silnik.



Rys. 2. Obwód prądnicy elektrycznej.

W obwodzie ogniwa galwanicznego, prąd czerpał energię z tak zwanej energii chemicznej roztworów soli i metali, wchodzących w skład ogniwa galwanicznego.

W obwodzie prądnicy, prąd czerpie energię z pracy mechanicznej maszyny parowej, która daje tę pracę kosztem energii cieplnej pary. Para zaś otrzymuje ciepło z energii chemicznej, ukrytej w węglu spalonym pod kotłem, zasilającym parą maszynę parową.

Energię, zaczerpniętą w prądnicy przez prąd elektryczny, rozprzodza się po przewodach elektrycznych do odbiorników, tu energia przyływająca przybiera dla nas użyteczną postać: — grzeje, świeci i obraca maszyny, oraz pędzi wozy tramwajów czy koleje elektrycznych.

Są dwa rodzaje prądnic elektrycznych: jedne dają tak zwany **prąd stały**, w którym elektryczność płynie ciągle w jednym kierunku, drugie — **prąd zmienny**, gdzie elektryczność płynie naprzemian to w jednym, to w drugim kierunku.

Dawniej stosowano przeważnie prąd stały, dzisiaj częściej stosujemy prąd zmienny.

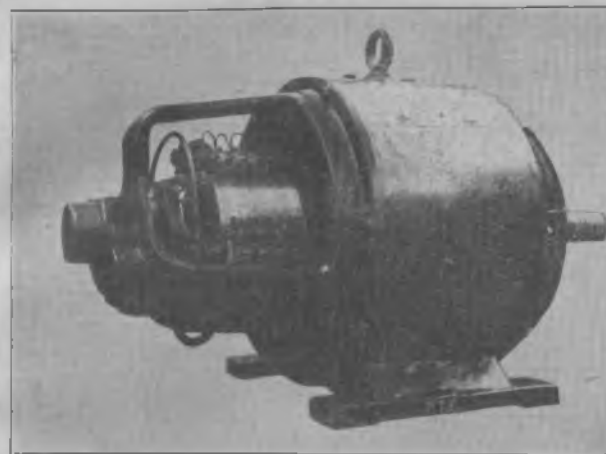
2. PRĄDNICA PRĄDU STAŁEGO.

Prądnica prądu stałego rys. 3 składa się z następujących trzech zasadniczych części nieruchomej **magneśnicy**, wirującego **twornika** i nieruchomych **szczotek**.

Magneśnica prądnicy stanowi pierścień żelazny, czyli tak zwane jarzmo, rys. 4, wewnątrz którego umocowują się żelazne klocki — tak zwane — **pieńki biegunowe** inaczej, krótko **bieguny**, rys. 5.

Na biegunach nasadzone są cewki zwinięte z drutu izolowanego, które, gdy prąd w nich przepływa, magnesują **magneśnicę**. Magneśnica współczesnej prądnicy (rys. 5) ma szerokie bieguny główne, a pomiędzy nimi wąskie bieguny pomocnicze.

Główne bieguny wzniecają prąd w wirującym tworniku, pomocnicze — chronią szczotki od iskier przez odpowiednie kierowanie **prądu**.

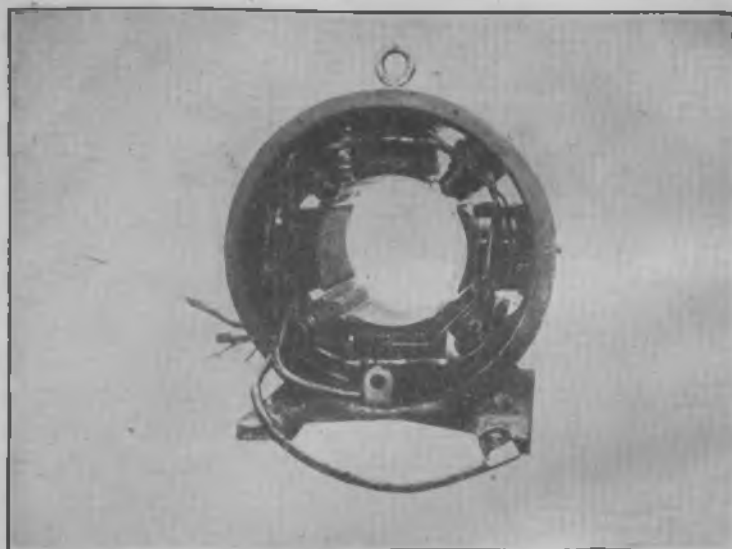


Rys. 3. Prądnica prądu stałego.
Polskiego Towarzystwa Elektrycznego w Warszawie.

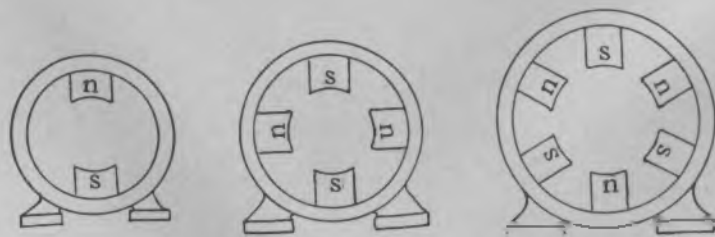


Rys. 4. Magneśnica bez pieńków biegunowych.

Zależnie od liczby biegunów głównych, magnesnice bywają dwubiegunowe, czterobiegunowe, sześciobiegunowe i t. d. (rys. 5-a).



Rys. 5. Magnesnica prądnicy.
Z uzwojeniami pieńkami biegunowymi.

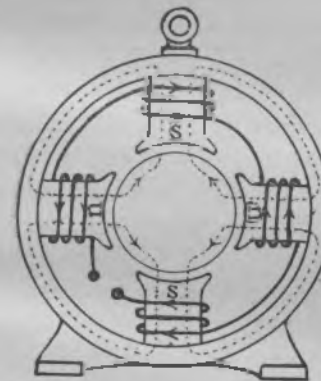


Rys. 5-a. Magnesnica dwu, cztero i sześć biegunowa.

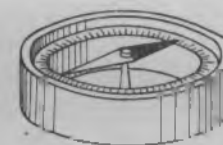
Magnesnica czterobiegunowa jest pokazana osobno na rys. 6-tym tylko z głównymi biegunami, gdzie widzimy, jak zmienia się kolejno znak biegunów $n, s, n, s.$ ¹⁾

Wewnątrz magnesnicy pomiędzy biegunami mamy tak zwane pole magnetyczne, w którym przebiegają strumienie magnetyczne, uzmysłowane na rys. 6 za pomocą linii przerywanych.

Obecność takiego pola magnetycznego poznajemy w dwójaki sposób. Za pomocą kawałka żelaza: gdy zbliżymy do biegunu namagnesowanej magnesnicy klucz żelazny, albo scyzoryk, to on ze znaczną siłą zostanie przyciągnięty, zarówno przez biegun północny, jak i południowy. Inaczej możemy badać pole magnetyczne za pomocą kompasu kieszonkowego (rys. 7).



Rys. 6. Strumień magnetyczny głównych biegunów magnesnicy.



Rys. 7. Kompas.

Gdy zbliżymy kompas na odległość kilku centymetrów do biegunu magnesnicy, to igła magnesowa kompasu zwraca się jednym końcem do tego biegunu. Jeżeli do biegunu magnesnicy zwrócił się biegun północny igły magnesowej, to taki biegun

¹⁾ n — biegun północny, a s — południowy. Północnym nazywamy taki biegun dwubiegunowego magnesu, który zwraca się na północ, gdy magnes ten swobodnie zawieszimy; południowym jest biegun przeciwny.

magneśnicy nazywamy biegunem południowym, na tej zasadzie, że bieguny różnoimienne magnesów przyciągają się.

Położenie igły magnesowej w polu magnetycznym wskazuje również bieg strumieni magnetycznych. Biegun północny igły wskazuje kierunek biegu strumienia.

Magneśnica jest tym mocniej namagnesowana, im większy prąd płynie w drutach cewek magnesujących i im więcej zwojów drutu mamy na cewkach.

Kierunek prądu i zwojów decyduje o znaku bieguna magnetycznego, t. j. o tym, czy będzie to biegun północny, czy południowy. Na rys. 6, prąd płynący z góry na dół w cewce uzwojonej w prawo daje u dołu biegun południowy, a prąd płynący do góry — północny¹⁾.

Bieguny pomocnicze są uzwojone w ten sam sposób.

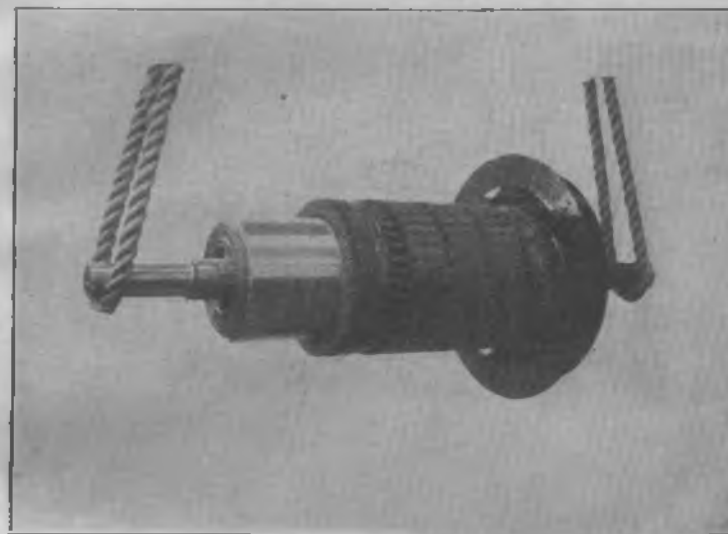
Twornik. Wewnątrz magneśnicy prądniczej elektrycznej (rys. 3) jest umieszczony — **twornik**, obracający się w łożyskach.

Na rys. 8 widzimy twornik osobno. Ma on wał stalowy, na którym jest osadzony okrągły żłobkowany rdzeń żelazny (rys. 9), złożony ze ściśniętych mocno ze sobą krążków cienkiej blachy żelaznej (grub. 0,5 mm, rys. 10), izolowanych od siebie, dla uniknięcia szkodliwych prądów wirowych, wzniesanych w czasie ruchu przez magnesy.

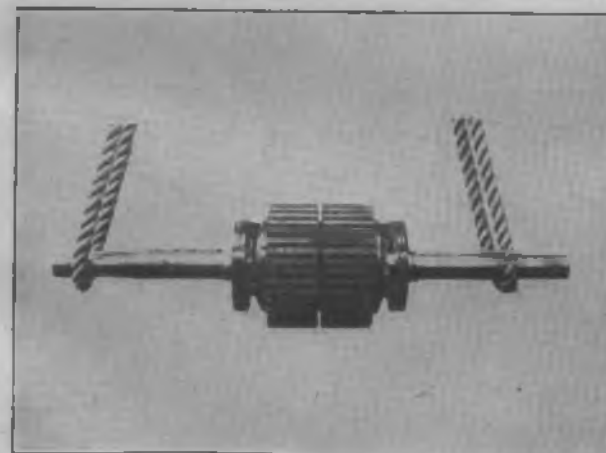
Obok rdzenia żelaznego na tym samym wale nasadza się **komutator** czyli kolektor (rys. 11), złożony z wycinków płytek miedzianych dobrze izolowanych od siebie i od piasty żelaznej. Budowa komutatora widoczna jest na rys. 12, tu **L** — wycinki płytek miedzianych, **K** — piasta żelazna, **i** — warstwa izolacji, **n** i **m** pierścienie ściskające płytki komutatora. W górnej części tego rysunku mamy przekroje komutatora: lewy wzdłuż osi, prawy w poprzek.

Do wycinków komutatora przyłutowane są końce drutów, stanowiących uzwojenie twornika. Uzwojenie twornika wykonane jest z drutu miedzianego dobrze izolowanego bawełną

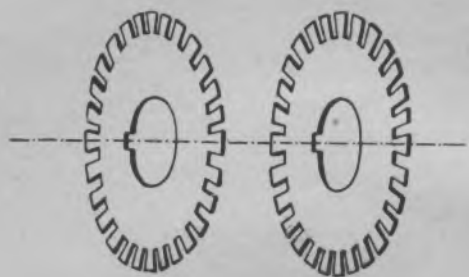
¹⁾ Gdyby cewki były uzwojone w lewo, to mielibyśmy bieguny odwrotne.



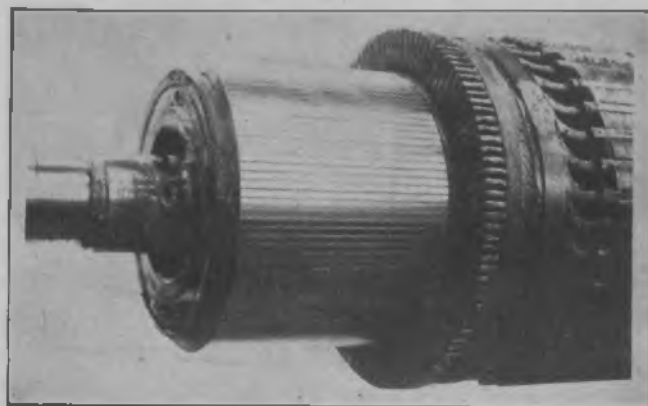
Rys. 8. Twornik prądniczej.



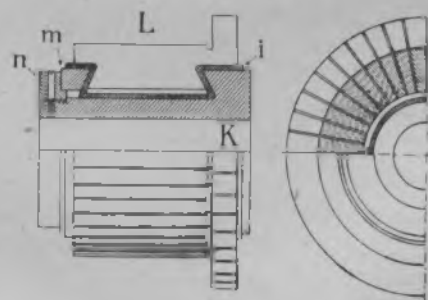
Rys. 9. Żłobkowany rdzeń twornika z wałem.



Rys. 10. Krążki blachy twornikowej.



Rys. 11. Komutator twornika prądnic.

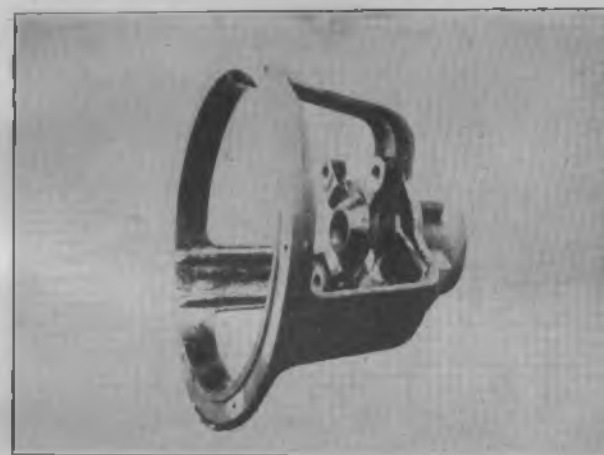


Rys. 12. Komutator prądnic częściowo w przekroju.

lub jedwabiem. Pęczki tego drutu układają się w żłobkach rdzenia żelaznego, wypełniając je szczelnie jak to widzimy na rys. 8 i 11.

Po za tem na wale twornika jest często nasadzona blaszana tarcza ze skrzydełkami (rys. 8), służąca dla przewietrzania prądnic w celu uchronienia od nadmiernego rozgrzania się przy silnym prądzie.

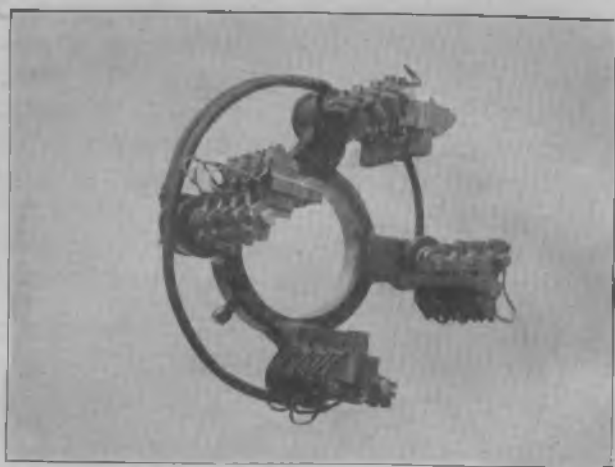
Wał obraca się w łożyskach, umocowanych na magnesnicy (rys. 3). Jedno z nich zdjęte z magnesnicy widzimy na rys. 13.



Rys. 13. Łożysko tarczowe prądnic.

Na wewnętrznej stronie tego łożyska mamy mały pierścień z czterema występami — jest to trzymadło szczotkowe, które w powiększeniu widzimy na rys. 14. Na każdym występie trzymadła umocowywa się jeden swożeń szczotkowy, a na każdym swoźniu siedzą cztery obsadki szczotkowe. Jedna z takich obsadek ze szczotką widzimy na rys. 15, a sama szczotkę z kawałkiem kabelka miedzianego mamy osobno na rys. 16.

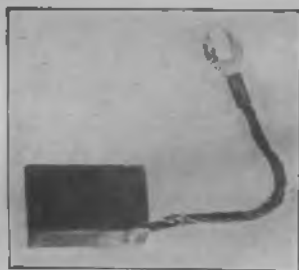
Szczotki przygotowane z twardego węgla prasowanego, ślizgają się po komutatorze prądnic i odprowadzają prąd wzniesiony w zwojach drutu twornika.



Rys. 14. Szczotki prądniczy na trzymadle szczotkowym.



Rys. 15. Obsadka szczotkowa.

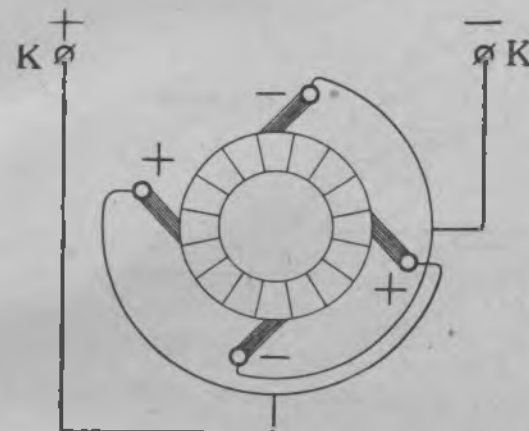


Rys. 16. Szczotka węglowa.

Przez obsadki, swożnie i druty łukowe (rys. 14) szczotki są połączone między sobą, tak jak wskazuje rys. 17. Jedną parę swożni nazywamy (+) plusową¹⁾, drugą (—) minusową i od-

¹⁾ Patrz dalej działanie prądniczy.

powiedniemi parami łączymy z zaciskami śrubowymi prądniczy $K K (+)$ i $(-)$, od których odprowadzamy prąd do odbiorników.

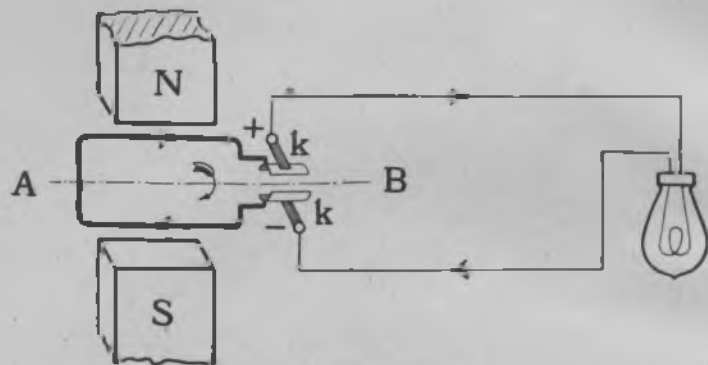


Rys. 17. Położenie szczotek na komutatorze.

Działanie prądniczy. Gdy twornik obraca się w polu magnetycznym magnesnicy, to w drutach uzwojenia twornikowego powstaje tak zwana **siła elektromotoryczna**, która wprawia w ruch elektryczność w zamkniętym obwodzie, część którego stanowią druty twornika. Szczotki i komutator służą do tego, aby wytworzyć odpowiednie połączenie pomiędzy ruchomą a nieruchomą częścią obwodu elektrycznego. Na rys. 18 widzimy cały obwód prądniczy dwubiegunowej z komutatorem dwuwycinkowym. W polu magnetycznym magnesnicy $N-S$ obraca się wokoło osi $A B$ zwoj drutu, którego końce są połączone z wycinkami komutatora k, k . Do tych wycinków dotykają nieruchome szczotki, połączone z przewodami prowadzącymi prąd do lampy.

Im szybciej będziemy obracać druty i im silniejsze będą magnesy, tym większą otrzymamy siłę elektromotoryczną i większy prąd w lampie.

Tak mogła by być urządzona najprostsza prądnica. Prąd jej jednak był by nierówny, przerywany, gdyż szczotki niezawsze dotykały by działek kolektora i nie zawsze druty twor-



i Rys. 18. Obwód prądnicy prądu stałego.

nika były by pod biegunami, gdzie w nich wytwarza się największa siła elektromotoryczna, to też w prądnicy używanej w praktyce (rys. 3) mamy na tworniku dużo zwojów i dużo działek komutatora (rys. 11 i 12), aby zawsze był styk ze szczotkami i zawsze część drutów znajdowała się przy biegunach.

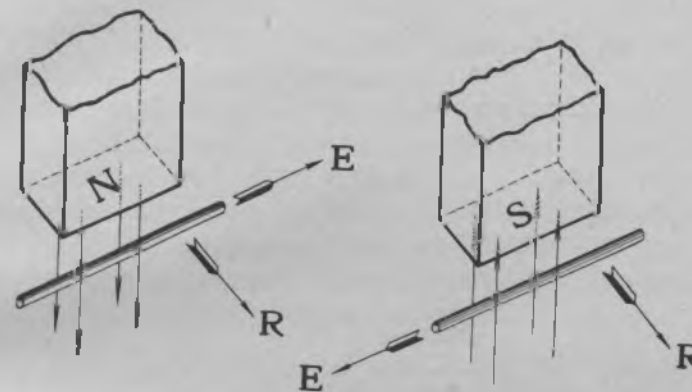
Kierunek siły elektromotorycznej, powstającej przy ruchu drutów pod biegunami magnesu, zależy od znaku bieguna i kierunku ruchu (rys. 19).

Prosta reguła pozwala zapamiętać ten kierunek, jeżeli uwzględnić, że strumień magnetyczny wychodzi z bieguna północnego i wchodzi do południowego, jak to widać na rys. 6 i 19.

Reguła ta jest następująca:

Siła elektromotoryczna, wzniesiona w drucie przy ruchu jego w pobliżu magnesu w poprzek strumienia magnetycznego, **ma kierunek wskazany przez złożone palce prawej ręki, w której dłoń wchodzi strumień magnetyczny, a odstawiony palec duży zwrócony jest w kierunku ruchu drutu względem bieguna.**

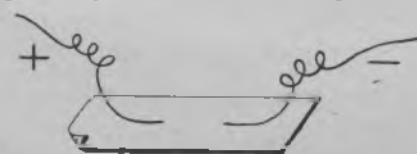
Stąd wynika, że zmieniając znak biegunów w magnesu, t. j. odwracając bieg strumienia magnetycznego, lub też odwracając kierunek ruchu twornika, można zmienić kierunek prądu w prądnicy.



Rys. 19. Kierunki siły elektromotorycznej wzbudzonej w drucie, poruszającym się pod biegunem magnesu.

Ta szczotka prądnicy, kędy prąd wychodzi, nazywa się zawsze **dodatnią** lub **plusową**, ta zaś szczotka, przez którą prąd wraca do prądnicy, nazywa się **ujemną** lub **minusową**.

Który przewód prowadzi od plusa a który od minusa najłatwiej wykryć za pomocą papierka lakmusowego, (sprzedają w aptoce). Jeżeli taki papierek niebieskawo położyć na kawałku drzewa, przedtem pośliniwszy i przytknąć do tego papierka rys. 20, końce drutów połączonych z przewodami,



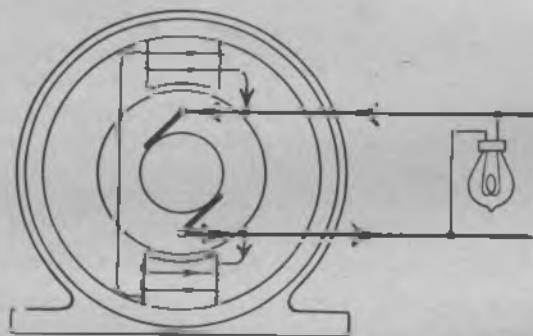
Rys. 20. Papierek lakmusowy dla wykrywania biegunów.

prowadzącymi prąd od prądnicy, to pod drutem połączonym z **plusem** papierek **poczerwienieje**, a pod drutem połączonym z **minusem** **poblękitnieje**.

Oprócz papierków lakmusowych są białe papierki tak zwane **biegunowe** używane przez elektryków. Prąd przez nich przepuszcza się tak samo, ale **czerwienieją pod minusem**.

Prądnice mają często po kilka szczotek dodatnich i po kilka ujemnych, wtedy wszystkie dodatnie są połączone razem i prowadzą prąd do zacisku plusowego, a wszystkie ujemne są połączone również razem i prowadzą prąd od zacisku minusowego (rys. 17).

Do uzwojenia na magneśnicy prąd elektryczny najczęściej doprowadza się z twornika tej samej prądnicy tak, że mamy tu obwód elektryczny rozgałęziony. Na rys. 21 wskazany jest obwód prądnicy dwubiegunowej, gdzie prąd wypływający z twornika rozdziela się na dwa prądy. Jeden prąd główny płynie do lamp. Drugi prąd słabszy płynie do uzwojenia na biegunach magneśnicy, tu cewki, zwinięte z wielkiej liczby zwojów cienkiego drutu, nie mogą przepuścić znacznego prądu.



Rys. 21. Obwód prądnicy bocznikowej.

Gdy są bieguny pomocnicze, to magnesowanie ich odbywa się głównym prądem, płynącym do odbiorników.

Wywoływanie strumieni magnetycznych w prądnicę nazywamy zwykle **wzbudaniem**. Mówimy więc, że omawiana prądnicą jest **samowzbudna**. Po za tem taką prądnicę nazywamy **bocznikową**, gdyż prąd, płynący do uzwojenia magneśnicy, płynie po bocznej drodze.

W prądnicę samowzbudnej na uwagę zasługuje sprawa powstawania prądu w pierwszej chwili po wprowadzeniu w ruch prądnicy.

Jeżeli magneśnica nie jest namagnesowana, niema więc strumienia magnetycznego, to pomimo obracania twornika, siła elektromotoryczna nie powstanie i prądu nie będzie.

Jednak z doświadczenia wiemy, że gdy prądnicę w ruch wprowadzimy, to ona daje prąd odrazu, wprawdzie początku prąd słaby, ale po upływie kilkunastu sekund mamy już prąd pełny — prądnicą wzbudziła się.

Świadczy to o tem, że w magneśnicy jest zawsze tak zwany **magnetyzm szczątkowy**, który pozostaje po przzerwaniu prądu magnesującego. Ten właśnie magnetyzm szczątkowy wywołuje pierwszy słaby prąd, który wzmacnia magnetyzm magneśnicy. Strumień magnetyczny stopniowo rośnie, ale nie może rosnać bez końca, gdyż żelazo namagnesowuje się w prądnicę tylko do pewnego stopnia, po za który mocniej namagnesować się nie może.

3. PRĄDNICA PRĄDU ZMIENNEGO.

Prądnicą prądu zmiennego składa się również z **twornika** i **magneśnicy**, ale twornik jest tu nieruchomy, a obraca się magneśnica (rys. 22).

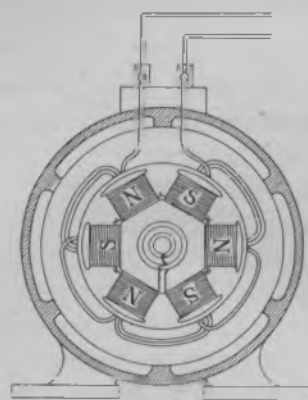
Magneśnica (rys. 23) jest osadzona na wale i ma bieguny wystające na zewnątrz.

Na biegunach są magnesujące cewki z drutu izolowanego. Strumienie magnetyczne mają tu stały kierunek, a więc i bieguny mają stałe znaki N i S. W ten sposób magneśnicę może namagnesować tylko prąd stały, to też, przy prądnicach prądu zmiennego, mamy obok małe prądnice prądu stałego, tak zwane **wzbudnice**, które dostarczają prądu do magnesowania magneśnicy (rys. 23), prąd ten dostaje się do uzwojeń wirującej magneśnicy, przez pierścienie ślizgowe i szczotki.

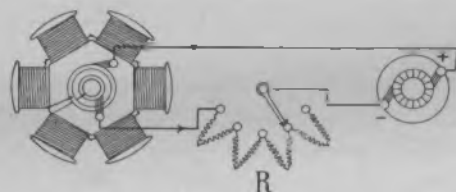
Twornik prądnicy prądu zmiennego (rys. 22) jest nieruchomy i prostszy od twornika prądnicy prądu stałego.

W żelaznej ramie umocowany jest rdzeń żelazny, w kształcie pierścienia, żłobkowany na wewnętrznej powierzchni. Rdzeń ten ułożony jest również z cienkich blach żelaznych izo-

lowanych od siebie, w celu uniknięcia szkodliwych prądów wirowych, wznieczanych w żelazie przez magnesnicę w ruchu.



Rys. 22. Prądnicą prądu zmiennego.



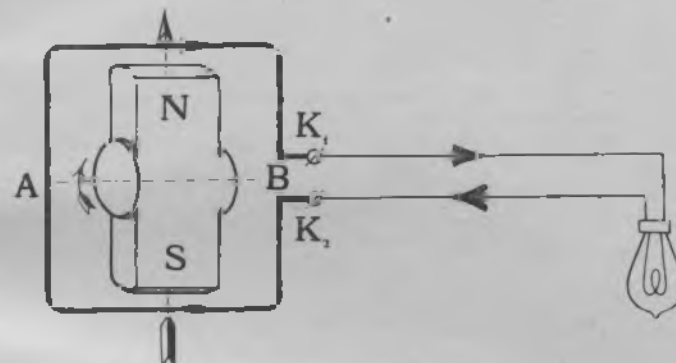
Rys. 23. Magnesnica prądnicą prądu zmiennego połączona ze wzbudnicą prądu stałego przez opornik R (patrz paragr. 9-ty).

W żłobkach twornika znajduje się uzwojenie z miedzianego drutu izolowanego, połączone wprost z zaciskami prądnicą, od których przewody prowadzą prąd do odbiorników.

Działanie prądnicą. Na rys. 24 mamy układ obwodu twornikowego prądnicą prądu zmiennego z dwubiegunową magnesnicą.

Magnesnica obraca się około osi A B według strzałki. Wokoło mamy jeden zwój drutu twornika. Strumienie magnetyczne, wybiegające z magnesnicy w ruchu, poruszają się z nią razem i wznieczają siły elektromotoryczne w drutach twornika.

Kierunek tych sił elektromotorycznych znajdziemy i tutaj również według **reguły prawej dłoni**, uwzględniając jednak tę okoliczność, że drut stoi, a więc ma tylko ruch pozorny — względem biegunów magnesnicy w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu tych biegunów. Duży palec prawej dłoni należy ustawiać zgodnie z ruchem względnym drutu, a więc przeciwnie do kierunku ruchu bieguna magnesnicy.

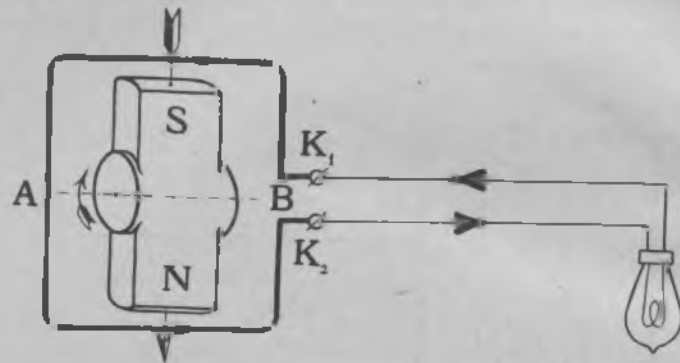


Rys. 24. Obwód prądnicą prądu zmiennego.

Wyznaczając kierunek prądu według tej reguły, łatwo spostrzeżemy, że z końcówki K_1 prądnicą prąd wychodzi, a przez K_2 wraca. Jeżeli jednak określimy kierunek prądu po wykonaniu przez magnesnicę połowy pełnego obrotu (rys. 25), to łatwo przekonamy się, że kierunek prądu odwróci się, przez końcówkę K_1 prąd będzie wracał, a przez K_2 będzie wychodził. Mamy więc tu prąd zmienny, który co pół obrotu zmienia swój kierunek.

Czas, w ciągu którego prąd odwróci swój kierunek i następnie z powrotem przybierze kierunek pierwotny, nazywamy **okresem** zmienności prądu. Liczba takich okresów, przypadająca na jedną sekundę, nazywa się **częstotliwością** zmienności prądu. W praktyce największe zastosowanie ma prąd zmienny o częstotliwości 50, to znaczy mający 50 okresów w ciągu sekundy, a więc jeden okres dla tego prądu trwa $\frac{1}{50}$ część sekundy, jest to czas krótszy od mgnienia powieki oka naszego.

Aby prąd miał taką częstotliwość, magnesnica dwubiegunowa musi wykonywać 50 obrotów na sekundę, gdyż jeden obrót takiej magnesnicy daje jeden okres zmienności prądu, a więc na minutę 3000 obrotów.



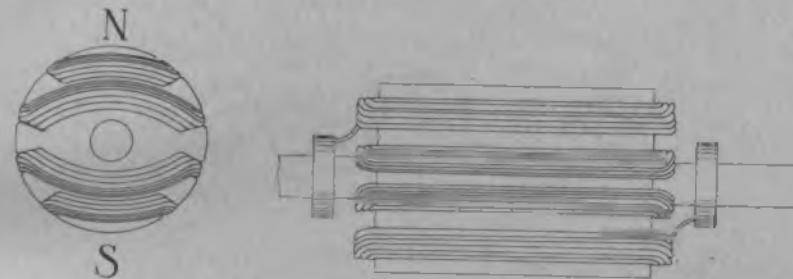
Rys. 25. Obwód prądnicy prądu zmiennego.

Tak szybko biegają tylko prądnice poruszane parowymi turbinami. Gdy prądnice prądu zmiennego porusza maszyna tłokowa, albo turbina wodna, to wypada, odpowiednio do szybkości jej biegu, stosować magnesnice wielobiegunowe (rys. 22). Przy tych magnesnicach prąd w tworniku zmienia swój kierunek za każdym razem, gdy zmienia się znak bieguna przechodzącego pod rozważanym drutem. Wobec tego przy jednym pełnym obrocie magnesnicy będziemy mieli tyle okresów prądu, ile par biegunów mamy na obwodzie. Np. jeżeli magnesnica jest 20 biegunowa, a więc ma 10 par biegunów, to przy jednym obrocie mamy 10 okresów prądu, a ponieważ na sekundę ma być 50 okresów, więc magnesnica powinna wykonywać 5 obrotów na sekundę, czyli 300 obrotów na minutę.

Jeżeli oznaczymy przez p liczbę par biegunów magnesnicy, przez n — liczbę jej obrotów na minutę i przez c częstotliwość prądu, to te trzy wielkości łączy następujący wzór algebraiczny:

$$c = \frac{p \cdot n}{60}$$

Odpowiednio do liczby biegunów i szybkości biegu, prądnice mają różną średnicę, im wolniejszy jest bieg, tem większa jest średnica. Prądnice szybkobieżne, obracane turbinami parowymi, mają magnesnice w kształcie walca bez wystających biegunów (rys. 26 i 26a), uzwojenie magnesujące jest ułożone w żłobkach na walcu w ten sposób, że powstają np. tylko dwa bieguny: z jednej strony N, a z drugiej S.



Rys. 26 i 26-a. Magnesnica prądnicy turbinowej.

4. PRĄDNICA TRÓJFAZOWA.

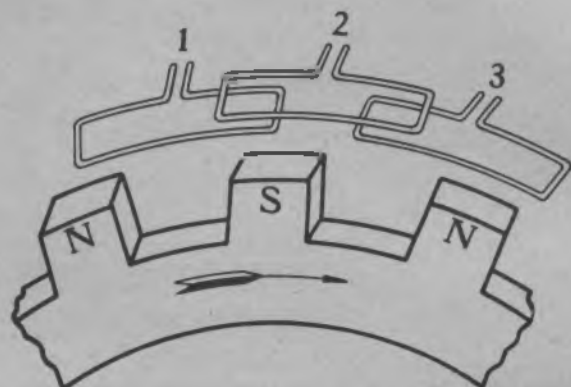
Tworniki współczesnych prądnic prądu zmiennego dostarczają zwykle tak zwanego prądu trójfazowego. Jest to prąd wytworzony w trzech uzwojeniach jednocześnie czynnych, znajdujących się na tym samym tworniku.

Powstające w nich prądy różnią się od siebie tak zwaną **fazą**. Różnica ta polega na spóźnianiu się zmienności prądu w jednym uzwojeniu w porównaniu do drugiego. Zwykle jedno z nich nazywamy uzwojeniem **pierwszej fazy**, drugie uzwojeniem **drugiej fazy**, a trzecie uzwojeniem **trzeciej fazy**.

Odpowiednia różnica faz otrzymuje się przez różne położenie uzwojeń względem biegunów magnesnicy. Na rys. 27 mamy pokazaną część ruchomej magnesnicy wielobiegunowej i nad nią trzy nieruchome zwoje twornika 1, 2 i 3 fazy.

Przy takim położeniu zwojów najpierw zmieni się kierunek prądu w zwoju **pierwszym**, następnie w **drugim**, a w końcu w **trzecim**.

Odległość pomiędzy środkami zwojów równa się trzeciej części odległości pomiędzy jednoimiennymi biegunami. W ten sposób prądy uzwojenia drugiej fazy są opóźnione w zmienności swojej względem prądu w uzwojeniu pierwszej fazy o trzecią część okresu. O tyleż są opóźnione prądy uzwojenia



Rys. 27. Układ uzwojeń twornika nad biegunami magnocności w prądnicu trójfazowej.

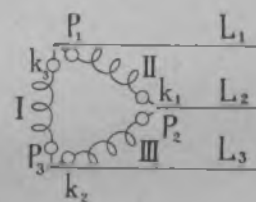
trzeciej fazy względem prądów w uzwojeniu drugiej fazy. Trzy odrębne uzwojenia prądnicu trójfazowej ułożone wokoło na tworniku są pokazane na rys. 28, one mają sześć końcówek, wypadaloby więc poprowadzić sześć przewodów, w ten sposób jednak nigdy nie prowadzimy prądu trójfazowego. Zwykle



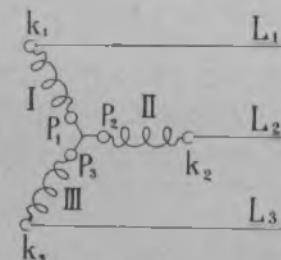
Rys. 28. Prądnicu trójfazowa.

uzwojenia poszczególnych faz kojarzą się razem tak, że tylko trzy przewody prowadzą prąd z prądnicy.

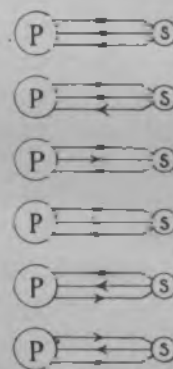
Najczęściej są używane dwa sposoby kojarzenia uzwojeń trójfazowych: w trójkąt (rys. 29) i w gwiazdę (rys. 30). Na tych rysunkach P_1 i K_1 oznaczają początek i koniec uzwojenia pierwszej fazy, P_2 i K_2 — drugiej fazy, P_3 i K_3 — trzeciej fazy.



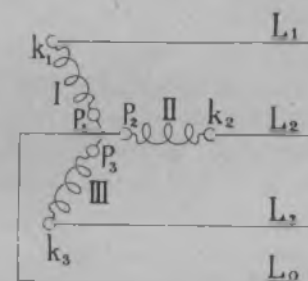
Rys. 29. Połączenie w trójkąt.



Rys. 30. Połączenie w gwiazdę.



Rys. 31. Przebieg prądu trójfazowego pomiędzy prądnicą a silnikiem.



Rys. 32. Odprowadzenie prądu za pomocą czterech przewodów.

L_1 , L_2 , L_3 są to przewody, odprowadzające prąd z prądnicy do odbiorników. Badając prąd w tych przewodach przekonamy się, że i tu mamy różnicę faz wynoszącą trzecią część okresu i dla tego przewód L_1 nazywamy przewodem 1-ej fazy L_2 — przewodem 2-giej fazy i L_3 — przewodem 3-ej fazy.

Kolejno jedne z nich służą jako dopływowce, a inne jako powrotne. Na rys. 31 strzałkami pokazano jak z czasem zmieniają się kierunki prądów w tych przewodach pomiędzy prądnicą P i silnikiem S.

Oprócz wyżej podanych układów, trójprzewodowych czasem znajduje zastosowanie jeszcze układ czteroprzewodowy (rys. 32), w którym od prądnicy prowadzimy cztery druty. Drut czwarty poprowadzony od miejsca połączenia trzech uzwojeń pomiędzy sobą t. j. od tak zwanego punktu zerowego, nazywa się również zerowym.

5. NATĘŻENIE I NAPIĘCIE PRĄDU ELEKTRYCZNEGO.

Zastosowanie prądu elektrycznego w technice stało się możliwym dopiero wtedy, gdy ustalono miary i sposoby mierzenia jego wielkości.

Natężenie prądu elektrycznego. Z doświadczenia wiemy, że im więcej elektryczności przepłynie w jednostkę czasu przez odbiornik, a więc np. lampę, tem silniejsze otrzymamy światło, podobnie większa będzie moc silnika elektrycznego i cieplejszy piec elektryczny. Stąd wniosek, że najważniejszą cechą prądu będzie ilość elektryczności, która przebiega w nim w ciągu sekundy, tę wielkość nazwano **natężeniem prądu elektrycznego**.

Dla natężenia prądu obrano jednostkę miary na podstawie zjawiska elektrolizy¹⁾ i nazwano ją **amperem**. (Skrót — A).

Jeżeli do roztworu wodnego soli, zawierającej srebro, tak zwanego azotanu srebra, pogrążyć dwie metalowe płytki i przepuścić prąd, to z prądem popłyną utajone w soli cząsteczki srebra i osiada na płytce, przez którą prąd wychodzi. Przyjęto, że taki prąd ma natężenie jednego ampera, który w ciągu jednej sekundy wydzieli 1,118 miligramów czystego srebra.

Mówimy więc, że płyną prądy o natężeniu 5 amperów, 10 amperów, 100, 1000 i t. d.²⁾, są to prądy silne, jednak mamy

¹⁾ Elektrolizą nazywamy rozkład soli i innych związków chemicznych za pomocą prądu elektrycznego.

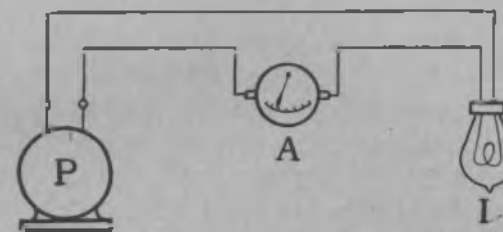
²⁾ Często w skróceniu mówimy po prostu prąd 5, 10 i t. d. amperów.

dziedzinie elektrotechniki, gdzie wystarczają prądy słabe, wynoszące setne, tysięczne, (milliampery) a nawet milionowe (mikroampery), części ampera.

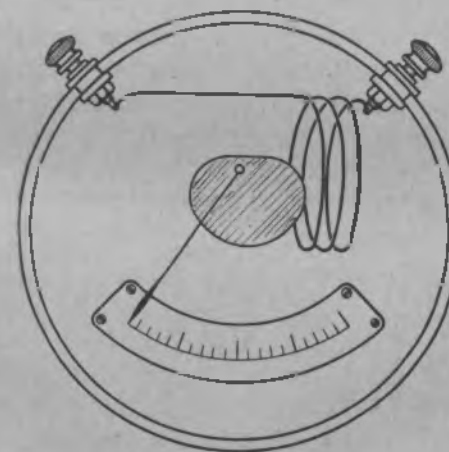
Do pomiaru natężenia prądu stosujemy **amperomierze**.

Są to przyrządy, przez które przepuszczamy mierzony prąd. Pod wpływem tego prądu wskazówka amperomierza odchyliła się i wskazuje na skali liczbę, wyrażającą natężenie prądu.

Na rysunku 33 widzimy amperomierz A, który wskazuje natężenie prądu dostarczonego przez prądnice P do lampki L.



Rys. 33. Amperomierz w obwodzie lampy.

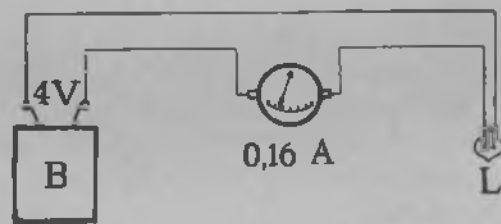


Rys. 34. Amperomierz elektromagnetyczny.

Ustrój amperomierzy bywa rozmaity. Często są używane amperomierze, tak zwane elektromagnetyczne (rys. 34), w któ-

rych działaniem magnetycznym prądu blaszka żelazna, zawieszona na osi poziomej, prostopadłej do rysunku, wciąga się wewnątrz zwojnicy z miedzianego drutu izolowanego. Na osi tej blaszki jest wskazówka, która odchyła się tym więcej, im dalej przekreśli się blaszka. Ciężar blaszki ciągnie ją w dół, a prąd do góry w prawo; im silniejszy jest prąd, tym wyżej utrzymuje blaszkę, a przez to większe mamy odchylenie wskazówki.

Napięcie prądu elektrycznego. Łatwo przekonać się, że natężenie prądu elektrycznego nie jest jedynie miarodajną wielkością dla jego skutków. Wystarczy tu porównać dwie lampki elektryczne, zasilane prądem z różnych źródeł. Na rys. 35 mamy małą lampkę, zasilaną prądem z małej baterii kieszonkowej, amperomierz, włączony do obwodu takiej lampki, wskazuje około 0,16 ampera. Na rys. 36 widzimy dużą lampę wiszącą w pokoju, zasilaną z prądnicy, amperomierz włączony do obwodu wskazuje również 0,16 ampera, pomimo to niema przecież wątpliwości, że duża lampa daje światło bez porównania silniejsze, a jednak natężenie prądu elektrycznego, t. j. ilość elektryczności, przepływająca w jednostkę czasu przez obie lampy jest ta sama. Musi więc być jeszcze jakaś inna cecha prądu elektrycznego, którą należy uwzględnić dla określenia tych skutków, jakie z niego mieć możemy.

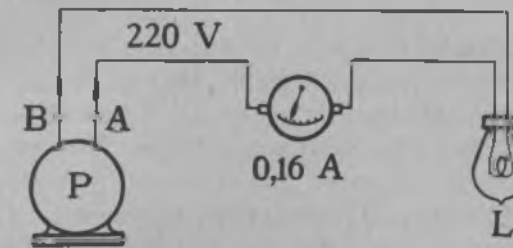


Rys. 35. Obwód lampki kieszonkowej.

Tę drugą cechę prądu nazywamy **napięciem prądu**. W powyższym przykładzie lampa, zasilana prądem przez prądnice, dla tego daje znacznie silniejsze światło, że prąd, który wy-

woluje prądnica ma znacznie wyższe napięcie — tu elektryczność wypływa ze źródła prądu pod większym ciśnieniem.

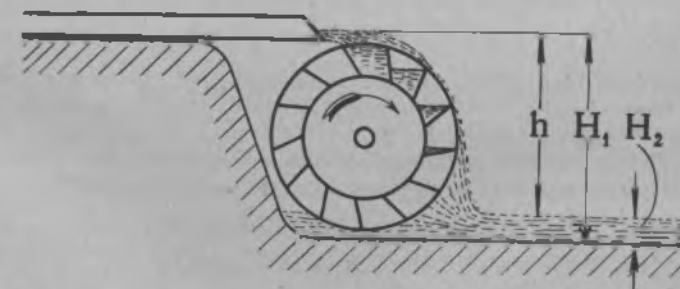
W każdym więc prądzie oprócz natężenia mamy jeszcze drugą cechę jego — **napięcie**.



Rys. 36. Obwód lampy pokojowej

Dla uzmysłwienia sobie tej własności prądu elektrycznego można porównać prąd elektryczny z prądem wody w rzece.

Gdy chodzi o wyzyskanie rzeki dla otrzymania pracy mechanicznej za pomocą turbin czy kół wodnych, zależy nam nie tylko na ilości wody, przepływającej w jednostkę czasu, lecz w równej mierze i na spadku, wyrażającym różnicę poziomów w korycie dopływowym i odpływowym. Z tej wody mamy większy skutek mechaniczny, która, przepływając przez koło wodne spada z większej wysokości h (rys. 37). Wysokość spadku w urządzeniach wodnych jest tem samym, czem napięcie w prądzie elektrycznym.



Rys. 37. Koło wodne.

Spadek wody h przy kole wodnem możemy rozważać jako różnicę wysokości poziomów wody w korycie dopływowem i odpływowem np. od dna koryta odpływowego:

$$h = H_1 - H_2$$

Tak samo i **napięcie** prądu rozważamy jako różnicę prężności elektryczności w punktach **A** i **B** (rys. 36 str. 39), a więc gdzie prąd wychodzi z prądnicy i gdzie wraca. Prężność elektryczności przyjęto nazywać **potencjałem**. Mówimy więc, że w punkcie **A** elektryczność ma wyższy potencjał np. V_A a w punkcie **B** niższy np. V_B . Napięciem będzie różnica tych potencjałów:

$$V = V_A - V_B$$

Zastanawiając się teraz bliżej nad zjawiskiem przebiegu prądu w obwodzie elektrycznym, łatwo spostrzeżemy, że zadanie prądnicy **P** (rys. 36) polega na przysparzaniu elektryczności wyższej prężności — czyli większego **potencjału**.

W obwodzie krąży w kółko zawsze ta sama elektryczność. Prądnica ją zgęszcza, zwiększając prężność, w lampie zaś prężność ta zużywa się. Możemy więc powiedzieć, że prądnica wytwarza napięcie prądu, które następnie zużywa się w lampie.

Jednostką miary napięcia jest **wolt** (skrót **V**).

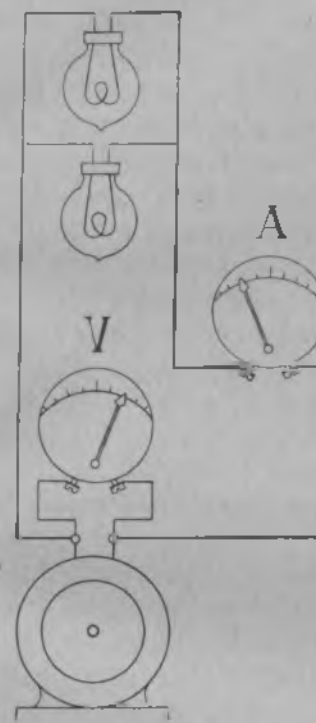
Jeden wolt napięcia daje w **przybliżeniu** ogniwo galwaniczne, składające się z miedzi i cynku w roztworze odpowiednich soli¹⁾.

Dokładnie, wielkość wolta przyjęto określać przez siłę elektromotoryczną tak zwanego normalnego ogniwa Westona, w którym mamy metale rtęć i kadm, zanurzone w roztworach dwóch soli siarczanu rtęci i siarczanu kadmu. Wielkość siły elektromotorycznej takiego ogniwa wynosi 1,0183 wolta.

Bateria galwaniczna na rys. 35 ma około 4 woltów, a prądnica na rys. 36 daje napięcie prądu 220 woltów.

¹⁾ Patrz dalej rozdział o ogniwach galwanicznych.

Mierzmy napięcie za pomocą przyrządów, zwanych **woltomierzami**. Budowa ich jest zwykle podobna do amperomierzy, gdyż mają np. cewkę z drutu i ruchomą blaszkę żelazną, włączają się jednak inaczej. Na rys. 38 widzimy włączony amperomierz i woltomierz.



Rys. 38. Woltomierz i amperomierz w obwodzie prądu lamp elektrycznych, zasilanych przez prądnicę. Woltomierz mierzy napięcie prądu na końcówkach prądnicy, a amperomierz natężenie prądu dostarczanego przez prądnicę.

Woltomierz ma zaciski połączone z punktami obwodu, pomiędzy którymi mierzymy napięcie.

Przez woltomierz płynie **mały** odgałęziony prąd i on sprawia wychylenie wskazówki. Im wyższe jest napięcie, tem silniejszy prąd popłynie przez woltomierz i wskazówka więcej się wychyli.

Liczby na skali woltomierza wskazują zawsze napięcie na **tych dwóch punktach**, z którymi został połączony woltomierz.

6. OPÓR ELEKTRYCZNY — PRAWA OHMA I JOULE'A¹⁾

Zmierzymy napięcie i natężenie prądu elektrycznego, przesyłanego do zwykłej lampy stołowej z prądnicy, znajdujemy np. przy 220 woltach napięcia 0,16 ampera (rys. 36).

Jeżeli uczynimy to samo z lampą większą, to przy tem samym napięciu 220 woltów, prąd, płynący przez **większą** lampę, będzie większy, wyniesie np. 0,32 ampera, t. j. dwa razy więcej od prądu w lampie małej. Powstawanie większego natężenia prądu, przy tem samym napięciu, tłumaczymy sobie mniejszym **oporem elektrycznym** większej lampy, mówimy, że większa lampa ma mniejszą oporność elektryczną. Wyobrażamy sobie, że napięcie stara się przepchnąć przez przewodnik jak najwięcej elektryczności, ale elektryczność spotyka w przewodniku przeszkody dla swego ruchu. Podobnie jak woda, płynąca w rurach, jest hamowana w swoim ruchu przez tarcie o ścianki rury.

O wielkości oporu elektrycznego w przewodnikach, czyli o oporności przewodników wnioskujemy z wielkości prądu, jaki otrzymujemy pod wpływem pewnego napięcia. Zależność pomiędzy **napięciem** prądu, **natężeniem** prądu i **opornością** nazywamy **prawem Ohma**²⁾.

Oznaczmy przez **V** — **napięcie**, przez **I** — **natężenie** prądu, a przez **R** — **oporność** przewodnika, na końcach którego mamy napięcie **V**, a prąd w nim płynący jest **I**, wtedy prawo Ohma wyraża się wzorem:

$$I = \frac{V}{R}$$

Jednostką miary oporności jest **om**³⁾.

Oporność jeden om ma słup rtęci wypełniający rurkę szklaną, której długość wynosi 106,3 centymetra, a przekrój poprzeczny otworu stanowi jeden milimetr kwadratowy, przy temperaturze topniejącego lodu.

¹⁾ Czytaj *Oma* i *Dżaula*.

²⁾ Czytaj *Oma*.

³⁾ Skrót ω — grecka litera omega.

Ta jednostka miary została tak dobrana, że gdy napięcie prądu na końcach przewodnika, mającego oporność **jednego oma**, wynosi **jeden wolt**, to natężenie prądu w tym przewodniku mamy **jeden amper**.

Wzór prawa Ohma można napisać jeszcze słowami w ten sposób:

$$\text{ampery} = \text{wolty} : \text{omy}.$$

Według tego wzoru, znając oporność przewodnika, oraz napięcie prądu, łatwo obliczymy **natężenie** prądu.

Np. jeżeli napięcie prądu wynosi 120 woltów, a oporność — 60 omów, to natężenie prądu będzie:

$$I = \frac{120}{60} = 2A$$

Przekształcając wzór prawa Ohma, łatwo obliczamy **oporność** przewodnika, według napięcia i natężenia prądu.

Ze wzoru na str. 42 wypada:

$$R = \frac{V}{I}$$

to znaczy, że

$$\text{omy} = \text{wolty} : \text{ampery}.$$

Tak na przykład znajdziemy oporność małej lampki, pobierającej 0,2 ampera przy 120 woltach, ze wzoru:

$$R_1 = \frac{120}{0,2} = 600 \text{ omów}.$$

Oporność dużej lampy wyniesie:

$$R_2 = \frac{120}{0,4} = 300 \text{ omów}.$$

A więc duża lampa dla tego bierze dwa razy więcej prądu, bo jej oporność jest dwa razy mniejsza.

Posiłkując się w ten sposób prawem Ohma możemy pośrednio **zmierzyć** oporność przewodników.

Mierzac woltomierzem napięcie prądu na końcach przewodnika, a amperomierzem prąd przepływający przez ten przewodnik, znajdziemy oporność tego przewodnika, dzieląc liczbę odczytaną na woltomierzu przez liczbę odczytaną na amperomierzu. Wynik otrzymamy **w omach**.

Oporność w obwodach prądu ma dwa bardzo ważne skutki, które należy mieć na względzie¹⁾.

1. Skutkiem oporności przewodów, doprowadzających prąd do odbiorników (rys. 36) traci się napięcie.

Ta **strata napięcia** według prawa Ohma wynosi:

$$v = J \cdot r$$

- r — oporność przewodów,
- J — prąd w przewodach,
- v — strata napięcia w woltach.

Napięcie na prądniczy jest zawsze wyższe, niż na lampie, tak np. gdy na prądniczy mamy 220 woltów, to na lampie tylko 215 woltów.

$$220 - 215 = 5 \text{ woltów}$$

straciliśmy na pokonanie oporności przewodów.

2. Drugim skutkiem oporności przewodów jest **ogrzewanie** się pod wpływem prądu.

Według prawa podanego przez Joule'a²⁾ ilość ciepła, wydzielająca się skutkiem oporności przewodników, oblicza się ze wzoru:

$$Q = 0,24 \cdot J^2 \cdot r \cdot t.$$

¹⁾ Patrz dalej obliczenie przekroju przewodów.

²⁾ Czytaj Dżoula.

- Q — ilość ciepła w małych kalorjach¹⁾
- J — prąd w amperach
- r — oporność drutu w omach
- t — czas przepływu prądu w sekundach.

Przewody, rozprawdzające prąd w urządzeniach elektrycznych, mają opór mały, więc grzeją się słabo. Oporniki (patrz § 9) grzeją się znacznie mocniej, bo mają opór większy, druciki w lampkach żarowych rozżarzają się bardzo mocno, bo mają opór jeszcze większy.

7. OPORNOŚĆ WŁAŚCIWA PRZEWODNIKÓW.

Przyglądając się lampkom małym i dużym, przeznaczonym dla tego samego napięcia prądu, łatwo spostrzeżemy, że drucik w lampach małych jest cieńszy niż w dużych. Im drut jest cieńszy i dłuższy, tem większą ma oporność elektryczną.

Zupełnie tak samo jak z rurami w wodociągach, im rura jest cieńsza i dłuższa, tem większy opór spotyka woda w niej płynąca.

Nie tylko jednak długość i grubość przewodników ma wpływ na ich oporność elektryczną. Oporność ta zależy także od **rodzaju materiału**, z którego został zrobiony przewodnik i od temperatury — t. j. stanu cieplnego tego przewodnika.

Z doświadczenia wiemy, jaka jest oporność przewodników zrobionych z różnych materiałów, gdy długość ich wynosi **jeden metr**, a przekrój poprzeczny **jeden milimetr kwadratowy**. Liczby, wyrażające tą oporność, nazywamy **opornościami właściwymi**. Oporności właściwe ważniejszych metali przy 15° według termometru Celsjusza są następujące:

Miedź na przewody	0,0175
Glin (aluminium)	0,0287
Drut żelazny	0,1300
Nikelina	0,4200

¹⁾ Mała kalorja to ilość ciepła ogrzewająca 1 gram wody o 1° Celsjusza.

8. OBLICZENIE OPORNOŚCI PRZEWODNIKÓW.

Mając oporność właściwą, można obliczyć oporność dowolnego drutu według następującej zasady, opartej na doświadczeniu.

Oporność przewodnika jest wprost proporcjonalna do długości przewodnika i odwrotnie, proporcjonalna do przekroju przewodnika¹⁾.

Jeżeli przez R oznaczymy oporność przewodnika w omach, przez l jego długość w metrach, przez s przekrój poprzeczny w milimetrach kwadratowych, a przez w oporność właściwą, to wzór algebraiczny na oporność takiego przewodnika będzie następujący:

$$R = w \cdot \frac{l}{s}.$$

Stąd obliczymy oporność.

Przykt. I. Mamy obliczyć oporność drutu miedzianego, którego długość wynosi 100 metrów, a przekrój $1,5 \text{ mm}^2$, taki drut często używa się do prowadzenia prądu po sufitach i ścianach pokoi przy oświetleniu elektrycznym.

Ponieważ, według wskazówek na str. 45, dla miedzi $w = 0,0175$, więc

$$R = 0,0175 \frac{100}{1,5} = 1,166 \text{ oma}$$

Przykt. II. Jako drugi przykład obliczymy oporność okrągłego drutu żelaznego, stosowanego do przewodów telegraficznych grubości 4 mm i długości 200 kilometrów.

Mając grubość okrągłego drutu — d , t. j. średnicę przekroju, obliczymy pole przekroju — s według znanego wzoru geometrycznego na pole koła:

$$s = \frac{\pi d^2}{4}.$$

w naszym przykładzie:

$$s = \frac{3,14 \cdot 4^2}{4} = 12,56 \text{ mm}^2$$

¹⁾ t. j. pola w poprzecznym przecięciu.

200 kilometrów stanowi 200000 metrów, więc oporność drutu będzie:

$$R = 0,13 \frac{200000}{12,56} = 2070 \text{ omów.}$$

Na oporność drutów ma wpływ ciepło. Drut ogrzany ma oporność większą niż zimny. W drutach miedzianych na każdy stopień podniesienia się temperatury według termometru Celsiusza przybywa 0,004 część oporu na zimno. W drutach nikielowych tylko 0,00002 część oporu na zimno.

Oporność roztworów soli i kwasów w wodzie przy ogrzewaniu maleje.

9. OPORNIKI.

Na szczególną uwagę zasługują bardzo często używane w elektrotechnice przyrządy zwane opornikami, w których przewody są wykonane z nowego srebra, nikeliny, manganinu i t. p. o dużej oporności właściwej i małym współczynniku cieplnym.

Z wielu najrozmaitszych zastosowań oporników, najbardziej charakterystyczne jest urządzenie dla przyciemniania i rozjaśniania lamp w teatrach np. w celu wywoływania wrażenia wschodu i zachodu słońca.

Zasadę takiego urządzenia widzimy na rys. 39. Prądnicą P zasila prądem lampkę L nie wprost przez miedziane przewody, a przez, tak zwany, opornik, który dowolnie może być umieszczony w przewodzie dopływowym (+) lub odpływowym (—).

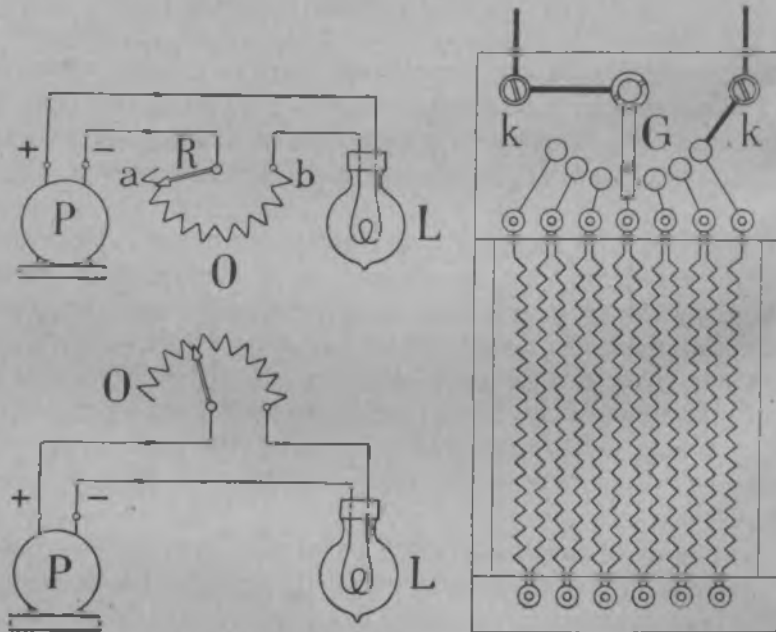
Drut oporowy $a o b$ może być włączony cały, lub w części do obwodu lampy za pomocą rączki R . Gdy rączka R dotyka drutu opornikowego w miejscu a , to prąd zmuszony jest przejść przez cały drut opornika i wtedy mamy włączony do obwodu lampy duży opór, przez co, zgodnie z prawem Ohma, prąd maleje i lampka świeci słabo. Jeżeli rączkę będziemy stopniowo

przesuwali od **a** do **h**, to prąd będzie przepływał przez coraz mniejszy kawałek drutu oporowego. Ogólny opór obwodu maleje i prąd stopniowo rośnie, lampa rozjaśnia się. Gdy rączka stanie w miejscu **b** — lampa świecić będzie pełnym światłem, gdyż drut oporowy będzie całkiem wyłączony.

Szczegóły ustroju oporników bywała najrozmaitsze.

Dla przykładu podajemy opis ustroju najprostszego opornika korbkowego (rys. 40). W celu zmniejszenia wymiarów opornika, drut oporowy jest tu zwinięty linją śrubową albo wężykiem, poszczególne zwojki tego drutu są rozpięte pomiędzy zaciskami śrubowymi, umieszczonemi u góry i u dołu na tabliczkach izolacyjnych, zamocowanych w żelaznej ramce.

Górne zaciski śrubowe są połączone drutami miedzianymi z mosiężnymi guziczkami, czyli tak zwanymi **kontaktami**. Po



Rys. 39. Opornik w przewodzie dopływowym i odpływowym jednokowo przyciemnia lampę.

Rys. 40. Opornik z korbką.

tych kontaktach przesuwana się łapka **G** korbki opornika. Przez zaciski **k k** wprowadzamy i wyprowadzamy z opornika prąd. Przy położeniu korbki wskazanem na rysunku, prąd przepływa tylko przez sześć zwojków drutu opornikowego, licząc od strony prawej ku lewej.

10. IZOLATORY.

Oprócz materiałów stosowanych dla przewodzenia prądu elektrycznego, duże znaczenie w elektrotechnice mają materiały, służące dla zabezpieczenia przewodów od upływu prądu przez obwody postronne, gdzie praca prądu byłaby stracona. Materiały takie nazywamy *izolacyjnymi*, albo krócej **izolacją** lub **izolatorami**.

Przewodniki miedziane w maszynach elektrycznych odosobniamy czyli izolujemy zazwyczaj bawełną lub papierem przesyconym odpowiednim lakierem.

W przyrządach małych cienkie druty są owijane jedwabiem.

Przy wysokich napięciach, oprócz bawełny i papieru, stosowana jest mika, są to cienkie listki przezroczyste, łupane z kamienia mikowego, wydobywanego z ziemi¹⁾.

Przewody prowadzące prąd po ścianach mają izolację z bawełny i gumy, a często umocowujemy je na gałkach z porcelany.

Przewody gołe, napowietrzne zawieszamy na porcelanowych lub szklanych izolatorach.

Niektóre przyrządy i maszyny elektryczne dla wzmożenia izolacji umieszczane bywają w skrzyniach wypełnionych olejem, który stanowi bardzo dobry materiał izolacyjny, o ile jest zupełnie czysty i nie zawiera wilgoci.

Wszystkie materiały izolacyjne nieprzepuszczają prądu prawie zupełnie.

¹⁾ Listki mikowe także są używane np. na okienka w maszynkach naftowych.

Gdy izolator oddziela dwa przewodniki, połączone z różnymi biegunami źródła prądu, i pomiędzy temi przewodnikami powstanie zbyt wielkie napięcie, to prąd przebija izolator, wypala w nim dziurkę i przez spalony izolator, który w tym miejscu przestaje już izolować, powstaje między przewodnikami połączenie, czyli tak zwane zwarcie.

W podobny sposób może być również przebity izolator, oddzielający przewodniki od ziemi, to znaczy od przedmiotów, mających elektryczne połączenie z ziemią, gdyż między przewodnikami, prowadzącymi prąd i ziemią jest zwykle również pewne napięcie elektryczne.

Wytrzymałość elektryczną izolatorów na przebicie prądem wyraża najmniejsze napięcie, przypadające na jeden centymetr grubości izolatora, przebijające ten izolator. Tak np. warstwę o grubości 1 cm powietrza przebija prąd o napięciu około 20000 woltów, warstwę oleju — 100000 woltów, tafle szkła — 150000 woltów, warstwę papieru nasyconego — 200000 woltów, a miki — 700000 woltów.

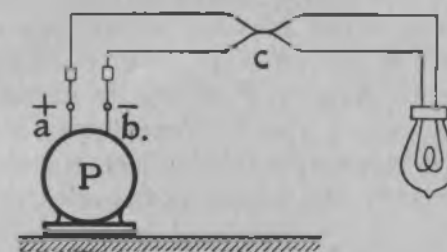
11. ZWARCIE.

Na szczególną uwagę zasługują zjawiska, które zachodzą w obwodzie elektrycznym przy uszkodzeniu izolacji, czy to skutkiem przebicia nadmiernym napięciem prądu, albo elektrycznością atmosferyczną, czy też skutkiem zepsucia izolacji przez wilgoć, pary gryzące lub uszkodzenia mechaniczne, a więc rozbicie izolatora porcelanowego, zderzenie gumy na przewodzie i t. p.

Są dwa wypadki, które rozważymy osobno.

Zwarcie pomiędzy przewodami. Jeżeli w jakikolwiek sposób zostanie uszkodzona izolacja pomiędzy przewodami różnoimiennymi (+) i (—), to pomiędzy nimi łatwo może nastąpić zetknięcie bezpośrednie (rys. 41) lub też połączenie elektryczne przez jakikolwiek przewodnik, mówimy wtedy, że powstało **zwarcie** między przewodami.

Skutkiem takiego zwarcia wzrasta nadmiernie natężenie prądu, prąd rozgrzewa przewodniki, łatwo może zapalić się izolacja a stąd — pożar.



Rys. 41. Zwarcie przewodów.

Dla czego przy zwarciu mamy nadmierny prąd? łatwo wyjaśni następujące rozumowanie. Rozważmy urządzenie na rys. 41. Prądnica P zasilą lampę prądem. Założmy, że na końcówkach prądnicy a, b mamy napięcie, wynoszące 110 woltów, lampa bierze 0,5 ampera prądu, wtedy według prawa Ohma wypada, że część obwodu składająca się z lampy i przewodów ma oporność:

$$\frac{110}{0,5} = 220 \Omega$$

Jeżeli teraz między przewodami w miejscu c nastąpi zwarcie, to prąd ma krótszą drogę a c b i głównie tędy płynie. Oporność tego obwodu jest **bardzo mała**, gdyż w tym obwodzie mamy tylko miedziane przewody. Oporność takiego obwodu zwarcia może wynosić np. 0,5 oma, wtedy według prawa Ohma, obliczymy natężenie prądu w zwartym obwodzie:

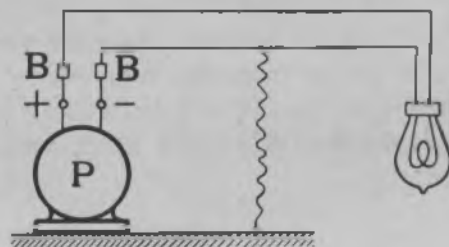
$$I = \frac{110}{0,5} = 220 \text{ amperów,}$$

a więc w przewodach zamiast 0,5 ampera, popłynie prąd 220 amperów, tak wielki prąd niewątpliwie nie tylko zapali izo-

lacje, ale stopi same przewody. W urządzeniach elektrycznych są zawsze tak zwane **bezpieczniki topliwe** (rys. 41)¹⁾, w których znajdują się druciki, stapiające się wcześniej i przerywające prąd, za nim zdąży rozgrzać się przewód.

Zwarcie z ziemią. Jeżeli zostanie uszkodzona izolacja pomiędzy przewodem a przedmiotem przewodzącym, połączonym elektrycznie z ziemią, to mówimy, że nastąpiło zwarcie z ziemią. Np. jeżeli pęknie izolator porcelanowy przewodu napowietrznego i drut spadnie na żelazny hak izolatora, to wtedy drut ten przez żelazny hak i słup będzie elektrycznie połączony z ziemią.

Jeżeli tylko jeden przewód obwodu elektrycznego (+) czy (-) będzie połączony z ziemią, to odpływu prądu nie będzie, bo niema powrotnej drogi do drugiego bieguna (rys. 42).



Rys. 42. Zwarcie z ziemią przewodu jednego bieguna (-).

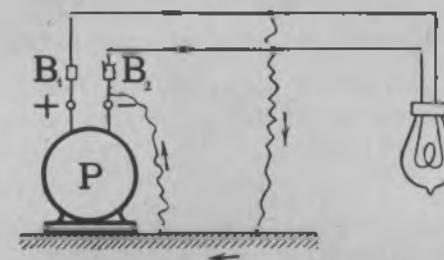
Jeżeli natomiast na przewodach obu biegunów będzie uszkodzona izolacja (rys. 43), to prąd znajdzie drogę od jednego przewodu do drugiego przez uziemienia i nastąpi zwarcie z temi samymi skutkami, o których była mowa poprzednio.

Wewnątrz budynków takie zwarcia z ziemią powstają łatwo, gdy przewody z uszkodzoną izolacją zetkną się z wilgotną ścianą, konstrukcją żelazną lub rurą wodociagową czy gazową.

Możliwość zwarcia z ziemią sprawia, że bezpiecznik umieszczamy zawsze **na obu przewodach** (rys. 43). Gdy np. na (+)

¹⁾ Na rysunku oznaczone kwadracikami.

i (-) powstają uziemienia takie, jak wskazano na rys. 43, to prąd zwarcia przez ziemię oczywiście przepływa tylko przez bezpiecznik B_1 i nie płynie przez B_2 , więc gdybyśmy nie mieli bezpiecznika B_1 , to urządzenie nie byłoby zabezpieczone.



Rys. 43. Zwarcie z ziemią przewodów obu biegunów (+) i (-).

12. MOC PRĄDU ELEKTRYCZNEGO.

Niedogodnym jest używanie dwóch liczb: natężenia i napięcia prądu dla określenia wielkości skutków prądu. Z tego powodu w elektrotechnice obliczamy jeszcze inną wielkość, charakteryzującą prąd elektryczny, zwaną **mocą prądu**.

Liczbę, wyrażającą moc prądu, znajdziemy, mnożąc napięcie prądu przez jego natężenie.

Jeżeli przez V oznaczymy **napięcie** prądu, przez I **natężenie** prądu, a przez P **moc** prądu, to moc prądu obliczymy z następującego wzoru:

$$P = V \cdot I$$

Jeżeli V — wyrażamy w **woltach**, a I — w **amperach**, to otrzymamy P w **watach**.

Wtedy:

$$\text{waty} = \text{wolty} \times \text{ampery.}$$

A więc np. lampka elektryczna, którą zasilamy prądem o natężeniu 0,546 ampera przy 110 woltach, pobiera:

$$P = 110 \times 0,546 = 60 \text{ watów.}$$

Taką lampkę nazywamy **sześćdziesięcio watową lampką**. Prądnicą elektryczną, która dostarcza 500 amperów prądu pod napięciem 220 woltów, jest prądnicą 110.000 watową.

Dla uniknięcia zbyt dużych liczb stosują się jednostki **tysiąc razy większe od wata — kilowaty (skrót kW)**.

Obliczenie w kilowatach uskuteczniamy według wzoru:

$$P = \frac{V \cdot I}{1000},$$

to znaczy, że:

$$\text{kilowaty} = \frac{\text{wolty} \times \text{ampery}}{1000}.$$

Np. moc prądnicy będzie:

$$P = \frac{220 \times 500}{1000} = 110 \text{ kW}$$

Zamiast tego, żeby mówić, że mamy prądnicę na 110000 watów, mówimy, że mamy prądnicę na 110 kilowatów.

W ten sposób, podając moc prądu, od razu wiemy jakich możemy po tym prądzie spodziewać się skutków, niezależnie od napięcia i natężenia. Prąd małego natężenia i dużego napięcia daje tyleż światła, ciepła i mocy mechanicznej, co prąd dużego natężenia, a małego napięcia, miarodajny jest tylko iloczyn.

A więc np. takie samo światło otrzymamy z lampy, która będzie brać 0,546 ampera przy 110 woltach, co z lampy, która weźmie 0,273 ampera przy 220 woltach.

13. PRACA PRĄDU ELEKTRYCZNEGO.

Gdy prąd elektryczny przepływa przez silnik elektryczny, który porusza np. tokarnię, pompę czy młyn, albo wagony kolei elektrycznej, to silnik taki wykonywa pracę mechaniczną tak samo, jak by to czynił koń czy człowiek, który by kręcił te maszyny lub ciągnął wagon.

Z doświadczenia wiemy, że pracę mechaniczną możemy otrzymać tylko kosztem jakiejś innej pracy czy energii, to też w silniku elektrycznym otrzymujemy pracę mechaniczną kosztem pracy prądu elektrycznego, przepływającego przez silnik.

W piecu elektrycznym otrzymujemy ciepło, a w lampie elektrycznej ciepło i światło, są to również postaci energii i można je otrzymać tylko kosztem innej energii lub też pracy.

W piecu elektrycznym ciepło, a w lampie ciepło i światło mamy kosztem pracy prądu elektrycznego, który przepływa przez te przyrządy.

Pracę prądu obliczamy, biorąc iloczyn jego mocy przez czas.

Jeżeli przez **P** oznaczymy moc prądu, przez **t** czas, to praca prądu **A** wyraża się wzorem:

$$A = P \cdot t.$$

Jeżeli **P** — podamy w **kilowatach**, a **t** w **godzinach**, to pracę **A** otrzymamy w **kilowatogodzinach** (skrót kWh).

Wtedy:

$$\text{kilowatogodziny} = \text{kilowaty} \times \text{godziny}.$$

Uwzględniając, że.

$$P = V \cdot I$$

otrzymamy:

$$A = V \cdot I \cdot t.$$

Najczęściej podajemy **V** — w woltach, **I** — w amperach, a **t** w godzinach, obliczamy zaś **A** w **kilowatogodzinach**, wtedy

$$A = \frac{V \cdot I \cdot t}{1000},$$

to znaczy, że:

$$\text{Kilowatogodziny} = \frac{\text{wolty} \times \text{ampery} \times \text{godziny}}{1000}$$

Przykład I. Silnik elektryczny pracuje w ciągu 10 godzin, biorąc prąd 40 amperów pod napięciem 220 woltów. Jaka pracę prądu silnik pobrał?

$$A = \frac{220 \times 40 \times 10}{1000} = 88 \text{ kWh}$$

Wypada więc, że silnik pobrał 88 kilowatogodzin.

Przykład II. Prądnica dostarczała przez 3 godziny 100 amperów, a przez następne 5 godzin 200 amperów prądu pod napięciem 110 woltów. Jaka pracę prądu dostarczyła prądnica? Według podanego wyżej wzoru wypadnie, że w ciągu 3-ch godzin prądnica dostarczyła:

$$A_1 = \frac{110 \times 100 \times 3}{1000} = 33 \text{ kWh}$$

w ciągu 5-ciu godzin:

$$A_2 = \frac{110 \times 200 \times 5}{1000} = 110 \text{ kWh}$$

Razem prądnica dostarczyła:

$$A = 33 + 110 = 143 \text{ kWh}$$

Przykład III. W pewnym mieszkaniu płynie do lamp prąd o natężeniu 1,6 ampera, przy napięciu 110 woltów, po 5 godzin dziennie przez 30 dni. Jaka pracę prądu zużyły lampy?

Łącznie w ciągu 30 dni lampy świeciły:

$$5 \times 30 = 150 \text{ godzin}$$

Więc praca prądu zużyta przez te lampy wynosi:

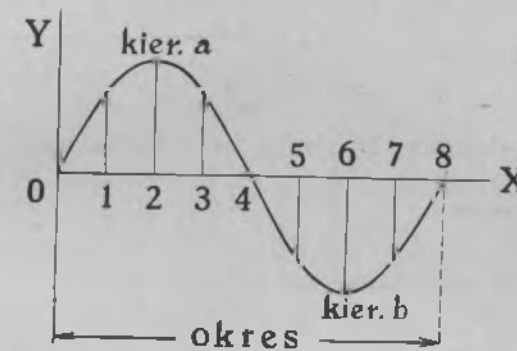
$$A = \frac{110 \times 1,6 \times 150}{1000} = 26,4 \text{ kWh}$$

Jeżeli wypadło płacić po 50 groszy za kilowatogodzinę, to koszt oświetlenia w ciągu miesiąca wyniósł:

$$50 \times 26,4 = \text{zł. } 13 \text{ gr. } 20.$$

14. NAPIĘCIE I NATEŻENIE PRĄDU ZMIENNEGO.

Natężenie prądu. Prąd zmienny, który otrzymujemy z prądnicy prądu zmiennego, zmienia okresowo nie tylko swój kierunek, ale i swoje natężenie i napięcie. Dla uzmysłowienia sobie tej zmienności służy wykres natężenia prądu, wyrażający zależność natężenia prądu od czasu. Wykres taki rysujemy w sposób następujący (rys. 44):

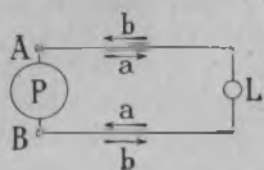


Rys. 44. Wykres zmienności prądu zmiennego.

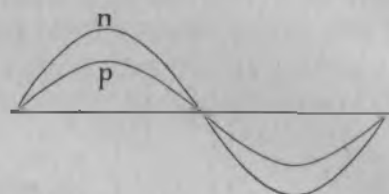
Na linii poziomej OX odkładamy szereg równych odcinków 01, 12, 23 i t. d., których długość wyraża czas $\frac{1}{8}$ części okresu zmienności prądu. W punktach 0, 1, 2, 3 i t. d. prowadzimy odcinki pionowe równoległe do OY takiej długości, aby one wyrażały wielkość natężenia prądu. Odcinki te prowadzimy do góry od osi OX, gdy prąd jest dodatni — a więc płynie w obwodzie prądnicy P i lampy L (rys. 45), w kierunku ALB. Natomiast na dół, gdy prąd jest ujemny, a więc płynie w kierunku BLA. Końce tych odcinków na rys. 44 łączymy jedną ciągłą linią. Im drobniejsze będą cząstki, na które podzielimy okres zmienności prądu, tem dokładniej linja ta będzie wyrażać zmienność prądu.

Z wykresu na rys. 44 widzimy, że natężenie stopniowo rośnie w kierunku a, czyli dodatnim i dochodzi do pewnej naj-

większości, czyli **maksimum** (kreska 2), potem maleje do zera, następnie prąd zmienia swój kierunek i **tak samo stopniowo** wzrasta w kierunku **b**, czyli **ujemnym** dochodzi do **największości ujemnej**, czyli **maksimum ujemnego** (kreska 6) i znowu zmniejsza się do zera i t. d.



Rys. 45. Prąd zmienny 100 razy na sekundę zmienia swój kierunek.



Rys. 46. Natężenie i napięcie prądu zmienia się zgodnie.

Kształt linii otrzymanej na rys. 44 nazywa się **sinusoidalnym**, linja sama — **sinusoida**, a stąd prąd nazywamy sinusoidalnie zmiennym.

Takie są prądy zmienne, z którymi zwykle mamy do czynienia w praktyce.

Zachodzi teraz pytanie, co wskaże amperomierz odpowiednio urządzony, jeżeli go włączymy w obwód prądu zmiennego?

Nie wskaże on wartości maksymalnej, gdyż taką wartość prąd ma tylko chwilę.

Przy prądzie zmiennym amperomierz wskazuje wartość która jest mniejsza od maksymalnej $\sqrt{2}$ razy.

Tak, że jeżeli przez I_m oznaczymy wartość natężenia prądu maksymalną, to wartość wskazana przez amperowierz wyniesie:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot I_m$$

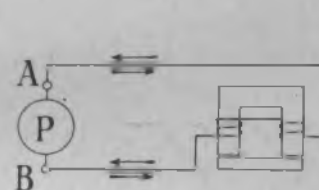
Taka wartość prądu zmiennego nazywamy **skuteczną**.

Napięcie prądu zmiennego zmienia się również sinusoidalnie. Zmienność jego nie jest jednak zawsze zgodna ze zmiennością natężenia prądu.

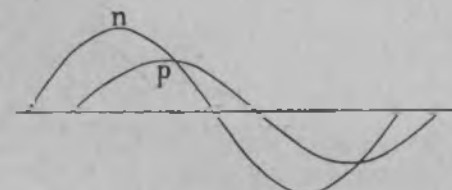
Są trzy przypadki charakterystyczne.

Jeżeli prąd zasila lampę elektryczną, to zmienności natężenia i napięcia prądu są **zgodne w czasie** (rys. 46).

Jeżeli prąd zmienny zasila elektromagnes (rys. 47), to prąd w zmienności swojej opóźnia się w czasie (rys. 48).



Rys. 47. Elektromagnes zasilany prądem zmiennym.



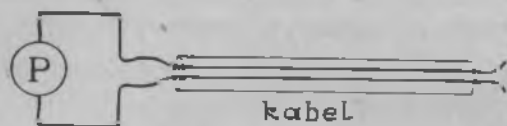
Rys. 48. Napięcie wyprzedza w swojej zmienności natężenie prądu.

Wreszcie mamy jeszcze trzeci osobliwy przypadek, gdy prąd z prądnicy prądu zmiennego doprowadza się np. do lamp przez długie podziemne przewody zwane kablami. Wtedy nie bacząc na to, że lampy jeszcze nie zostały przyłączone (rys. 49), prądnica już daje prąd, który idzie na ładowanie i rozładowywanie przewodów elektrycznych w kablu, przewody takie mają tę osobliwą własność, że skupiają na sobie znaczne ilości elektryczności, mówimy, że mają wielką **pojemność elektryczną**.

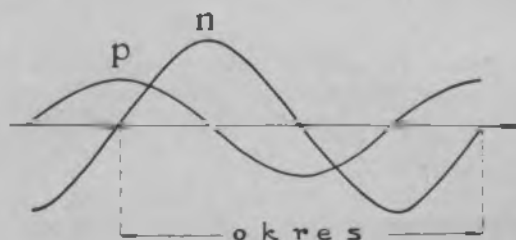
Otóż w tych warunkach w kablu płynie prąd, tak zwany, pojemnościowy, który ładuje elektrycznością przewody i wyładowuje z nich elektryczność.

Taki prąd osiąga już maksimum zanim napięcie dojdzie do największej wartości (rys. 50).

Woltomierz przy prądzie zmiennym tak samo jak amperomierz nie wskazuje wartości maksymalnej napięcia, a tylko pewną wartość, tak zwaną, **skuteczną**, która jest $\sqrt{2}$ razy mniejszą od maksymalnej.



Rys. 49. Prądnica zasila prądem kabel.



Rys. 50. Natężenie prądu wyprzedza w swej zmienności napięcie prądu.

Jeżeli wartość **maksymalną** napięcia oznaczmy przez V_m a **skuteczną** przez V , to

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0,707 V_m$$

A więc np. jeżeli maksymalna wartość napięcia wynosi 170 woltów, to wartość skuteczna będzie:

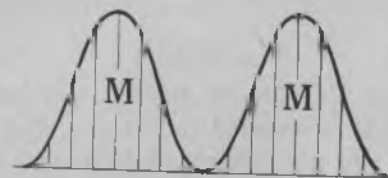
$$V = 170 \times 0,707 = 120 \text{ woltów.}$$

15. MOC PRĄDU ZMIENNEGO.

Mocą prądu nazwaliśmy iloczyn napięcia przez natężenie prądu elektrycznego.

Zgodnie więc z tym określeniem, przy zmiennym natężeniu i zmiennym napięciu, również moc będzie zmienna.

Jeżeli natężenie prądu i napięcie zmieniają się zgodnie (rys. 46), to w tym przypadku zależność mocy od czasu wyraża się wykresem na rys. 51. Moc zawsze jest dodatnia, prądnica zawsze dostarcza energii do lampy.



Rys. 51. Zmienność mocy prądu przy zgodności zmian napięcia i natężenia prądu.

Wykres mocy otrzymuje się przez odkładanie pionowych odcinków, wyrażających moc prądu, wielkość ich obliczamy, mnożąc wartość natężenia prądu i napięcia wzięte w tych samych chwilach.

Według zasad algebry iloczyn dwóch wartości dodatnich jest dodatni i iloczyn dwóch wartości ujemnych jest również dodatni. Czy prąd płynie wlewo czy wpravo ma zawsze moc dodatnią.

Maksymalna wartość mocy równa się tu oczywiście iloczynowi maksymalnych wartości natężenia i napięcia prądu.

W praktyce jednak ma znaczenie nie moc maksymalna, a moc średnia, która jak łatwo spostrzedz z wykresu rys. 51 równa się połowie maksymalnej.

Oznaczmy **moc średnią** przez P , **maksymalne napięcie** przez V_m , **maksymalne natężenie** prądu przez I_m , wtedy:

$$P = \frac{V_m \cdot I_m}{2}$$

Ten wzór możemy przekształcić w sposób następujący:

$$P = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Jeżeli oznaczymy przez V skuteczną wartość napięcia, a przez I — skuteczną wartość natężenia, to wiemy, że:

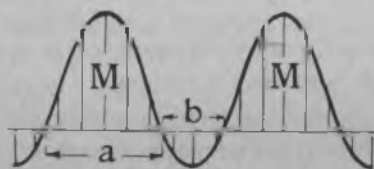
$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}}; \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

więc:

$$P = V \cdot I.$$

Widzimy więc, że w tym przypadku, gdy natężenie prądu i napięcie prądu mają zmienność zgodną, to średnia moc prądu zmiennego wyraża się iloczynem skutecznego napięcia przez skuteczne natężenie prądu.

Gdy rozważymy prąd zmienny, w którym natężenie prądu i napięcie w zmienności swej nie są zgodne (rys. 48), to wykres mocy mamy inny (rys. 52), gdyż w tych cząstkach czasu, gdy np. przy prądzie dodatnim mamy ujemne napięcie lub na odwrót, moc wypada ujemna (cząstki czasu oznaczone na rys. literą **b**). Znaczy to, że elektromagnes, który pobiera taki prąd z prądnicy, w pewnych chwilach oddaje z powrotem część energii pobranej z prądnicy.



Rys. 52. Zmienność mocy prądu przy niezgodności zmian natężenia prądu i napięcia.

W tych warunkach moc średnia oczywiście będzie mniejsza, tym mniejsza, im większą jest niezgodność zmienności natężenia i napięcia prądu.

Obliczamy moc średnią, przy niezgodności zmian natężenia i napięcia prądu, ze wzoru:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

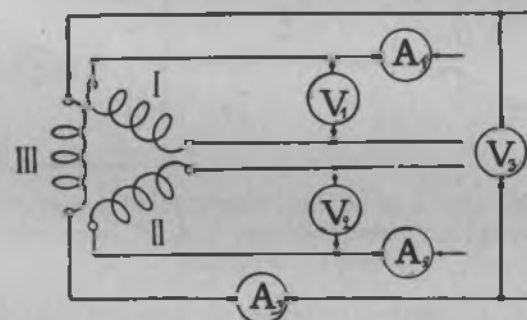
Co znaczy:

$$\text{waty} = \text{wolt} \times \text{ampe} \times \text{kosinus}.$$

Ampery i woltów bierzemy tu skuteczne. Czynniki, tak zwane, kosinusy wyraża wpływ niezgodności zmian amperów i woltów, on jest tym mniejszy, im większa jest niezgodność zmian.

16. MOC PRĄDU TRÓJFAZOWEGO.

Gdy mamy prąd trójfazowy, płynący po trzech przewodach, to moc prądu całkowita będzie równa mocy poszczególnych faz. Żeby znaleźć sposób obliczenia ogólnej mocy wystawmy sobie, że prowadzimy prąd trójfazowy sześciu przewodami po dwa przewody oddzielnie dla uzwojenia każdej fazy. Na rys. 53 mamy schematycznie pokazane zwoje twornika prądnicy trójfazowej i sześć drutów od nich wychodzących.



Rys. 53. Pomiar mocy prądu trójfazowego, płynącego po sześciu drutach.

Za pomocą amperomierzy i woltomierzy, wskazanych na rysunku, zmierzmy natężenie i napięcie prądu każdej fazy. Jeżeli zmienność napięcia pierwszej fazy jest zgodna ze zmiennością prądu w tej fazie, to moc obliczymy z iloczynu:

$$P_1 = V_1 \cdot I_1$$

W podobny sposób dla drugiej i dla trzeciej fazy:

$$P_2 = V_2 \cdot I_2$$

$$P_3 = V_3 \cdot I_3$$

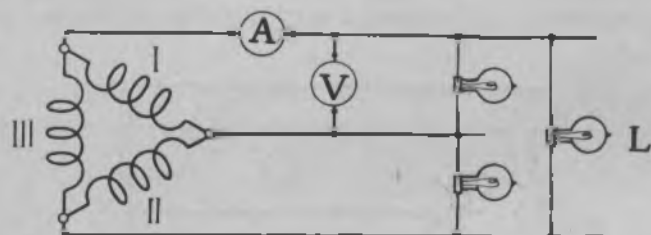
$$P = V_1 I_1 + V_2 I_2 + V_3 I_3$$

Cała moc trójfazowego prądu będzie:

Zwykle wielkości napięć i prądów we wszystkich fazach są jednakowe, więc, oznaczając napięcie przez V , a prąd jednej fazy oddzielnej przez I' , znajdujemy całą moc prądu trójfazowego ze wzoru:

$$P = 3 V \cdot I'$$

W praktyce jednak, jak wiemy, prądy trójfazowe prowadzimy trzema przewodami kojarząc je między sobą np. tak jak wskazuje rys. 54, tu przewody poszczególne (rys. 53) parami zostały połączone w jeden przewód, połączyły się w ten sposób i prądy fazowe.



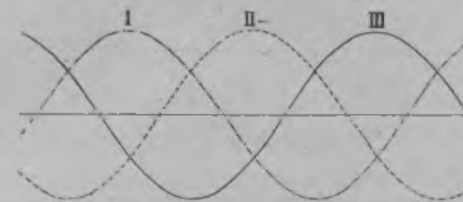
Rys. 54. Pomiar mocy prądu trójfazowego, płynącego po trzech drutach. I, II, III uzwojenia prądnicy, L — lampy.

Prąd jednak w jednym przewodzie (rys. 54) nie równa się zwykle sumie prądów płynących w dwóch przewodach pojedynczych (rys. 53), gdyż prądy różnych faz są niezgodne z sobą w czasie, tak jak to wskazuje rys. 55, gdzie na jednym rysunku pokazany jest przebieg prądów w poszczególnych fazach.

Dodawaniem wykresów np. prądu I_1 i I_2 można stwierdzić, że otrzymany prąd wypadkowy będzie tylko 1,73 razy większy¹⁾ od poszczególnych składników, jeżeli one są równe.

¹⁾ Dokładnie $\sqrt{3}$ razy.

Z tego względu prądy w poszczególnych przewodach na rys. 54, są 1,73 razy większe od prądów w przewodach na rys. 53.



Rys. 55. Zmienność prądu w poszczególnych drutach przewodów trójfazowych.

Mając to na względzie, możemy napisać, że prąd I , wskazany przez amperomierz na rys. 54, będzie 1,73 razy większy od prądu, wskazanego przez każdy z amperomierzy na rys. 53, który oznaczyliśmy przez I' , a więc:

$$I = 1,73 \cdot I'$$

albo

$$I' = \frac{I}{1,73}$$

Uwzględniając tą okoliczność, wzór na moc prądu trójfazowego na str. 64 przekształcimy w sposób następujący:

$$P = 3 V \frac{I}{1,73}$$

albo:

$$P = 1,73 VI$$

Mając więc napięcie pomiędzy dowolnymi przewodami prądu trójfazowego i wielkość prądu przewodowego, tak jak to wskazują amperomierz i woltomierz na rys. 54, należy, dla obliczenia całej mocy prądu trójfazowego, pomnożyć napięcie przez natężenie prądu i otrzymany iloczyn wziąć 1,73 razy.

Jeżeli natężenie prądów fazowych nie zmienia się w czasie zgodnie z napięciem, to moc jest mniejsza i przy obliczeniu wprowadzamy współczynnik $\cos \varphi$ ¹⁾. Wtedy wzór na moc prądu trójfazowego będzie:

¹⁾ Czytaj kosinusfi.

$$P = 1,73 V I \cos \varphi$$

Powyższy wzór, wyprowadzony dla przypadku połączenia uzwojeń faz w trójkąt, pozostaje bez zmiany, w razie połączenia uzwojeń poszczególnych faz w gwiazdę.

Przykład. Mamy prądnicę trójfazową, która dostarcza prąd przewodowy 50 amperów przy napięciu 6000 woltów i $\cos \varphi = 0,8$. Jaka jest moc prądu?

Według powyższego wzoru znajdujemy:

$$P = 1,73 \cdot 6000 \cdot 50 \cdot 0,8 = 415 \text{ kW}$$

Zakładając, $\cos \varphi = 0,8$, przypuszczaliśmy, że prądnica zasilą silniki elektryczne, które mają własność pobierania prądu niezgodnego w czasie z napięciem. Jeżeli by powyższa prądnica zasilala tylko lampy i natężenie oraz napięcie prądu pozostałyby te same, to moc wypadłaby większa:

$$P = 1,73 \cdot 6000 \cdot 50 = 519 \text{ kW}$$

Wogóle jednak:

$$P = 1,73 \cdot V \cdot I$$

nazywamy mocą pozorną, gdyż ona nie zawsze równa się rzeczywistej i podajemy ją w kilowoltamperach.

O powyższej prądnicy powiedzielibyśmy, że jest zbudowana na moc pozorną 519 kilowoltamperów (skrót kVA) i, zależnie od tego czym jest obciążona, daje różną moc prądu: a mianowicie, gdy jest obciążona lampami, to daje 519 kW, a gdy jest obciążona silnikami, to tylko 415 kW.

Praca prądu zmiennego jednofazowego, czy trójfazowego oblicza się jak przy prądzie stałym przez mnożenie mocy przez czas:

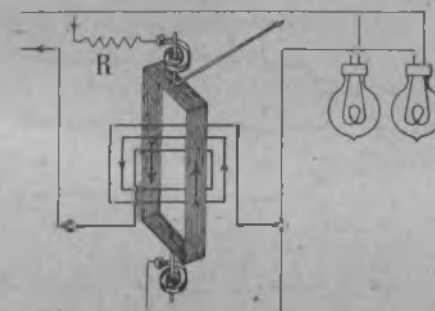
$$A = P \cdot t$$

kilowatogodziny = kilowaty \times godziny.

17. POMIAR MOCY PRĄDU ZMIENNEGO.

Z poprzedniego rozdziału wypada, że moc prądu zmiennego można mierzyć pośrednio, mierząc skuteczne natężenie prądu amperomierzem, a skuteczne napięcie woltomierzem, wystarcza to jednak tylko wtedy, gdy zmienność napięcia i natężenia prądu jest zgodna. Gdy tej zgodności niema stosujemy osobne przyrządy — **watomierze**.

Przy prądzie jednofazowym watomierz włączamy tak, jak wskazuje rys. 56. Watomierz składa się z dwóch cewek, jednej ruchomej, drugiej nieruchomej. Przez nieruchomą płynie prąd roboczy, ten sam co do odbiorników, przez ruchomą prąd odgaleziony, proporcjonalny do napięcia między przewodami.



Rys. 56. Budowa watomierza, który mierzy moc prądu, dopływającego do lamp.

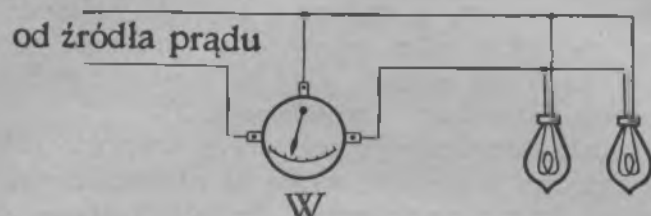
Magnetyczne działanie jednej cewki na drugą sprawia, że ruchoma cewka odchyła się na pewien kąt ograniczony sprężynami spiralnymi, które przeciwdziałają obrotowi tej cewki (patrz rys. 56). Wskazówka przymocowana do cewki ruchomej porusza się po skali i wskazuje na działkach średnią moc prądu.

Cewki watomierza umieszczają się zwykle w okrągłym pudełku, tak że na zewnątrz wystają tylko trzy zaciski śrubowe łączone tak jak wskazuje rys. 57.

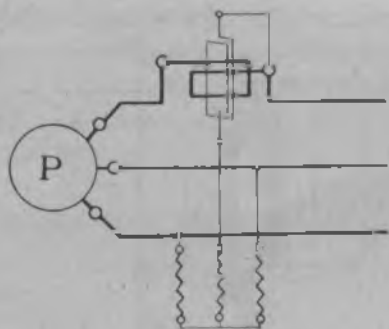
Gdy mamy prąd trójfazowy przy równym obciążeniu faz, to całą moc także wskaże watomierz, włączony cewką prądową

w jeden przewód, a cewką napięciową pomiędzy ten przewód, a dwa inne przewody za pomocą odpowiednich oporników, jak podano na rys. 58.

Podziałkę na skali watomierzy mamy zwykle w kilowatach.



Rys. 57. Watomierz trójzaciiskowy w obwodzie lamp.



Rys. 58. Watomierz włączony w przewody prądu trójfazowego.

18. POMIAR PRACY PRĄDU. LICZNIKI.

Wszelkie rachunki handlowe, dotyczące sprzedaży i kupna energii elektrycznej, odbywają się na podstawie zużywanej pracy prądu elektrycznego.

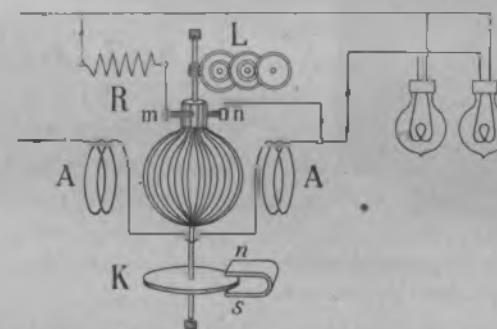
Pracę prądu oczywiście można zmierzyć pośrednio, mierząc moc i czas, ale wobec tego, że moc ta często się zmienia, więc stosują się osobne przyrządy pomiarowe, tak zwane, **liczniki elektryczności**, które wprost mierzą pracę prądu elektrycznego. Najczęściej używają się liczniki, tak zwane, motorowe.

Zasadę ustroju licznika motorowego dla prądu stałego widzimy na rys. 59.

Prąd główny roboczy, płynący do lamp, przepływa przez nieruchome zwoje drutu AA. Prąd odgałęziony od przewodów płynie przez opornik R do ruchomych zwojów, umocowanych na osi. Do tych zwojów ruchomych prąd dopływa przez pedzelki m n, zwane szczoteczkami. Szczoteczki dotykają kolektora umocowanego na osi. Do działek kolektora są przyłutowane końce zwojów. Oddziaływanie magnetyczne zwojów nieruchomych na ruchome wprawia w ruch obrotowy oś licznika.

Dla osiągnięcia jednostajności ruchu, u dołu, na osi jest umocowany krążek miedziany czy aluminiowy K.

Pod wpływem magnesu n s, obejmującego ten krążek, powstają w nim w czasie ruchu prądy wirowe, a działanie magnesu na krążek z prądami wirowymi hamuje ruch obrotowy osi licznika.



Rys. 59. Układ połączeń licznika na prąd stały.

Sila, obracająca oś licznika, jest proporcjonalna do natężenia i do napięcia prądu, płynącego do lamp, wobec tego szybkość ruchu wirowego jest proporcjonalna do iloczynu napięcia przez natężenie, a więc do mocy prądu.

Ilość zaś wykonanych obrotów w pewnym czasie będzie proporcjonalna do mocy prądu i do czasu, a więc do pracy prądu.

Dla ułatwienia rachunku, na osi licznika znajduje się ślimak obracający szereg kółek L, z których każde następne wykonywa dziesięć razy mniej obrotów od poprzedniego. Na tych kółkach są cyfry od 0 do 9.

Cały mechanizm umieszcza się wewnątrz pudełka metalowego szczelnie zamkniętego (rys. 60).

Mechanizm kółkowy zakryty jest blaszką z okienkami w których widać z każdego kółka tylko po jednej cyfrze.

Szereg cyfr w okienkach (rys. 61) wyraża pewną liczbę np. 876,45. Gdy oś licznika obraca się, to liczba ta powiększa się i gdy dojdzie do liczby 999,99, to potem wszystkie cyfry przeskakują na 0 i zaczyna się znowu stopniowy przyrost liczby od 000,00.



Rys. 60. Licznik, który mierzy pracę prądu w kilowatogodzinach.



Rys. 61. Cyfry w okienku licznika.

Gwint na ślimaku i liczba zębów pierwszego kółka dobiera się w ten sposób, aby przyrost liczby, złożonej z cyfr w okienkach licznika, wyrażał odrazu ilość kilowatogodzin pracy prądu, zużytej w tym czasie, w ciągu którego odbył się przyrost powyższej liczby.

A więc jeżeli rano 1 maja zanotujemy liczbę:

876,45

a następnie rano 1 czerwca licznik wskaże liczbę:

895,50,

to obliczymy, że w ciągu maja zużyto prądu :

$$895,50 - 876,45 = 19,05 \text{ kilowatogodzin.}$$

Jeżeli w czasie, pomiędzy dwoma odczytami licznika, liczba przejdzie przez 999,99, to oczywiście trzeba osobno obliczyć przyrost do liczby 999,99, a następnie od liczby 000,0 dalej i te dwa przyrosty dodać do siebie.

Zasada ustroju liczników na prąd zmienny jest podobna. W tych licznikach obie zwojnice do prądu roboczego i do odgałęzionego są nieruchome, obraca się tylko oś z krążkiem miedzianym, w którym zmienny prąd zwojnic wzniesca przez indukcję prądy wirowe.

Oddziaływanie magnetyczne prądów w zwojnicach na prądy wirowe w krążku wprawia w ruch oś licznika, która jak poprzednio za pomocą ślimaka obraca krążki z cyframi.

19. SPRAWNOŚĆ PRĄDNICY ELEKTRYCZNEJ.

Prądnice elektryczne, wytwarzające prąd elektryczny, wymagają siły mechanicznej do obracania. Dopóki prądnicą prądu nie daje, to idzie lekko, im więcej prądu elektrycznego — więcej amperów — brać z niej będziemy, tym większa potrzebna jest siła do obracania maszyny, — maszyna idzie ciężiej.

Stąd widzimy, że praca prądu elektrycznego w obwodzie elektrycznym prądnicy otrzymuje się kosztem pracy mechanicznej, dostarczonej przez silnik, obracający prądnicę, a więc np. przez maszynę parową, turbinę wodną albo silnik spalinowy.

Moc mechaniczną mierzymy w koniach mechanicznych.

Koń mechaniczny jest to moc takiego silnika, który wykonywa 75 kilogramometrów pracy na sekundę.

Jeżeli by cała moc mechaniczna, dostarczona do prądnicy, bez żadnej straty przekształciła się na moc prądu elektrycznego wypływającego z prądnicy, to otrzymalibyśmy z jednego konia mechanicznego 736 watów.

Skrótami napiszemy, że

$$1 \text{ KM.} = 736 \text{ W.}$$

W prądnicach jednak zawsze część pracy, dostarczonej do prądnicy, przekształca się na ciepło wewnątrz prądnicy.

Ciepło wywiązuje się w drutach skutkiem oporu elektrycznego, przy pokonywaniu którego, prąd elektryczny wykonywa pracę przekształcającą się na ciepło.

Poza tem ciepło wywiązuje się w żelazie twornika, który przemagnesowuje się, a wszelkie **przemagnesowywanie**, t. j. magnesowanie żelaza raz w jednym, a drugi raz w przeciwnym kierunku wywołuje powstawanie ciepła. Tę własność żelaza nazywamy **histerezą**. Pozatem w żelazie twornika powstają prądy indukowane tak zwane **wirowe**, gdyż one płyną wewnątrz żelaza, po zamkniętych drogach kołowych, jak wiry wody. Prądy te, pokonując oporność elektryczną żelaza, nagrzewają go. Otóż na ciepło w żelazie i w przewodnikach miedzianych prądnicy, oraz na tarcie w łożyskach zużywa się część pracy mechanicznej dostarczonej do prądnicy i skutkiem tego z prądnicy otrzymuje się mniej niż 736 watów mocy prądu z jednego konia mechanicznego, dostarczonego do prądnicy.

Im większa jest moc prądnicy, tem większa część mocy mechanicznej przekształca się w pracę prądu.

Stosunek mocy otrzymanej do mocy dostarczonej prądnicy nazywamy **sprawnością** prądnicy.

Z doświadczenia mamy następującą tabelkę:

Moc dostarczona do prądnicy.	Sprawność.
1 koni mech.	72%
10 „	83%
50 „	85%
100 „	88%
1000 „	93%

Więc np. gdy prądnicy dostarczymy 50 koni mechanicznych, to z każdego konia otrzymamy tylko

$$736 \times 0,85 = 625 \text{ watów.}$$

Ogółem

$$625 \times 50 = 31300 \text{ watów} = 31,3 \text{ kilowatów.}$$

20. OGNIWA GALWANICZNE.

Dla otrzymania prądu elektrycznego słabego do dzwonek, telegrafów, telefonów i małych lampek elektrycznych zamiast prądnic często stosują się **ogniwa galwaniczne**, inaczej elementy galwaniczne. Są to tak zwane **chemiczne źródła prądu**, gdyż praca prądu otrzymuje się w nich kosztem energii chemicznej.

Ogniwa stałe. Ogniwa tego rodzaju odznaczają się stałością napięcia i używane są dla otrzymania prądu ciągłego, płynącego przez czas długi bez przerwy.

Te ogniwa stosowane obecnie dość rzadko¹⁾ są odmianami ogniwa Daniell'a. W nich elektrody utworzone są z **cynku i miedzi**, cynk stanowi biegun ujemny, miedź dodatni, czasem zamiast miedzi jako biegun dodatni biorą płytkę ołowianą, ale ołów przy działaniu pokrywa się miedzią, tak, że ma własność elektrody miedzianej.

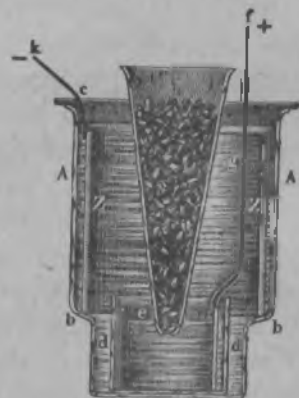
W celu uniknięcia szybkiego nagryzania elektrody cynkowej, płytkę cynkową amalgamujemy, t. j. pokrywamy warstewką rtęci, wcierając rtęć szmatką umaczaną w słabym roztworze kwasu siarkowego.

W naczyniu tego ogniwa znajduje się roztwór dwóch soli: 10% roztwór siarczanu magnezu, w którym jest pogrążony cynk — elektroda ujemna i nasycony roztwór siarczanu miedzi, gdzie pogrąża się miedź — elektroda dodatnia.

Na rys. 62 mamy ogniwo tego rodzaju według konstrukcji Meidingera. Naczynie wypełnia się roztworem siarczanu magnezu, a do lejka wrzucamy kryształ siarczanu miedzi h.

¹⁾ Zastąpił je akumulator.

które, rozpuszczając się, tworzą ciężką warstwę roztworu tej soli, trzymającą się w dolnej części naczynia. Blaszka cynku z, zgięta okrągło, umieszczona jest w górnej części naczynia, a blaszka miedziana e w dolnej. Od cynku idzie drut minusowy, a od miedzi izolowany gumą drut plusowy.



Rys. 62. Ogniwó Daniel'a w konstrukcji Meidíngera.

Napięcie takiego ogniwa wynosi **niezależnie od szczegółów budowy i wielkości** około 1 wolta, prąd, który można brać z ogniwa zwykłych wymiarów nie przekracza setnych części ampera. Głównym czynnikiem, wytwarzającym tu napięcie, jest siarczan magnezu. Siarczan miedzi jest tak zwanym depolaryzatorem, jego rola polega na pochłanianiu gazu wodoru, który, **wrazie** braku siarczanu miedzi, wydzielal by się na dodatniej elektrodzie i powodował osłabienie napięcia ogniwa.

Ogniwa niestale. Znacznie częściej są stosowane obecnie ogniwa tak zwane niestale, których napięcie przy ciągłym prądzie spada, natomiast utrzymuje się niezłe, gdy prąd z ogniwa bierzemy z przerwami.

Najszerze zastosowanie znalazły ogniwa sporządzone według pomysłu Leclanché'go¹⁾.

¹⁾ Czytaj Leclanszego.

Bywają one trzech rodzajów: **mokre, suchomokre i suche.**

Wszystkie mają elektrodę ujemną — cynkową, dodatnią — węglową i roztwór salmijaku, inaczej chlorku amonu. Roztwór bierze się 10%, a najwyżej 20%, t. j. 100 albo 200 gramów salmijaku na litr wody destylowanej lub przegotowanej. W miejscu zetknięcia roztworu salmijaku z cynkiem powstaje główne napięcie.

Jako depolaryzator stosuje się tu proszek — dwutlenek manganu, zwykle pomieszany z proszkiem węglowym dla zwiększenia przewodności elektrycznej, proszku węglowego bierze się jednak nie więcej jak dziesiąta część mieszanki. Dwutlenek manganu pochłania gaz wodór i chroni ogniwo od szybkiego spadku napięcia, gdyż wodór, wydzielający się na węglu, w czasie pracy ogniwa, jak doświadczenie wskazuje, bardzo znacznie obniża napięcie.

Wszystkie ogniwa, zbudowane według tego pomysłu, mają niezależnie od wielkości, napięcie około 1,5 wolta, gdy dają prąd bardzo słaby np. tysięczne części ampera, w miarę wzrostu prądu napięcie spada. Prąd z nich można brać różny zależnie od wymiarów ogniwa, im wymiary ogniwa są większe, tem większy można brać prąd.

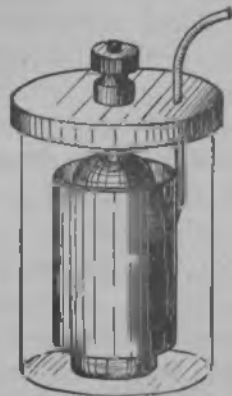
Ogniwa Leclanché mokre. W ogniwach mokrych, obecnie stosowanych, elektroda ujemna ma postać walca zwiniętego z blachy cynkowej, elektroda zaś dodatnia oddzielona od cynku izolatorem znajduje się wewnątrz (rys. 63) i stanowi woreczek wypełniony mieszaniną dwutlenku manganu i węgla ze wstawioną w środku węglową pałeczką. Obie elektrody znajdują się w naczyniu wypełnionem roztworem salmijaku.

Wyrabiane są ogniwa duże, wysokości około 25 cm., przy średnicy 12 cm, oraz małe, wysokości około 16 cm, przy średnicy około 10 cm. Prądy największe, jakie można brać z tych ogniw, wynoszą kilka dziesiątych części ampera.

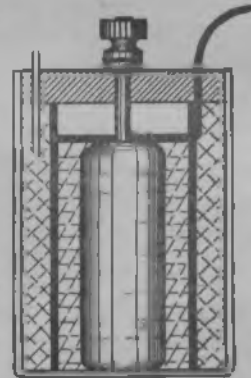
Ogniwa suche. Suchość tych ogniw jest względna, gdy naprawdę wyschną, to przestają działać. Elektrody są takie same jak w ogniwach mokrych, tylko roztwór wodny salmi-

jaku przesyca tu porowatą masę, umieszczoną pomiędzy cynkiem a woreczkiem. Jako masa porowata stosowane są: gips, piasek, azbest albo trociny drzewne, mąka i t. p.

Ogniwa suche (rys. 64) umieszczają się zwykle w pudełkach z masy papierowej i zalewają się u góry smołą, w której daje się cienką rurkę dla odprowadzania wytwarzających się gazów.



Rys. 63. Ogniwu Leclanché, mokre.



Rys. 64. Przekrój suchego ogniwa Leclanche.

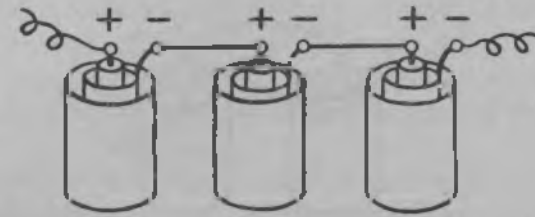
Ogniwa sucho - mokre. Dla uniknięcia wysychania ogniw na składzie, obmyślono pewne odmiany w ustroju poprzednim. Zamiast zalewania pudełka smołą prawie szczelnie, umieszczono u góry otwór duży, przez który można wlewać wodę.

Ogniwa takie leżą na składzie zupełnie suche, prawie gotowe do użytku z elektrodami i z salmiakiem, zalane smołą. Gdy ogniwo ma być wzięte do użytku, to nalewamy przez górny otwór wody destylowanej lub przynajmniej przegotowanej, stopniowo, aż ogniwo nabierze wody tyle, ile tam może się zmieścić i dalej już nie wsiąka.

Następnie ogniwo pozostawiamy w spoczynku na kilka godzin i potem dopiero możemy z niego brać prąd. Ogniwa suche i sucho-mokre bywają rozmaitych wymiarów, stosownie

do wielkości prądu i czasu, na jaki mają służyć. Im większy potrzebny jest prąd i im dłużej go potrzebujemy, tem większe należy brać ogniwa.

Baterje ogniw galwanicznych. Gdy chodzi o otrzymanie wyższego napięcia prądu niż te, które daje jedno ogniwo, bierzemy kilka ogniw i łączymy w szereg, tak jak to wskazuje rys. 65.



Rys. 65. Baterja ogniw połączonych w szereg.

Jeżeli np. potrzeba 10 woltów napięcia, a mamy ogniwa suche według Leclanché, mające każde po 1,5 wolta napięcia, to należy wziąć baterję z

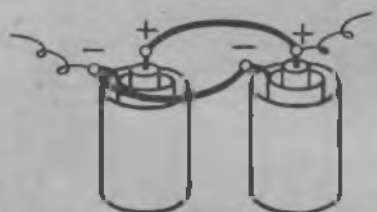
$$\frac{10}{1,5} = 7 \text{ ogniw}$$

Gdy potrzebne jest większe natężenie prądu niż te, które wziąć można z jednego ogniwa, to wypada połączyć dwa ogniwa równolegle (rys. 66), ale tego rodzaju połączenia nie należy stosować, bo ogniwa zwykle są nie zupełnie jednakowe i niejednostajnie zużywają się. Zamiast dwóch małych ogniw w równoległym połączeniu, zawsze lepiej jest wziąć jedno większe.

Obsługa ogniw. Dla zapewnienia dobrego działania ogniw, należy baczyć, aby w mokrych ogniwach było dość roztworu, aby druty, odprowadzające prąd, dokładnie przylegały czystą powierzchnią do czystych zacisków i aby mocno były przyśrubowane, lub wogóle zaciśnięte na końcówkach elektrod.

Górny brzeg słoika dohrze jest pokryć warstwą parafiny na wysokości 2 cm, aby sól nie wypełzała. Druty łączące

same elektrody z zaciskami powinny być polakierowane. Górną część elektrody węglowej również należy lakierować, lub pokrywać warstwą parafiny. Gdy po pewnym czasie cynk w znacznej części rozpuści się, a reszta będzie pokryta białym osadem, to cynk należy wymienić. Po pewnym czasie należy również zmieniać roztwór i woreczek z dwutlenkiem manganu.



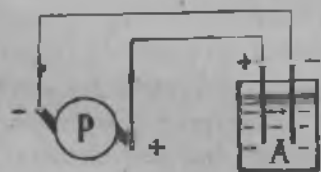
Rys. 66. Dwa ogniwa połączone równolegle.

21. AKUMULATORY.

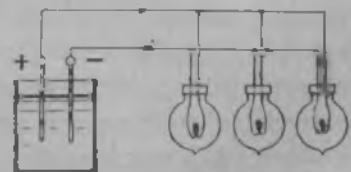
Dla zbierania i przechowywania energii prądu elektrycznego, w celu użytkowania jej później we właściwym czasie albo nawet w innym miejscu, stosują się przyrządy na kształt ogniów galwanicznych zwane **akumulatorami**.

Najprostszy akumulator składa się z naczynia (rys. 67), wypełnionego roztworem kwasu siarkowego i dwóch płyt ołowianych pogrążonych w tym kwasie.

Gdy taki akumulator wprowadzimy do obwodu prądniczy (rys. 67), to prąd elektryczny, przepływający przez roztwór



Rys. 67. Ładowanie akumulatora.



Rys. 68. Wyladowywanie akumulatora.

kwasu siarkowego, wydziela na elektrodach gazy, tlen i wodór. Tlen wydziela się na płycie, połączonej z biegunem dodatnim prądniczy, a wodór na płycie, połączonej z biegunem ujemnym. Wodór osadza się na płytce, częściowo ułatwiając się w powietrze, nie łącząc się z ołowiem, tlen natomiast łączy się chemicznie z ołowiem, tworząc dwutlenek ołowiu, koloru rdzawego.

W ten sposób akumulator nabywa nowych chemicznych właściwości i jeżeli go teraz odłączyć od prądniczy a połączyć z jedną lub kilkoma lampkami (rys. 68), to lampki świecą, gdyż akumulator jest teraz źródłem prądu, płynącego w odwrotnym kierunku.

Płyta, pokryta dwutlenkiem ołowiu, stanowi tak zwaną elektrodę dodatnią, źródła prądu, a ołów przesycony wodorem—ujemną.

Gdy akumulator bierze prąd z prądniczy, to mówimy, że akumulator **ładuje się**, tu praca prądu przekształca się w energię chemiczną akumulatora.

W postaci tej energii chemicznej przechowuje się energia prądu. Ładować akumulator można oczywiście tylko prądem, płynącym zawsze **w tym samym kierunku**.

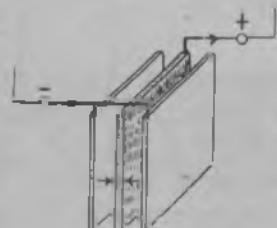
Gdy następnie akumulator daje prąd do lampek, mówimy wtedy, że akumulator **wyladowuje się**, wtedy z energii chemicznej otrzymujemy energię prądu. Przy wyladowywaniu znowu wydziela się wodór i tlen, ale teraz wodór na elektrodzie dodatniej a tlen na ujemnej, skutkiem czego płytka ujemna utlenia się, a dodatnia odlenia się, wodór łączy się z tlenem, skąd powstaje woda. W ten sposób płytki stopniowo traca zdolność do wytwarzania prądu.

Budowa i właściwości akumulatorów ołowianych. Dla zwiększenia ilości ołowiu przyjmującego udział w przemianach chemicznych, płytki akumulatora nie robią się z gładkich blach ołowianych, lecz z karbowanych w różny sposób. Dużo jest rozmaitych rodzajów płyt akumulatorowych. Na uwagę zasługują płyty polskiego wynalazcy dr. Pollaka. Płyty te są sporządzone za pomocą walcowania w postaci obustronnej szczo-

tki, w której pomiędzy zadziorami jest masa, zawierająca tlenki ołowiu, płyty dodatnie i ujemne są zrobione jednakowo.

Inne płyty Tudora (czytaj Tiudora) mają ustrój różny dla elektrody dodatniej i ujemnej. Płyty dodatnie są grubsze, mają postać ramki z bardzo gęstymi przegródkami. Płyty ujemne stanowią kratę ołowianą z dużymi okienkami, wypełnieniami masą ołowianą, z obu stron krata jest przykryta dziurkowaną blachą ołowianą.

W akumulatorach używanych w praktyce bywa najmniej trzy płyty (rys. 69), jedna dodatnia a dwie ujemne.



Rys. 69. Zespół płyt akumulatora.

Napięcie prądu jednego ogniwa akumulatorowego ołowianego przy wyładowywaniu wynosi około 1,9 wolta. Gdy w czasie wyładowywania napięcie spadnie do 1,8 wolta, to wyładowywanie należy przerwać i przystąpić do ładowania.

Wyładowywanie akumulatorów ołowianych do zaniku napięcia psuje akumulator. Prąd elektryczny największy, który można brać z akumulatora, nie obawiając się jego uszkodzić wynosi około 1,3 ampera na decymetr kwadratowy całej obustronnej powierzchni płyt dodatnich.

Przykład. Jeżeli płyta dodatnia na rys. 69 ma 15 cm szerokości, a 20 cm wysokości, to cała dwustronna powierzchnia, przez którą prąd wchodzi do płyty dodatniej, wyniesie:

$$20 \times 15 \times 2 = 600 \text{ cm}^2 = 6 \text{ dm}^2.$$

Mamy więc powierzchnię 6 decymetrów kwadratowych, a ponieważ przez każdy decymetr kwadratowy możemy prze-

puścić 1,3 ampera, to ogółem możemy brać z takiego akumulatora

$$1,3 \times 6 = 7,8 \text{ A.}$$

Nie należy brać prądu większego, a szczególnie należy unikać **krótkiego zwarcia** obwodu akumulatorowego. Im większy jest akumulator, tem **większy prąd** można z niego czerpać, a im większa ilość ołowiu płyt przyjmuje udział w reakcjach chemicznych, **tem dłużej** ten prąd będzie płynął. To też wielkość akumulatora pod względem elektrycznym określa się zazwyczaj iloczynem natężenia prądu i czasu, w ciągu którego prąd ten płynie.

Iloczyn ten wyraża ilość elektryczności, która przepłynęła w rozważanym czasie w jednostkach miary, zwanych **amperogodzinami** (skrót Ah).

Liczbę amperogodzin elektryczności, którą daje akumulator, nazywamy **pojemnością** akumulatora.

Zwykle akumulatory dają prąd normalny w ciągu 3 godzin. Więc jeżeli prąd ten wynosi np. 10 amperów, to pojemność takiego akumulatora będzie:

$$10 \times 3 = 30 \text{ amperogodzin.}$$

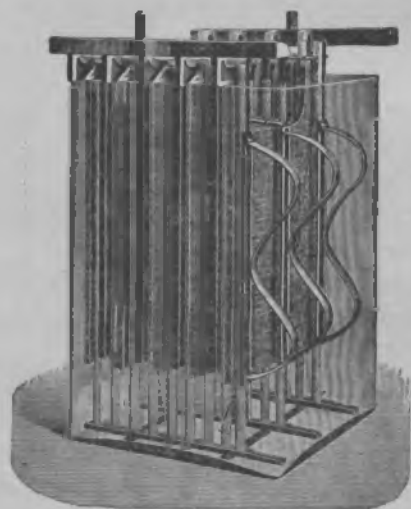
W celu otrzymania większego prądu z akumulatora, zwykle umieszczamy w jednym naczyniu kilka płyt dodatnich, połączonych razem i kilka płyt ujemnych, połączonych również razem (rys. 70).

Dla otrzymania wyższego napięcia, ogniwa akumulatorowe łączą się w szeregowo baterje. Rys. 71 wskazuje schematycznie układ połączeń kilku ogniw akumulatorowych.

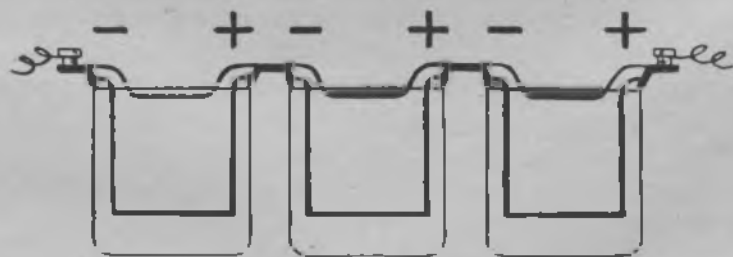
Na rys. 72 widzimy wielką baterje akumulatorów na prąd o napięciu kilkuset woltów z izolowanymi chodnikami wokoło. Jeżeli np. potrzebne jest napięcie prądu 110 woltów, to liczbę potrzebnych ogniw akumulatorowych znajdziemy podług najniższego napięcia jednego ogniwa (1,8 wolta) ze wzoru:

$$\frac{110}{1,8} \approx 60 \text{ ogniw okrągło.}$$

Wielkość poszczególnych ogniw w baterji wybiera się po-
dług największego potrzebnego prądu. Wszystkie ogniwa przy
szeregowem połączeniu bierzemy zawsze jednakowe, gdyż
przez nie przepływa ten sam prąd. Jeżeli trzeba na przewo-
dach połączonych np. z lampami utrzymać stałe napięcie, aby
lampy świeciły zawsze jednakowo, to urządzamy przełącz-
nik akumulatorowy (rys. 73), za pomocą którego włączamy
początkowo mniejszą, a potem większą liczbę ogniw do ob-
wodu.



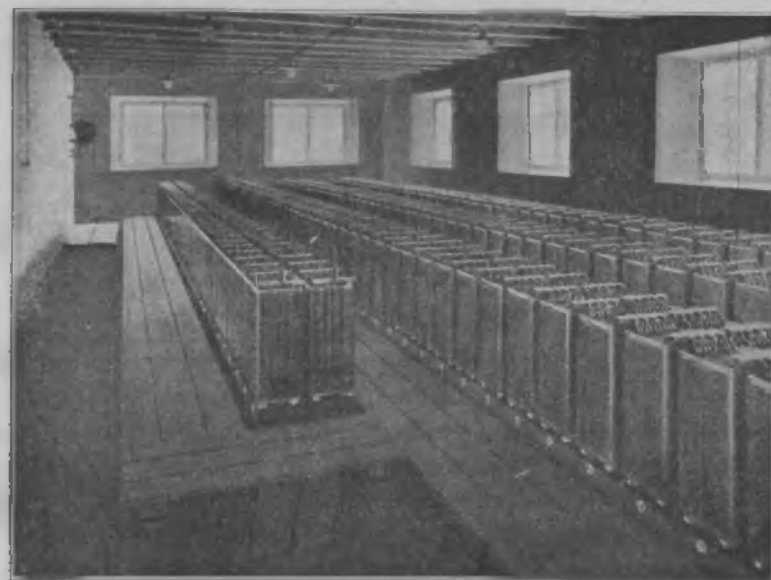
Rys. 70. Akumulator z 5 płyt
ujemnych i 4-ech dodatnich.



Rys. 71. Szeregowie połączenie akumulatorów.

Jeżeli na początku wyładowania napięcie poszczególnego
ogniwa było 2 wolty, to dla lamp studziiesięcio woltowych
wystarczyłoby 55 ogniw, należy więc dać 5 ogniw odłą-
czalnych.

Zależnie od przeznaczenia, akumulatory ołowiane bywają
stałe i przenośne.



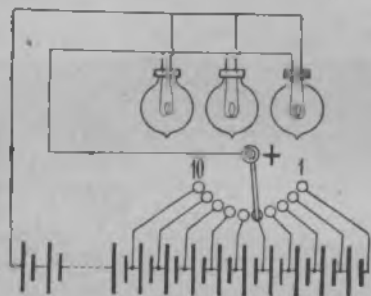
Rys. 72. Akumulatornia.

Gdy zadaniem baterji akumulatorów jest wyłączać prąd-
nicę w dostarczaniu prądu lub ją wspomagać w elektrowni,
która zasilą prądem budynki, to bierzemy baterję akumula-
torów stałą w naczyniach otwartych, ustawionych na izola-
torach, opierających się na belkach drewnianych, jeszcze raz
izolowanych szklanymi podkładami od podłogi. (Rys. 72.).

Gdy akumulatory pojedyncze lub baterje z kilku czy kilku-
nastu ogniw muszą być przenoszone z miejsca na miejsce, to
umieszcza się płyty w naczyniach zamkniętych, zaopatrzo-
nych tylko w otwór, dla wypuszczenia wydzielających się

gazów i dolewania kwasu. Naczynia bywają szklane, kauczukowe lub celuloidowe zwykle zalane smołą lub inną masą.

Przy obsłudze przenośnych akumulatorów, pamiętać należy o unikaniu zwarcia pomiędzy zaciskami różnych biegunów dolewaniu kwasu i regulamem ale umiarkowanym ładowaniu.



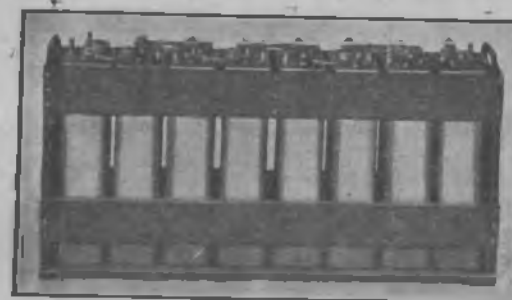
Rys. 73. Lamy otrzymują prąd z baterji akumulatorów przez przełącznik.

Ładować akumulator należy prądem nie większym od stosowanego przy wyładowaniu, tak długo, aż płyty przestaną pochłaniać wydzielające się gazy, które w postaci drobnych pęcherzyków nasycą ciecz, skutkiem czego ona przybiera kolor mleczny. Przy ładowaniu napięcie na każdym ogniwie akumulatorowym wzrasta od 2 do 2,75 wolta, do tego więc napięcia musi być przystosowane napięcie prądu źródła, ładującego — zawsze trochę większe od napięcia ładowanych akumulatorów.

Budowa i własności akumulatorów żelaznoniklowych. Oprócz akumulatorów ołowianych są jeszcze w użyciu akumulatory Jungnera-Edisona z płytkami żelaznymi niklowanymi, w kształcie kratki z dużymi otworami. W kratkach tych płytek są umieszczone puszki z dziurkowanymi ściankami. W puszkach tych na biegunie dodatnim jest proszek, składający się z tlenków żelaza, a na biegunie ujemnym proszek z tlenków niklu. Płyty te, odpowiednio izolowane, są umieszczone w pudełku również z blachy żelaznej niklowanej. Pudełko jest szczelnie zamknięte i tylko w środku ma otworek

zamykany klapką samoczynną, która, wypuszczając gazy na zewnątrz, nie wpuszcza powietrza do środka.

Izolowane przewody prowadzą prąd do dwóch zacisków śrubowych na pokrywie. Kilka takich ogniw akumulatorowych, połączonych w szereg, stanowiących baterję, widzimy na rys. 74.



Rys. 74. Baterja akumulatorów żelazno-niklowych z 8 ogniw, dająca prąd o napięciu 9,8 wolta.

Płyn w tych akumulatorach jest 20% roztworem ługu potasowego. Z tego powodu te akumulatory nazywają się zasadowymi, dla odróżnienia od kwaśnych akumulatorów ołowianych.

Napięcie akumulatorów żelazno-niklowych jest mniejsze od napięcia akumulatorów ołowianych.

Przy wyładowywaniu wynosi ono przeciętnie około 1,2 wolta.

Przy ładowaniu wzrasta od 1,35 do 1,75 wolta.

Główną zaletą akumulatorów żelazno-niklowych jest ich trwałość, niewrażliwość na przeciążenia prądem, oraz możliwość zupełnego wyładowywania i pozostawiania w tym stanie czas dłuższy bez szkody, gdy natomiast akumulatory ołowiane wyładowane, pozostawione na czas dłuższy w stanie nieczynnym, psują się.

Akumulatory żelaznoniklowe używają się zazwyczaj jako przenośne lub przewoźne. Np. do samochodów elektrycznych, do oświetlania wagonów kolejowych, gdzie w czasie biegu

wagonu pracują równolegle z prądnicami, poruszającymi się od osi wagonu, a w czasie postoju zastępują prądnice. Stosują się jednak tu również akumulatory ołowiane.

Sprawność akumulatorów. W akumulatorach, tak jak we wszystkich przyrządach do przetwarzania energii, mamy straty, a więc nie całą pracę prądu, dostarczoną do akumulatora, możemy później odzyskać.

W akumulatorach ołowianych odzyskujemy około 70% włączanej pracy prądu, a w żelaznoniklowych jeszcze mniej, bo zaledwie około 50%.

Przykład. Gdy prąd ładujący akumulatory ołowiane wykonał pracę 200 kilowatogodzin, to przy wyładowaniu otrzymamy zaledwie.

$$200 \times 0,7 = 140 \text{ kWh.}$$

Reszta:

$$200 - 140 = 60 \text{ kWh}$$

została stracona na ciepło i przemiany chemiczne nieodwracalne.

22. TRANSFORMATORY.

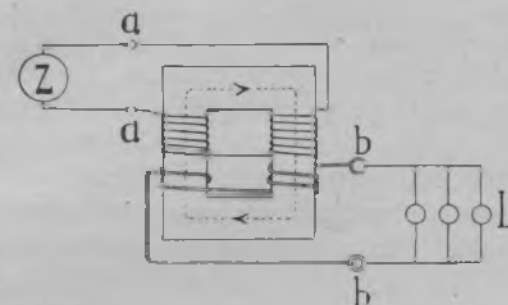
Nie zawsze prąd elektryczny, wytworzony przez prądnicę, możemy od razu zużytkować w odbiornikach.

Jeżeli mamy prądnicę prądu zmiennego i chodzi tylko o zmianę napięcia prądu, to stosujemy przyrządy zwane transformatorami. Na rys. 75 widzimy schematycznie przedstawiony transformator. Składa się on z ramy, utworzonej z wycinków cienkiej (0,35 mm) blachy żelaznej, ułożonych w paczki mocno ściśnięte, oraz z cewek zwiniętych z miedzianego drutu izolowanego, nasadzonych na ramę.

Uzwojenie transformatora jest podzielone na dwa obwody: Obwód tak zwany **pierwotny** z końcówkami **a a**, zasilany jest prądem z prądnicy, a drugi obwód tak zwany **wtórny**, ma końcówki **b b**, połączone z lampami L.

Gdy prądnicę wytworzy prąd w obwodzie pierwotnym, to powstanie w ramie żelaznej strumień magnetyczny zmienny,

wskazany kropkowaną linią na rysunku, strumień ten wzbudza we wtórnych zwojach siłę elektromotoryczną, która wytwarza prąd we wtórnym obwodzie.



Rys. 75. Prądnicę Z przez transformator zasilają lampy L.

Stosunek napięcia prądu wtórnego względem napięcia prądu pierwotnego zależy od liczby zwojów uzwojenia pierwotnego i wtórnego transformatora. A więc np. jeżeli prądnicę dostarcza prąd zmienny o napięciu skutecznym 6000 woltów, a napięcie prądu, płynącego do lamp, ma być 120 woltów, to nawijamy w uzwojeniu pierwotnym 2000 zwojów, a w uzwojeniu wtórnym 40 zwojów.

Stosunek napięć równa się stosunkowi liczb zwojów:

$$\frac{6000}{120} = \frac{2000}{40}$$

Bywają okoliczności, gdy przeciwnie wypada podwyższyć napięcie prądu np. wtedy, gdy pracę prądu z prądnicy mamy przesłać na znaczną odległość np. kilkadziesiąt kilometrów¹⁾ i więcej, wtedy napięcie prądu podnosimy np. z 6000 na 30000 woltów. Zachowując pierwotne uzwojenie z 2000 zwojów, bierzemy we wtórnym uzwojeniu jeszcze większą liczbę zwo-

¹⁾ Patrz dalej urządzenia elektryczne.

jów, mianowicie 10000, wtedy wtórne napięcie będzie pięć razy większe i tu znowu:

$$\frac{6000}{30000} = \frac{2000}{10000}$$

Obliczenia przytoczone nie są zupełnie ścisłe, głównie ze względu na to, że część napięcia traci się w oporze drutów uzwojeń, jednak błędy przez to popełnione nie przewyższają kilku procent.

Stosunek natężeń **prądów** w transformatorze jest odwrotny. Gdzie mamy wyższe napięcie, tam mniejsze natężenie prądu i na odwrót, gdzie niższe napięcie, tam większe natężenie prądu.

Wynika to z następującego prostego rozumowania.

Jeżeli prądnicą dostarcza transformatorowi prąd o natężeniu I_1 i o napięciu V_1 , to moc prądu dostarczona do transformatora wynosi: $V_1 \cdot I_1$. Jeżeli zwoje wtórne dają prąd I_2 pod napięciem V_2 , to moc prądu we wtórnym obwodzie mamy $V_2 \cdot I_2$.

Straty w transformatorze są niewielkie, więc w przybliżeniu przyjąć możemy, że:

$$V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2$$

Stąd:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Wzór ten wskazuje, że prądy są **odwrotnie proporcjonalne do napięć**.

Przykład. Gdy przy pierwotnym napięciu 6000 woltów transformator bierze 5 amperów, to we wtórnym obwodzie przy 120 woltach mamy 250 amperów:

$$\frac{6000}{120} = \frac{250}{5}$$

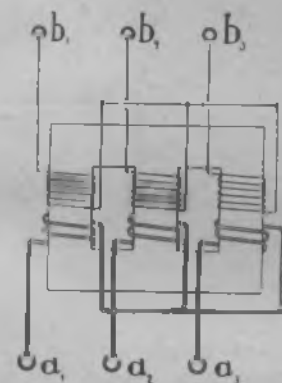
Powyższe obliczenie jest przybliżone, gdyż w rzeczywistości w transformatorze są straty energii: uzwojenia z dru-

tu miedzianego ogrzewają się, skutkiem oporności tych drutów, a rdzenie żelazne również ogrzewają się pod wpływem prądów wirowych i przemagnesowywania.

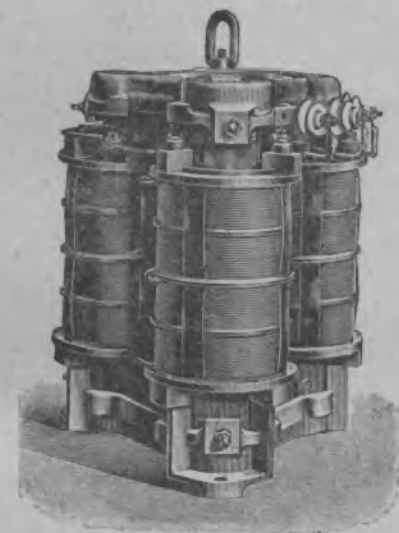
Stosunek mocy otrzymanej z transformatora do mocy doprowadzonej do transformatora stanowi jego **sprawność**.

Sprawność małego transformatora na 1 kW wynosi 93% dającego zaś na 2000 kW dosięga 99%.

Budowa transformatorów. Transformatory bywają jednofazowe (rys. 75 str. 87) lub trójfazowe (rys. 76), które różnią się od jednofazowych tem, że mają rdzeń żelazny potrójny i na nim trzy cewki pierwotne i trzy wtórne, połączone w gwiazdkę lub też w trójkąt.



Rys. 76. Układ zwojów na transformatorze trójfazowym. Połączenie w gwiazdkę.

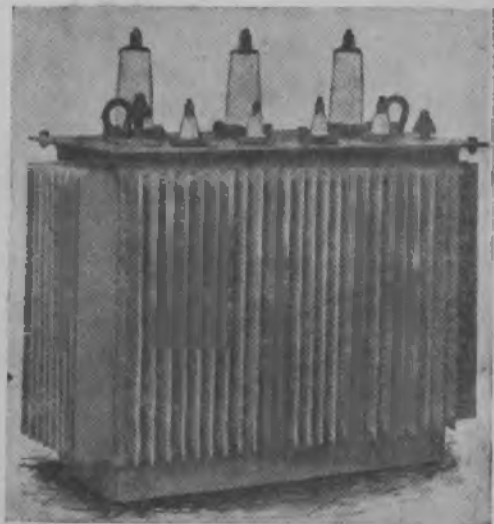


Rys. 77. Transformator trójfazowy otwarty.

Dobrze izolowane uzwojenia nasadzone na rdzenie żelazne umocowują się w odpowiedniej oprawie czy ramie z żelaza lanego lub kutego (rys. 77).

Transformator taki umieszcza się nieraz wprost w budce transformatorowej, np. na rogach ulic i wtedy nazywamy go transformatorem z chłodzeniem powietrznym.

Są jednak jeszcze transformatory inne chłodzone olejem. Wtedy uzwojenia z rdzeniami i ramą, umieszczają się wewnątrz skrzyni zrobionej z blachy falistej wypełnionej olejem (rys. 78), na zewnątrz wychodzą tylko końcówki na izolatorach porcelanowych, odprowadzające prąd. Olej lepiej izoluje niż powietrze i lepiej chłodzi.



Rys. 78. Transformator trójfazowy w oleju na 100 kVA. Wysokie nap. 10 000 woltów, niskie napięcie 400 woltów. Firmy Brown & Boveri.

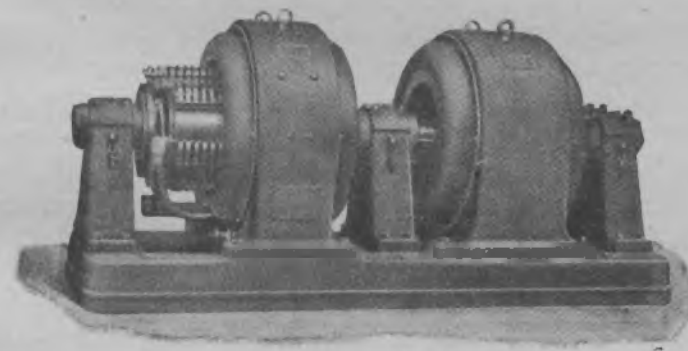
Obsługa transformatorów jest nader prosta.

Przy transformatorach z chłodzeniem powietrznym trzeba tylko od czasu do czasu oczyścić je od kurzu, przy olejowych dbać o właściwy poziom oleju w skrzyni, a obu transformatorów należy **strzedz od przeciążenia prądem**, gdyż pod wpływem nadmiernego prądu uzwojenie rozgrzewa się silnie i może zapalić się izolacja, a potem, skutkiem zwarcia stopią się druty.

23. PRZETWORNICE.

Bywają okoliczności, w których odbiorniki trzeba zasilać prądem stałym, a prądnicę mamy na prąd trójfazowy. Wtedy stosujemy wirujące **przetwornice**, które pobierają pracę prądu **trójfazowego**, a oddają pracę prądu **stałego**.

Przetwornica dwumaszynowa składa się z dwóch maszyn (rys. 79) silnika elektrycznego¹⁾ i z prądnicy sprzężonej z silnikiem mechanicznie, czasem za pomocą sprzęgła tarczowego. Silnik pobiera pracę prądu elektrycznego i przekształca ją na pracę mechaniczną, którą następnie pobiera prądnica i przekształca ją z powrotem na pracę prądu elektrycznego. W ten sposób oczywiście dowolny prąd I rodzaju można przekształcić na dowolny prąd II rodzaju.



Rys. 79. Przetwornica dwumaszynowa na 270 kw, firmy de Fives-Lille przetwarza prąd trójfazowy na prąd stały.

Ujemną cechą takich przetwornic jest ich mała sprawność t. j. stosunek pracy prądu otrzymanego do pracy prądu wprowadzonego.

¹⁾ Patrz dalej odbiorniki.

Przykład. Jeżeli prądnicą przetwornicy dostarcza prąd stały mocy 50 kilowatów, a jej sprawność wynosi 90%, to silnik przetwornicy musi dawać moc mechaniczną:

$$\frac{50}{90} \times 100 = 55,5 \text{ kW.}$$

Silnik którego moc mechaniczna wynosi 55,5 kilowata ma sprawność również koło 90%, więc silnik ten musi pobrać moc prądu zmiennego:

$$\frac{55,5}{90} \times 100 = 61,5 \text{ kW}$$

Wobec tego sprawność przetwornicy ogólna będzie:

$$\frac{50}{61,5} = 0,81$$

Słowem, sprawność takiej przetwornicy wynosi zaledwie 81%, znacznie mniej niż np. odpowiedniego transformatora.

Przetwornica jednomaszynowa. W celu otrzymania lepszej sprawności, o ile inne okoliczności na to pozwalają, budujemy przetwornice **jednomaszynowe**, łącząc silnik prądu zmiennego i prądnicę prądu stałego w jedną maszynę (rys. 80). Taka maszyna ma magnesnicę nieruchomą, zasilaną prądem stałym, a twornik zaopatruje się z jednej strony w pierścienie, a z drugiej w komutator, na pierścieniach i na komutatorze ślizgają się szczotki. Przez pierścienie wchodzi prąd zmienny, a z komutatora otrzymujemy prąd stały.

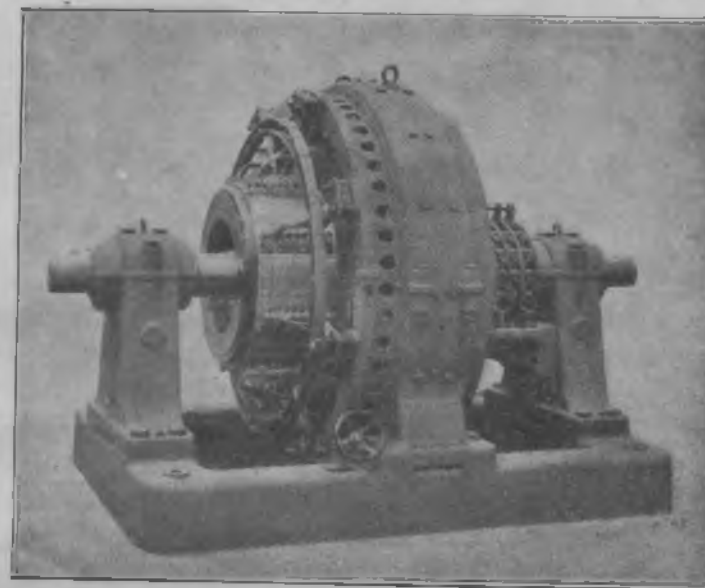
Sprawność takich dużych przetwornic jednomaszynowych wynosi 90 do 95%.

24. PROSTOWNIKI

Dla uniknięcia stosowania maszyn wirujących do przekształcania prądu zmiennego na stały — jednokierunkowy — tam, gdzie z różnych praktycznych względów jest to możliwe, stosujemy czasem prostsze przyrządy tak zwane **prostowniki**.

Ogólna zasada działania prostowników polega na kierowaniu prądu zmiennego w ten sposób aby on przepływał przez odbiornik jako prąd o stałym kierunku.

W tym celu stosowane są urządzenia, które działają zupełnie tak samo jak zawór samoczynny w rurze pompy wodnej, przepuszczający wodę tylko w jedną stronę.

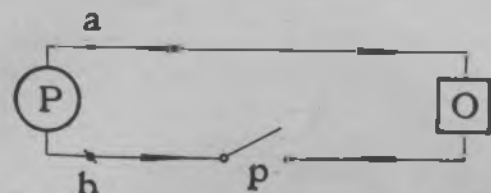


Rys. 80. Przetwornica jednomaszynowa prądu trójfazowego na stały. Na 1000 kW 500 V, 2000 A prądu stałego, firmy Brown-Boveri.

Najprostszy prostownik, używany do małych prądów, jest **mechaniczny**. Zasada jego polega na zastosowaniu odpowiedniego przerywacza (rys. 81). Jeżeli np. przerywacz **P** otwierać i zamykać bardzo szybko, zgodnie ze zmiennością prądu, tak żeby on był zamknięty tylko wtedy, gdy dolny przewód jest ujemny, to pomimo to, że prądnicą **P** wytwarza zmienną siłę elektromotoryczną, otrzymamy w obwodzie prąd jednokierunkowy, ale przerywany.

Dla uniknięcia długich przerw prądu, wprowadzamy prąd z prądnicy **P** (rys. 82) do transformatora **T**, środek uzwojenia wtórnego łączymy z odbiornikiem **O** jednym przewodem,

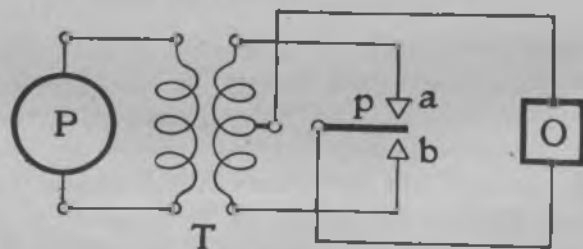
a drugi przewód od odbiornika prowadzimy do przerywacza, zaopatrzonego w dwa kontakty **a** i **b**, połączone z końcami wtórnego uzwojenia transformatora.



Rys. 81. Przerywacz prostownikowy w obwodzie prądu zmiennego.

Gdy prądnicą dostarcza prądu zmiennego kontakty **a** i **b**, połączone z końcówkami wtórnego uzwojenia, stają się na przemian to dodatnie, to ujemne.

Drażek **P** przerywacza za pomocą odpowiedniego elektromagnesu wprawia się w ruch drgający, zgodny ze zmiennością prądu, tak że gdy kontakt **a** jest dodatni, to drażek dotyka kontaktu **a**, a gdy kontakt **b** jest dodatni, to dotyka kontaktu **b**. w ten sposób w odbiorniku prąd ma wprawdzie zmienne natężenie, ale zawsze płynie w tym samym kierunku. Zmienność takiego prądu w czasie wskazuje rys. 83, on oczywiście nie jest zupełnie stały, ale w każdym razie jednokierunkowy, taki prąd nazywamy prądem **tętniącym**.



Rys. 82. Prostownik mechaniczny.

Mamy sposób na zmniejszenie wahań natężenia tego prądu. Mianowicie cewka z drutu izolowanego nawinięta na żelazie czyli tak zwany **dławik**, ma własność tłumienia wahań prą-

du, więc, włączając ją do obwodu, możemy nieco wyrównać prąd tętniący.

Takie mechaniczne prostowniki mogą być stosowane dla prądów o mocy do 200 watów, a więc np. przy 50 woltach brać można 4 amperey, a przy 5 woltach 40 amperów.

Oprócz prostowników mechanicznych mamy jeszcze kilka innych.



Rys. 83. Fala prądu prostowanego.

Prostowniki elektrolityczne wynalezione przez rodaka naszego Dr. Pollaka, polegają na zastosowaniu, tak zwanego, **ogniwa glinowego** (aluminowego).

Składa się ono z dwóch płytek metalowych: jednej **aluminowej**, a drugiej **ołowianej** lub **węglowej**, **pogrążonych** w roztworze soli amonowej, mianowicie: **dwuwęglanu amonu**. Takie ogniwo ma tę własność, że przepuszcza prąd prawie tylko w jednym kierunku, jak zawór w rurze, a mianowicie: **tylko** w kierunku **do glinu** (aluminium).

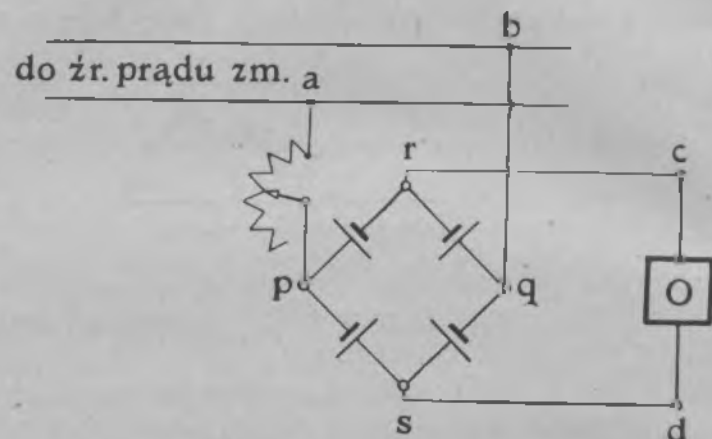
Zestawiając w odpowiednim połączeniu cztery takie ogniwa możemy prostować prąd zmienny.

Na rys. 84 pokazane jest połączenie czterech ogniw, krótkie kreski oznaczają tu płytki aluminowe. Zaciski **a** i **b** łączymy ze źródłem prądu zmiennego, a **c** i **d** z odbiornikami prądu tętniącego. Gdy prądnicą prądu zmiennego posyła prąd w kierunku od **a** do **b**, to prąd ten płynie po drodze: **a — p — r — c — d — s — q — b**, a kiedy z prądniczy mamy prąd w kierunku od **b** do **a**, to idzie on droga:

$$b - q - r - c - d - s - p - a,$$

stąd widać, że w obwodzie, połączonym z zaciskami **c** i **d**, prąd zawsze płynie w tym samym kierunku od **c** do **d**.

Przy prostownikach tego rodzaju, zawsze trzeba stosować w obwodzie prądu zmiennego **oporniki** rozruchowe dla ograniczenia prądu w tej chwili, gdy ogniwa glinowe nie nabrały w pełni swych prostowniczych własności, które wywołane są solami, wydzielającymi się na płytce glinowej.



Rys. 84. Układ połączeń prostownika elektrolitycznego.

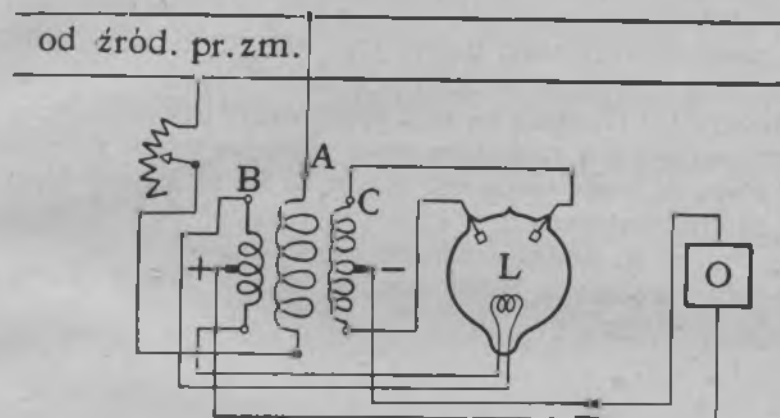
Prostowniki **katodowo-jonowe**¹⁾. W tych prostownikach rolę zaworu samoczynnego, przepuszczającego prąd tylko w jedną stronę, odgrywa bańka szklana **L** (rys. 85), zaopatrzona u dołu w żarzący się pod wpływem prądu drucik, i dwie elektrody węglowe u góry. W bańce znajduje się rozrzedzony bardzo gaz szlachetny, np. neon, czy argon.

Prąd zmienny z prądnicy dopływa do pierwotnego uzwojenia **A** transformatora. Transformator ten ma dwa uzwojenia wtórne **B** i **C**. Uzwojenie **B** daje prąd, rozżarzający dru-

¹⁾ Nazwa katodowy pochodzi od słów czasem stosowanych dla oznaczenia elektrod odbiorników. *Katoda* nazywamy elektrodę, przez którą prąd wychodzi z odbiornika, *anoda* nazywamy elektrodę, przez którą prąd wchodzi do odbiornika. *Jonami* nazywamy cząsteczki, naelektryzowane, czy to w gazie, czy w cieczy, wędrujące z prądem, czy wbrew prądowi.

cik w bańce, a uzwojenie **C** daje prąd do górnych elektrod, tak zwanych, **anod** a stąd do odbiornika **O**, drucik żarzący się stanowi **katodę**.

Odbiornik prądu tętniącego łączymy ze środkami wtórnych uzwojeń transformatora **B** i **C**. Prąd tętniący płynie zawsze w kierunku od środka uzwojenia **B**, do środka uzwojenia **C**,



Rys. 85. Prostownik katodowojonowy.

gdyż gaz w bańce przepuszcza prąd tylko w kierunku od górnych anod do **katody** stanowiącej żarzący się drucik. Prąd zmienny stosownie do swego kierunku wchodzi do bańki, to przez lewą, to przez prawą anodę.

Osobliwsza własność gazu w bańce tłumaczy się tem, że drucik metalowy mocno rozżarzony wysyła ujemnie naelektryzowane cząsteczki zwane **elektronami**, które przenosząc się z drucika na anody wywołują zjawisko prądu odwrotnego, jak gdyby płynącego od anody do katody. Za kierunek prądu przyjmujemy kierunek ruchu elektryczności dodatniej, a z doświadczenia wiadomo że skutek ruchu elektryczności ujemnej w pewnym kierunku jest taki sam jak ruchu elektryczności dodatniej — w kierunku przeciwnym.

Prostowniki takie pracują przy napięciu prądu stałego 60, 85 albo 110 woltów i przepuszczają prąd do 10 lub 20 A, zależnie od wielkości bańki.

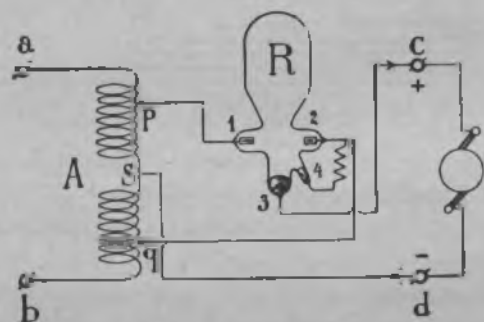
Tu także stosuje się cewka z rdzeniem żelaznym, czyli, tak zwany, dławik w obwodzie prądu tętniącego dla wyrównania jego natężenia.

Oprócz tego równolegle do odbiorników włączamy kondensatory z płytek izolowanych od siebie, które również sprzyjają zanikaniu tętnień prądu sprostowanego.

Prostowniki rtęciowe. Zupełnie podobne własności mają bańki szklane opróżnione, z rtęcią u dołu, jako katoda i dwoma anodami węglowymi u góry (rys. 86). Taka bańka przepuszcza prąd tylko w kierunku od anody do katody.

Anody (1) i (2) łączą się tu z końcówkami uzwojenia transformatora p i g¹⁾ zasilanego przez prądnicę prądu zmiennego, a obwód prądu tętniącego przyłącza się na jednym biegunie do drutu zatopionego w szkle i stykającego się z rtęcią (3), a na drugim do środka uzwojenia transformatora S.

Drut, połączony z rtęcią, stanowi dodatni biegun obwodu prądu tętniącego.



Rys. 86. Układ połączeń prostownika rtęciowego.

Zaraz po włączeniu prądu na transformator, taki prostownik prądu nie przepuszcza, gdyż próżnia wewnątrz bańki jest izolatorem. Dla puszczenia prostownika w ruch, trzeba wywołać chwilowy prąd przez zetknięcie rtęci z pomocniczą anodą (4), znajdującą się w pobliżu.

¹⁾ Na rys. mamy tak zwany autotransformator, w którym wtórne uzwojenie stanowi część zwojów pierwotnych

W tym celu bańkę troszkę nachylamy, gdy rtęć się zetknie z anodą pomocniczą i prąd popłynie, to zwracamy bańkę do poprzedniego położenia, prąd przy tem nie przerywa się, gdyż tworzy się para rtęci, która jest przewodnikiem prądu. Para rtęci pod prądem świeci i nazywa się łukiem rtęciowym.

Ten łuk rtęciowy, powstający pomiędzy rtęcią a pomocniczą anodą, przeskakuje na anody główne i prostownik już jest w ruchu. Łuk rtęciowy ciągle skacze z jednej anody na drugą i z powrotem, przepuszczając przez odbiornik prąd tylko w jednym kierunku, zawsze od c do d.

Górna rozszerzona część szklanej bańki służy do skraplania pary rtęci.

Tego rodzaju prostowniki budowane są również na prąd trójfazowy z trzema anodami.

Biorąc duże bańki można przepuszczać dość duże prądy np. do 100 A przy 500 woltach.

Chcąc jednak otrzymać prąd tętniący jeszcze większej mocy, trudno stosować bańki szklane, ze względu na kruchość szkła.

Początkowo omijano tą trudność przez łączenie wielu szklanych prostowników równolegle, prędko jednak zastąpiono szkło żelazem.

Prostowniki rtęciowe w żelaznych naczyniach są budowane obecnie na bardzo znaczną moc — do kilkuset kilowatów w jednym cylindrze.

Tego rodzaju prostowniki wyróżniają się bardzo wysoką sprawnością około 94%, mało zależną od obciążenia. Obok wielu cech dodatnich mają jedną ujemną, polegającą na konieczności utrzymywania doskonałej próżności za pomocą pomp, wypompowujących gazy tworzące się wewnątrz naczynia — i przyplływające przez nieszczelności.

Pomimo to, tego rodzaju prostowniki coraz częściej zastępują przetwornice jednotwornikowe, szczególnie na kolejach elektrycznych.

Małe prostowniki różnego ustroju są stosowane głównie do ładowania akumulatorów z przewodów prądu zmiennego.

ROZDZIAŁ II.

ODBIORNIKI.

Najważniejsze zastosowania prądu elektrycznego do siły i światła polegają na zasilaniu tym prądem silników elektrycznych i lamp. Silniki elektryczne obracają różne maszyny pomocnicze: obrabiarki do drzewa lub metalu, młyny, maszyny do szycia, wozy tramwajowe czy kolejowe i t. p.

Oprócz tego zasilamy prądem sprzęt grzejny: kociołki, fajerki, śmbyczki i t. p.¹⁾.

1. SILNIKI ELEKTRYCZNE.

Znaczną część energii wytwarzanej w elektrowniach biorą silniki ustawione głównie po warsztatach i fabrykach, oraz w podwoziach tramwajów czy wagonów kolejowych i na lokomotywach elektrycznych.

Są silniki na prąd stały i na prąd zmienny zwykle trójfazowy.

Silniki prądu stałego. Budowa silników na prąd stały jest taka sama jak prądnic, zmienia się tylko rola maszyny. Prądnice prąd dają, a silniki biorą.

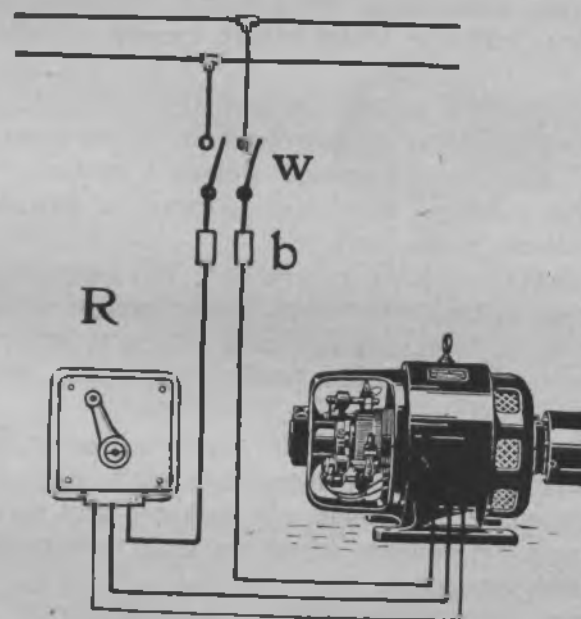
¹⁾ Bardziej wyczerpujące wiadomości o odbiornikach czytelnik znajdzie w II części Krót. Zarys Elektr.

Na rys. 87 widzimy silnik prądu stałego z opornikiem rozruchowym R.

Prąd w nim przepuszczamy przez twornik i przez uzwojenie elektromagnesów. Oddziaływanie magnetyczne nieruchomy elektromagnesów na obracający się twornik daje siłę obrotową, która jest tem **większa im silniej namagnesujemy magnesy** i im **silniejszy prąd** puścimy do twornika.

Opornik R (rys. 87) z korbką służy do nastawiania odpowiedniego natężenia prądu. b — topliwe bezpieczniki, W — wyłącznik.

Gdy chodzi o nastawianie właściwego prądu tylko przy rozruchu — oporniki tego rodzaju nazywamy rozrusznikami.



Rys. 87. Obwód silnika prądu stałego z wyłącznikiem, bezpiecznikami i rozrusznikiem.

Pushczamy w ruch taki silnik zamykając najpierw wyłącznik W i następnie **wolno** przekrecając rączkę opornika rozruchowego R.

Przy zatrzymywaniu, **naprzód** zwracamy **szybko** korbkę rozrusznika do położenia początkowego i następnie otwieramy wyłącznik.

Korbka **rozrusznika** winna stać na początku, gdy silnik stoi, a na końcu, gdy silnik jest w biegu. Nie można zatrzymywać korbki dłużej na położeniach pośrednich, bo opornik nadmiernie się rozgrzeje.

Oporniki silnikowe mogą po zatem służyć do **regulowania** szybkości biegu silników, wtedy one mają specjalną budowę. W takich opornikach regulacyjnych korbka może stać w dowolnym miejscu, bez obawy uszkodzenia opornika.

Silniki prądu zmiennego. Silniki prądu trójfazowego bywają dwojakiego rodzaju: silniki **krótko zwarte**, i silniki z **pierścieniami**.

Silniki trójfazowe krótko zwarte (rys. 88) składają się z nieruchomego bębna z uzwojeniami na wewnętrznej powierzchni¹⁾, czyli tak zwanego **stojana** i ruchomego walca na wale, tak zwanego **wirnika**, na którym są uzwojenia, lub pręty miedziane, krótko zwarte.

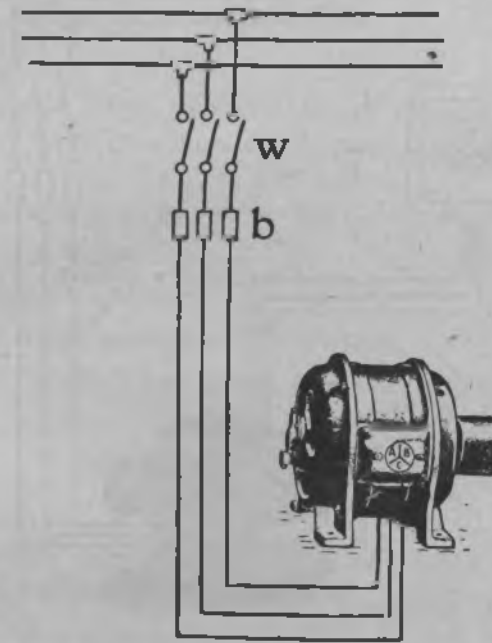
Prąd z elektrowni przez przerywacz **W** i bezpiecznik **b** doprowadza się **tylko** do uzwojeń nieruchomego stojana, wywołuje on tu strumień magnetyczny wirujący, który, wzniciając w przewodach wirnika prądy elektryczne, porywa go ze sobą.

Takie silniki (rys. 88), puszczają się w ruch za pomocą zwykłego przerywacza, który łączy uzwojenia stojana z przewodami idącymi z elektrowni. Wyjątkowo gdy rozruch jest ciężki, stosuje się zamiast zwykłego przerywacza, przełącznik z gwiazdy na trójkąt.

Za pomocą tego przełącznika w pierwszej chwili puszczamy prąd, łącząc uzwojenia stojana w gwiazdę, a gdy silnik nabierze niemal pełnej szybkości, obracamy rączkę przełącznika dalej, przez co uzwojenia przełączają się na trójkąt. Tą drogą unikamy przeciążenia prądem silnika i przewodów.

¹⁾ Takie samo uzwojenie jak w prądnicy na rys. 28, str. 34.

Silniki prądu trójfazowego pierścieniowe (rys. 89), z pierścieniami ślizgowymi na wirniku, również otrzymują połączenie z przewodami elektrowni tylko ze strony stojana.

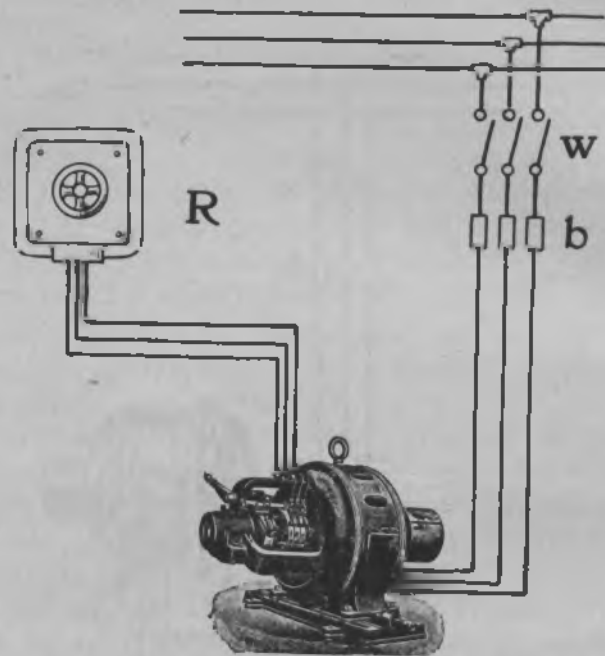


Rys. 88. Silnik trójfazowy z wirnikiem zwartym.

Uzwojenia wirnika połączone są z pierścieniami, do których dotykają szczotki. Szczotki, ślizgające się po pierścieniach wirnika, łączymy z opornikiem **R** (rys. 89), który zwiera uzwojenia wirnika. Opornik ten może być zbudowany tylko do rozruchu lub też dla regulacji szybkości biegu.

Przy puszczaniu w ruch, zamykamy najpierw wyłącznik **W**, potem powoli obracamy pokrętkę opornika **R** i gdy łapki opornika staną na końcowym kontakcie, przekreślamy rączkę, widoczną przy silniku z lewej strony, skutkiem czego podnoszą się szczotki a pierścienie wirnikowe zostają krótko zwarte ze

sobą. Przy zatrzymywaniu najlepiej w odwrotnej kolejce: spuścić szczotki, odstawić opornik w położenie początkowe i potem otworzyć wyłącznik.



Rys. 89. Obwód silnika trójfazowego pierścieniowego z wyłącznikiem, bezpiecznikami i opornikiem.

2. OBLICZANIE MOCY SILNIKÓW ELEKTRYCZNYCH.

Silniki elektryczne, tak samo jak inne maszyny, pobierają moc większą niż dają, gdyż w nich są straty na ciepło: w uzwojeniach, skutkiem oporności i w żelazie, skutkiem histerezy i prądów wirowych, oraz na tarcie w łożyskach i t. p.

Stosunek mocy otrzymanej z silnika do mocy dostarczonej silnikowi wyraża jego sprawność.

Najczęściej używane silniki mają przy pełnym obciążeniu następujące przeciętne sprawności :

Moc silnika w koniach mech.	Sprawność
0,5	70 %
1	75 %
5	82 %
10	84 %
20	85 %

Gdy znamy moc prądu, pobieraną przez silnik, to łatwo możemy obliczyć, ile on daje koni mechanicznych, pamiętając, że bez strat 1 koń mechaniczny = 736 watów.

Przykład I. Silnik który bierze 4900 watów, daje:

$$\frac{4900}{736} \cdot 0,82 = 5,45 \text{ KM.}$$

Więc jest to silnik o mocy około 5 koni.

Przykład I. Silnik, który bierze 4900 watów, daje:

$$\frac{15 \cdot 736}{0,845} = 13000 \text{ watów,}$$

moc prądu, dopływającego do silnika, wynosi 13 kilowatów.

Natężenie prądu, pobieranego przez silnik, łatwo obliczymy, według wzorów podanych na str. 53 i 66, znając moc pobieraną, oraz napięcie prądu. Dla prądu trójfazowego trzeba mieć jeszcze kosinus ϕ . O ile nie mamy dokładniejszej liczby, to przy silnikach najczęściej używanych możemy przyjąć $\cos \phi = 0,83$.

3. OBSŁUGA SILNIKÓW.

Silniki elektryczne nie wymagają zbyt częstej obsługi, ale natomiast potrzebna jest obsługa sumienna i ciągła, więc co kilka dni należy silniki dokładnie oczyścić od kurzu, smarów i t. p. Sprawdzić czy jest olej w łożyskach, oraz czy szczotki są w porządku i dobrze przylegają. Co pewien czas, gdy olej zanieczyści się, należy go zmienić, przemywając łożyska naftą i benzyną. Oto tablica uchybień w pracy silników i przyczyn.

Silnik prądu stałego.

Uchybienie.

- 1) Silnik nie rusza.
- 2) Bezpieczniki ciągle przepalają się.
- 3) Silnik ma niewłaściwy kierunek biegu.
- 4) Szczotki iskrzą.
- 5) Twornik bardzo gorący.
- 6) Łożyska gorące.

Przyczyna.

- a) Przepalone bezpieczniki.
- b) Przerwa w rozruszniku.
- c) Szczotki źle przylegają.
- d) Przerwa wewnątrz silnika.
- e) Przeciążenie.
- a) Opornik za mały lub ma zwarcie.
- b) Zwarcie z ziemią w silniku.
- c) Rozruch zbyt ciężki.
- d) Zbyt szybki ruch korbki rozrusznika.
- e. Obciążenie za duże.
- Nieodpowiedni kierunek prądu w tworniku. Trzeba wymienić przewody, doprowadzające prąd do twornika przez szczotki.
- a) Szczotki źle ustawione.
- b) Szczotki źle przylegają.
- c) Kolektor nierówny.
- d) Kolektor zabrudzony.
- e) Silnik przeciążony.
- f) Uszkodzenie w uzwojeniu silnika.
- g) Źle włączone uzwojenia, magnesyjące bieguny pomocnicze.
- a) Silnik przeciążony.
- b) Zwarcie w uzwojeniu twornika.
- a) Pas za mocno naciągnięty.
- b) Oliwa w łożysku źle krąży. Pierścień samosmaru zatrzymuje się.
- c) Oliwa zanieczyszczona.

Silnik prądu trójfazowego.

Uchybienie.

- 1) Silnik nie rusza.

Przyczyna.

- a) Bezpieczniki przepalone.
- b) Przerwa w uzwojeniach stojana.

- 2) Silnik rusza z trudnością.

- c) Przerwa w uzwojeniach wirnika.
- d) Przerwa w rozruszniku.

- 4) Silnik obraca się w niewłaściwym kierunku.

- a) Napięcie za niskie.
- b) Przerwa w jednej fazie wirnika czy rozrusznika.
- c) Silnik ma uzwojenia stojana połączone w gwiazdę, zamiast w trójkąt.
- d) Silnik przeciążony.

- 3) Ciągle przepalają się bezpieczniki.

Źle włączone przewody dopływowe. (Wymienić którekolwiek dwa przewody z trzech dopływowych przewodów.)

- a) Zwarcie w uzwojeniach stojana lub wirnika.
- b) Zbyt szybki ruch korbki opornika, lub zbyt szybkie przelączenie z gwiazdy na trójkąt.
- c) Nadmierne obciążenie silnika.

- 5) Silnik bureczy, zanadto zagrzewa się, obraca się za wolno.

Przepalony bezpiecznik w jednej fazie.

- 6) Silnik grzeje się nadmiernie.

- a) Napięcie za niskie.
- b) Zwarcie częściowe w uzwojeniach stojana czy wirnika.
- c) Nadmierne obciążenie.

- 7) Łożyska gorące.

Patrz silnik prądu stałego.

4. LAMPY.

Obecnie stosują się głównie lampy żarowe metalowe, w których prąd elektryczny rozgrzewa drucik cienki, sporządzony z metalu wolframu, zawieszony w bańce szklanej; są to tak zwane żarówki. Bańka żarówki jest opróżniona lub wypełniona gazem obojętnym, np. azotem, który nie łączy się z rozżarowanym metalem. Na rys. 90 widzimy lampkę próżniową, a na rys. 91 wypełnioną gazem — tak zwaną krótko gazówkę.

Najczęściej używane lampki próżniowe są wyrabiane na 5 do 50 świec natężenia światła.

Lampki z gazem stopniujemy podług pobieranej mocy od 25 do 1500 watów, dają one od 20 do 3000 świec. Oprócz mocy lub natężenia światła cechą charakterystyczną lampy jest napięcie prądu, zasilającego lampę. Lampy, pobierające prąd z elektrowni, bywają zwykle na 110 czy 120 albo na 220 woltów.



Rys. 90. Żarówka próżniowa.



Rys. 91. Żarówka wypełniona gazem.

Lampa na mniejsze napięcie, włączona do prądu na wyższe napięcie, zaraz przepali się i zgaśnie.

Lampa przeznaczona na wyższe napięcie, wkręcona na niższe napięcie, będzie świecić słabo.

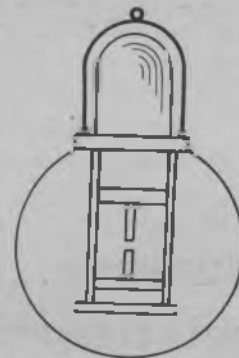
Dobre lampy żarowe powinny świecić jasno przeciętnie do 1000 godzin. Po tym czasie zwykle światło słabnie i wreszcie drucik przerywa się.

Chcąc w przybliżeniu obliczyć koszt oświetlenia elektrycznego, należy obliczyć pracę prądu, pobraną przez lampy, licząc na jedną świecę lampy próżniowej około 1, 2 wata mocy prądu.

Dla oświetlenia szerokich ulic i wielkich placów w miastach są używane czasem lampy łukowe (rys. 92), gdzie pod wpływem prądu elektrycznego świeci głównie tak zwany łuk świetlny, otrzymany pomiędzy węglami, nasyconymi solami różnych metali, które nadają mu właściwą barwę.

Światło lamp takich jest bardzo silne, więc zawieszamy je bardzo wysoko.

Aby światło silnych lamp, obecnie stosowanych, nie raziło oczu, trzeba koniecznie stosować osłony, klosze i t. p.



Rys. 92. Łukówka.

5. GRZEJNIKI ELEKTRYCZNE.

Puszczając prąd elektryczny przez druty oporowe, nawinięte na płytki izolacyjne, otrzymujemy dużo ciepła, które użytkujemy w najrozmaitszych grzejnikach, rondelkach, imbryczkach, żelazkach i t. p. (Rys. 93).



Rys. 93. Rondelki elektryczne.

Wielkość i rodzaj tych grzejników określa się zwykle przez **moc prądu w watach**, który one pobierają i przez **napięcie prądu w woltach**, dla którego sprzęt jest przeznaczony.

Dla uniknięcia szybkiego przepalania się drutów oporowych, należy **unikać** trzymania **pod prądem pustych** rondelków i zbyt długiego grzania żelazek.

ROZDZIAŁ III.

PRZEWODY URZĄDZEŃ ELEKTRYCZNYCH PRĄDU SILNEGO.

Przewody w urządzeniach elektrycznych prawie wyłącznie prowadzą się drutami miedzianymi pełnymi lub zwiniętymi w postaci linki.

Do przewodów wewnątrz budynków i podziemnych stosuje się miedź mięka, której 1 metr przy przekroju 1 mm^2 ma oporność 0,0172 oma.

Do przewodów napowietrznych zwykle stosuje się miedź twarda, której 1 metr przy przekroju 1 mm^2 ma oporność 0,0175 oma.

Oprócz miedzi, czasem używa się glin (aluminium) lub wyjątkowo żelazo.

W celu uniknięcia odpływu prądu na przedmioty otaczające, albo, jak mówimy zwykle, do ziemi, wszystkie przewody obwodów elektrycznych są odosobnione czyli izolowane.

Wyjątek stanowią szyny kolei elektrycznych i druty łączące je między sobą, a także w niektórych urządzeniach, tak zwane, przewody zerowe.

Izolację stosujemy różną, zależnie od tego, kedy wypada prowadzić przewody. Zwykle wyróżniamy trzy rodzaje przewodów: **napowietrzne, wewnętrzne i podziemne.**

I. PRZEWODY NAPONIETRZNE.

Przewody napowietrzne najczęściej są gołe, wyjątkowo tylko stosują się izolowane, gdy **człowiek może łatwo je dotknąć**, lub też, gdy bywają narażone na nieprzewidziane zetknięcie z innymi drutami lub z metalowymi przedmiotami. Izolację stanowi plecionka przesycona minią z olejem liniowym. Jest to izolacja wytrzymała na czynniki atmosferyczne. Druty, których przekrój nie przewyższa 16 mm^2 , zazwyczaj są pełne, w przecięciu okrągłe. Przewody grubsze zwijamy z cienkich drutów w odpowiedniej liczbie, w celu zapewnienia giętkości.

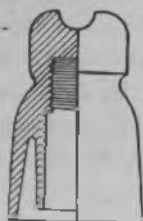
Przewody napowietrzne zawieszamy na izolatorach porcelanowych. Przy napięciach do 500 woltów czynią zadość wymaganiom dobrej izolacji izolatory z płaszczem podwójnym (rys. 94), przy napięciach wyższych do kilkudziesięciu tysięcy woltów stosowane są izolatory większe wielopłaszczyznowe np. rys. 95, ten izolator ma trzy płaszcze. Izolatory powyższe umocowują się na hakach i trzpieniach żelaznych.

Przy napięciach jeszcze wyższych stosowane są izolatory łańcuchowe, czy wisiorowe, utworzone z szeregu porcelanowych talerzyków (rys. 96), zawieszonych jeden nad drugim. Przewód zawieszony się u dołu, a u góry najwyższy talerzyk przymocowujemy do belki poprzecznej na słupie. Odmianę powyższych izolatorów wisiorowych stanowią izolatory dwutalerzykowe, inaczej dwukołpakowe (rys. 97), zapewniające jeszcze lepszą izolację. Na rys. 98 widzimy zastosowanie tych izolatorów na słupie linii napowietrznej sieci Pomorskiej przed mostem Grudziądzkim, na prąd zmienny trójfazowy, płynący pod napięciem 60000 woltów.

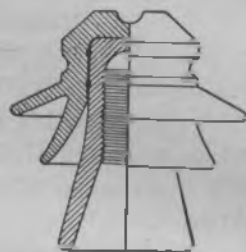
Słupy, na których umocowujemy izolatory przewodów napowietrznych, są przeważnie drewniane, niskie przy niskim napięciu i wysokie przy wysokim napięciu.

Słupy dla przewodów wysokiego napięcia często zestawiamy podwójne w kształcie litery **A**, albo stosujemy słupy żelazne, kratowe.

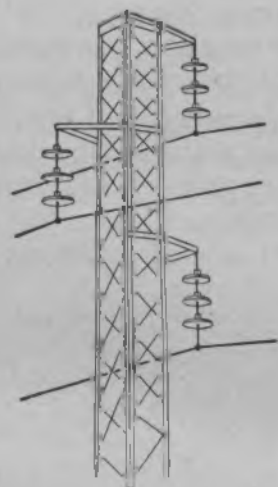
Dla zabezpieczenia od elektryczności atmosferycznej przewody napowietrzne przy wejściu do budynków zaopatrują się w odgromniki np. rożkowe¹⁾.



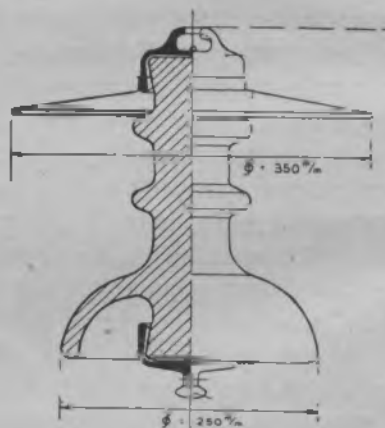
Rys. 94. Dwupłaszczowy izolator porcelanowy dla przewodów na niskie napięcie.



Rys. 95. Trójplaszczowy izolator porcelanowy dla przewodów na wysokie napięcie.



Rys. 96. Na żelaznym słupie, na potrójnych izolatorach talerzowych są zawieszane przewody wysokiego napięcia.



Rys. 97. Porcelanowy izolator wiszący, dwukolumnowy.

¹⁾ Patrz dalej urządzenie elektrowni.



Rys. 98. Słup sieci pomorskiej na prąd trójfazowy 60000 woltów.

Dla uniknięcia nadmiernego rozgrzewania drutów prądem, stosować należy przekroje napowietrznych przewodów miedzianych według następującej tabelki:

Przekrój drutu w mm ²	Prąd największy w amperach
4	46
6	60
10	86
16	118
25	162
35	206
50	266
70	340
95	420
120	500

2. PRZEWODY WEWNĘTRZNE.

Wewnątrz budynków, prawie wyłącznie, stosowane są przewodniki izolowane. Przewody gołe prowadzimy wyjątkowo tylko w budynkach niezamieszkałych, w warsztatach, fabrykach i t. p. Przekrój tych drutów, zawieszonych na izolatorach porcelanowych, nie może być mniejszy od 4 mm² i one muszą przechodzić na odległości co najmniej 5 cm od ścian i przedmiotów otaczających. Jeżeli w powietrzu mogą być pary i gazy, nagryzające miedź, to przewody gołe należy pomalować dobrze odpowiednią farbą np. lakierem emaljowym. Przewody gołe powinny być tak poprowadzone, aby człowiek nie mógł ich dosięgnąć.

Przewodniki izolowane stosuje się obecnie zawsze w izolacji z gumy wulkanizowanej, stanowiącej rurkę bez szwu wokół żyły miedzianej. Dla uniknięcia uszkodzeń mechanicznych, na gumę dajemy oplecenie z materiału włóknistego, zwykle nasycanego, a często, dla większej trwałości, pod tym opleczeniem znajduje się jeszcze warstwa taśmy nagumowanej.

Zależnie od napięcia, dla jakiego są przewidziane przewody, grubość warstwy gumowej bywa rozmaita, tem grubsza, im wyższe jest napięcie.

Czasem stosują się na drutach różne płaszcze ochronne ze szpagatu, gumy i t. p.

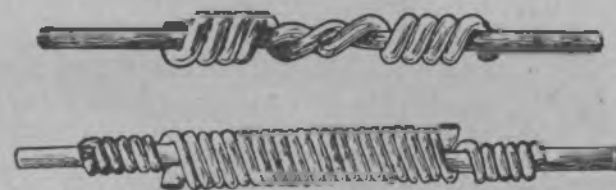
Druty izolowane zawieszamy na **galkach** porcelanowych, przywiązując je drutem miedzianym cynowanym. W miejscach wilgotnych należy brać galki wysokie, a w razie potrzeby nawet z okapami.

W celu zupełnego osłonięcia przewodów i zabezpieczenia od mechanicznego uszkodzenia, zakładamy je w rurkach izolacyjnych, które mają zazwyczaj ścianki podwójne: wewnątrz z papieru przesyconego smołą, a zewnątrz — z blachy mosiężnej, czy też żelaznej obolwionej lub lakierowanej.

Rurki układamy na tynku, lub pod tynkiem w żłobkach wykutych w ścianie.

Rurki pod tynkiem należy umocowywać zawczasu, bez drutów, i dopiero, po dokładnem wyschnięciu tynku, zakładać w rurkach druty, przeciągając je za pomocą sztywnej sprężyny.

Przy przejściach przez mur, zakładamy rurki z porcelanowymi tulejkami na końcach. Gdy przewodnik wychodzi przez ścianę nazewnątrz, to ze strony podwórza zamiast tulejki, nasadzamy fajkę porcelanową.



Rys. 99. Skręty na złączach drutów przewodowych.

Połączenie czyli wiązanie drutów przewodowych uskuteczniamy rozmaicie, zależnie od grubości drutu. Druty cienkie, do 2 milimetrów średnicy — skręcamy, druty pełne grube układamy do siebie z zagiętymi końcami i owijamy cienkim drutem miedzianym cynowanym (rys. 99). Grube druty zwijane łączymy za pomocą mocno ścispanych klamerek lub tulejek, a sznury za pomocą rozgałęźnych rozetek ze śrubowymi zaciskami.

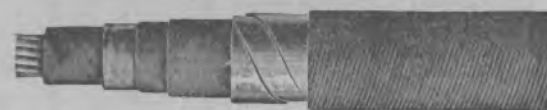
W złączach, przed skróceniem, druty należy dokładnie oczyścić np. papierem szklistym i w razie potrzeby wmyć jeszcze benzyną, a po skróceniu **dokładnie zlutować** cyną na kalafonji.

Przekrój miedzianych drutów izolowanych wybieramy według obciążenia prądem, tak aby się nie zagrzały nadmiernie. W tabelicy oprócz przekroju i odpowiedniego największego natężenia prądu, podany jest normalny prąd topliwego bezpiecznika, zabezpieczającego przewodnik od przeciążenia.

Przekrój drutu w mm ² .	Największe natężenie prądu w amperach.	Normalne natężenie prądu bezpiecznika w amperach.
0,5	7,5	6
0,75	9	6
1	11	6
1,5	14	10
2,5	20	15
4	25	20
6	31	25
10	43	35
16	75	60
25	100	80
35	125	100
50	160	125
70	200	160
95	240	200
120	280	225
150	325	260
185	380	300
240	450	350
300	525	430
400	640	500
500	760	600
625	880	700
800	1050	850
1000	1250	1000

3. PRZEWODY PODZIEMNE.

Pod ziemią układamy przewody w postaci tak zwanych kabli obołowionych. Na rys. 100 widzimy poszczególne warstwy na takim kablu. W środku znajduje się wiązka zwiniętych drutów miedzianych, izolowana papierem nasyconym, gumą, lub jutą, dalej idzie **szczelna** powłoka ołowiana, owinięta zwierzchu taśmą asfaltowaną i warstwą juty smolonej. Na tę jutę nawinięta jest jeszcze podwójna taśma żelazna, zabezpieczona od rdzewienia znowu warstwą juty, przesyconej mieszaniną smoły i asfaltu.



Rys. 100. Kabel obołowiony i opancerzony jednożyłowy.

Taki ustrój mają kable, najczęściej używane. Gdy kabel nie jest narażony na uszkodzenia mechaniczne, to można go zrobić bez osłony żelaznej.

Wszystkie te kable nie są jednak wytrzymałe na znaczne siły rozrywające. Z tego względu w rzekach, szybach kopalnianych i t. p. układamy kable inne, zaopatrzone w warstwę mocnego drutu stalowego odpowiedniej grubości.

Przeważnie używane są kable wielożyłowe, więc dla urządzeń dwuprzewodowych — dwużyłowe, a dla trójprzewodowych — trójżyłowe.

Grubość izolacji bywa różna i rodzaj materiałów izolacyjnych — różny, odpowiednio do napięcia prądu.

Obecnie są wyrabiane kable dla napięć do stu tysięcy woltów.

Połączenia i odgałęzienia kabli uskuteczniamy za pomocą zacisków śrubowych, umieszczonych w żelaznych skrzynkach kablowych (rys. 101). Po wykonaniu połączenia, skrzynkę zakrywamy i przez odpowiedni otwór wypełniamy ją roztopioną masą izolacyjną.

Połączenia przewodów kablowych z przewodami napowietrznymi lub wewnętrznymi izolowanymi, wykonywamy w tak zwanych mufach kablowych (rys. 102).

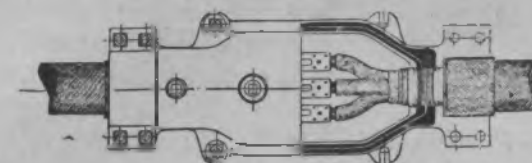
Kable opancerzone taśmą żelazną układamy w ziemi na głębokości od 0,5 do 0,75 metra w rowie, dno którego wyrównujemy warstwą piasku. Po ułożeniu kabla, przykrywamy go rzędem cegieł, położonych na płask, następnie rów przysypujemy i ziemię ubijamy.

Przekrój żył kablowych dobieramy według tabelki, gdzie wskazany jest największy prąd dopuszczalny ze względu na zagrzewanie się przewodów.

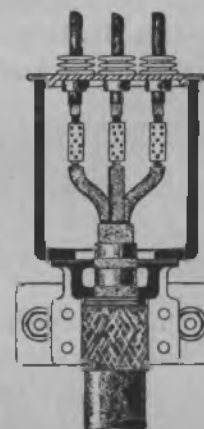
Tabelka przekrojów dla kabli **trójżyłowych**, zakopanych w ziemi:

Przekrój każdej żyły w mm ²	Największe natężenie prądu w jednej żyłce przy napięciu:			
	3000 V	10000 V	15000 V	25000 V
1	17	—	—	—
1,5	22	—	—	—
2,5	29	—	—	—
4	37	—	—	—
6	47	—	—	—
10	65	60	—	—
16	85	80	—	—
25	110	105	100	—
35	135	125	120	110
50	165	155	145	135
70	200	190	180	165
95	240	225	215	200
120	280	260	250	235
150	315	300	285	265
185	360	340	325	300
240	420	—	—	—
300	475	—	—	—
400	570	—	—	—

Przy układaniu kabli w kanałach należy stosować obciążenie mniejsze, najwyżej wynoszące 0,75 podanego w tabelce.



Rys. 101. Skrzynka kablowa dla prądu trójfazowego z odciętą połówką pokrywką.



Rys. 102. Mufta kablowa na prąd trójfazowy pokazana w przecięciu.

4. OBLICZENIE PRZEKROJU PRZEWODÓW.

Grubość, a więc i przekrój przewodów, wybieramy stosownie do natężenia przesyłanego prądu, dbając również o to, aby nie było w przewodach zbyt wielkiej straty napięcia i mocy prądu.

Napięcie prądu, wytworzone przez prądnicę np. w obwodzie lampki żarowej, (rys. 103) musi pokonać nie tylko oporność samej lampki, ale i oporność przewodów, przez to, gdy prąd np. na końcówkach prądnicy ma napięcie 225 woltów, to przy wejściu do lampy będzie miał zaledwie 220 woltów. Różnica:

$$225 - 220 = 5 \text{ woltów}$$

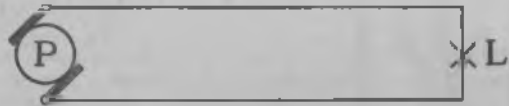
traci się na pokonanie oporu w przewodach.

Obok tej straty napięcia mamy zawsze stratę mocy na ogrzewanie drutów. Jeżeli lampka bierze np. 6 amp. prądu, to:

$$5 \text{ woltów} \times 6 \text{ amp.} = 30 \text{ watów}$$

stanowi moc, straconą na ciepło w przewodach.

Obliczenie przekroju przewodów na stratę napięcia. Gdy prądnicza zasila lampę elektryczną, znajdującą się na znacznej odległości, przyjmujemy nieraz stratę napięcia w przewodach 3% od całego napięcia, a więc np. od 220 woltów 3% wyniesie 6,6 wolta. Załóżmy, że lampka (rys. 103) bierze 6 amp. prądu i obliczmy jaki przekrój ma mieć przewodnik, aby spadek napięcia wynosił 6,6 wolta.



Rys. 103. Obwód lampki elektrycznej.

Wobec tego, że 6,6 wolta poszło na pokonanie oporu przewodów, to według prawa Ohma opór przewodów wyniesie:

$$R = \frac{6,6}{6} = 1,1 \text{ oma}$$

Jeżeli długość obu przewodów razem stanowi: 200 metrów, miedź ma oporność właściwą $0,0175 = \frac{1}{57}$, to według wzoru na oporność drutów (str. 46)

$$1,1 = \frac{1}{57} \cdot \frac{200}{s}$$

Stąd niewiadomy przekrój s będzie:

$$s = \frac{200}{57 \times 1,1} = 3,19 \text{ mm}^2$$

Przy wykonaniu, przekrój ten zaokrąglamy do 4 mm^2 stosownie do tablicy podanej na str. 116.

Z tego obliczenia łatwo spostrzeżemy, że im **mniej** prąd mieć będziemy, tym **cieńszy** drut wypadnie.

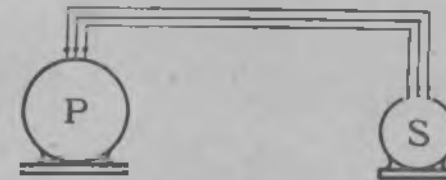
Obliczenie przekroju drutów w przewodach na stratę mocy. Inne obliczenia opierają się na dopuszczalnych stratach mocy prądu w przewodach. Według prawa Ohma napięcie stracone w przewodzie wynosi:

$$I \cdot R$$

Więc moc stracona, jako iloczyn napięcia prądu przez natężenie, wyniesie:

$$P = I \cdot R, \quad I = \sqrt{I^2 R}$$

R — wyrażamy w omach, I — w amperach, P wypada w watach.



Rys. 104. Obwód silnika elektrycznego trójfazowego. P — prądnicza, S — silnik

Przykład. Silnik trójfazowy 10 konny został umieszczony na odległości 100 metrów od prądniczy (rys. 104). Napięcie prądu 220 woltów. Jaki ma być przekrój przewodów, jeżeli mamy stracić w przewodach 5% mocy pobieranej przez silnik?

Sprawność takiego silnika wynosi około 86%, a licząc bez strat $1 \text{ KM} = 736 \text{ watów}$.

Więc moc pobrana przez silnik:

$$P = \frac{10 \times 736}{0,86} = 8,56 \text{ kw.}$$

Strata, pięć procent od tej liczby, stanowi:

$$\frac{8560}{100} \cdot 5 = 428 \text{ watów}$$

Ponieważ przy prądzie trójfazowym mamy trzy druty, więc na jeden drut przypadnie okrągłe 143 watów straty.

Wzór na moc dla prądu trójfazowego mamy (patrz str. 66).

$$P = 1,73 V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Stąd, przyjmując $\cos \varphi = 0,8$, znajdziemy natężenie prądu, dopływającego do silnika:

$$I = \frac{85600}{1,73 \times 220 \times 0,8} = 28 \text{ amp.}$$

Mając stratę w watach i prąd w amperach, oraz wiedząc, że strata wyraża się wzorem:

$$I^2 R.$$

Możemy napisać:

$$143 = 28^2 R.$$

Stąd niewiadomy opór:

$$R = \frac{143}{28^2} = 0,18 \text{ oma.}$$

Długość jednego przewodu wynosi 100 metrów, więc jak poprzednio przekrój drutu będzie:

$$s = \frac{100}{57 \times 0,18} = 9,74 \text{ mm}^2$$

Taki ma być przekrój każdego drutu. Sprawdzamy go na prąd według tabelki na str. 116 i zaokrąglamy do 10 mm^2 .

Jeżeli byśmy w powyższym przykładzie zastosowali prąd o **dwa razy wyższym** napięciu np. 440 V, to natężenie mieliśmy dwa razy mniejsze: 14 A. i

$$R = \frac{143}{14^2} = 0,72 \text{ oma,}$$

a przekrój drutu wypadłby **cztery razy** mniejszy:

$$s = \frac{100}{57 \times 0,72} = 2,44 \text{ mm}^2$$

w zaokrągleniu $2,5 \text{ mm}^2$.

Widzimy więc, że **przekrój drutu wypada odwrotnie proporcjonalny do drugiej potęgi napięcia.**

ROZDZIAŁ IV.

URZĄDZENIA ELEKTRYCZNE DO PRZESYŁANIA SIŁY I OŚWIETLENIA.

Zależnie od rozmaitych okoliczności stosujemy w urządzeniach elektrycznych prąd stały, albo zmienny, niskiego, czy wysokiego napięcia.

Rodzaj stosowanego prądu zależy przede wszystkim od przestrzeni, na której ma być rozprowadzony prąd i od przeznaczenia tego prądu.

Wielkość obszaru zasilanego ma wpływ głównie na wybór wysokości napięcia prądu. Im większy jest obszar zasilany prądem, tym dłuższe są przewody i koszt ich tem większy.

Stosując większe napięcie prądu dla przeniesienia pewnej mocy, mamy możliwość uskutecznienia tego przy mniejszym natężeniu prądu.

Przykład. Potrzeba przenieść moc 1000 kilowatów za pomocą prądu o napięciu 220 woltów, jakie będzie natężenie prądu?

Ponieważ moc jest iloczynem napięcia przez prąd, więc natężenie prądu wyniesie:

$$I = \frac{1000000}{220} = 4550 \text{ amp.}$$

Jakie jest natężenie prądu, jeżeli tą samą moc przeniesiemy prądem przy napięciu 50000 woltów?

Wtedy:

$$I = \frac{1000000}{50000} = 20 \text{ amp}$$

Mając znacznie **mniejsze** natężenie prądu, możemy zastosować o wiele **cieńsze** przewody, gdyż grubość ich dobieramy zawsze podług natężenia prądu.

Z tego rozumowania jasno wynika, że im **większe obszary** mamy zasilić prądem, tym wyższe wypada brać napięcie prądu, gdyż tylko wtedy będziemy mogli rozprowadzić prąd cienkimi drutami — nie zbyt wielkim kosztem.

1. MAŁE URZĄDZENIE ELEKTRYCZNE PRĄDU STAŁEGO.

Gdy mamy oświetlić jeden dom lub kilka blisko obok siebie położonych, czerpiąc prąd z własnego źródła, to stosujemy prąd stały niskiego napięcia 110 lub najwyżej 220 woltów.

Prądnicą bocznikową P dostarcza prądu do tablicy rozdzielczej T (rys. 105).

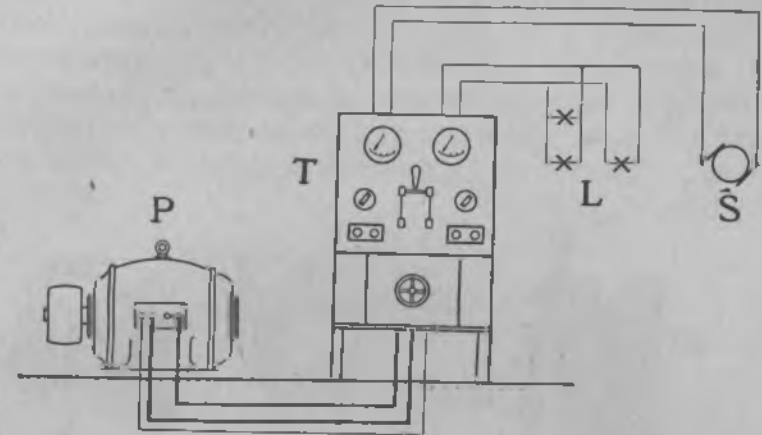
Pod tablicą znajduje się opornik z widocznym na rys. pokrętkiem. Za pomocą tego opornika nastawiamy odpowiednie napięcie prądnicę, regulując prąd, magnesujący magnesnicę, która wznieca siłę elektromotoryczną w tworniku. Napięcie wskazuje woltomierz na tablicy.

Od tablicy T prąd płynie do lamp i do silników. Małe silniki i lampy włączają się razem równolegle na te same przewody.

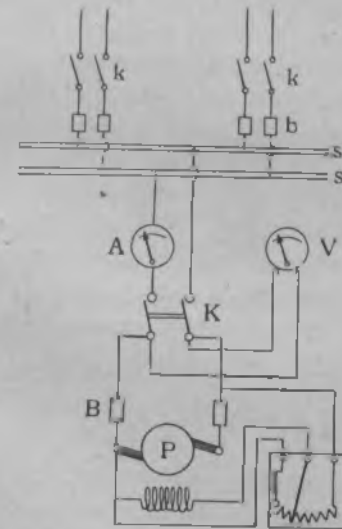
Duże silniki należy włączać wprost na tablicę rozdzielczą za pomocą osobnych przewodów.

Szczegóły połączenia tablicy z prądnicą widzimy na rys. 106. Od szczotek prądnicę prowadzimy prąd przez bezpieczniki topliwe B, w postaci pasków lub drucików wielokrotnych (rys. 107) do wyłącznika drążkowego dwuhiegunowego K (rys.

106), którego urządzenie widzimy na rys. 108. Od wyłącznika prąd płynie przez amperomierz do tak zwanych szyn zbior-



Rys. 105. Układ połączeń w elektrowni na prąd stały.



Rys. 106. Szczegóły układu połączeń w elektrowni na prąd stały.

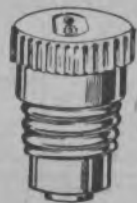


Rys. 107. Wstawka topliwa bez-piecznika paskowego.

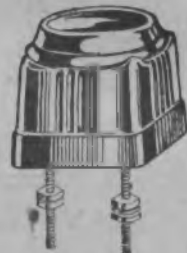
czych S, S, stanowiących dwa płaskowniki miedziane, od których następnie odgałęziają się poszczególne obwody. W tych obwodach mamy znowu bezpiecznik **b** zwykle, tak zwane, korkowe, składające się z gniazdka (rys. 110) z gwintem i korka (rys. 109) z topliwym drucikiem wewnątrz, wkręcanego do tych gniazdek. Za bezpiecznikami są jeszcze wyłączniki przy znacznych prądach drążkowe i przy prądach małych pokrętne (rys. 111 i 112).



Rys. 108. Wylacznik drazkowy.



Rys. 109. Gniazdo — 110 i korek — 109 bezpiecznika korkowego.



Rys. 110.



Rys. 111. Wylacznik pokrętny.

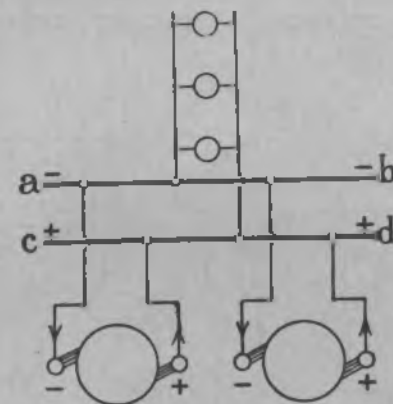


Rys. 112. Wewnetrzne sprężynki wylacznika pokrętnego.

W wylacznikach pokrętnych połączenie odbywa się przez cienkie sprężynki i z tego względu one nie nadają się dla znacznych prądów.

Jeżeli chcemy mieć w elektrowni prądnice zapasową, czyli tak zwaną rezerwę, lub też mieć możliwość zasilania urządzenia albo, jak zwykle mówimy, sieci przewodów kilku prądnicami, to wtedy włączymy na te same szyny zbiorcze dwie lub więcej prądnic równolegle, jak wskazano na rys. 113.

Tu przed włączeniem muszą być wyrównane napięcia (woity) poszczególnych prądnic, po włączeniu prądnice wszystkie razem będą dostarczać prąd do sieci i, o ile są one równej mocy, prąd rozdzieli się pomiędzy nimi równo.



Rys. 113. Równoległe połączenie dwóch prądnic prądu stałego.

Dla uniknięcia przechodzenia prądu z jednej prądnicy do drugiej włączają się w obwód prądnic, tak zwane, zanikowe samoczynne wylaczniki.

W tych przypadkach, gdy zależy na tem, aby w sieci mieć prąd zawsze, bez przerwy, a przy małym zapotrzebowaniu nie chcemy ciągle pędzić prądnicy, to obok prądnicy ustawiamy odpowiednią baterję akumulatorów, którą łączymy z prądnicą równolegle, przyłączając do tych samych szyn zbiorczych.

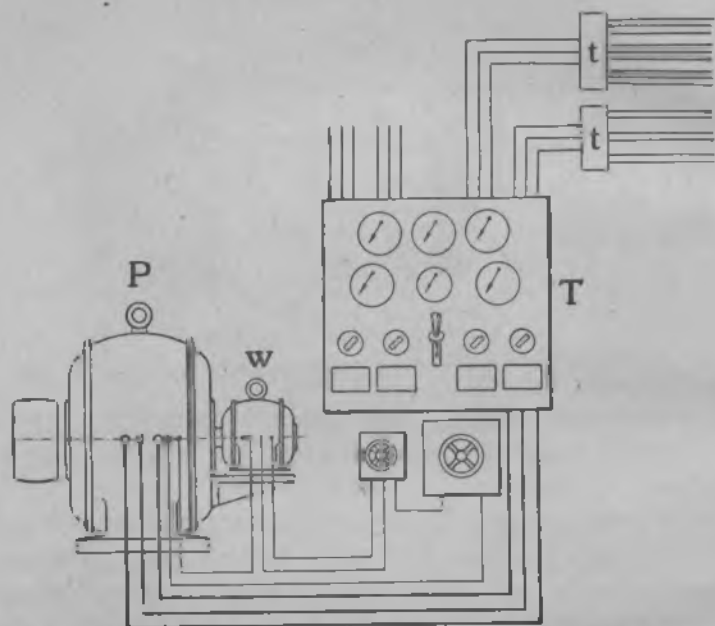
Grubość przewodów w tych urządzeniach dajemy wszędzie taką, aby spadek napięcia od prądnicy do ostatniej lampy nie przewyższał 3%, a do silników 5%.

2. DUŻE URZĄDZENIE FABRYCZNE.

Wielkie urządzenia fabryczne wykonywane są obecnie na prąd trójfazowy z trzema przewodami, pomiędzy którymi mamy napięcie 220 woltów, lub też z czterema przewodami

(patrz rys. 32 str. 35), wtedy między fazowymi przewodami mamy 380 woltów, a pomiędzy każdym przewodem fazowym a zerowym 220 woltów. W tym drugim przypadku lampy włączamy tylko pomiędzy przewodem zerowym a fazowymi.

Przy trzech przewodach w elektrowni mamy układ połączeń wskazany na rys. 114.



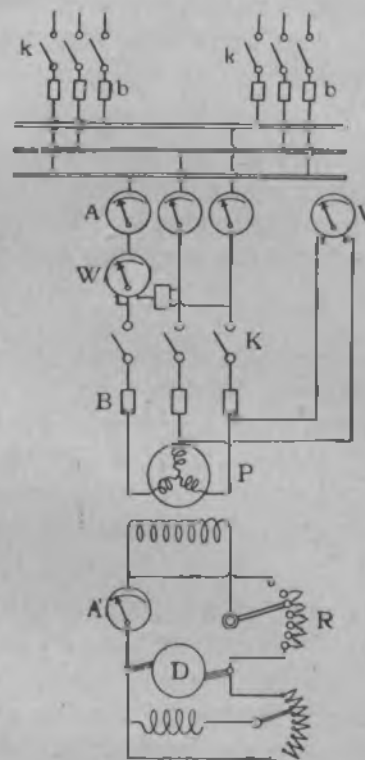
Rys. 114. Układ połączeń w elektrowni na prąd trójfazowy.

Prąd trójfazowy z prądnicy P płynie do tablicy T, gdzie są bezpieczniki, przerywacze, przyrządy pomiarowe oraz szyny zbiorcze. Pod tablicą widzimy oporniki regulujące napięcie prądnicy. Mały opornik jest włączony w obwód magneśnicy prądnicy wzbudzającej w, a duży w obwód magneśnicy prądnicy głównej P.¹⁾

¹⁾ Patrz szczegóły połączeń na rys. 115.

Od tablicy T prąd płynie do lamp i silników. Silniki duże są wprost połączone z tablicą T. Silniki małe i lampy mają osobne, wtórne tabliczki rozdzielcze t z bezpiecznikami topliwymi.

Na rys. 115 wskazane są szczegóły połączenia prądnicy z tablicą. Tu D — twornik wzbudnicy prądu stałego. Prąd z tej



Rys. 115. Szczegóły układu połączeń w elektrowni na prąd trójfazowy.

prądnicy przez opornik R płynie do uzwojenia magneśnicy prądnicy prądu trójfazowego. Twornik zaś P prądnicy prądu trójfazowego jest połączony z szynami zbiorczymi.

Opornik R służy dla dobrania właściwego prądu wzbudzającego, wywołującego odpowiedni strumień magnetyczny w magniesnicy. Ta droga nastawia się na prądnicy trójfazowej napięcie, przystosowane do budowy lamp i silników. Jeżeli w elektrowni mamy kilka prądnic, to łączą się one wszystkie równolegle. Przy włączaniu muszą być w nich wyrównane napięcia i częstotliwości, oraz uzgodnione fazy prądu, żeby napięcie wzrastało do największości jednocześnie we wszystkich prądnicach.

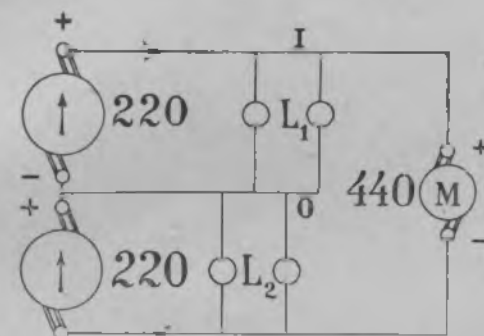
Napięcie w sieci tego urządzenia jest wszędzie prawie jednakowe. W obwodach oświetleniowych różnice napięć w poszczególnych miejscach nie mogą być większe od 3%, a w obwodach silnikowych różnice nie mogą być większe od 5%.

Obecnie coraz częściej urządzenia fabryczne biorą prąd z elektrowni publicznej. Elektrownia taka wytwarza prąd o wysokim napięciu, które jest nieodpowiednie dla lamp i dla średnich i małych silników, więc w fabryce ustawiający jeden lub kilka równolegle połączonych transformatorów, które odpowiednio obniżają napięcie prądu, zasilającego sieć fabryczną.

3. URZĄDZENIA ELEKTRYCZNE MIEJSKIE NA PRĄD STAŁY.

W małych miastach jeszcze tu i owdzie mamy zastosowany prąd stały o napięciu podwójnym $220 \times 2 = 440$ woltów wytwarzaniem w dwóch w szereg połączonych prądnicach (rys. 116). Sieć przewodów ma wtedy trzy druty: dwa zewnętrzne (+) i (-) oraz środkowy (0) tak zwany zerowy. Prądnice są zbudowane na 220 woltów, więc pomiędzy drutem zerowym a plusowym i zerowym a minusowym mamy napięcie 220 woltów, na te przewody włączamy lampy i niewielkie silniki, a pomiędzy (+) i (-), gdzie mamy, 440 woltów włączamy duże silniki.

Rozważając przebieg prądów w takim układzie, łatwo przekonać się, że w przewodzie zerowym płynie różnica prądów płynących w przewodach plusowym i minusowym, więc z tego powodu przewód zerowy może być cieńszy od skrajnych, zwykle bierzemy dwa razy cieńszy.



Rys. 116. Dwie prądnice prądu stałego w układzie trójprzewodowym.

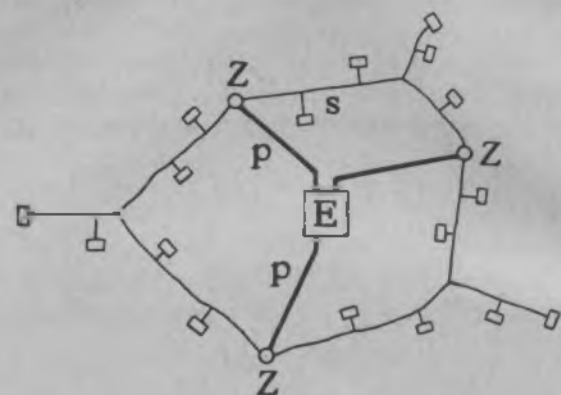
W urządzeniach tego rodzaju elektrownia umieszcza się w pobliżu środka miasta w celu osiągnięcia jak najkrótszych przewodów.

Sieć przewodów ulicznych o podwójnych lub potrójnych drutach prowadzimy szeregiem niezależnych rozgałęzień lub tworzymy zamknięty wielobok, od którego idą drobne odgałęzienia wprost do domów i do bocznych ulic. Na rys. 117 mamy taką sieć pokazaną, tu pojedyncze linje oznaczają kilka drutów zawieszonych obok siebie. Prąd z elektrowni E dopływa do sieci w kilku punktach zasilających Z za pomocą tak zwanych przewodów zasilających p . Przez s oznaczono przewody rozdzielcze.

W czasie pełnego obciążenia w elektrowni mamy napięcie np. o 10% wyższe niż w sieci rozdzielczej.

Różnice napięć w rozmaitych punktach sieci rozdzielczej przewodów domowych nie mogą być większe od 3% całego napięcia, aby zapewnić równe światło lamp.

Przy zmianach obciążenia utrzymujemy stałe napięcie nie w elektrowni, jak to było w poprzednich urządzeniach, lecz w punktach zasilających.



Rys. 117. Sieć miejska przewodów elektrycznych.

4. URZĄDZENIA ELEKTRYCZNE MIEJSKIE NA PRĄD TRÓJFAZOWY.

Gdy teren urządzenia elektrowni zajmuje w promieniu kilkanaście kilometrów, to stosujemy prąd trójfazowy wysokiego napięcia.

Elektrownia wytwarza prąd trójfazowy zwykle o napięciu kilku tysięcy woltów. Prąd ten z prądnicy idzie do tak zwanej **rozdzielni** (rys. 118), gdzie znajdują się szyny rozdzielcze oraz prawie wszystkie przyrządy przeznaczone dla zamykania i przerywania obwodów, regulowania napięcia i przeprowadzania pomiarów oraz ochrony sieci i maszyn.

Przyrządy te umieszczają się w celkach widocznych na rys. 118 z ogniotrwałego materiału.

Na rys. 119 widzimy celki z wyłącznikami olejowymi, w których przerwa odbywa się w oleju wypełniającym skrzynię żelazną.

Z innych przyrządów zasługują na uwagę transformatoruki miernicze.

Na rys. 120 widzimy sposób włączenia tych transformatoruków do obwodu prądu trójfazowego. T_1 — transformatoruki prądowy, a T_2 — napięciowy.



Rys. 118. Rozdzielnia elektrowni Warszawskiej.
Prąd wysokiego napięcia 5000 woltów.

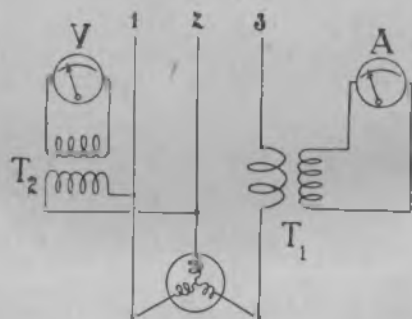
Za pomocą tych transformatoruków izolujemy obwody przyrządów mierniczych od sieci wysokiego napięcia, gdyż prąd w tych przyrządach otrzymuje się przez indukcję za pomocą

pola magnetycznego. Jest to bardzo ważne ze względu na bezpieczeństwo obsługi.

Na rys. 121 widzimy jak te transformatoriki zostały umieszczone w celkach.



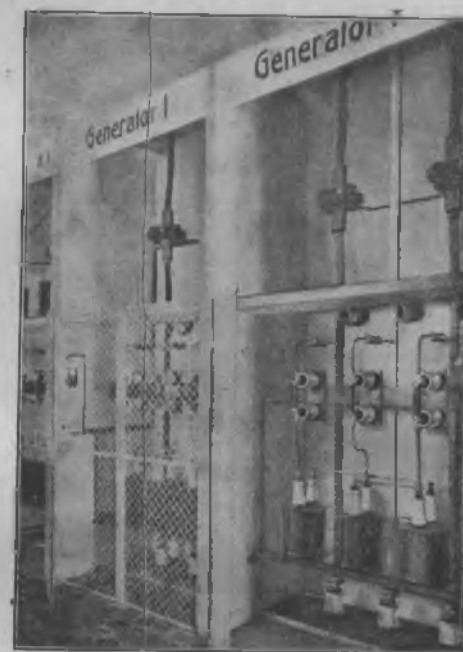
Rys. 119. Wyłączniki olejowe na prąd wysokiego napięcia w celkach.



Rys. 120. Włączenie amperomierza i woltomierza na przewodach wysokiego napięcia.

Dla zabezpieczenia urządzenia od nadmiernych napięć, powstających między przewodami lub między przewodem a zie-

nią, stosowane są bezpieczniki przepięciowe, a od elektryczności atmosferycznej odgromniki. Ustrój ich bywa różny. U nas w tym celu stosują się najczęściej tak zwane różki Siemens¹⁾ (rys. 122), które składają się z dwóch odpowiednio zgiętych prętów miedzianych, umocowanych na izolatorach.



Rys. 121. Celki rozdzielni prądu wysokiego napięcia z transformatorami mierniczymi firmy Siemens.

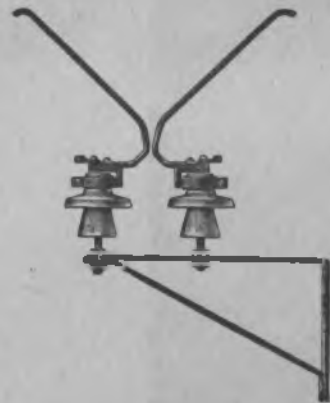
Gdy różki mają zabezpieczać od nadmiaru napięcia między przewodami, to włączamy trzy pary takich różków przez opornik R między przewody (rys. 123).

Gdy natomiast chodzi o zabezpieczenie od nadmiaru napięcia pomiędzy przewodem a ziemią, to łączymy jeden różek

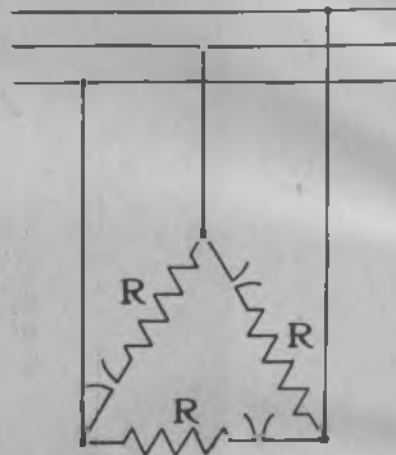
¹⁾ Czytaj Simensa.

z przewodem, a drugi przez opornik R z płytą zakopaną w wilgotnej ziemi (rys. 124).

W razie nadmiernego napięcia pomiędzy rożkami u dołu przeskakuje iskra, następnie tworzy się łuk, który przez ciepłe powietrze, unoszące się do góry, i magnetyczne działanie prądu zostaje wydmuchnięty i przerwany.



Rys. 122. Różki Siemens.

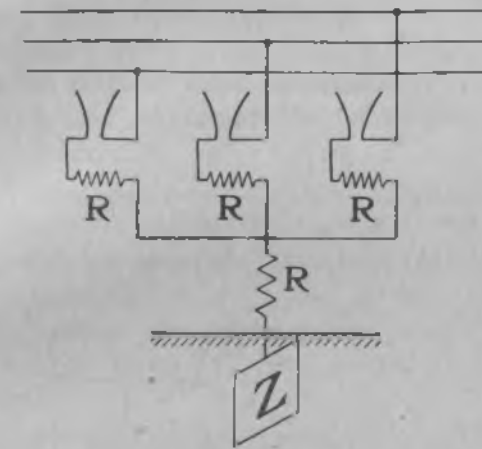


Rys. 123. Układ połączeń różków Siemens między przewodami.

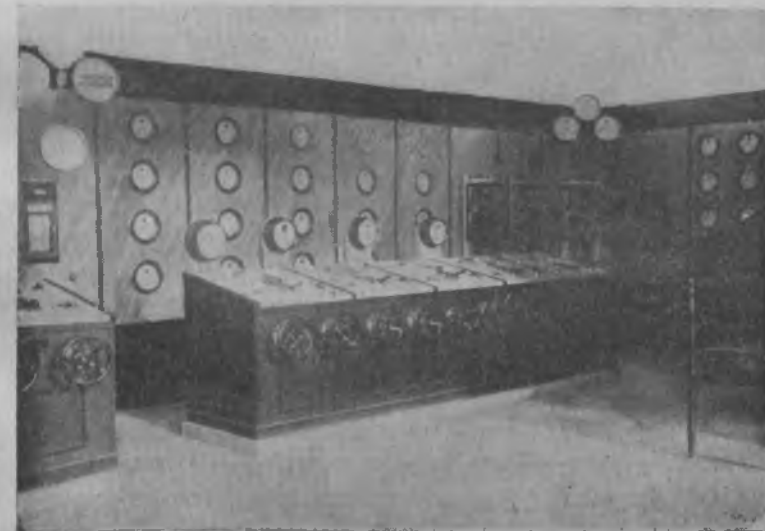
Tablica w takiej elektrowni (rys. 125) przeznaczona jest dla umieszczenia przyrządów pomiarowych, kótek, przesuwających łapki oporników do regulacji prądu magnesującego prądnice, oraz rączek wyłącznikowych, obok których są lampki sygnalizujące położenie wyłączników.

Dla ułatwienia włączania i wyłączania dużych wyłączników obecnie stosowany jest nieraz napęd elektryczny, tak, że na tablicy rozdzielczej zamiast rączek są tylko małe przyciski, za pomocą których posyłamy prąd do motorów, wprawiających w ruch noże wyłączników. Wyłączniki te zaopatrują się w mechanizm samoczynny nadmiarowy, który przerywa prąd w razie nadmiernego natężenia prądu. Stosując takie wyłączniki unikamy włączenia bezpieczników topliwych.

Powyższe przyciski wyłącznikowe i lampki sygnałowe umieszczone są często na pulpitych pochylonych (rys. 125).

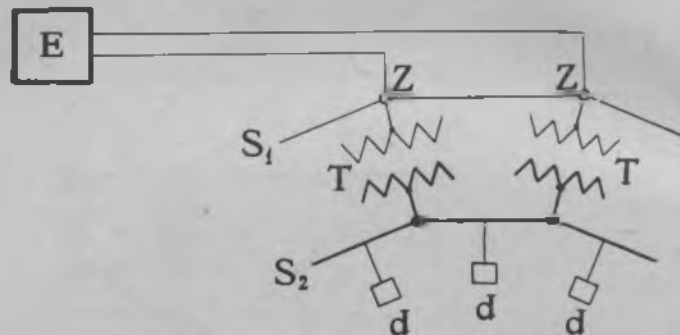


Rys. 124. Układ połączeń różków Siemens w uziemieniach.



Rys. 125. Tablica rozdzielni w elektrowni Warszawskiej.

Z elektrowni E od szyn rozdzielczych idą przewody podziemne czy napowietrzne, zasilające sieć wysokiego napięcia S_1 (rys. 126). Z sieci wysokiego napięcia energia prądu elektrycznego przechodzi do sieci niskiego napięcia za pomocą transformatorów T, ustawionych zwykle na rogach ulic. Sieć niskiego napięcia S_2 uryadza się zazwyczaj na 120 lub 220 woltów, ona jest znacznie więcej rozgałęziona niż sieć wysokiego napięcia.



Rys. 126. Sieć przewodów miejskich z transformatorami: S_1 — sieć wysokiego napięcia, S_2 — sieć niskiego napięcia, T — transformatory.

Przewody, prowadzące prąd do domów, odgałęzają się przede wszystkim od sieci niskiego napięcia, tylko wyjątkowo wielkie silniki zasilane są wprost prądem z sieci wysokiego napięcia.

Wobec wysokiego napięcia prądu, wytwarzanego przez elektrownię, przewody zasilające wypadają cienkie, elektrownię więc budujemy zwykle zdala od środka miasta, gdzie grunt jest tańszy i dym nie zanieczyszcza powietrza w śródmieściu.

5. URZĄDZENIA ELEKTRYCZNE OKRĘGOWE.

W miarę udoskonalenia i rozpowszechnienia urządzeń elektrycznych, coraz większego znaczenia nabierają urządzenia okręgowe. Urządzeniem elektrycznym okręgowym nazywamy takie urządzenie, w którym jedna wielka elektrownia zasilą

prądem bardzo wielki teren z szeregiem miast, wsi i t. p. Największa odległość od elektrowni do najdalszych odbiorników sięga wtedy kilkuset kilometrów.

Urządzenie tego rodzaju zwykle ma na celu uniknięcie przewożenia paliwa, lub wyzyskanie spadków wodnych, albo skupienie w jedno miejsce źródeł prądu, aby, stosując maszyny większej mocy jako oszczędniejsze, taniej produkować i taniej sprzedawać energię.

W takiej elektrowni prądnice wytwarzają zwykle prąd trójfazowy o niezbyt wysokim napięciu np. 6000 woltów. Prąd ten transformuje się tuż w elektrowni na napięcie tem wyższe, im dalej go przesyłamy.

Obecnie, zależnie od odległości, stosowane są następujące napięcia: 15000 — 30000 — 60000 i 100000 woltów, wyjątkowo 200000 woltów.

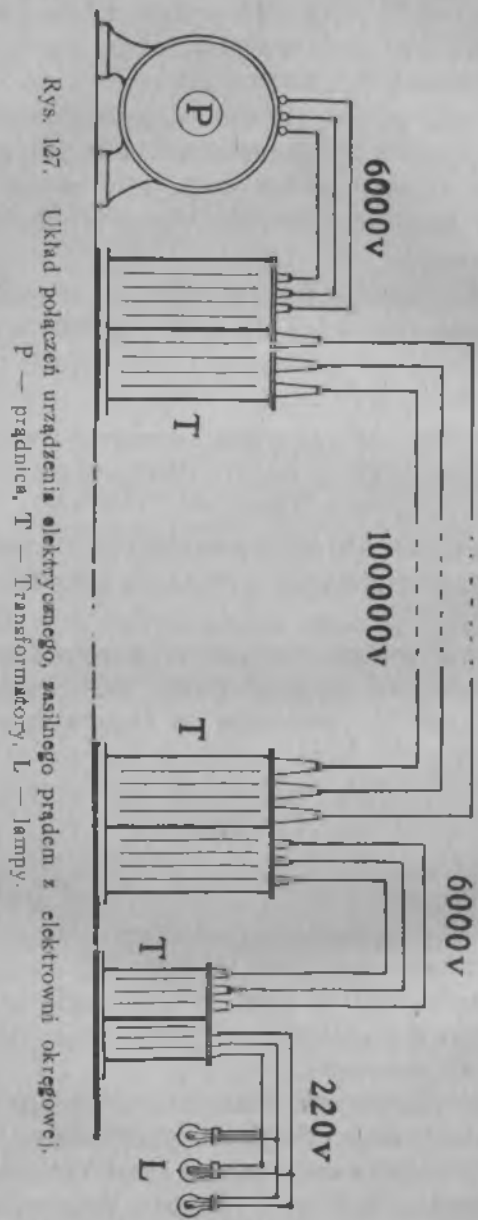
Przy odległościach nie przekraczających kilkudziesięciu kilometrów wystarczą napięcia wynoszące kilkadziesiąt tysięcy woltów.

Prąd bardzo wysokiego napięcia po przewodach dalekonośnych doprowadza się do transformatorów, w których napięcie jego obniżamy z powrotem do 6000 woltów; ten prąd o obniżonym napięciu rozprowadzamy po mieście i drugi raz transformujemy na niskie napięcie np. 220 woltów (rys. 127).

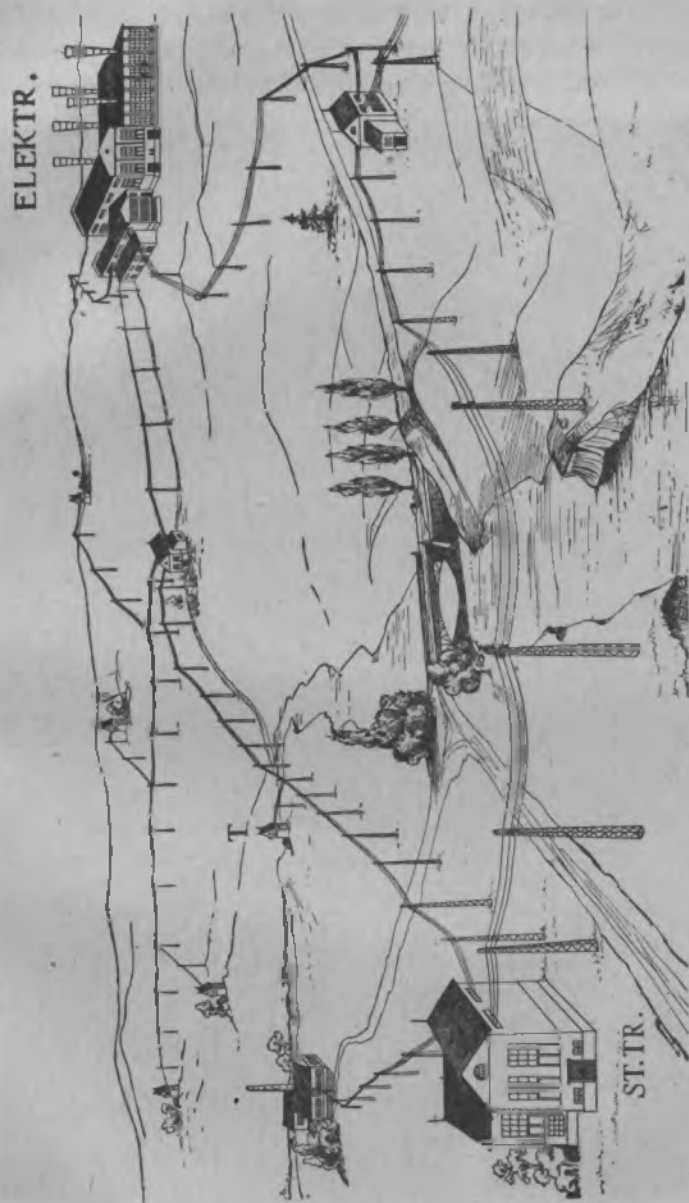
Pomimo takiej potrójnej transformacji, straty energii mamy nie wielkie, gdyż transformatory prądu trójfazowego są najoszczędniejszymi przyrządami elektrycznymi (patrz str. 89).

Na rys. 128 widzimy krajobraz wielkiego obszaru, zasilanego prądem z elektrowni okręgowej. U góry z prawej strony mamy elektrownię u dołu na lewo wielką stację transformatorów, dalej fabryczka pobierająca prąd i małe budki z pojedynczymi transformatorami.

Najważniejsze elektrownie okręgowe w Polsce znajdują się w Chorzowie na Górnym Śląsku, w Zagłębiu węglowym Dąbrowieckim, w Gródku na Pomorzu i pod Warszawą w Pruszkowie. Wszystkie one, za wyjątkiem Gródka, pędzone są



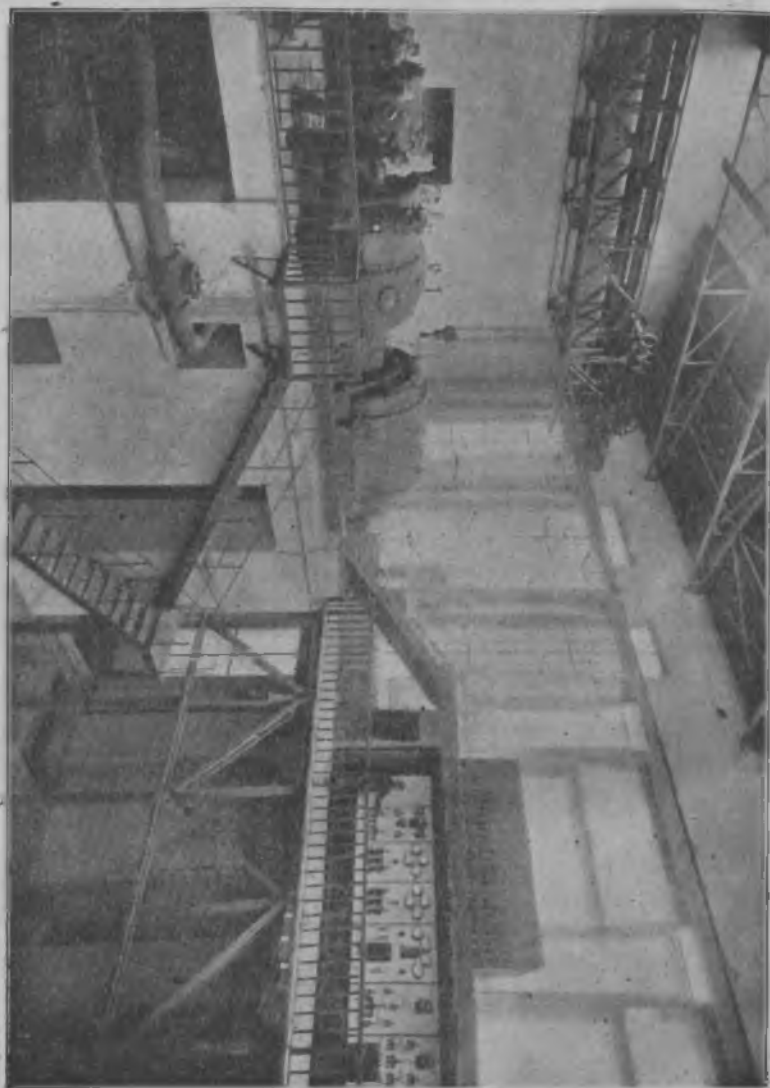
Rys. 127. Układ połączeń urządzenia elektrycznego, zasilnego prądem z elektrowni okręgowej.
 P — prądnica, T — Transformatory, L — lampy.



Rys. 128. Sieć przewodów elektrowni okręgowej.

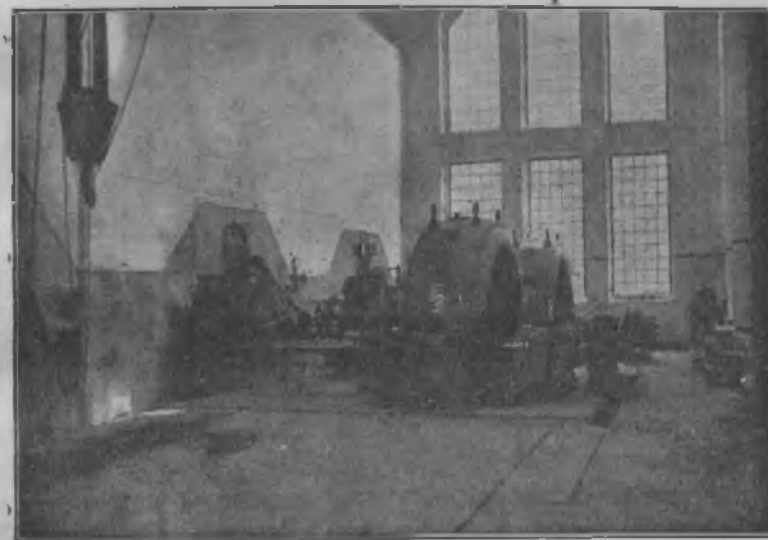
siła pary, która otrzymuje się z kotłów opalanych węglem. Para idzie do wielkich turbin parowych, które obracają prądnice. Na rys. 129 widzimy salę maszyn elektrowni Pruszkowskiej.

Rys. 129. Parowa elektrownia okręgowa w Pruszkowie pod Warszawą — sala maszyn.



Z lewej strony widać zespół turbiny parowej z prądnicą trójfazową, na kilka tysięcy kilowatów mocy, nad maszynami dźwignica do podnoszenia części maszyn przy montowaniu, pod maszynami skraplacz pary i pompy. Dalej za ścianą kotłownia. Z prawej strony widzimy tablicę rozdzielczą, za którą znajduje się rozdzielnia podobna jak w elektrowni Warszawskiej.

Elektrownia w Gródku jest pędzona wodą rzeki Czarnej Wody. Woda ujęta w odpowiedni kanał doprowadza się do elektrowni i obraca turbiny wodne, sprzęgnięte z prądnicami (rys. 130). Na rysunku widzimy duże prądnice trójfazowe po 1400 kilowatów i obok nich małe wzbudnice.

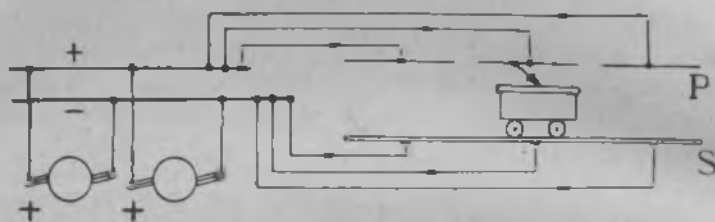


Rys. 130. Sala maszyn elektrowni okręgowej wodnej w Gródku.

6. KOLEJE ELEKTRYCZNE.

Najprostsze urządzenie mają koleje miejskie czyli tak zwane tramwaje. Stosuje się tu prąd stały o napięciu od 500 do 800 woltów. Wagony najczęściej biorą prąd z tak zwanego przewodu ślizgowego **P**, zawieszonego w środku nad torem, wraca prąd do elektrowni przez szyny **S** (rys. 131).

Elektrownia z siecią tramwajową jest połączona w kilku miejscach na obu biegunach. Przewody plusowe zasilają drut ślizgowy, a przewody minusowe łączą się w kilku miejscach zszynami i od nich odprowadzają prąd do elektrowni z powrotem.



Rys. 131. Układ połączeń i przepływ prądu w urządzeniu tramwaju elektrycznego.

Przewody ślizgowe są podzielone na kilka sekcji, dla umożliwienia wyłączania części drutu ślizgowego dla naprawy.

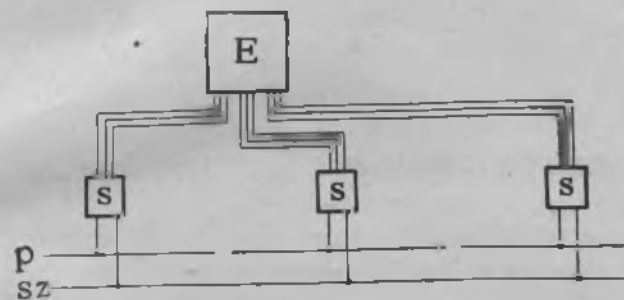
Oprócz takiego prostego układu, przy niewielkiej rozległości torów, są stosowane inne układy, gdy tory rozchodzą się w różne strony na dziesiątki kilometrów.

Wtedy dla uniknięcia zbyt grubych drutów, można zastosować układ trójprzewodowy¹⁾ np. 500 × 2 woltów. W elektrowni ustawiamy dwie prądnice o napięciu 500 woltów każda, połączone w szereg. Sekcje przewodu ślizgowego dzielimy na dwie możliwie równe części pod względem zapotrzebowania prądu.

Przewód ślizgowy w sekcjach pierwszej części łączymy z biegunem dodatnim I-ej prądnicy, a przewód ślizgowy w sekcjach drugiej części łączymy z ujemnym biegunem II-ej prądnicy. Punkt zaś zerowy t. j. miejsce połączenia (+) II-ej prądnicy z (-) I-ej prądnicy łączy się z szynami. Tu przez szyny powraca do elektrowni tylko różnica prądów, płynących po przewodzie (+) i (-).

¹⁾ Podobnie jak na rys. 116.

Wagony na sekcjach plusowych będą miały prąd, płynący w kierunku z drutu ślizgowego do szyn, natomiast wagony na sekcjach minusowych będą miały prąd płynący z szyn do drutu ślizgowego, ale to nie ma wpływu na działanie silników, gdyż prąd odwróci się w obwodzie twornika i w uzwojeniu elektromagnesów, i zmiany kierunku wirowania twornika nie będzie.



Rys. 132. Układ przewodów kolei elektrycznej z podstacjami.

Gdy teren jest jeszcze większy, lub mamy kolej międzymiastowa, to wytwarzamy w elektrowni prąd trójfazowy wysokiego napięcia i doprowadzamy go do tak zwanych podstacji (rys. 132) czyli przetwórci, gdzie w wirujących przetwornicach, lub w nieruchomych prostownikach rtęciowych prąd trójfazowy przekształca się na stały, zasilający przewód ślizgowy.

Podstacje S umieszczają się na znacznych odległościach możliwie równomiernie wzdłuż toru, a zasilają je jedna elektrownia lub kilka zależnie od długości kolei.

Szczególnie w Niemczech do zasilania przewodów kolei dalekobieżnych stosują przeważnie prąd zmienny jednofazowy, również transformowany z trójfazowego, lub pobierany z osobnych elektrowni.

Koleje elektryczne w porównaniu z parowymi pozwalają osiągnąć szybszy ruch wagonów, nie dają kopcii i nie wywołują pożarów w okolicy, a po zatem, przy ruchu dość gęstym, są oszczędniejsze w eksploatacji, t. j. w prowadzeniu.

ROZDZIAŁ V.

OBSŁUGA URZĄDZEŃ ELEKTRYCZNYCH.

Obsługa urządzeń elektrycznych naogół jest prosta. Wymaga jednak staranności i ostrożności.

1. PORAZENIE PRADEM.

Przy wszystkich czynnościach należy **unikać stykania** się z gołymi przewodami czy częściami maszyn i przyrządów prowadzącymi prąd, gdyż prądy wszystkich napięć, zwykle stosowanych w praktyce silnoprądnej, mogą być śmiertelne przy nieszczęśliwym zbiegu okoliczności.

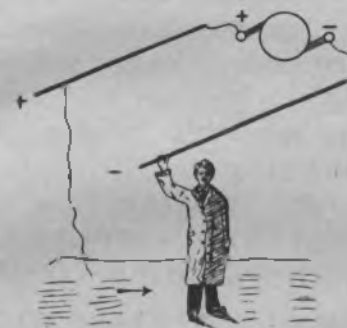
Śmiertelne porażenie może nastąpić nie tylko przy dotknięciu obu biegunów, lecz również przy dotknięciu jednego bieguna (rys. 133) wtedy obwód zamyka się przez ciało ludzkie i niedoskonałą izolację drugiego bieguna.

Szczególnie należy unikać dotknięcia przewodów pod prądem w fabrykach chemicznych, łaźniach, w kąpieli i t. p. gdzie ciało człowieka jest dobrze połączone z ziemią.

Trzeba być **ostrożnym** z przenośnymi lampkami i motorkami, których rączki i postumenty mogą wewnątrz połączyć się nieznacznie z przewodami. Takich lampek lepiej nieużywać w pobliżu zlewów, kranów i t. p.

Zawsze należy być bardzo ostrożnym z urządzeniami przy **wysokim** napięciu (powyżej 250 woltów), gdyż tam **dotknięcie** przewodnika pod prądem wywołuje porażenie prawie **zawsze**

śmiertelne. W razie porażenia prądem mięśnie ludzkie ulegają paraliżowi, człowiek traci przytomność i często sam nie może odłączyć się od przewodnika. Należy go wówczas ostrożnie odsunąć posługując się **izolującym¹⁾ przedmiotem** i wy-



Rys. 133. Przy dotknięciu tylko jednego drutu prąd płynie przez człowieka.

strzegając się dotknięcia do gołego ciała, a najlepiej jak najszybciej przerwać prąd na **wszystkich** biegunach, przez wyłączenie przerywaczy lub przez wywołanie krótkiego zwarcia, które spali bezpieczniki, lub wyłączy samoczynny przerywacz¹⁾.

Jeżeli, po odciągnięciu od przewodów, przekonamy się, że człowiek nie oddycha, to należy zastosować sztuczne oddychanie²⁾ i wezwać lekarza.

2. CZYSZCZENIE.

Czyszczenie od kurzu oliwy i t. p. wszystkich części urządzenia elektrycznego jest ważną czynnością, której nie można zaniedbywać. Najlepiej czyścić po odłączeniu od źródła prądu. Przy niskim napięciu do 220 woltów można czyścić bardzo

¹⁾ Suche ubranie, suche drzewo. Stać na suchym ubraniu, czy na grubej suchej desce. Taka izolacja jest skuteczna tylko przy **niskim** napięciu.

²⁾ Patrz przepisy o ratowaniu porażonych prądem.

ostrożnie pod napięciem, przy napięciach wyższych tylko po odłączeniu i uziemieniu, t. j. połączeniu z przewodem poprowadzonym do wodociągu lub płyty uziemiającej, zakopanej w wilgotnej ziemi.

Sprawdzać należy stan kontaktów — styków w przerywaczach; przy niskim napięciu można pod prądem, dotykając ostrożnie palcem. Gdy są gorące, tak, że trudno utrzymać palec, należy oczyścić, sprawdzić i naprawić szczelność styku. Zepsute wyłączniki wymienić.

Sprawdzać styk łapek ze stykowiskiem w opornikach, stan kolektorów, szczotek i łożysk w maszynach. Szczotki starte wymienić.

3. SPRAWDZANIE STANU IZOLACJI.

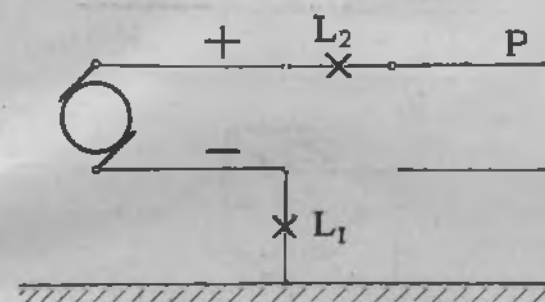
Należy strzec dobrej izolacji. Spostrzeżone uszkodzenia w miejscach wilgotnych zaraz naprawiać. Po różnych naprawach budowlanych malowaniu i t. p. przewody dokładnie przeglądać i zawieszenie uszkodzone naprawić.

Jeżeli zdarzy się zwarcie, tak że palą się bezpieczniki, to należy zbadać izolację uszkodzonej części urządzenia. Najprostszym sposobem polega na zastosowaniu lampek żarowych. Dla zbadania izolacji od ziemi przewodu P¹⁾ (rys. 134) łączymy źródło prądu jednym biegunem przez lampkę L₁ do ziemi t. j. do wodociągu, konstrukcji żelaznej i t. p., a drugi biegun przez drugą taką samą lampkę łączymy z badanym przewodem P., jeżeli to jest przewód w granicach jednego niewielkiego urządzenia elektrycznego i obie lampki świecą to znaczy, że przewód P ma uziemienie, jeżeli zaś lampka L₂ jest ciemna zupełnie, to znaczy że izolacja przewodu P jest dobra, gdyż przez nią żaden widoczny prąd nie przechodzi.

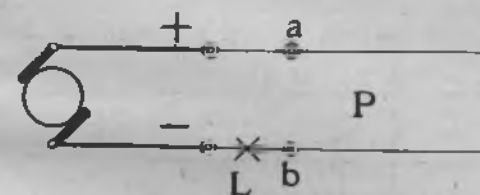
Gdy chcemy wykryć zwarcie pomiędzy przewodami P, odłączamy wszystkie badane przewody od źródła prądu a także wszystkie odbiorniki od badanych przewodów.

¹⁾ Przed tem wszystkie przewody tej części urządzenia na obu biegunach odłączamy od źródła prądu.

Następnie łączymy z jednym biegunem źródła prądu (rys. 135) jeden z przewodów a bezpośrednio drucikiem miedzianym, drugi biegun źródła prądu łączymy z drugim przewodem b przez lampkę L. Jeżeli lampka zaświeci, to między przewodami a i b jest zwarcie.



Rys. 134. Sprawdzanie izolacji przewodu od ziemi.

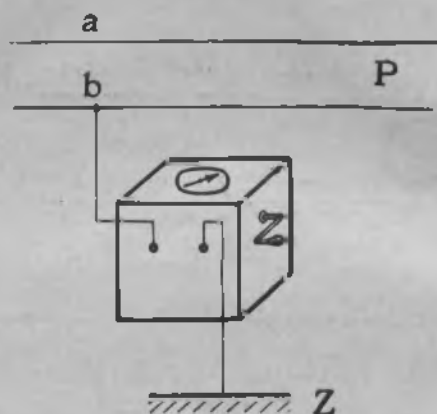


Rys. 135. Sprawdzanie izolacji między przewodami.

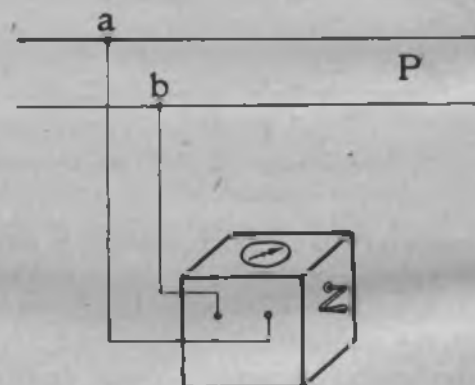
Gdy mamy rozgałęzioną sieć przewodów, to miejsca zwarcia szukamy przez kolejne odłączanie poszczególnych części. w tych miejscach, gdzie są wstawione bezpieczniki, przez wyjęcie stopek, lub też w miejscach połączenia przewodów w rozetkach rozgałęzieniowych, przez wyjęcie drutów z pod śrubek.

Podane wyżej badania izolacji łatwiej i dokładniej można skutecznie za pomocą, tak zwanego, induktora z woltomierzem. W pudełku znajduje się w połączeniu szeregowym woltomierz i źródło prądu w postaci małej magnetoelektrycznej prądniczki, która daje prąd przy obracaniu korbką.

Gdy chodzi o zbadanie izolacji przewodu **b** od ziemi łączymy induktor tak jak pokazano na rys. 136, a gdy mamy zbadać izolację przewodów między sobą to włączamy, jak na rys. 137, po uprzednim odłączeniu przewodów od źródła prądu i odłączeniu odbiorników od przewodów. Przy dobrej izo-



Rys. 136. Badanie izolacji przewodu od ziemi.



Rys. 137. Badanie izolacji między przewodami.

lacji, odchylenia woltomierza nie powinno być całkiem, lub nadzwyczaj małe.

Znalezione braki izolacji należy naprawić niezwłocznie. Jeżeli zła izolacja znajdzie się w silniku, to takiego silnika nie

należy używać, pomimo to, że może on jeszcze jako tako pracować, gdyż praca w stanie uszkodzonym znacznie powiększa uszkodzenie.

4. PRZEPISY BUDOWY I RUCHU.

Szczegółowe wiadomości, dotyczące obsługi, a poczęści i budowy urządzeń elektrycznych znajdują się w różnych przepisach budowy i ruchu, które wydają koła zawodowe, zarządy miast i elektrowni oraz Urzędy państwowe.

W Polsce oprócz tłumaczenia Przepisów i Norm Niemieckich, wydanego przez Związek Elektrowni w 1924 r., mamy szereg przepisów wydanych w roku 1923 przez Ministerstwo Robót Publicznych.

W roku 1927 zostały ułożone i wydane drukiem Polskie Przepisy budowy i ruchu urządzeń elektrycznych prądu silnego przez Polski Komitet Elektrotechniczny.



SPROSTOWANIE

Wydrukowano
Rozdz. I §. 2. Swoźnie

Powinno być
Sworznie

SPIS RZECZY
CZĘŚCI PIERWSZEJ.

WSTĘP
Z HISTORJI ELEKTROTECHNIKI. str. 7

ROZDZIAŁ I

PRĄD ELEKTRYCZNY JEGO OBWÓD I ŹRÓDŁA. 13—99

1. Obwód elektryczny. 2. Prądnicą prądu stałego. 3. Prądnicą prądu zmiennego. 4. Prądnicą trójfazową. 5. Natężenie i napięcie prądu. 6. Opór elektryczny prawa Ohma i Joule'a 7. Oporność właściwa przewodników. 8. Obliczenie oporności drutów. 9. Oporniki. 10. Izolatory. 11. Zwarcie. 12. Moc prądu elektrycznego. 13. Praca prądu elektrycznego. 14. Napięcie i natężenie prądu zmiennego. 15. Moc prądu zmiennego. 16. Moc prądu trójfazowego. 17. Pomiar mocy prądu zmiennego. 18. Pomiar pracy prądu — liczniki. 19. Sprawność prądnic elektrycznej. 20. Ogniwa galwaniczne. 21. Akumulatory. 22. Transformatory. 23. Przetwornice. 24. Prostowniki.

ROZDZIAŁ II.

ODBIORNIKI 100—109

1. Silniki elektryczne. 2. Obliczenie mocy silników. 3. Obsługa silników. 4. Lampy. 5. Grzejniki.

ROZDZIAŁ III.

- PRZEWODY URZĄDZEN ELEKTRYCZNYCH NA PRĄD
SILNY „ 110—122
1. Przewody napowietrzne.
 2. Przewody wewnętrzne.
 3. Przewody podziemne.
 4. Przekrój przewodów.

ROZDZIAŁ IV.

- URZĄDZENIA ELEKTRYCZNE PRZESYŁANIA SIŁY
I OŚWIETLENIA. „ 123—145
1. Małe urządzenia elektryczne prądu stałego.
 2. Duże urządzenia fabryczne.
 3. Urządzenia elektryczne miejskie na prąd stały.
 4. Urządzenia elektryczne miejskie na prąd trójfazowy.
 5. Urządzenia elektryczne okręgowe.
 6. Koleje elektryczne.

ROZDZIAŁ V.

- OBŚLUGA URZĄDZEN ELEKTRYCZNYCH „ 146—151
1. Porażenia prądem.
 2. Czyszczenie.
 3. Sprawdzanie izolacji.
 4. Przepisy budowy i ruchu.



B-ka K.U.L.
Lublin, 25. VI. 65

WYDAWNICTWA TECHNICZNE

KSIĘGARNI

J. LISOWSKIEJ

WARSZAWA, ALEJE JEROZOLIMSKIE № 13.

Biblioteka techniczna.

	Zł.
M. Pożaryski prof. Polit. Waraz. Elektrotechnika prądów silnych, wyd. II powiększone z ilustracjami	12.—
Pożaryski i G. Henseł. Krótki zarys sygnalizacji, telegrafji, telefonji oraz budowy piorunochronów, ilustrowane	1.50
Obie te prace obficie ilustrowane, polecane przez M. W. R. i O. P.	
Gimbut Bohdan. Uszkodzenia i niedokładności w maszynach elektrycznych prądu stałego i zmiennego. Oznaki, przyczyny, sposoby naprawy i zapobiegania; ze 115 rysunkami	3.40
Machcewicz Jan, inżynier elektrotechnik. Radjotelegrafja i radjotelefonja. Krótki i przystępny podręcznik radjotechniki. Wyd. 2-gie poprawione w przygotowaniu.	
Hensel Gustaw prof. O uzwojeniach maszyn elektrycznych prądu stałego	5.—
— O uzwojeniach maszyn prądu zmiennego	5.—

Biblioteka dla szkół rzemieślniczo-przemysłowych.

Byszewski Witold, wzytator szkół handl. M. W. R. i O. P. Korespondencja kupiecko-rzemieślnicza	2.50
Pożaryski M. prof. Polit. Waraz. Krótki zarys elektrotechniki dla szkół zawodowych. Cz. I Zasadnicza. Dalsze części w przygotowaniu	