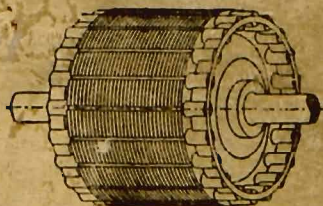


TECHNIKA *i Rzemiosło*

PROF. M. POŻARYSKI

PRZYSTĘPNA ELEKTROTECHNIKA PRĄDÓW SILNYCH



1018

PROF. MIECZYŚLAW POŻARYSKI

PRZYSTĘPNA
ELEKTROTECHNIKA

PRĄDÓW SILNYCH

WYDANIE V

*Opisane do
Broszury do
pracy*

*72,8 mm
4/10*

*Wien
Kamada*

WYDAWNICTWO
"TECHNIKI I RZEMIOSŁA"
LONDYN — 1944

621.3: 537

REFERAT
KULTURALNO-OSWIATOWY
Polskiego Czerwonego

Krytyka

~~40544~~



nr. 2869

BZ08DK/004-13

PRZEDMOWA DO WYDANIA TRZECIEGO

Wydanie trzecie »Przystępnej elektrotechniki prądów silnych« różni się od wydania drugiego z 1924 r. szeregiem uzupełnień i zmian dokonanych z uwzględnieniem nowych pomysłów i udoskonaleń w dziedzinie elektrotechniki.

Autor

Warszawa, w październiku 1930 r.

PRZEDMOWA DO WYDANIA CZWARTEGO

Wydanie czwarte jest przedrukiem fotograficznym wydania trzeciego.

Londyn, w grudniu 1943 r.

Komitet Redakcyjny

"TECHNIKA I RZEMIOSŁO"

KOMITET REDAKCYJNY:

inż. W. Baczyński, inż. F. Biel, inż. P. Bielkowiec, inż. Z. Giel,
inż. F. Olszak, inż. W. Przestępski, inż. Z. Rakuza-
Suszczewski, mgr. T. Sawicki, mgr. P. Wodziański,
inż. L. Zienkowski, inż. J. K. Zyzak.



Administracja:

25/26, Lancaster Gate

London, W.2.

Printed by

Thomas Nelson and Sons Ltd., Parkside Works, Edinburgh

Zasady i prawa.

1. Wstęp.

Wszystkie urządzenia elektryczne zasadzają się na zjawisku prądu elektrycznego. Prąd elektryczny przebiega w obwodzie elektrycznym, który stanowią przewodniki, połączone w zamknięty łańcuch.

Jako przykład najprostszego obwodu elektrycznego służyć może kieszonkowa lampka elektryczna rys. 1. Obwód tej lampki składa się z ogniwa galwanicznego, czyli elementu E i lampki, w której prąd przebiega przez cienki drucik. W ogniwie znajdują się dwie płytki: węglowa i cynkowa, zanurzone w roztworze soli.

W obwodzie prąd krąży wokoło. Elektryczność wybiega z płytki węglowej, stanowiącej biegun dodatni ogniwa i przez lampkę wraca do ogniwa po płytce cynkowej, która jest biegunem ujemnym; wewnątrz ogniwa prąd płynie od płytki cynkowej do węglowej, dalej znowu do lampki i tak ciągle wokoło.

Jest to najprostsze wyobrażenie prądu elektrycznego.

Prąd elektryczny przerywa się, t. j. elektryczność przestaje płynąć, jeżeli chociażby jeden z drucików, prowadzących prąd do lampy, odsuniemy od blaszki, wystającej z ogniwa. Wtedy obwód elektryczny będzie przerwany, lub otwarty.



Rys. 1.

Prąd stały płynąć może tylko w obwodzie elektrycznym zamkniętym. Aby obwód był zamknięty, musi być utworzony z dobrych przewodników elektryczności, np. metali, węgla, roztworów kwasów i soli; metale powinny szczelnie przylegać do siebie czystymi powierzchniami.

Ogniwo galwaniczne wprowadza w ruch elektryczność i z tego powodu nazywa się źródłem prądu.

W ogniwie cynk stopniowo rozpływa się w roztworze soli, której skład się zmienia, a lampka elektryczna daje światło i trochę ciepła. Mając to na względzie, mówimy, że w ogniwie energia chemiczna wytwarza prąd elektryczny, który następnie wywołuje powstawanie energii świetlnej i cieplnej.

Można także mówić inaczej: energia chemiczna ogniwa za pomocą prądu elektrycznego przenosi się do lampki elektrycznej i przetwarza się tam na energię świetlną i ciepłą. Tu prąd elektryczny pracuje i skutkiem jego pracy zachodzi taka przemiana energii.

Ilościowo energia otrzymana jest zawsze równoważna wykonanej przez prąd pracy.

Zastanawiając się nad różnymi urządzeniami elektrycznymi, wszędzie możemy znaleźć obwód elektryczny, często rozgałęziony. W obwodzie tym jest źródło prądu i są różne przyrządy, gdzie prąd wytwarza różne postacie energii; przyrządy te zazwyczaj nazywamy odbiornikami prądu.

Jako przykład dużego urządzenia elektrycznego może służyć urządzenie, zaopatrujące miasto w prąd elektryczny.

Źródła prądu stanowią tu maszyny dynamo-elektryczne, inaczej prądnice, obracane za pomocą silników parowych, wodnych i t. p. W prądnicach prąd elektryczny powstaje skutkiem pracy mechanicznej silników, obracających prądnice.

Odbiornikami są tu lampy elektryczne, motory, czyli silniki elektryczne, piece i t. p.; w nich prąd elektryczny, wytwarza energię świetlną, pracę mechaniczną i energię ciepłą.

Źródła prądu, znajdujące się w elektrowni, połączone są z odbiornikami, rozrzuconymi po całym mieście i okolicy.

za pomocą przewodników, poprowadzonych pod ziemią lub nad ziemią po ulicach miasta.

Prądnice, przewody i odbiorniki tworzą jeden wielki rozgałęziony obwód elektryczny, w którym elektryczność krąży od bieguna dodatniego prądnicy do odbiorników, dalej z powrotem do bieguna ujemnego prądnicy, wewnątrz prądnicy od bieguna ujemnego do dodatniego i t. d. w kółko.

Za pomocą prądu elektrycznego praca mechaniczna silników elektrowni roznosi się po całym mieście, gdzie ją wykonywują silniki elektryczne; w lampkach przetwarza się ona w światło, a w piecach elektrycznych — w ciepło. Zastanawiając się nad źródłem pracy silników w elektrowni, łatwo spostrzec, że powstaje ona najczęściej skutkiem spalania węgla pod kotłami, w których wytwarza się para do maszyn, obracających prądnice.

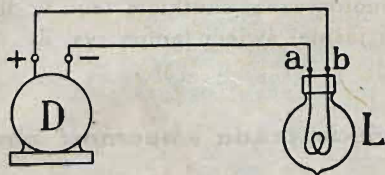
Spalanie się węgla jest zjawiskiem chemicznym, więc możemy powiedzieć, że energia chemiczna węgla za pomocą prądu elektrycznego roznosi się po mieście i się przetwarza w pracę mechaniczną, w światło i ciepło, stosownie do potrzeby.

Są elektrownie, w których prądnice są obracane przez turbiny, lub koła wodne. Tutaj praca wody wytwarza prąd elektryczny i za pomocą tego prądu praca ta rozdziela się i przenosi się tam, gdzie jest potrzebna. W ten sposób w miastach można zużytkować siłę wodospadów, znajdujących się daleko od miasta.

Porównyując urządzenia elektryczne z innymi urządzeniami, stosowanymi najczęściej w fabrykach, łatwo spostrzec, że bardzo podobne przeznaczenie mają w fabryce wały, koła pasowe i pasy czyli tak zwane pędnie, które rozprowadzają po fabryce pracę maszyn parowych. W fabrykach bywają także stosowane urządzenia wodne, w których woda pod wielkim ciśnieniem rozchodzi się po rurach i wprawia w ruch różne narzędzia: prasy, młoty i t. p. Takie urządzenie jest oczywiście bardzo podobne do elektrycznego: tu mamy w ruchu wodę, tam — elektryczność.

2. Prąd i siła elektromotoryczna.

Rozważmy dokładniej obwód elektryczny i zjawiska w nim zachodzące. Na rys. 2 mamy źródło prądu*) D , połączone przewodami z lampą L . Stosownie do własności źródła prądu lampa może palić się jaśniej lub ciemniej; przyczyną tego jest ilość elektryczności, przebiegająca przez lampę w ciągu jednostki czasu, np. sekundy. Im więcej elektryczności przebiegnie na sekundę po druciku lampki, tem jaśniej będzie ona świecić.



Rys. 2.

Mając to na względzie, przyjęto ilość elektryczności, przebiegającej w ciągu sekundy po obwodzie, uważać za cechę natężenia prądu**). Ten prąd jest silniejszy, w którym więcej elektryczności przebiega w jednostkę czasu.

Nie tylko jasność lampy zależy od natężenia prądu. Silnik elektryczny jest tem mocniejszy, a piec elektryczny — tem cieplejszy, im większe jest natężenie prądu, słowem wszystkie skutki prądu elektrycznego są tem znaczniejsze, im większy jest prąd.

W około obwodu elektrycznego natężenie prądu jest wszędzie jednakowe, ponieważ elektryczność w obwodzie nigdzie nie powstaje i nie ginie. Źródło prądu nie wytwarza elektryczności, lecz tylko wprawia ją w ruch. Elektryczność znajduje się we wszystkich przedmiotach.

*) Prądnica, czyli dynamomaszyna.

**) Inaczej: wielkości prądu lub siły prądu.

Zaznaczyliśmy już, że lampka rys. 2, świeci jaśniej lub ciemniej stosownie do działania źródła prądu. Otóż w źródle prądu mamy czynnik, który wywołuje prąd słabszy lub silniejszy. Jeżeli źródłem prądu jest dynamomaszyna, czyli prądnica, którą obraca np. silnik parowy, to lampka świeci tem jaśniej, im prędzej obraca się prądnica. Dla uwydatnienia tej własności źródła prądu elektrycznego, mówimy, że w tem źródle działa siła elektromotoryczna, skutkiem której powstaje w obwodzie prąd elektryczny. Prąd ten jest tem większy, im większą siłę elektromotoryczną mamy w źródle prądu, a więc np. prądnica, obracająca się szybciej, ma większą siłę elektromotoryczną, skutkiem tego w obwodzie płynie silniejszy prąd i jaśniej świeci lampka rys. 2.

3. Napięcie prądu i oporność obwodu.

Rozważając warunki przepływu prądu elektrycznego w obwodzie na rys. 2, łatwo przekonać się przez doświadczenie, że nie tylko źródło prądu ma wpływ na natężenie prądu. Można przyciemnić lampkę, a więc osłabić prąd, zmieniając druty, doprowadzające prąd z prądnicy do lampki, np. biorąc zamiast drutów miedzianych — żelazne. Ten wpływ drutów tłumaczymy sobie przez opór, który napotyka prąd elektryczny, przepływając po drutach. Podobny opór przeciwstawiają prądowi także druty wewnątrz prądnicy *D* i lampki *L*.

Siła elektromotoryczna prądnicy zużywa się na pokonanie wszystkich oporów w obwodzie.

Jeżeli odejmiemy od siły elektromotorycznej prądnicy tę część, która zużywa się na przeprowadzenie prądu wewnątrz prądnicy, to reszta stanowi tak zwane napięcie na końcówkach prądnicy^{*)}. Napięcie to zużywa się na przeprowadzenie prądu wzdłuż drutów i przez lampkę, czyli przez tak zwany obwód zewnętrzny, który stanowią druty razem z lampką.

^{*)} Inaczej — różnica potencjałów na końcówkach prądnicy.

Odejmując od napięcia na końcówkach prądnicy, część napięcia, zużytą na przeprowadzenie prądu przez druty, otrzymamy napięcie na końcówkach lampy *a* i *b*. Napięcie to zużywa się całkowicie na przeprowadzenie prądu przez lampkę.

Dla dobrego zrozumienia, co znaczy napięcie, porównajmy ruch elektryczności z prądem wody. Wyobraźmy sobie, że na rys. 2 zamiast przewodników mamy rury, zamiast prądnicy — pompę wodną, a zamiast lampy — wstawiony w rurę młynek, który woda obraca. Pompa pędzi wodę w kółko, po górnej rurze woda dopływa do młynka — po dolnej — wraca do pompy. W takim urządzeniu można spostrzec wiele podobieństwa do obwodu elektrycznego. Pompa daje siłę motoryczną, poruszającą wodę; siła ta zużywa się na pokonanie oporu tarcia w całym owodzie wodnym, w którym woda krąży w kółko. Część siły motorycznej zużywa się na przeprowadzenie wody przez pompę, reszta przepycha wodę przez rury. Tę resztę siły motorycznej stanowi oczywiście różnica ciśnień wody w rurach odpływowej i dopływowej. Otóż różnica ciśnień w rurach dopływowej i odpływowej jest tem samem dla prądu wody, czem napięcie dla prądu elektrycznego.

4. Prawo Ohma*)

Zależność pomiędzy natężeniem prądu, napięciem i opornością**) wyrażamy prawem, podanem przez uczonego Ohma. Według tego prawa:

$$\text{natężenie prądu} = \text{napięciu} : \text{opór},$$

co znaczy, że natężenie prądu równa się napięciu, podzielonemu przez opór, na pokonanie którego zostało zużyte napięcie.

Jeżeli chcemy zastosować to prawo do całego obwodu,

*) Czytaj: „Prawo Oma“.

**) Albo krócej „oporem“.

to należy napięcie zastąpić przez siłę elektromotoryczną i powiedzieć, że:

natężenie prądu = siła elektromotorycznej : opór,
co wyraża, że **natężenie prądu równa się siłę elektromotorycznej, podzielonej przez opór, na pokonanie którego została zużyta siła elektromotoryczna.**

Zazwyczaj natężenie prądu oznaczamy krótko literą I , napięcie — literą V , siłę elektromotoryczną — E , opór części obwodu przez — r , a opór całego obwodu przez R . Wtedy prawo Ohma można przedstawić następującymi dwoma prostymi wzorami algebraicznymi:

$$I = \frac{V}{r}; \quad I = \frac{E}{R}.$$

Dla przeprowadzenia obliczeń musimy wyrazić prąd, napięcie i oporność liczbami. W tym celu należy ustalić odpowiednie jednostki miary. Jednostką natężenia prądu jest **amper**; stanowi on natężenie takiego prądu, który, przepływając przez roztwór soli, zawierającej srebro, mianowicie tak zwany azotan srebra, wydzieli w ciągu sekundy 1,118 miligrama czystego srebra*).

Jednostkę oporności nazywamy **omem**. Oporność jeden om ma słup rtęci, którego długość wynosi 106,3 centymetra, a przekrój poprzeczny — jeden milimetr kwadratowy, przy temperaturze topniejącego lodu.

Ścisłej słup ten ma masę 14,4521 gramów przy możliwie równym przekroju.

Jednostkę napięcia wolt stanowi napięcie, wywołujące prąd o natężeniu jednego ampera w przewodniku, którego oporność jest jeden om.

Siła elektromotoryczna jest wielkością tego samego gatunku co napięcie, więc mierzymy ją również w **woltach**.

Mając jednostki miary dla prądu, napięcia i oporu, możemy prawo Ohma wyrazić w sposób następujący:

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

*) Stanowi to około 4 gr. na godzinę.

REFERAT

KULTURALNO-OSWIATOWY

Polskiego Czerwonego

Krzyż

Przykład I. Załóżmy, że napięcie na końcówkach *a b* lampy *L* na rys. 2 wynosi 50 woltów, czyli krócej 50 V, oporność zaś lampy — 5 omów, krócej 5 Ω *); wtedy według prawa Ohma znajdziemy prąd:

$$I = 50 : 5 = 10 \text{ amperów} = 10 \text{ A.}$$

Przykład II. Załóżmy, że w obwodzie na rys. 2 oporność każdego z dwóch drutów, doprowadzających prąd do lampy, wynosi 0,1 Ω, oporność prądnicy — 0,3 Ω, oporność lampy—5 Ω.

Całą oporność obwodu znajdziemy, dodając wszystkie opory:

$$0,1 + 0,1 + 0,3 + 5 = 5,5 \text{ } \Omega.$$

Jeżeli siła elektromotoryczna prądnicy wynosi 55 V. to prąd w obwodzie obliczymy według wzoru:

$$I = \frac{55}{5,5} = 10 \text{ A.}$$

Przykład III. Ze wzoru prawa Ohma dla części obwodu wynika, że:

$$V = I r.$$

Na podstawie tej zależności możemy obliczyć, napięcie, zużyte w obwodzie na pokonanie oporności *r*.

Założmy, że prąd w obwodzie na rys. 2 wynosi 10 A, oporności zaś mamy takie, jak podano w przykładzie II.

Według tych liczb możemy obliczyć napięcie, zużyte na pokonanie oporów w poszczególnych częściach obwodu.

Na pokonanie oporności lampy zużywa się

$$V_1 = 10 \times 5 = 50 \text{ woltów,}$$

na pokonanie oporności przewodów pomiędzy prądnicą i lampą.

$$V_2 = 10 \times 0,2 = 2 \text{ wolty,}$$

i wreszcie na pokonanie oporności prądnicy

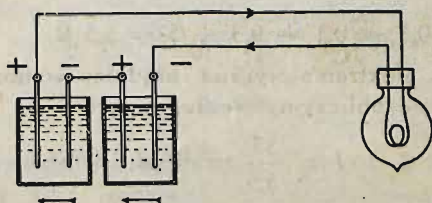
$$V_3 = 10 \times 0,3 = 3 \text{ wolty.}$$

*) Ω jest to litera grecka omega; używamy jej dla skróconego oznaczenia słowa om.

Siła elektromotoryczna jest tu równa sumie napięć, zużytych na pokonanie poszczególnych oporów.

$$55 \text{ V} = 50 \text{ V} + 2 \text{ V} + 3 \text{ V}.$$

Przykład IV. Dwa ogniwa galwaniczne połączone są w jeden nierozgałęziony obwód z lampką elektryczną rys. 3. Siła elektromotoryczna w ogniwie jest skierowana od minusa do plusa (od cynku do węgla); ogniwa łączymy w ten sposób, aby siły elektromotoryczne wywoływały prąd w jedną stronę. Takie połączenie ogniw nazywamy połączeniem szeregowym.



Rys. 3.

Znając wielkość siły elektromotorycznej ogniw i opór obwodu, możemy obliczyć natężenie prądu.

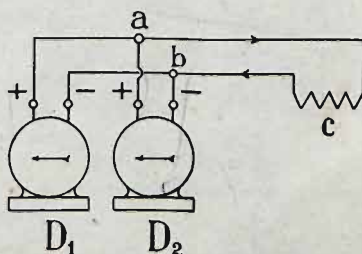
Założmy, że każde ogniwo ma siłę elektromotoryczną 1,5 V, oporność wewnętrzna każdego ogniwa — 0,2 Ω , oporność drutów, łączących lampę z ogniwami — 0,6 Ω , a oporność lampy — 3 Ω ; wtedy prąd

$$I = \frac{1,5 + 1,5}{0,2 + 0,2 + 0,6 + 3} = \frac{3}{4} \text{ A}.$$

W podobny sposób postępujemy również, gdy mamy więcej źródeł prądu, połączonych w szereg.

Przykład V. Dwie prądnice, połączone z obwodem *a c b* tak, jak wskazuje rys. 4, nazywamy połączonymi równolegle. Dwa prądy, wywołane przez poszczególne prądnice, łączą się we wspólnym obwodzie zewnętrznym *a c b*. Siły elektromotoryczne, skierowane wewnątrz prądnic od minusa do plusa, obie pędzą elektryczność w kierunku *a c b*.

Przy obliczaniu prądu w takim obwodzie często można przyjąć, że strata napięcia wewnątrz prądnicy jest bardzo niewielka i napięcie na zaciskach $a b$ jest prawie równe każdej z sił elektromotorycznych.



Rys. 4.

Założmy, że każda prądnica ma siłę elektromotoryczną 110V, a oporność obwodu $a c b$ wynosi 5 Ω ; prąd w tym obwodzie będzie:

$$I = \frac{110}{5} = 22 \text{ ampery.}$$

Przykład VI. Oporność prądnic rys. 4 ma wpływ na rozdział całkowitego prądu pomiędzy prądnice.

Założmy, że oporność wewnętrzna każdej z prądnic stanowi 0,2 Ω , a siły elektromotoryczne są równe i wynoszą E woltów.

Jeżeli prądy w poszczególnych prądnicach oznaczamy przez I_1 i I_2 , to napięcia, zużyte na pokonanie oporności wewnętrznej prądnic, będą $I_1 \times 0,2$ i $I_2 \times 0,2$. Po odjęciu tych napięć od sił elektromotorycznych otrzymamy jedno i to samo napięcie na zaciskach $a b$, więc

$$E - (I_1 \times 0,2) = E - (I_2 \times 0,2)$$

Takie równanie jest możliwe tylko wtedy, gdy $I_1 = I_2$. Wtedy prądy w prądnicach wypadną:

$$I_1 = 11 \text{ A i } I_2 = 11 \text{ A.}$$

$$E - 0,2 I_1 = E - 0,2 I_2$$

Spadki napięcia wewnątrz prądnic:

$$V_1 = 11 \times 0,2 = 2,2 \text{ wolta i } V_2 = 2,2 \text{ wolta}$$

Rzeczywiste siły elektromotoryczne prądnic:

$$E_1 = 110 + 2,2 = 112,2 \text{ wolta, } E_2 = 112,2 \text{ wolta}$$

Przykład VII. Jeżeli oporności wewnętrzne prądnic są różne, to i w tym wypadku spadki napięcia wewnątrz prądnic muszą być równe, co jest możliwe tylko wtedy, gdy prądy są odwrotnie proporcjonalne do oporności. Załóżmy, że oporność prądnicy D_1 równa się $0,1\Omega$, prądnicy zaś D_2 — $0,3\Omega$, a prądy są I_1 i I_2 , wtedy

$$I_1 \times 0,1 = I_2 \times 0,3;$$

$$\text{przeto: } \frac{I_1}{I_2} = \frac{0,3}{0,1}.$$

Wielkość prądów I_1 i I_2 znajdziemy, dzieląc cały prąd 22 ampery proporcjonalnie do liczb 0,3 i 0,1.

$$I_1 = \frac{22}{0,3 + 0,1} \times 0,3 = 16,5 \text{ A.}$$

Prądnica o mniejszej oporności ($0,1\Omega$) dostarcza prąd większy — 16,5 A, a prądnica mająca oporność większą $0,3\Omega$ — prąd mniejszy — tylko 5,5 A.

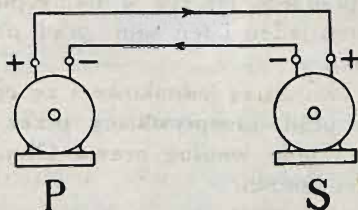
Przykład VIII. Mamy obwód, utworzony z dwóch maszyn (rys. 5) P — prądnica, która wytwarza prąd, S — silnik, obracający się pod wpływem tego prądu. W prądnicę prąd płynie od minusa do plusa, zgodnie z siłą elektromotoryczną, w silniku — od plusa do minusa, wbrew sile elektromotorycznej.

Założmy, że oporność wewnętrzna prądnicy wynosi $0,1\Omega$, oporność wewnętrzna silnika — $0,2\Omega$, oporność przewo-



NP 2869

dów, łączących prądnicę z silnikiem, — $0,3 \Omega$, siła elektromotoryczna prądnicy — $126V$, a siła elektromotoryczna sil-



Rys. 5.

nika — $120V$. Całkowity opór obwodu znajdziemy, dodając poszczególne opory:

$$0,1 + 0,2 + 0,3 = 0,6 \Omega,$$

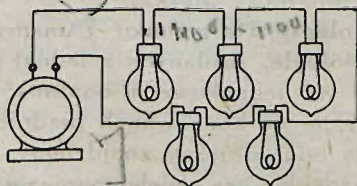
a natężenie prądu, czyli poprostu prąd, według prawa Ohma:

$$I = \frac{126 - 120}{0,6} = \frac{6}{0,6} = 10 A.$$

W tym przykładzie wypadło odjąć jedną siłę elektromotoryczną od drugiej, ponieważ działają one w kierunkach przeciwnych. Prąd płynie w obwodzie w kierunku siły elektromotorycznej większej.

5. Połączenie odbiorników.

Są dwa różne sposoby łączenia odbiorników w obwodach elektrycznych: szeregowy i równoległy.



Rys. 6.

Układ szeregowy. Dla przykładu weźmy lampki elektryczne, zasilane prądnicą. Na rys 6 mamy pięć lampek, połączonych w **szereg**; jeden i ten sam prąd przebiega przez wszystkie te lampki.

Założmy, że lampki są jednakowe i że oporność każdej lampki — 220Ω , a prąd, przepływający przez te lampki wynosi $0,5$ ampera. Wtedy według prawa Ohma napięcie na końcówkach każdej lampki:

$$v = 220 \times 0,5 = 110 \text{ V.}$$

Oporność wszystkich lampek:

$$R = 220 \times 5 = 1100 \Omega.$$

Prądnica musi wytworzyć napięcie, pokonywujące opór wszystkich lampek, więc, przy natężeniu prądu $0,5 \text{ A}$, napięcie to będzie:

$$V = 1100 \times 0,5 = 550 \text{ V.}$$

Suma zaś napięć wszystkich pięciu lampek będzie również:

$$110 + 110 + 110 + 110 + 110 = 550 \text{ V.}$$

Widzimy więc, że przy **szeregowym** połączeniu, pomijając zazwyczaj mały opór przewodników, łączących lampki z prądnicą, **napięcie na prądnicy równa się sumie napięć na poszczególnych lampkach**. Prąd w prądnicy jest tu taki sam jak w każdej lampce.

Jeżeli lampki będą miały oporności różne, to napięcia na nich będą także rozmaite. Napięcie będzie wyższe na tej lampce, która ma oporność większą.

Układ równoległy. Na rysunku 7 mamy pięć lampek, połączonych **równolegle**, zasilanych z jednej prądnicy. Jeżeli wszystkie lampki są jednakowe i oporność każdej wynosi 220 omów , a napięcie na końcówkach prądnicy 110 woltów , to, pomijając mały opór drutów, znajdziemy, według prawa Ohma, prąd w każdej lampce, dzieląc napięcie przez oporność

$$I = 110 : 220 = 0,5 \text{ A.}$$

Do wszystkich lampek prąd dostarcza oddzielnie ta sama prądnica, więc cały prąd, wypływający z prądnicy równa się sumie prądów, płynących do poszczególnych lampek:

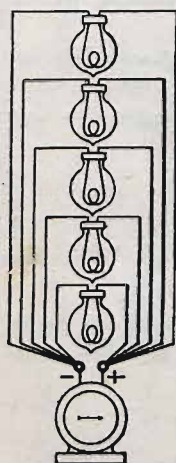
$$0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 = 2,5 A.$$

Przy równoległym połączeniu napięcie na poszczególnych lampach równa się napięciu na prądnicy, a prąd wypływający z prądnicy, równa się sumie prądów, płynących do poszczególnych lamp.

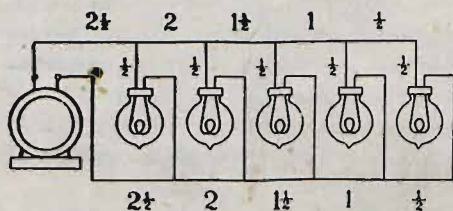
W urządzeniach oświetlenia elektrycznego, przy równoległym połączeniu lamp, doprowadzamy prąd tak, jak to widzimy na rys. 8. Liczby na rys. wskazują natężenie prądu w amperach.

Przy takim połączeniu cały prąd, dostarczony przez prądnicę, równa się sumie prądów, przepływających przez poszczególne lampki, a napięcie na prądnicy jest prawie równe napięciu na poszczególnych lampkach, gdyż strata

napięcia w przewodnikach, mających mały opór, zazwyczaj nie przewyższa paru procentów całego napięcia.



Rys. 7.



Rys. 8.

Rozważmy jeszcze połączenie równoległe dwóch lamp o różnym oporze rys. 9. Oporność lampki większej wynosi 55 omów, a lampki mniejszej 220 omów. Napięcie między punktami *a* i *b* skąd rozgałęziają się przewodniki do lamp, wynosi 110 woltów.

Prąd w lampach znajdziemy według prawa Ohma.

W większej lampie:

$$I = 110 : 55 = 2 \text{ A.}$$

W mniejszej lampie:

$$i = 110 : 220 = 0,5 \text{ A.}$$

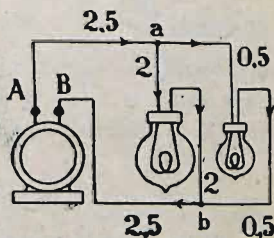
Jeżeli porównamy natężenia prądów w lampach z opornościami odpowiednich lamp, to spostrzemy, że prądy są odwrotnie proporcjonalne do oporności.

Oznaczamy oporność dużej lampy przez R , a małej przez r wtedy:

$$\frac{I}{i} = \frac{r}{R}$$

Czyli w liczbach.

$$\frac{2}{0,5} = \frac{220}{55}$$



Rys. 9.

Cały prąd, dostarczony przez prądnice, równa się sumie prądów poszczególnych.

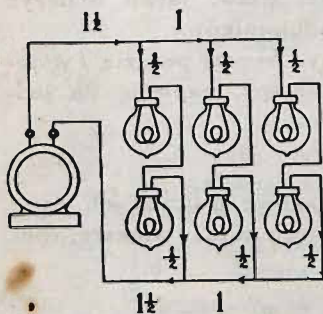
$$2 + 0,5 = 2,5 \text{ A.}$$

Ten prąd wypływa z zacisku A prądnicy i wraca do niej przez zacisk B.

Oprócz połączenia szeregowego i równoległego, czasem znajduje zastosowanie połączenie kombinowane szeregowo-równoległe.

Układ szeregowo-równoległy. Na rys. 10 mamy sześć lampek, połączonych po dwie w szereg, a te pary połączone są następnie równolegle. Jest to połączenie szeregowo-równoległe.

Założmy, że oporność każdej lampy wynosi $220\ \Omega$, a napięcie na końcówkach każdej lampy $110\ V$. Oporu drutów nie będziemy przyjmować pod uwagę.



Rys. 10.

Z poprzednich obliczeń wiemy, że w tych warunkach przez każdą lampę przepłynie prąd $0,5$ ampera, więc i para lamp, połączonych w szereg, również bierze prąd $0,5$ ampera, ale napięcie potrzebne dla takiej pary lamp wyniesie dwa razy 110 , t. j. 220 woltów. Takie napięcie $220\ V$ będzie na końcówkach prądnicy.

Prąd, dostarczony przez prądnicę, równa się sumie prądów, dopływających do poszczególnych grup, a więc w danym wypadku trzy razy po $0,5$ ampera, t. j. razem $1,5$ ampera.

6. Prawa Kirchhoffa.

Przepływem prądów rozgałęzionych rządzą dwa prawa ułożone przez uczonego Kirchhoffa. Wypływają one z przykładów, które podaliśmy w poprzednim paragrafie.

Pierwsze prawo:

1. Prąd przed rozgałęzieniem i za rozgałęzieniem równa się sumie prądów rozgałęzionych.

Np. prądy w przewodnikach Aa i Bb rys. 9 są równe sumie prądów w dużej i małej lampie.

Drugie prawo:

2. Natężenia prądów, rozgałęziających się z tych samych punktów obwodu, są odwrotnie proporcjonalne do oporności rozgałęzionych przewodników.

Np. na rys. 9 prądy 2 i $0,5$ ampera są odwrotnie proporcjonalne do oporności odpowiednich lampek 55 i 220 omów.

7. Obliczenie oporności wypadkowej.

Na podstawie podanych wyżej praw, łatwo obliczyć oporność wypadkową całej grupy odbiorników.

Przy połączeniu szeregowem (rys. 6) przy prądzie I w obwodzie i oporności r poszczególnej lampy, napięcie na jednej lampie wynosi:

$$v = I \cdot r.$$

Jeżeli wszystkie lampy są jednakowe, a liczba ich jest m , to prądnica musi wytworzyć napięcie m razy większe, więc napięcie na zaciskach prądnicy:

$$V = v \cdot m = I \cdot r \cdot m,$$

oczywiście pomijając nieznaczną oporność drutów łączących lampy pomiędzy sobą i prądnicą.

Z powyższego wzoru wynika, że:

$$\frac{V}{I} = r \cdot m.$$

Według prawa Ohma $\frac{V}{I}$ równa się wypadkowej oporności obwodu lamp, oznaczamy ją przez R , więc

$$R = r \cdot m.$$

W naszym przykładzie $r = 220 \Omega$, $m = 5$, a więc

$$R = 220 \times 5 = 1100 \Omega.$$

Jeżeli oporności lamp byłyby różne, to otrzymalibyśmy wzór:

$$R = r_1 + r_2 + \dots + r_m.$$

Przy połączeniu równoległym (rys. 7) dla prądu w każdej lampie mamy wzór:

$$i = \frac{V}{r}.$$

Jeżeli n lamp jednakowych połączyliśmy równolegle, to cały prąd wypływający z prądnicy wynosi:

$$I = i \cdot n.$$

Czyli:

$$I = \frac{V}{r} \cdot n$$

Stąd:

$$\frac{V}{I} = \frac{r}{n}.$$

Ponieważ $\frac{V}{I}$ równa się wypadkowej oporności całej grupy lamp — R , przeto:

$$R = \frac{r}{n}.$$

W naszym przykładzie $r = 220 \Omega$, $n = 5$, więc

$$R = \frac{220}{5} = 44 \Omega.$$

Jeżeli lampy są różne, to

$$I = i_1 + i_2 + \dots + i_n.$$

Czyli

$$I = \frac{V}{r_1} + \frac{V}{r_2} + \dots + \frac{V}{r_n}$$

albo

$$I = V \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n} \right),$$

skąd

$$\frac{V}{I} = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n}}$$

przeto:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n}}.$$

Tu często przeprowadzamy rachunki z odwrotnością oporności, czyli z tak zwaną **przewodnością**.

Jeżeli oporność jakiegoś odbiornika czy wogóle przewodnika jest r to:

$$g = \frac{1}{r}$$

nazywamy przewodnością. Przewodność mierzymy w jednostkach zwanych „mo“*), przewodnik, którego oporność jest jeden om ma przewodność jeden mo.

Wrowadzając we wzorach przy równoległym połączeniu zamiast oporności przewodność, utrzymamy:

$$I = V (g_1 + g_2 + \dots + g_n),$$

czyli

$$I = V \cdot G,$$

gdzie:

$$G = g_1 + g_2 + \dots + g_n$$

G — jest przewodnością wypadkową kilku równolegle połączonych odbiorników.

W naszym przykładzie (rys. 7).

$$g = \frac{1}{220}$$

$m = 5$, więc:

$$G = \frac{1}{220} \times 5 = \frac{1}{44} \text{ mo.}$$

W przykładzie na rys. 9.

$$g_1 = \frac{1}{55} \quad g_2 = \frac{1}{220}$$

$$G = \frac{1}{55} + \frac{1}{220} = \frac{5}{220} = \frac{1}{44} \text{ mo.}$$

*) Zamiast „mo“ stosuje się także nazwa „simens“.

Przy połączeniu szeregowo-równoległym rys. 10, jeżeli mamy m lamp jednakowych połączonych w szereg w każdej grupie, a grup jest — n , to:

$$I = i \cdot n,$$

a
$$i = \frac{V}{r \cdot m},$$

więc
$$I = \frac{V}{r \cdot m} \cdot n,$$

stąd:

$$\frac{V}{I} = \frac{r \cdot m}{n}.$$

Czyli wypadkowa oporność wynosi:

$$R = \frac{r \cdot m}{n}.$$

W naszym przykładzie:

$$r = 220 \Omega, m = 2, a n = 3, \text{ więc:}$$

$$R = \frac{220 \times 2}{3} = 146,6 \text{ oma.}$$

8. Oporność przewodników.

Oporność przewodnika zależy od długości, przekroju poprzecznego i rodzaju materiału, z którego przewodnik jest wykonany.

Z doświadczenia wiemy, jaka jest oporność przewodnika, mającego długość jednego metra i przekrój jednego milimetra kwadratowego, zrobionego z różnych materiałów.

Liczby wyrażające tę oporność w omach nazywamy opornościami właściwymi.

Oporności właściwe ważniejszych metali przy 15° według termometru Celsiusza podajemy w tablicy:

Srebro ma oporność właściwą	0,0159
Miedź zwykła *) „	„ 0,0175
Glin (aluminium), „	„ 0,0280
Zelazo „	„ 0,1300
Stal „	„ 0,1800
Nowe srebro „	„ 0,3010
Manganin „	„ 0,4300
Nikelin „	„ 0,4500
Rtęć „	„ 0,9500

Znając oporność właściwą pewnego materiału, łatwo obliczyć oporność dowolnej długości przy dowolnym przekroju, korzystając z tej okoliczności, że oporność jest wprost proporcjonalna do długości przewodnika i odwrotnie proporcjonalna do przekroju. A więc np. przewodnik trzy razy dłuższy ma trzy razy większą oporność, a drut, mający trzy razy większy przekrój, ma oporność trzy razy mniejszą.

Jeżeli przez r oznaczymy oporność przewodnika w omach, przez l —jego długość w metrach, przez s —jego przekrój w milimetrach kwadratowych, a przez w oporność właściwą, to:

$$r = w \frac{l}{s}.$$

Przy ogrzewaniu i oziębianiu przewodników oporność ich zmienia się. Ze wzrostem temperatury oporność metali zwiększa się, a węgla i roztworów soli i kwasów zmniejsza się.

Doświadczalnie wyznaczono zmianę oporności przewodników przy podniesieniu się temperatury o jeden stopień Celsiusza, jeżeli przy 15° ciepła oporność jego wynosi jeden om.

Liczbę, wyrażającą taką zmianę oporności nazywamy spółczynnikiem cieplnym oporności tego materiału, z którego zrobiony jest przewodnik.

*) Używana do wyrobu przewodów urządzeń elektrycznych.

Dla ważniejszych metali współczynniki te podajemy w tablicy:

Srebro	0,00377
Miedź zwykła	0,00400
Glin (aluminium)	0,00388
Żelazo	0,00480
Rtęć	0,00091
Nowe srebro	0,00036
Nikelin	0,00028
Manganin	0,00001

Z tych liczb wyraźnie widzimy, że za wyjątkiem rtęci, czyste metale mają współczynniki około 0,004, natomiast stopy kilku metali: nowe srebro, nikelin, manganin mają współczynniki znacznie mniejsze.

Znając oporność drutu przy pewnej temperaturze, łatwo obliczyć przyrost oporu skutkiem ogrzania o daną liczbę stopni.

Jeżeli przez R oznaczamy oporność przy pewnej temperaturze t , a przez r przy temperaturze 15° i współczynnik cieplny przez α , to:

$$R = r + r \cdot \alpha \cdot (t - 15^{\circ})$$

$$\text{albo } R = r [1 + \alpha (t - 15^{\circ})].$$

Przykład 1. Obliczmy oporność drutu miedzianego, którego długość wynosi 10 metrów, a przekrój $1,5 \text{ mm}^2$ *).

Z powyżej podanej tablicy widzimy, że jeden metr drutu miedzianego o przekroju jednego milimetra kwadratowego ma oporność 0,0175 oma.

Jeżeli nasz drut miał by przekrój również jeden milimetr kwadratowy, to przy długości 10 metrów, oporność jego byłaby 10 razy większą i wyniosłaby:

$$0,0175 \times 10 = 0,175 \Omega.$$

*) Czytaj milimetrów kwadratowych.

Ponieważ jednak mamy przekrój $1,5 \text{ mm}^2$, czyli 1,5 razy większy, więc oporność naszego drutu będzie 1,5 razy mniejsza i wyniesie:

$$0,175 : 1,5 = 0,116 \Omega.$$

albo poprostu według podanego wyżej wzoru;

$$R = 0,0175 \times \frac{10}{1,5} = 0,116 \Omega.$$

Przykład II. Obliczmy oporność okrągłego drutu żelaznego: mającego długość 200 metrów i grubość 3 milimetry. Przedewszystkiem obliczamy przekrój drutu.

Według wzoru geometrycznego przekrój:

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

więc w naszym przykładzie:

$$s = \frac{3,14 \cdot 3^2}{4} = 7,065 \text{ mm}^2.$$

Żelazny drut długości jednego metra, przy przekroju jednego milimetra kwadratowego, według powyższej, tablicy ma oporność $0,13 \Omega$; drut 200 razy dłuższy ma oporność 200 razy większą:

$$0,13 \times 200 = 26 \Omega.$$

Ze względu zaś na 7,065 razy większy przekrój, wypadnie ona 7,065 razy mniejsza i wyniesie:

$$26 : 7,065 = 3,68 \Omega,$$

albo wprost według wzoru;

$$R = 0,13 \times \frac{200}{7,065} = 3,68 \Omega.$$

Przykład III. Załóżmy, że pewien drut miedziany ma oporność 150Ω przy 15° , obliczyć trzeba jaką będzie oporność tego drutu po ogrzaniu go do 70° .

Z tablicy współczynników wiemy, że oporność drutu miedzianego, mającego jeden om oporu, zwiększa się o $0,004$ oma przy wzroście temperatury o 1° .

Nasza oporność wynosi 150Ω , więc przyrost będzie 150 razy większy:

$$0,004 \times 150 = 0,6 \Omega.$$

Taki był by przyrost oporności przy ogrzaniu drutu o jeden stopień. W naszym przykładzie drut ogrzano o:

$$70^{\circ} - 15^{\circ} = 55^{\circ},$$

więc przyrost oporności będzie 55 razy większy:

$$0,6 \times 55 = 33 \Omega,$$

a cała oporność drutu ogrzanego do 70° wyniesie:

$$150 + 33 = 183 \Omega.$$

Krócej obliczamy szukaną oporność wprost według wzoru:

$$R = 150 [1 + 0,004 (70 - 15)] = 183 \Omega.$$

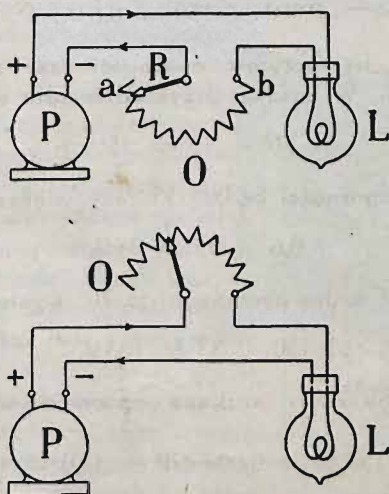
9. Oporniki.

Przyrządy, które zwykle mają na celu osłabienie prądu elektrycznego, nazywamy opornikami. Przyrządy te muszą mieć znaczną oporność, więc dogodniej jest stosować tu przewodniki o dużej oporności właściwej np. z nowego srebra, nikelinu, manganinu i t. p.

Zasadę działania i urządzenia oporników łatwo zrozumiemy z rys. 11. Prądnica P zasila prądem lampę L . Jeden drut, doprowadzający prąd do lampy, jest poprowadzony bezpośrednio z prądnicy do lampy, drugi zaś prowadzi od prądnicy do ruchomej rączki R , którą można przesuwac, dotykając w różnych miejscach drutu opornika; koniec tego drutu b jest połączony z lampką. Gdy rączka dotyka drutu opornikowego w punkcie a , to prąd musi przepłynąć przez

*) Wszystkie obliczenia prowadzimy zawsze według stopni termometru Celsiusza.

cały drut opornika; jeżeli natomiast przekreścimy rączkę tak, aby dotknęła drutu opornikowego w punkcie *b*, to prąd nie

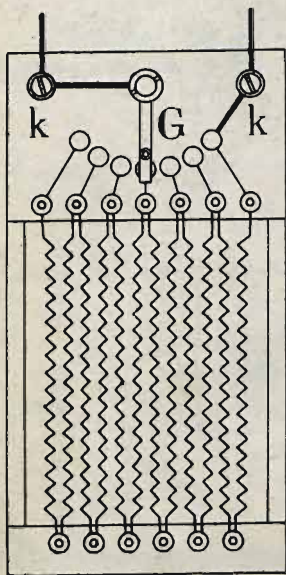


Rys. 11 i 12.

przejdzie przez drut opornikowy. Przy pośrednich położeniach rączki pomiędzy punktami *a* i *b*, prąd przepływa tylko przez część drutu opornikowego pomiędzy rączką, a końcem drutu *b*.

Stosownie do długości drutu opornikowego, włączonego w obwód, oporność obwodu wypada różna, a przez to różne natężenia prądu. Gdy rączkę przesuniemy, w położenie *b*, oporność obwodu będzie najmniejsza, prąd — najsilniejszy i lampka będzie świecić najjaśniej. Pamiętać należy, że wpływ opornika na natężenie prądu w obwodzie jest jednakowy, niezależnie od tego, w który drut, łączący prądnicę z lampą, wprowadzimy opornik. Opornik tak samo działa, gdy znajduje się na drodze prądu, dopływającego z prądnicy do lampy rys. 12, jak też na drodze prądu powrotnego rys. 11. Wynika to z tego, że prąd w obwodzie nie zależy od rozkładu poszczególnych oporów, ale tylko od ich sumy.

Budowa najprostrzego opornika wskazana jest na rys. 13. W celu zmniejszenia wymiarów opornika drut opornikowy jest tu zwinięty spiralnie, wężykiem i poszczególne spiralki są



Rys. 13.

rozpięte pomiędzy zaciskami śrubowymi. Za pomocą drutów miedzianych zaciski śrubowe górne połączone są z guziczkami metalowymi, najczęściej mosiężnymi, czyli tak zwanymi **kontaktami**; po tych kontaktach przesuwają się korbki opornika G. Przez śrubki *k k* wprowadzamy do opornika prąd. Przy położeniu korbki, wskazanym na rysunku, prąd przepływa tylko przez sześć spiralek, licząc od strony prawej do lewej.

Jeszcze praktyczniejsze urządzenie opornika widzimy na rys. 14.

Drut opornikowy jest tu nawinięty na walcach porcelanowych z odpowiednimi rowkami i przyłączony do mosiężnych lub miedzianych kontaktów, które są umocowane na marmurowej płycie. Korbka opornika, zaopatrzona w sprężyste blaszki,

przesuwa się po kontaktach. Blaszki te dotykają jednocześnie kontaktów i pierścienia metalowego. Prąd, doprowadzony do tego pierścienia dostaje się przez powyższe blaszki do kontaktów opornika. W ten sposób przy silnych prądach unikamy przeprowadzenia prądu przez oś korbki, z którą ona nie zawsze może mieć dobre połączenie elektryczne czyli kontakt, ze względu na smar.

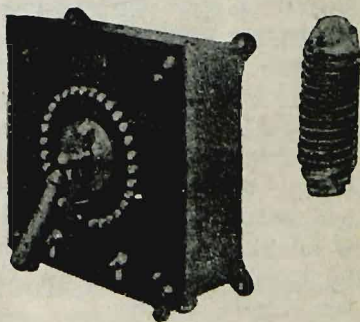
Na rys. 14 z boku widzimy część drutu opornikowego, nawiniętego na ogniotrwałym walcu, wyjętym ze skrzynki opornika.

Należy przestrzegać, aby wszystkie części opornika były zrobione z ogniotrwałego materiału. Jeżeli w oporniku wy-

padnie stosować druty izolowane, to używamy drutów z ogniotrwałą izolacją azbestową.

Dla ułatwienia ochładzania się oporników, druty opornikowe zanurza się czasem w oleju.

Oporniki, dla silnych prądów, wynoszących dziesiątki, a tem bardziej setki i tysiące amperów, mają przewodniki w postaci wstęg metalowych, czasem prostych, najczęściej jednak zwiniętych lub karbowanych. Wstęgi ochładzają się znacznie lepiej, niż okrągłe druty.



Rys. 14.

Zamiast metalowych przewodników można stosować także poprostu wodę, nalaną do metalowego naczynia i zaprawioną trochę sodą dla lepszego przewodnictwa. Prąd doprowadzamy do wody przez zanurzoną w niej blachę żelazną. Im głębiej jest blacha zanurzona, tem mniejszy opór mamy w oporniku, ponieważ prąd wchodzi do wody przez większą powierzchnię. Można stosować także naczynia drewniane lub gliniane, ale wtedy prąd doprowadzamy przez dwie lub więcej blach czy rur.

10. Izolatory.

Oprócz materiałów, stosowanych do prowadzenia prądu elektrycznego mają duże znaczenie w elektrotechnice materiały, służące do zabezpieczenia przewodników od upływu prądu przez obwody postronne, gdzie praca prądu byłaby stracona. Materiały takie nazywają się izolacyjnymi, albo krócej izolacją lub izolatorami.

Przewodniki miedziane w maszynach odosobniamy czyli izolujemy zazwyczaj bawełną lub papierem, przesyconym odpowiednim lakierem. W przyrządach małych cienkie druty

owijane są jedwabiem. Przy wysokich napięciach oprócz bawłny i papieru stosowana jest mika*). Przewody prowadzące prąd po ścianach, mają izolację z bawełny i gumy, a umocowujemy je na gałkach porcelanowych. Przewody gołe napowietrzne zawieszamy na porcelanowych lub szklanych izolatorach. Wszystkie te materiały izolacyjne: bawełna, papier, mika i t. d. nie przepuszczają prądu prawie zupełnie. Oporność ich jest nadzwyczaj wielka. Dla porównania przypominamy, że oporność drutu miedzianego długości 1 metra o przekroju 1 milimetra kwadratowego wynosi 0,0175 Ω . Jeżeli by taki sam przewodnik zrobić z twardej tektury, stosowanej w fabrykach elektrotechnicznych, to jego oporność wyniosła by 110000 bilionów omów. Oporność miki, porcelany i szkła jest jeszcze większa.

Należy zresztą nadmienić, że w elektrotechnice wartość materiału izolacyjnego ocenia się zazwyczaj nie podług oporności właściwej, ale podług wytrzymałości na przebicie.

Gdy izolator oddziela dwa przewodniki, połączone z różnymi biegunami źródła prądu, to przy zbyt wielkiem napięciu prąd przebija izolator, wypala w nim dziurkę i między przewodnikami powstaje połączenie przez spalony izolator, który w tem miejscu przestaje już izolować.

Napięcie najmniejsze, przy którym izolator zostaje przebity, zależy od wytrzymałości jego na przebicie. Np. płytkę miki grubości 1 mm. przebija prąd elektryczny przy napięciu 20000 woltów; taką samą płytkę z twardej tektury przebija prąd przy napięciu 5000 woltów. Mika jest cztery razy wytrzymalsza od tektury. Dobry materiał izolacyjny powinien być suchy, ścisły, a więc niewsiąkliwy i możliwie trudнопalny.

Powietrze tem lepiej izoluje, im jest gęstsze. W zwykłych warunkach dla przebicia warstwy powietrza, której grubość wynosi około milimetra, potrzeba napięcia, około kilku tysięcy woltów.

*) Cienkie listki łupane z kamienia mikowego; wydobywanego z ziemi.

Olej, służący do izolacji w niektórych maszynach, jest elektrycznie wytrzymalszy od powietrza. Dobry olej izolacyjny musi być pozbawiony wilgoci, nie może zawierać kwasu i jak najmniej smoły. Oprócz izolacji, olej często chłodzi uzwojenia i rdzenie żelazne przyrządów elektrycznych. Tu ważnem jest, aby olej łatwo obiegał, unosząc ciepło z części gorących do zimnych. Z tego względu olej musi być płynny o cięż. właści. 0,85 do 0,92, jeżeli ciężar właści. wody przyjmujemy za jednostkę.

Im wyższe jest napięcie, które przebija izolator, a także im dłużej może on wytrzymać wysokie napięcie bez przebicia, tem lepszy jest izolator.

Wytrzymałość elektryczną izolatorów, określa najniższe napięcie przebijające ten izolator, przypadające na jeden centymetr grubości izolatora.

Liczby, wyrażające wytrzymałość elektryczną różnych materiałów izolacyjnych, podajemy w zestawieniu, gdzie mamy dość szerokie granice ze względu na różnorodność materiałów stosowanych w praktyce, mających jednak tę samą nazwę.

Dla powietrza	około	20000	woltów na centymetr
„ oleju	„	100000	„ „ „
„ porcelany	„	100000	„ „ „
„ szkła	„	150000*)	„ „ „
„ papieru **)	od 180000 do	300000	„ „ „
„ miki	od 500000 do	1000000	„ „ „

Przy stosowaniu materiałów izolacyjnych grubość ich bierzemy kilka razy większą od tej, przy której izolator zostałby przebity. Dla napięć niższych, stosuje się stopień bezpieczeństwa—większy.

11. Zwarcie.

Prąd w przewodnikach urządzeń elektrycznych zależy od liczby włączonych równolegle odbiorników. Więc np. gdy

*) są jednak gatunki znacznie wytrzymalsze.

**) odpowiednio nasyconego.

mamy 100 lamp, z których każda bierze $0,5A$, to największy prąd, gdy wszystkie lampy świecą, wynosi:

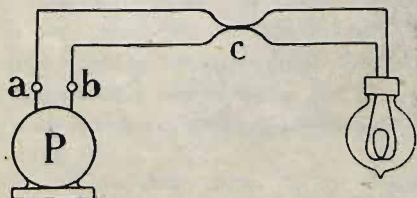
$$0,5 \times 100 = 50A.$$

Przewodniki w prądnicy i przewody, doprowadzające prąd do lamp, mają odpowiedni przekrój, przy którym powyższy prąd nie wywołuje zbyt silnego ogrzewania przewodników. Zachodzą jednak czasem niezwykle okoliczności, skutkiem których prąd wzrasta powyżej $50A$ i wtedy przewodniki byłyby uszkodzone, jeżeliby w przewidywaniu tego nie włączano w obwód topliwych pasków albo drucików, zwanych bezpiecznikami. Paski lub druciki w bezpieczniku stapiają się, gdy prąd popłynie zbyt wielki*).

W urządzeniach elektrycznych powstają wielkie nadmierne prądy w dwóch wypadkach: przy zwarciu przewodników i przy uziemieniu przeciwnych biegunów urządzenia elektrycznego, czyli przy zwarciu przez ziemię.

Zwarcie przewodników w miejscu C na rys. 15 polega na tem, że skutkiem uszkodzenia izolacji**) czy też przez zetknięcie przewodników gołych, przeciwnych biegunów, powstaje obwód o bardzo małej oporności $acbPa$ na rys. 15. Opór takiego obwodu wynosi nieraz dziesiąte, a nawet setne części oma i wtedy przy elektromotorycznej sile $110V$ powstaje prąd bardzo wielki. Załóżmy np., że oporność tego obwodu wyniesie $0,1\Omega$, to według prawa Ohma prąd będzie:

$$\frac{110}{0,1} = 1100 A.$$



Rys. 15.

W rzeczywistości, przy powstaniu bardzo wielkiego prądu, siła elektromotoryczna prądnicy słabnie nieco i skutkiem tego prąd przy zwarciu nie osiąga obliczonej powyżej wielkości.

*) Zwykle druciki stapiają się najwyżej w ciągu 2 minut, o ile prąd będzie dwa razy większy od normalnego $Np. 50 \times 2 = 100A$.

**) Np. przez gwóźdź, wbity pomiędzy przylegające do siebie przewody

Zwarcie, tak zwane, przez ziemię powstaje wtedy, gdy przewodniki różnych biegunów zetkną się jednocześnie z wilgotną ścianą, z rurą wodociagową lub gazową, z konstrukcją żelazną i t. p. Wtedy powstaje również obwód o małej oporności, zamknięty przez wilgotną ścianę, przez rurę żelazną, konstrukcję metalową lub wilgotną ziemię.

12. Elektroliza.

Przewodniki metalowe nie ulegają żadnym zmianom chemicznym pod wpływem prądu, natomiast z roztworów soli i kwasów prąd elektryczny wydziela różne składowe części. Tak np. z kwasu siarkowego prąd wydziela gazy tlen i wodór z kopperwasu miedzanego czyli siarczanu miedzi wydziela miedź, z sody — kwas i ług i t. p.

Takie działanie prądu elektrycznego nazywamy **elektrolizą**, a to wszystko, co prąd wydziela — **wytworami elektrolizy**.

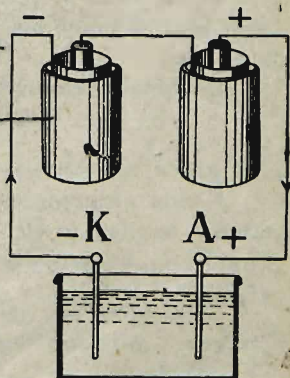
Na rys. 16 widzimy naczynie z roztworem, w którym są pogrążone dwie płytki *K* i *A*, prądu dostarcza baterja, składająca się z dwóch ogniw galwanicznych, połączonych w szereg.

Wytwory elektrolizy powstają zawsze na zanurzonych w roztworze płytkach lub drutach metalowych *A* i *K*, zwanych **elektrodami**.

Metale, gaz wodór i ług wydzielają się na elektrodzie, połączonej z ujemnym biegunem źródła prądu. Ta elektroda nazywa się **katodą**. Kwasy i gaz tlen wydzielają się na elektrodzie, połączonej z dodatnim biegunem źródła prądu, zwanem **anodą**.

Elektroliza odbywa się podług prawa, podanego przez Faraday'a*).

Ilość wydzielonych przy elektrolizie wytworów jest wprost



Rys. 16.

*) Czytaj Faradeja.

proporcjonalna do ilości elektryczności, która przepłynęła przez roztwór.

Ilość elektryczności obliczamy, mnożąc natężenie prądu przez czas. Np. jeżeli prąd ma natężenie 5 amperów i płynie w ciągu 4 godzin, to: ilość elektryczności $= 5 \times 4 = 20$ amperogodzin.

Wogóle, oznaczając ilość elektryczności przez q , natężenie prądu przez i , a czas przez t , napiszemy wzór:

$$q = i \cdot t.$$

Amperogodzina jest praktyczną jednostką miary ilości elektryczności; taka ilość elektryczności przepływa w obwodzie w ciągu godziny, jeżeli w tym czasie natężenie prądu stale wynosi jeden amper.

Z praktyki wiadomo, jaką ilość różnych ciał wydziela jedna amperogodzina.

Miedzi wydziela jedna amperogodzina 1,184 gramów

niklu " " " 0,731 "

srebra " " " 4,025 "

złota " " " 2,425 "

Liczby te stosują się do elektrolizy soli najczęściej używanych *).

Mając taką tablicę, łatwo obliczymy, np. ile miedzi wydzieli prąd 6 amperów w ciągu 10 godzin z roztworu siarczanu miedzi.

Ilość elektryczności, która przepłynęła w tym czasie wynosi:

$$q = 6 \times 10 = 60 \text{ amperogodzin,}$$

czyli krócej 60 Ah.

Każda amperogodzina wydziela z siarczanu miedzi 1,184 gramów miedzi, to 60 amperogodzin wydzieli 60 razy więcej:

$$1,184 \times 60 = 71,04 \text{ gramów.}$$

Elektroliza ma najważniejsze zastosowanie w galwanoplastyce i galwanostegji. Galwanoplastyką nazywamy przy-

*) Dla miedzi tak zwanej dwuwartościowej, dla niklu trójwartościowego, dla srebra jednowartościowego i złota trójwartościowego.

gotowanie za pomocą prądu elektrycznego odbitek z różnych przedmiotów, na których osadzamy grubą warstwę jakiegoś metalu np. miedzi. Galwanostegja zaś jest to pokrywanie metalowych przedmiotów cienką warstwą srebra, złota, niklu i t. p. za pomocą prądu elektrycznego.

13. Wykrywanie biegunów źródła prądu za pomocą elektrolizy.

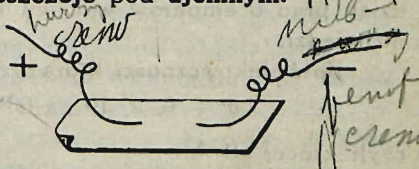
Przez elektrolizę łatwo jest wykryć znak bieguna prądu t. j. określić, czy pewien drut jest połączony z dodatnim, czy z ujemnym biegunem źródła.

W tym celu można użyć papiarka lakmusowego*). Papierek taki najlepiej zmoczyć śliną, położyć na drzewie i przytknąć dwa druty, prowadzące od różnych biegunów źródła prądu, jak to wskazane na rys. 17. Jeżeli napięcie źródła prądu jest małe, np. kilka woltów, to należy umieścić druciki jak najbliżej do siebie, nie stykając jednak ze sobą. Przy napięciach wyższych, np. 100 V i więcej, druty lepiej dotykać do papierka zdala od siebie np. na odległość 1 centymetra.

Prąd przebiega przez papierek i on czerwienieje pod biegunem dodatnim, a niebieszczeje pod ujemnym.

Zamiast niebieskawych papierków lakmusowych można stosować papierki białe, tak zwane biegunowe, przyrządzane specjalnie dla wykrywania biegunów. Gdy papierek biały zwilżymy wodą i przytkniemy druty, połączone z różnymi biegunami źródła prądu, to papierek biały czerwienieje pod biegunem ujemnym.

Oprócz papierków stosowane są jeszcze rurki szklane z płynem zawierającym roztwór soli z fenolfaleiną rys. 18.

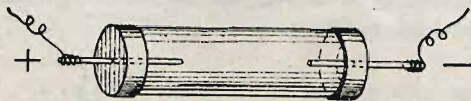


Rys. 17.

*) Papierek taki można dostać w aptece; ma on kolor niebieskawcy.

Pod wpływem prądu płyn czerwienieje wokoło bieguna ujemnego.

Gdy po przerwaniu prądu płyn skłócić; to czerwone zabarwienie znika i rurkę można znowu użyć do nowej próby.



Rys. 18.

Wszystkie te sposoby wykrywania biegunów polegają na zjawisku elektrolizy. Sól w roztworze zawarta w papierku, lub w rurce, rozkłada się pod wpływem prądu: na biegunie dodatnim wydziela się kwas, a na ujemnym ług.

Gdy mamy papierek lakmusowy przesycony odwarem z korzeni pewnej rośliny, to kwas go czerwieni, a ług niebieszczy. Biały papierek i roztwór w rurce zawierają fenolftealeinę czerwieniejącą pod wpływem ługu.

14. Prawo Joule'a*).

Wszystkie przewodniki bez wyjątku ogrzewają się pod wpływem prądu elektrycznego. Tłumaczymy to sobie tem, że przy przejściu prądu elektrycznego wewnątrz przewodników powstaje ciepło. Uczony Joule ułożył prawo, określające ilość powstającego ciepła.

Ilość ciepła, powstającego pod wpływem prądu, jest wprost proporcjonalna do drugiej potęgi natężenia prądu, do oporności przewodnika i do czasu w ciągu którego prąd przepływał.

Gdy prąd wzrośnie np. trzy razy, to ilość wydzielającego się ciepła zwiększy się dziewięć razy, jeżeli zaś opór przewodnika albo czas zwiększy się trzy razy, to ilość powstającego ciepła zwiększy się również tylko trzy razy.

Ilość ciepła mierzymy w ciepłostkach małych lub dużych (inaczej gramokalorjach i kilogramokalorjach). Jedna mała ciepłostka jest to taka ilość ciepła, która jeden gram wody

*) Czytaj Dżaula.