

ROZDZIAŁ XIII.

Prawa Ohma i Kirchhoffa dla prądów stałych.

Prądy stałe są niezmiennie w czasie, a natężenie ich na całej długości przewodnika nierozgałęzionego jest jedno i to samo; wszystkie więc, poprzednio wyprowadzone wzory, mogą być zastosowane wprost do prądów stałych, przyczem znaczki t można opuścić, ponieważ odpowiednie wielkości są niezmiennie w czasie.

Dla przypomnienia zestawimy wzory praw zasadniczych oznaczając stałą wartość natężenia prądu przez I , a napięcie przez V .

Prawo Ohma:

rys. 88 $I = \frac{V}{R}$, (1)

rys. 89 $I = \frac{V}{\Sigma r}$, (2)

rys. 90 $I = \frac{V + \Sigma E}{R}$, (3)

rys. 91 $I = \frac{\Sigma E}{\Sigma R_k}$ (4)

Prawa Kirchhoffa:

według prawa pierwszego:

$$\Sigma I = 0, (5)$$

według prawa drugiego:

$$\Sigma I R = \Sigma E. (6)$$

Chcąc ułatwić zastosowanie tych praw w praktyce, podaję niżej szereg przykładów.

1. Opór pojedynczy. Obliczyć natężenie prądu w napowietrznym przewodniku tramwajowym o przekroju 50 mm^2 , przy spadku napięcia, wynoszącym 12 woltów na długości jednego kilometra.

Dla rozwiązania tego zagadnienia znajdziemy przedewszystkiem, na podstawie wzoru podanego w rozdziale V, oporność drutu. Oporność właściwą drutów tramwajowych, wyrabianych z miedzi, przyjmijmy $\frac{1}{57}$.

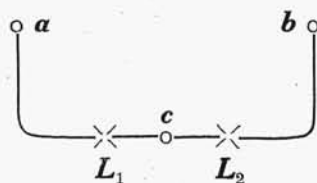
Przy przekroju 50 mm^2 oporność takiego drutu wyniesie:

$$\frac{1}{57} \cdot \frac{1000}{50} = 0,351 \, \Omega.$$

Spadek napięcia na długości jednego kilometra stanowi 12 woltów, to znaczy, że różnica potencjałów pomiędzy dwoma punktami drutu, znajdującymi się na odległości jednego kilometra, wynosi 12 woltów; wobec tego prąd obliczyć należy na podstawie równania (1) prawa Ohma:

$$I = \frac{12}{0,351} = 34,2 \text{ ampera}.$$

2. Dwa opory połączone w szereg. Obwód składa się z dwóch lampek żarowych L_1 i L_2 (rys. 94); lampka L_1 ma nitkę węglową, której oporność wynosi $200 \, \Omega$, lampka zaś L_2 posiada nitkę metalową o oporności $750 \, \Omega$. Napięcie pomiędzy punktami a i b równa się 220 woltom. Należy określić prąd, przepływający przez lampki i napięcie, na poszczególnych lampkach, t. j. między punktami a i c i c i b .



Rys. 94.

Stosując wzór (2) prawa Ohma, znajdziemy: ¹⁾

$$I = \frac{220}{200 + 750} = 0,2315 \text{ amp.}$$

Po przekształceniu wzoru (1) otrzymamy:

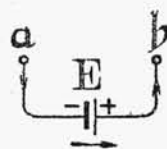
$$V = I \cdot R$$

Zastosujemy ten wzór do poszczególnych części obwodu. Oznaczmy napięcie pomiędzy punktami a i c , przez V_1 , a pomiędzy punktami c i b przez V_2 ; mając na uwadze, że prąd w obwodzie nierozgałęzionym jest wszędzie ten sam, otrzymamy:

$$V_1 = 0,2315 \cdot 200 = 46,3 \text{ woltów.}$$

$$V_2 = 0,2315 \cdot 750 = 173,7 \text{ woltów.}$$

3. Przewodnik, w którym kierunek siły elektromotorycznej jest zgodny z kierunkiem prądu. Pomiedzy końcówkami a i b na rys. 95. mamy napięcie 6 woltów skierowane od a do b w przypuszczeniu, że cząstka obwodu jest odbiornikiem, a więc $V_a > V_b$ czyli a jest $(+)$ a b jest $(-)$. Siła elektromotoryczna ogniwa, włączonego pomiędzy końcówkami a i b , wynosi 1,5 wolta i jest zwrócona od a do b , a całkowita oporność cząstki obwodu ab — $5 \, \Omega$ (rys. 95). Według powyższych danych mamy obliczyć natężenie prądu.



Rys. 95.

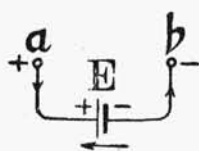
¹⁾ Opór przewodników łączących pomijamy, jako bardzo mały w porównaniu do oporu lamp.

Posiłkujemy się wzorem (3) prawa Ohma, gdzie przyjęliśmy dodatni kierunek prądu za zgodny z napięciem na końcówkach ab , t. j. od potencjału wyższego do niższego, więc:

$$I = \frac{6 + 1,5}{5} = 1,5 \text{ amp.}$$

Natężenie prądu otrzymaliśmy dodatnie, więc prąd płynie rzeczywiście od a do b . Gdybyśmy otrzymali I ujemne świadczyłoby to o tem że, prąd płynie w stronę przeciwną.

4. Przewodnik, w którym kierunek siły elektromotorycznej jest przeciwny kierunkowi prądu. Tak samo jak w przykładzie poprzednim na końcówkach a, b (rys. 96), mamy napięcie, równe 6 voltom.



Rys. 96

Końcówka a jest dodatnia, a b ujemna. Ogniwo galvaniczne włączyliśmy teraz w ten sposób, że siła elektromotoryczna tego ogniwa jest zwrócona od b do a . Wielkość tej siły elektromotorycznej równa się 2,5 wolta, a opór pomiędzy punktami a i b — 5 Ω .

W celu obliczenia natężenia prądu zakładamy, że prąd płynie od a do b , i na podstawie wzoru (3) prawa Ohma otrzymujemy:

$$I = \frac{6 - 2,5}{5} = 0,7 \text{ amp.}$$

I w tym przypadku otrzymaliśmy natężenie prądu dodatnie, zatem prąd płynie rzeczywiście od a do b .

5. Przewodnik, w którym mamy kilka sił elektromotorycznych, skierowanych w jedną stronę i prąd wypada zgodny z siłami elektrom. Na końcówkach a, b mamy napięcie 6 voltów, skierowane od a do b , a — plus, b — minus (rys. 97). Pięć ogniw galvanicznych włączyliśmy w ten sposób, że wszystkie siły elektromotoryczne skierowane są od b do a .



Rys. 97

Siła elektromotoryczna każdego ogniwa wynosi 2 wolt, a oporność całkowita części obwodu pomiędzy punktami a i b — 8 Ω .

W celu obliczenia natężenia prądu zakładamy, że prąd płynie od a do b , t. j. w kierunku napięcia na końcówkach a, b , stosownie do wzoru (3) prawa Ohma wtedy:

$$I = \frac{6 - 5 \cdot 2}{8} = - 0,5 \text{ amp.}$$

Wynik obliczenia wskazuje, że prąd, wynoszący pół ampera, płynie w kierunku odwrotnym do tego, który założyliśmy, wbrew napięciu na końcówkach, t. j. od potencjału niższego do wyższego, a zgodnie z siłami elektromotorycznymi, więc rozważana część obwodu jest źródłem prądu. W tych warunkach lepiej przyjąć dodatni kierunek

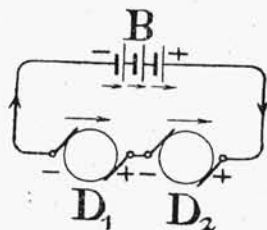
prądu i napięcia od potencjału niższego do wyższego, wtedy według wzoru na stronie 107:

$$I = \frac{5 \cdot 2 - 6}{8} = +0,5 \text{ amp.}$$

Prąd wypada tak samo w kierunku od b do a , gdyż według nowego założenia jest to kierunek dodatni prądu.

6. Obwód zamknięty z kilku siłami elektromotorycznymi.

W obwodzie (rys. 98) mamy baterję akumulatorów B , składającą się z 60 ogniw, połączonych w szereg w ten sposób, że siły elektromotoryczne poszczególnych ogniw są zwrócone w jedną stronę, pozatem są dwie prądnice (dynamomaszyny) D_1 i D_2 , które wytwarzają siły elektromotoryczne w kierunkach, wskazanych na rysunku. Siła elektromotoryczna każdego ogniwa baterji wynosi $2,5 \text{ V}$, a oporność wewnętrzna $0,001 \Omega$. Siły elektromotoryczne prądnic: 120 V i 60 V , a ich oporności wewnętrzne $0,2 \Omega$ i $0,3 \Omega$, oporność przewodników, łączących między sobą poszczególne przyrządy w rozważanym obwodzie stanowi $0,04 \Omega$. W celu obliczenia natężenia prądu w takim obwodzie przyjmijmy dowolnie, że prąd ten płynie np. w kierunku ruchu wskazówek zegara.



Rys. 98.

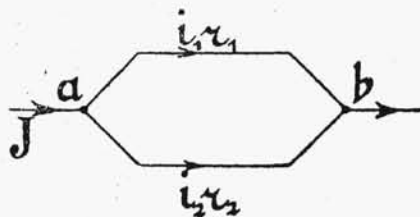
Według wzoru (4) prawa Ohma:

$$I = \frac{2,5 \cdot 60 - 60 - 120}{0,001 \cdot 60 + 0,2 + 0,3 + 0,4} = -50 \text{ amp.}$$

Prąd otrzymaliśmy ujemny, co świadczy o tem, że w rzeczywistości prąd płynie w kierunku odwrotnym do założonego i wskazanego na rysunku. Prąd płynie tu w kierunku sił elektromotorycznych prądnic, ponieważ suma tych sił jest większa od siły elektromotorycznej całej baterji, stanowiącej sumę sił elektromotorycznych poszczególnych ogniw.

7. Rozgałęzienie na dwa prądy. Mając część obwodu (rys. 99), w której znajduje się rozgałęzienie na dwa przewody, można łatwo na podstawie praw Kirchhoffa i Ohma znaleźć wyrażenia matematyczne dla prądów i_1 i i_2 , przepływających w poszczególnych gałęziach.

Oznaczmy przez I prąd przed rozgałęzieniem, a przez r_1 i r_2 opory w rozgałęzieniach.



Rys. 99.

Na podstawie pierwszego prawa Kirchhoffa, według wzoru (5) możemy dla punktu a napisać:

$$I - i_1 - i_2 = 0.$$

Na podstawie zaś drugiego prawa Kirchhoffa według wzoru (6), dla

obwodu zamkniętego, składającego się z oporów r_1 i r_2 , wypada:

$$i_1 \cdot r_1 - i_2 \cdot r_2 = 0.$$

Rozwiązując powyższe dwa równania, otrzymamy:

$$i_1 = I \cdot \frac{r_2}{r_1 + r_2}; \quad i_2 = I \cdot \frac{r_1}{r_1 + r_2}.$$

Z tych wzorów wynika, że:

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_2}{r_1}.$$

Prądy rozgałęzione są odwrotnie proporcjonalne do oporności tych gałęzi, w których przepływają.

Przykład liczbowy: $I = 100$ amp., $r_1 = 1 \Omega$, $r_2 = 99 \Omega$.

$$i_1 = 100 \frac{99}{99 + 1} = 99 \text{ amp.}; \quad i_2 = 100 \frac{1}{99 + 1} = 1 \text{ amp.}$$

Po przewodniku o małym oporze płynie 0,99 całego prądu, a po przewodniku o dużym oporze zaledwie 0,01 całego prądu.

8. Oporność wypadkowa przewodników rozgałęzionych.

W punkcie a (rys. 100) przewodnik rozgałęzia się na kilka przewodników połączonych równolegle. Oporności tych przewodników są $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$. Oznaczamy prąd przed rozgałęzieniem przez I , a prądy w poszczególnych gałęziach przez $i_1, i_2, i_3, \dots, i_n$.

Znajdźmy oporność, jaką miałby jeden przewodnik, który, włączony pomiędzy punktami a i b zamiast wszystkich oporów równoległych, przepuściłby w tych samych warunkach cały prąd I .

Gdy napięcie pomiędzy punktami a i b jest V , wtedy na zasadzie prawa Ohma dla poszczególnych przewodników mamy:

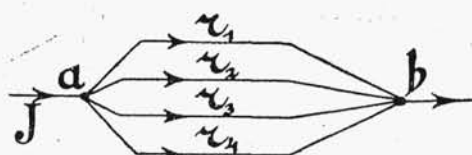
$$i_1 = \frac{V}{r_1},$$

$$i_2 = \frac{V}{r_2},$$

$$i_3 = \frac{V}{r_3},$$

$$\dots\dots\dots$$

$$i_n = \frac{V}{r_n},$$



Rys. 100

Dodając te równania, otrzymamy:

$$I = V \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \dots\dots\dots + \frac{1}{r_n} \right)$$

Oznaczamy przewodność poszczególnych gałęzi przez: $g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$, wtedy będziemy mieli:

$$I = V \cdot (g_1 + g_2 + g_3 + \dots\dots\dots + g_n).$$

Sumę poszczególnych przewodności nazwiemy przewodnością wypadkową. Oznaczmy tę przewodność przez G , wtedy:

$I = V \cdot G$, gdzie: $G = g_1 + g_2 + g_3 + \dots + g_n$.

Przewodność wypadkowa szeregu równoległe połączonych przewodników równa się sumie przewodności przewodników poszczególnych.

Oporność wypadkową R jest odwrotnością przewodności, więc:

$$R = \frac{1}{G}.$$

$$R = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_n}}.$$

W przypadku szczególnym, gdy mamy tylko dwa równoleg. przewodniki:

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

A gdy mamy n przewodników o jednakowej oporności r , połączonych równoległe, to:

$$R = \frac{1}{n \cdot \frac{1}{r}} = \frac{r}{n}.$$

9. Obliczyć prądy w układzie przewodów rozgałęzionych.

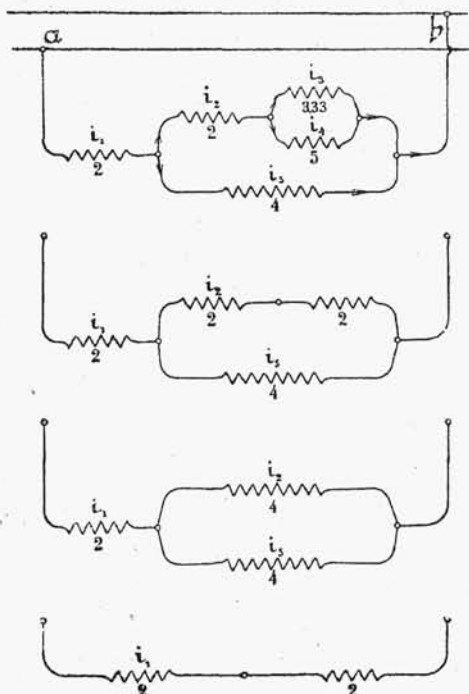
Pomiędzy punktami a i b (rys. 101a) mamy napięcie 120 V. Wielkości poszczególnych oporów wskazane są na rysunku. W celu obliczenia natężenia prądów i_1, i_2, i_3, i_4, i_5 , za- (a) stępujemy dany układ przewodników stopniowo coraz prostszym.

Przedewszystkiem łączymy opory: 3,33 Ω i 5 Ω w jeden wypadkowy według wzoru § poprzedniego: (d)

$$\frac{1}{3,33} + \frac{1}{5} = \frac{1}{2}.$$

Zastępczy opór wynosi więc (c) 2 Ω (rys. 101 b). Dalej z dwu oporów 2 Ω i 2 Ω , połączonych w szereg, wyliczamy opór wypadkowy:

$$2 \Omega + 2 \Omega = 4 \Omega.$$



Rys. 101.



W ten sposób mamy już układ wskazany na rys. 101 c. Łącząc razem dwa równoległe opory 4Ω i 4Ω , znajdziemy:

$$\frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2},$$

czyli opór wypadkowy 2Ω i w ten sposób przejdziemy do układu na rys. 101 d. Prąd i_1 w tym układzie przewodów znajdziemy ze wzoru:

$$i_1 = \frac{120}{2+2} = 30 \text{ amp.}$$

Prądy i_2 i i_3 (rys. 101 c) będą:

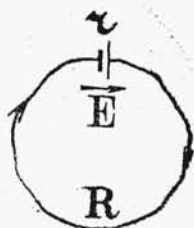
$$i_2 = i_3 = \frac{30}{4+4} \cdot 4 = 15 \text{ amp.}$$

Prądy i_3 i i_4 (rys. 101 a) wypadną:

$$i_3 = \frac{15}{3,33+5} \cdot 5 = 9 \text{ amp.}$$

$$i_4 = \frac{15}{3,33+5} \cdot 3,33 = 6 \text{ amp.}$$

10. Moc maksymalna w obwodzie zewnętrznym. Mamy obwód (rys. 102), składający się z jednego ogniwa galwanicznego i drutu, łączącego pomiędzy sobą jego końcówki. Oznaczamy przez r oporność wewnętrzną ogniwa, przez R oporność drutu, stanowiącego, tak zwany, obwód zewnętrzny, przez E siłę elektromotoryczną ogniwa.



Rys. 102

Należy wyznaczyć, jaka ma być oporność R w stosunku do r , aby ilość ciepła, wydzielającego się w obwodzie zewnętrznym, była maksymalna. Że taki R być musi wynika to z następującego rozumowania: Moc prądu, równoważna ilości ciepła, wywołującej się w jednostce czasu w obwodzie zewnętrznym przy natężeniu prądu I jest:

$$I^2 \cdot R.$$

Dla obwodu zamkniętego (rys. 102), według wzoru (4) prawa Ohma:

$$I = \frac{E}{r+R}.$$

Po podstawieniu tego wyrazu we wzór poprzedni, otrzymamy:

$$\frac{E^2 \cdot R}{(r+R)^2}, \text{ albo } \frac{E^2}{\left(\frac{r}{R} + 1\right)^2} \cdot R.$$

Te dwa wyrażenia mocy prądu wskazują, że przy $R=0$ i przy $R=\infty$, moc ta będzie zerem, jest przeto pewna wartość R , przy której powyższa moc będzie maksymalna.

Tę wartość oporności R , przy której omawiana moc stanie się maksymalną, znajdziemy, wyznaczając pochodną powyższego wyrazu względem R i przyrównując tę pochodną do zera.

Pochodna wyrazu:

$$\frac{E^2 \cdot R}{(r+R)^2}$$

względem R będzie:

$$\frac{E^2}{(r+R)^2} - \frac{2 \cdot E^2 \cdot R}{(r+R)^3},$$

ona ma być równa zeru, a więc:

$$\frac{E^2}{(r+R)^2} - \frac{2 \cdot E^2 \cdot R}{(r+R)^3} = 0,$$

lub:

$$(r+R) - 2R = 0,$$

skąd:

$$r = R.$$

Wynik tych rozważań matematycznych wskazuje, że w obwodzie zewnętrznym ilość ciepła maksymalna wytworzy się wtedy, gdy oporność obwodu zewnętrznego równać się będzie oporności obwodu wewnętrznego.

Należy jednak zwrócić uwagę jeszcze na jeden szczegół. Rozważając wspomniane urządzenie jako przyrząd ogrzewający i przypuszczając, że tylko ciepło obwodu zewnętrznego może być zużytkowane, przekonamy się łatwo, że tego rodzaju urządzenie przy maksymalnej mocy nie będzie bardzo oszczędne.

Ze wzoru prawa Ohma wynika, że:

$$E = I \cdot r + I \cdot R.$$

Mnożąc to równanie przez I , otrzymamy:

$$E \cdot I = I^2 \cdot r + I^2 \cdot R.$$

$E \cdot I$ jest to cała moc prądu, dostarczona przez ogniwo galwaniczne. Z tej mocy $I^2 \cdot r$ wytwarza ciepło wewnątrz ogniwa, a $I^2 \cdot R$ w obwodzie zewnętrznym. Ponieważ zaś w przypadku rozważanym:

$$r = R,$$

przeto

$$I^2 \cdot r = I^2 \cdot R$$

i

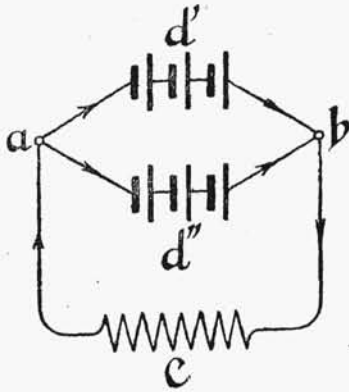
$$I^2 \cdot R = \frac{E \cdot I}{2}$$

Stosunek energii pożytecznej, otrzymanej z tego przyrządu, do ilości energii dostarczonej do przyrządu nazywamy jego sprawnością. Gdy moc prądu jest stała, stosunek energii równa się stosunkowi mocy i wtedy sprawność rozważanego urządzenia będzie;

$$\eta = \frac{I^2 \cdot R}{E \cdot I} = \frac{1}{2} = 50\%.$$

Dla urządzeń elektrycznych o prądach silnych jest to sprawność mała

11. Prąd w obwodzie baterji ogni. Obliczmy prąd w części zewnętrznej obwodu, zasilanego z baterji ogni galwanicznych (rys. 103).



Rys. 103.

Baterja utworzona jest z m równoległych grup ogni. Każda grupa składa się z n ogni, połączonych w szereg. Na rysunku są wskazane dwie grupy równoległe, po trzy ogniwa w każdej grupie, połączone w szereg. Wszystkie ogniwa są jednakowe. Oporność każdego ogniwa wynosi r omów, a siła elektromotoryczna — E woltów. Oporność obwodu zewnętrznego R . Oporność drutów, łączących pomiędzy sobą poszczególne ogniwa, włączone są do oporności ogni.

Oznaczmy prądy w poszczególnych grupach ogni przez $i_1, i_2, i_3, \dots, i_m$, a prąd w części zewnętrznej obwodu przez I . Dla

każdego obwodu zamkniętego $a c b d' a$, czy $a c b d'' a$ i t. d. możemy według drugiego prawa Kirchhoffa ułożyć równania następujące:

$$\begin{aligned} IR + i_1 \cdot n \cdot r &= n \cdot E, \\ IR + i_2 \cdot n \cdot r &= n \cdot E, \\ &\dots\dots\dots \\ IR + i_m \cdot n \cdot r &= n \cdot E, \end{aligned}$$

a dodając je, otrzymamy:

$$m \cdot IR + n \cdot r \cdot (i_1 + i_2 + \dots + i_m) = m \cdot n \cdot E.$$

Na zasadzie pierwszego prawa Kirchhoffa:

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

a więc:

$$m \cdot I \cdot R + n \cdot r \cdot I = m \cdot n \cdot E,$$

skąd:

$$I = \frac{n \cdot E}{R + \frac{n \cdot r}{m}}$$

Jeżeli baterję stanowi tylko jedna grupa, utworzona z n ogni, połączonych w szereg, wtedy: $m = 1$, a

$$I = \frac{n \cdot E}{R + n \cdot r}.$$

Baterja, składająca się z m ogni, połączonych równoległe, jak widać z ogólnego wzoru, wytworzony prąd:

$$I = \frac{E}{R + \frac{r}{m}}$$

W tym przypadku w ogólnym wzorze $n = 1$.

12. Warunek największości prądu. Załóżmy, że mamy utworzyć baterję z pewnej liczby ogniów, którą oznaczmy przez p . Trzeba określić, na ile grup równoległych należy podzielić całą liczbę ogniów, aby w danym obwodzie zewnętrznym $a c b$ (rys. 103) otrzymać prąd najsilniejszy.

Jeżeli utworzymy m grup po n ogniów w każdej grupie, to:

$$p = m \cdot n,$$

stąd:

$$m = \frac{p}{n}$$

W poprzednim przykładzie wyprowadziliśmy wzór:

$$I = \frac{n \cdot E}{R + \frac{n \cdot r}{m}}$$

Rugując w tym wzorze m , przez podstawienie na miejsce m wyrazu $\frac{p}{n}$, otrzymamy:

$$I = \frac{n \cdot E}{R + \frac{n^2 \cdot r}{p}}$$

W celu określenia warunków, w których prąd będzie największy, znajdujemy pochodną tego wyrazu względem n i zakładamy, że ta pochodna równa się zeru:

$$\frac{dI}{dn} = \frac{E}{R + \frac{n^2 \cdot r}{p}} - \frac{2 \cdot E \cdot n^2 \cdot \frac{r}{p}}{\left(R + \frac{n^2 \cdot r}{p}\right)^2} = 0,$$

albo:

$$R + \frac{n^2 \cdot r}{p} - \frac{2 \cdot n^2 \cdot r}{p} = 0,$$

skąd:

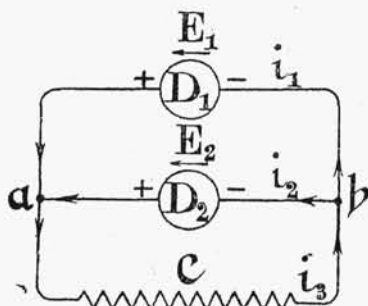
$$R = \frac{n^2 \cdot r}{p} = \frac{n \cdot r}{m}.$$

Wyraz $\frac{n \cdot r}{m}$ stanowi oporność wewnętrzną baterji; mamy tu m oporów równoległych, z których każdy składa się z n oporów, połączonych w szeregu, a każdy ze składowych oporów ma oporność r omów.

Na podstawie otrzymanych powyżej wyników, warunek największości prądu, wpływającego z baterji, można wyrazić w sposób następujący: ogniwa powinny być połączone ze sobą w ten sposób aby oporność wewnętrzna baterji równała się oporności obwodu zewnętrznego.

Zwykle można osiągnąć ten warunek tylko w przybliżeniu, ponieważ przez zmianę układu ogniw nie można otrzymać ciągłej zmiany oporności wewnętrznej baterji w dowolnych granicach.

13. Połączenie równoległe dwóch różnych źródeł prądu. Mamy obwód (rys. 104), utworzony z dwóch źródeł prądu: D_1 i D_2 i przewodnika acb . Kierunki sił elektromotorycznych źródeł prądu wskazane są na rysunku.



Rys. 104

Siła elektromotoryczna $E_1 = 120 \text{ V}$, a $E_2 = 100 \text{ V}$. Nadto znane są także oporności poszczególnych części obwodu, mianowicie oporność części aD_1b wynosi $0,2 \Omega$, części aD_2b — $0,5 \Omega$, a części acb — 2Ω . Według tych danych obliczymy wielkości i kierunki prądów w poszczególnych częściach obwodu.

Części obwodu nierozgałęzionych mamy tutaj trzy: aD_1b , aD_2b i acb . W każdej więc z nich będzie płynął inny prąd; oznaczmy te prądy w tejże kolei przez i_1 , i_2 , i_3 i przyjmijmy zupełnie dowolne kierunki prądów, wskazane na rysunku.

Według pierwszego prawa Kirchhoffa układamy równanie:

$$i_3 - i_1 - i_2 = 0,$$

a według drugiego prawa Kirchhoffa dwa równania: jedno dla obwodu aD_1bca :

$$0,2 \cdot i_1 + 2 \cdot i_3 = 120,$$

a drugie dla obwodu aD_2bca :

$$0,5 \cdot i_2 + 2 \cdot i_3 = 100.$$

Rugując za pomocą pierwszego równania z dwu następnych i_3 , otrzymamy:

$$2,2 \cdot i_1 + 2 \cdot i_2 = 120,$$

$$2,5 \cdot i_2 + 2 \cdot i_1 = 100.$$

Z tych dwu równań otrzymujemy:

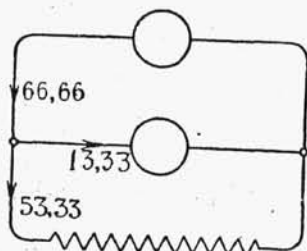
$$i_1 = 66,66 \text{ A},$$

$$i_2 = -13,33 \text{ A},$$

a według równania pierwszego:

$$i_3 = i_1 + i_2 = 66,66 - 13,33 = 53,33 \text{ A}.$$

Znak minus przed liczbą, wyrażającą natężenie prądu i_2 , oznacza, że prąd ten płynie w kierunku odwrotnym względem



Rys. 105

założonego poprzednio. Rzeczywisty układ prądów wskazany jest na rysunku 105.

14. Napięcie w miejscu przerywania obwodu. Rozważmy obwód (rys. 106.), składający się z szeregu przyrządów ζ_1 , ζ_2 i t. d., w których

mamy siły elektromotoryczne, i drutów, łączących te przyrządy ze sobą. Oznaczmy przez E_1, E_2 i t. d. siły elektromotoryczne, a przez R cały opór obwodu.

Gdy końce drutów a i b zetknijemy, obwód będzie zamknięty; wtedy końce a i b będą stanowiły jeden punkt obwodu, różnica więc potencjałów między nimi, czyli napięcie, oczywiście równać się będzie zero.

Przedstawmy sobie następnie, że końce drutów a i b zostały połączone ze sobą oporem dodatkowym r . Wtedy w obwodzie popłynie prąd, którego natężenie wyznaczmy na zasadzie prawa Ohma ze wzoru:

$$i = \frac{\Sigma E}{r + R}$$

Napięcie na końcach a i b oznaczamy przez V . Według prawa Ohma:

$$V = i \cdot r,$$

albo:

$$V = r \cdot \frac{\Sigma E}{r + R} = \frac{\Sigma E}{1 + \frac{R}{r}}$$

Przerwać obwód, znaczy to uczynić $r = \infty$, wtedy z powyższego równania wypada:

$$V = \Sigma E.$$

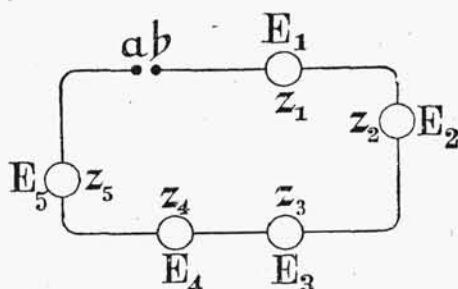
Napięcie między końcami przewodników w miejscu, gdzie przerywamy obwód, równa się sumie algebraicznej sił elektromotorycznych czynnych w tym obwodzie.

Więc np., gdy za pomocą przerywacza gasimy lampkę, zasilaną prądem prądnicą, mającej siłę elektromotoryczną 120 V , pomiędzy kontaktami przerywacza powstaje różnica potencjałów, wynosząca 120 V .

Twierdzenie powyższe stosuje się do przerwy w dowolnym miejscu obwodu, ponieważ wzory nie zależą zupełnie od tego, gdzie jest przerwa.

Z drugiej jednak strony twierdzenie to jest ściśle tylko wtedy, gdy wielkość sił elektromotorycznych nie zależy od natężenia prądu.

W przeciwnym razie należy to uwzględnić, wyrażając siły elektromotoryczne w zależności od prądów i zakładając natężenie prądu równe zero; wtedy możemy zupełnie ściśle powiedzieć, że napięcie w przerwie równa się sumie algebraicznej sił elektromotorycznych, działających w chwili, gdy prąd zmniejszy się do zera.



Rys. 106