sowane są jednak najczęściej naczynia kształtu, wskazanego na rys. 137.*) Wtedy należy wykonać dwa pomiary oporu. Przedewszystkiem wymierza się opór roztworu soli kuchennej, której przewodność właściwa dokładnie jest znana. Przy różnych temperaturach przewodność właściwa roztworu nasyconego soli kuchennej na 1 *cm* długości i 1 cm^2 przekroju wynosi:

przy 15° — 0,2015 Ω^{-1} cm^{-1}
„ 16° — 0,1063 „ „
„ 17° — 0,2112 „ „
„ 18° — 0,2161 „ „
„ 19° — 0,2210 „ „
„ 20° — 0,2260 „ „

Oznaczymy przewodność właściwą roztworu soli kuchennej przez γ oporność tego roztworu w powyższym naczyniu przez r, a spółczynnik zależny od wymiarów naczynia przez a, wtedy możemy napisać:

$$r = \frac{a}{\gamma}.$$

Następnie zaś należy zmierzyć w tym samym naczyniu oporność innego elektrolitu o przewodności γ_x. Oznaczymy tę oporność przez r_x; w takim razie będzie:

$$r_x = \frac{a}{\gamma_x}.$$

Z powyższych dwóch równań otrzymamy:

$$\gamma_x = \gamma \cdot \frac{r}{r_x}.$$

Tego rodzaju postępowanie wymaga oczywiście dokładnego wymycia naczynia wodą przekroploną (dystylowaną) przed nalaniem nowego elektrolitu i zważania na to, aby elektrody przy obu pomiarach zachowywały dokładnie to samo położenie.

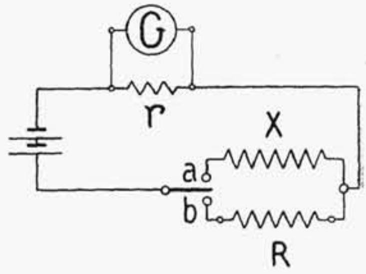
66. Mierzenie oporności wielkich.

Oporności wielkie (zwykle powyżej stu tysięcy omów) najdogodniej mierzyć przez porównanie bezpośrednie z oporem wiadomym, przepuszczając prąd z tego samego źródła raz przez opór znany i drugi raz przez opór nieznany.**) Odpowiedni układ połączeń wskazany jest na rys. 138,

*) Elektrody stosowane w tych naczyniach są platynowe, pokryte czernią platynową. Takie elektrody zapewniają małą gęstość prądu na ich powierzchni i przez to zabezpieczają od polaryzacji.

**) Inny sposób bardziej złożony, stosowany do mierzenia oporów bardzo wielkich czytelnik znajdzie w książce prof. Kazimierza Drewnowskiego: „Pomiary elektrotechniczne", Lwów r. 1914.

gdzie mamy źródło prądu stałego, R — wielki opór znany (np. 100.000 Ω), X — opór nieznany, r — bocznik do galwanometru G. Jeżeli przełącznik p znajduje się na kontakcie a, to w obwód włączony jest opór R; przy przesunięciu zaś przełącznika na kontakt b, włącza się opór nieznany X. Oznaczymy siłę elektromotoryczną źródła prądu przez E, oporność galwanometru przez g a oporności bocznika, stosownie do tego, czy w obwodzie włączony jest opór wiadomy, czy też niewiadomy, przez r_1 i r_2. Oporność boczników dobiera się w taki sposób, aby otrzymać w obu przypadkach odchylenia galwanometru możliwie zbliżone do siebie, niezbyt wielkie i niezbyt małe.



Rys. 138. Układ połączeń do pomiaru wielkich oporów.

Prądy w części nierozgałęzionej obwodu oznaczymy przez J_1 i J_2, w galwanometrze zaś przez i_1 i i_2, a to odpowiednio do tego, jaki opór jest włączony znany, czy nieznany.

Przyjmując oporność wewnętrzną źródła prądu i oporność przewodników łączących, jako bardzo małe, w porównaniu do innych oporności możemy na zasadzie prawa Ohma ułożyć równania:

$$J_1 = \frac{E}{R + \frac{r_1 \cdot g}{r_1 + g}},$$

$$J_2 = \frac{E}{X + \frac{r_2 \cdot g}{r_2 + g}}.$$

Na podstawie zaś znanych praw rozgałęzienia prądów:

$$J_1 = i_1 . \frac{r_1 + g}{r_1},$$

$$J_2 = i_2 . \frac{r_2 + g}{r_2}.$$

Załóżmy teraz, że prądy i_1 i i_2 wywołują w galwanometrze wychylenia α_1 i α_2, proporcjonalne do natężeń prądów. Oznaczając stałą galwanometru przez C, mamy:

$$i_1 = C . \alpha_1,$$

$$i_2 = C . \alpha_2.$$

Z powyższych sześciu równań wynika, że:

$$C \, . \, \alpha_1 = \frac{r_1}{r_1 + g} \, . \, \frac{E}{R + \dfrac{r_1 \, . \, g}{r_1 + g}} \, .$$

$$C \, . \, \alpha_2 = \frac{r_2}{r_2 + g} \, . \, \frac{E}{X + \dfrac{r_2 \, . \, g}{r_2 + g}} \, .$$

Dzieląc zaś jedno równanie przez drugie, otrzymamy:

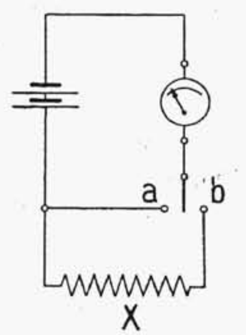
$$X = \left(R + \frac{r_1 \, . \, g}{r_1 + g} \right) . \, \frac{\alpha_1 \, . \, (r_1 + g) \, . \, r_2}{\alpha_2 \, . \, (r_2 + g) \, . \, r_1} - \frac{r_2 \, . \, g}{r_2 + g} \, .$$

Oporność galwanometru, łącznie z włączonym równolegle bocznikiem, można często pominąć wobec dużych oporów R i X, wtedy, opuszczając wyrazy $\frac{r_1 \, . \, g}{r_1 + r}$ i $\frac{r_2 \, . \, g}{r_2 + g}$ w powyższym wzorze, otrzymamy:

$$X = R \, . \, \frac{\alpha_1 \, . \, (r_1 + g) \, . \, r_2}{\alpha_2 \, . \, (r_2 + g) \, . \, r_1} \, .$$

W praktyce elektrotechnicznej podany wyżej sposób wyznaczania oporności stosuje się głównie do mierzenia oporności izolacji. Wtedy posługujemy się nieraz zamiast galwanometrów — woltomierzami, albo amperomierzami.

Przyrząd pomiarowy włącza się w obwód tak, jak wskazano na rys. 139; w razie potrzeby w obwód wprowadza się jeszcze opór dodatkowy. Ustawiając przełącznik na kontakcie a, łączymy przyrząd pomiarowy wprost ze źródłem prądu, przesuwając zaś przełącznik na kontakt b, wprowadzamy w obwód niewiadomy opór X.



Rys. 139. Pomiar oporu przez porównanie wychyleń przyrządu pomiarowego.

Oznaczmy opór przyrządu pomiarowego, łącznie z oporem dodatkowym, przez R, siłę elektromotoryczną źródła prądu przez E, a natężenia prądu, przy położeniach przełącznika na kontaktach a i b, odpowiednio przez i_1 i i_2. Wtedy otrzymamy: *)

$$i_1 = \frac{E}{R} \, ,$$

$$i_2 = \frac{E}{R + X} \, .$$

---

*) Opór źródła i przewodników, łączących poszczególne części obwodu pomiędzy sobą, pomijamy.

W amperomierzach i woltomierzach odchylenia wskazówek, odczytane na skali, są proporcjonalne do prądów, przepływających przez przyrządy pomiarowe, wprowadzając przeto zamiast prądów odchylenia wskazówki przyrządu pomiarowego α_1 i α_2, znajdziemy:

$$C \,.\, \alpha_1 = \frac{E}{R},$$

$$C \,.\, \alpha_2 = \frac{E}{R + X}.$$

Z tych równań wyznaczamy X:

$$X = R \,.\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - 1\right) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (a)$$

Chcąc otrzymać wyniki pomiaru jaknajdokładniejsze, trzeba stosować przyrządy pomiarowe różne dla różnych oporów niewiadomych. Przedewszystkiem należy oczywiście starać się o to, aby odchylenie α_1 było jaknajwiększe, a odchylenie α_2 odpowiadało zasadzie, że błąd względny*) w wyrazie

$$\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - 1\right)$$

powinien być jak najmniejszy.

Załóżmy, że przy odczytywaniu wskazania α_2 popełnimy błąd $\Delta\alpha_2$, wtedy błąd względny w wyrazie powyższym będzie:

$$\alpha_1 \,.\, \alpha_2^{-2} \,.\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - 1\right)^{-1} .\, \Delta\alpha_2 .$$

Wartość tego wyrazu osiąga minimum przy takiej wartości α_2, przy której pochodna spółczynnika przy $\Delta\alpha_2$ według α_2 będzie równa zeru.

Przekształcając powyższy czynnik, otrzymamy:

$$\alpha_1 \,.\, \alpha_2^{-2} \,.\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - 1\right)^{-1} = \frac{\alpha_1 \,.\, \alpha_2}{\alpha_2^2 \,.\, (\alpha_1 - \alpha_2)} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2 \,.\, (\alpha_1 - \alpha_2)}.$$

Pochodną zaś tego czynnika będzie:

$$\frac{d}{d\,\alpha_2}\left[\frac{\alpha_1}{\alpha_2 \,.\, (\alpha_1 - \alpha_2)}\right] = -\frac{\alpha_1}{\alpha_2^2 \,.\, (\alpha_1 - \alpha_2)^2} \cdot \frac{d}{d\,\alpha_2}\Big[\alpha_2 \,.\, (\alpha_1 - \alpha_2)\Big] =$$

$$= \frac{\alpha_1}{\alpha_2^2 \,.\, (\alpha_1 - \alpha_2)^2} \cdot \left(2\,\alpha_2 - \alpha_1\right).$$

*) Patrz rozdział XI. Błąd względny pewnej wielkości wyraża się stosunkiem różniczki tej wielkości do niej samej.

Wyraz ten równa się zeru, jeżeli:

$$2\alpha_2 = \alpha_1 ,$$

czyli:

$$\alpha_2 = \frac{1}{2} . \alpha_1 .$$

Podstawiając wartość α_2 we wzór (a) (str. 134), otrzymamy:

$$X = R .$$

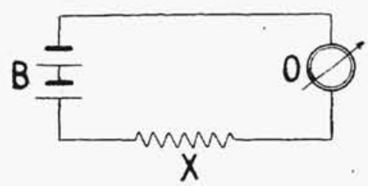
Z tego rozumowania wynika, że najdokładniej zmierzymy opór niewiadomy, gdy do pomiaru zastosujemy przyrząd, którego opór, łącznie z oporem dodatkowym, równa się oporowi niewiadomemu.

Można podany powyżej sposób stosować również do pomiaru oporności średnich, należy jednak w tym razie używać amperomierzy z oporami dodatkowemi, gdy zaś mamy mierzyć oporności duże, odpowiedniejsze są woltomierze, których oporność zazwyczaj jest znacznie większa od oporności amperomierzy.

67. Omomierze.

Przyrządy pomiarowe, posiadające skalę z podziałką na omy, nazywamy omomierzami. Są dwie różne zasady ustroju omomierzy.

a) Omomierze woltomierzowe. Według jednej z tych zasad omomierze mają taki sam ustrój, jak woltomierze. Załóżmy, że przyrząd z podziałkami na wolty połączyliśmy bezpośrednio z odpowiednim źródłem prądu i otrzymaliśmy w tych warunkach odchylenie α_1; wprowadzając następnie w powyższy obwód opór niewiadomy X (rys. 140), otrzymujemy odchylenie mniejsze α_2, wtedy X, jak wiemy z poprzednich rozumowań, wyraża się wzorem (a) (str. 134), albo inaczej:



Rys. 140. Łączenie w obwód omomierza.

$$X = \alpha_1 . R . \frac{1}{\alpha_2} - R \quad . \ . \ . \ . \ . \quad \text{(b)}$$

Przy różnych oporach X otrzymywać będziemy różne wychylenia α_2; inne zaś wielkości w tym wzorze są stałe, przeto na skali przyrządu obok działek i liczb, oznaczających wolty, możemy podać działki i liczby, wyrażające omy.

Mając takie podziałki wystarcza włączyć omomierz w obwód według rys. 140, aby móc odczytać na skali wartość oporu X.