

skąd:

$$V_c - V_d = (i_1 - i_2) \cdot r_2 \dots \dots \dots (b).$$

Dzieląc równania (b) i (a) jedno przez drugie otrzymamy:

$$\frac{V_c - V_d}{V_a - V_b} = \frac{r_2}{r_1}.$$

Z układu połączeń, wskazanych na rys. 131, widzimy, że jeżeli w galwanometrze prąd równa się zeru, to w oporach R i X natężenie prądu jest jednakowe; oporności tych oporów mają się zatem do siebie, jak spadki potencjału w tych oporach. Wobec tego z ostatniego równania wynika, że:

$$\frac{X}{R} = \frac{r_2}{r_1},$$

skąd:

$$X = R \cdot \frac{r_2}{r_1}.$$

Przy stosowaniu tego sposobu mierzenia oporności należy zwracać uwagę, by opory r_1 i r_2 wynosiły kilkaset, a conajmniej kilkadziesiąt omów, a to w celu uniknięcia wpływu oporności w miejscach przytwierdzenia drutów, jak również wpływu oporności drutów połączeniowych.

65. Mostek Wheatstone'a.

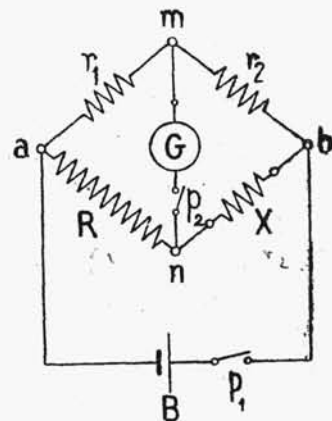
Do mierzenia oporów średnich od jednego do stu tysięcy omów najwłaściwszy jest układ przyrządów znany pod nazwą mostku Wheatstone'a.

Układ ten, wskazany na rys. 132, stanowią cztery opory: r_1 , r_2 , R i X , galwanometr G i bateria B . Opór R jest znany, co do oporów r_1 i r_2 , to wystarcza wiedzieć jaki jest stosunek ich oporności. Chcąc wybrać opory najodpowiedniejsze, należy znać wartość oporu X chociażby w przybliżeniu.

Opory r_1 , r_2 i R dobieramy w ten sposób, aby prąd w galwanometrze równał się zeru, wtedy potencjały w punktach m i n będą jednakowe. Oznaczmy je przez V , a potencjały w punktach a i b przez V_a i V_b , prądy zaś obwodach amb i anb , przez i_1 i i_2 .

Wtedy na podstawie prawa Ohma wypadnie, że:

$$\begin{aligned} V_a - V &= i_1 \cdot r_1, \\ V_a - V &= i_2 \cdot R, \end{aligned}$$



Rys. 132. Układ połączeń mostku Wheatstone'a.

skąd:

$$i_1 \cdot r_1 = i_2 \cdot R \quad (a).$$

Z drugiej strony:

$$V - V_b = i_1 \cdot r_2,$$

$$V - V_b = i_2 \cdot X,$$

skąd:

$$i_1 \cdot r_2 = i_2 \cdot X \quad (b).$$

Dzieląc równanie (b) przez (a), otrzymamy:

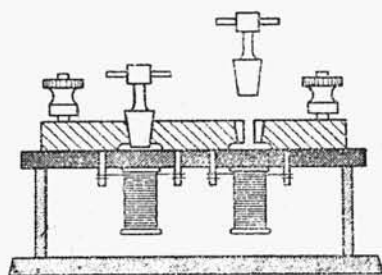
$$\frac{X}{R} = \frac{r_2}{r_1},$$

a zatem:

$$X = R \frac{r_2}{r_1} \quad (c).$$

Najdokładniejsze wyniki otrzymamy wtedy, gdy $r_2 = r_1$, a więc gdy $R = X$. Niezawsze jednak jest to możliwe przy układzie oporów, które możemy mieć do rozporządzenia; bądź co bądź należy jednak dążyć do osiągnięcia powyższych warunków. Dla uniknięcia wpływu indukcyjności należy zamykać przedewszystkiem przerywacz p_1 , a potem p_2 .

Opory r_1 i r_2 stosuje się zwykle skrzynkowe z kołeczkami (rys. 133),



Rys. 133. Skrzynkowy opornik kołeczkowy.

albo też z korbką (rys. 134 i 135).*) Przy stosowaniu takich oporników, szczególną uwagę zwracać należy na dokładność zetknięcia korbki lub kołków z płytkami metalowymi, do których przytwierdzone są końce zwojów drutu, posiadającego określoną oporność. Stykające się powierzchnie metalowe powinny być dokładnie czyste i ściśle przylegać do siebie.

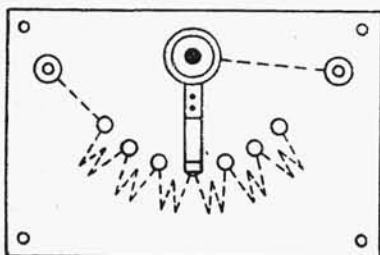
Dla uwidocznienia zaś, jak wielkie ma znaczenie dokładność przylegania kołków, lub szczotek kontaktowych w opornikach, podaję kilka liczb, wyrażających wiel-

kość oporności przy przejściu prądu przez styki.

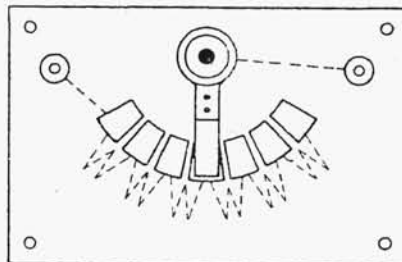
Oporność przy przejściu prądu od jednego klocka mosiężnego do następnego przez kółek, znajdujący się między nimi (rys. 136), gdy powierzchnie zetknięcia są zupełnie czyste, wynosi od 0,00005 do 0,0002 Ω .

*) Takie oporniki stosuje się również przy innych sposobach mierzenia oporów i przy pomiarze sił elektromotorycznych sposobem kompensacji.

Oporność szeregu takich styków w jednej ze skrzynek wynosiła od 0,0014 do 0,0055 Ω . Oporność w kontaktach ślizgowych jest bardziej stała—np. od 0,0023 do 0,0027 Ω .



Rys. 134. Opornik korbkowy o dużej oporności.



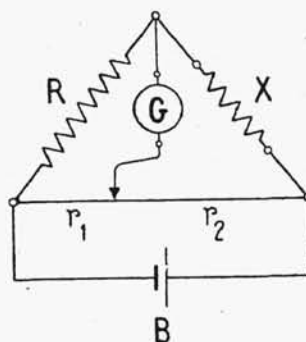
Rys. 135. Opornik korbkowy o małej oporności.

Niekiedy jest stosowany układ mostku Wheatstone'a, w którym opory r_1 i r_2 zastąpione są przez drut jednostajnej grubości, zrobiony z materiału jednolitego o znacznym oporze właściwym, po którym przesuwają się kontakty, połączone z galwanometrem.

Układ połączeń w tym przypadku wskazany jest na rys. 136. Opór R dobiera się możliwie zbliżony do X , ostateczne zaś sprowadzenie prądu w galwanometrze do zera odbywa się za pomocą ustawienia w odpowiednim miejscu kontaktu na drucie.

Wzór do obliczania oporności oporu X będzie w tym przypadku ten sam, co i poprzednio, z tą tylko różnicą, że teraz stosunek oporności oporów r_2 do r_1 może być zastąpiony przez stosunek długości dwóch części drutu pomiędzy ruchomym kontaktem i zaciskami a i b .

Układ mostku Wheatstone'a stosuje się też czasem do mierzenia temperatury. Wtedy jeden z czterech oporów stanowi drut o dużym współczynniku cieplnym oporu. Drut ten umieszcza się w tym miejscu, gdzie ma być mierzona temperatura. Z położenia kontaktu na drucie ab , gdy prąd w galwanometrze równa się zeru, można sądzić o oporności drutu, a więc i o wysokości badanej temperatury. Można również nie przesuwając kontaktu, lecz obserwować tylko wychylenia galwanometru.



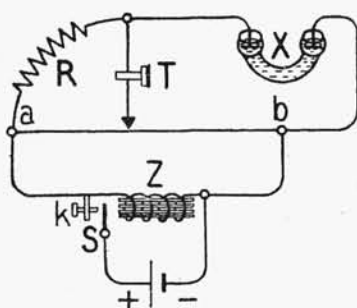
Rys. 136. Mostek Wheatstone'a z drutem.

Gdy chodzi o wyznaczenie oporności przewodników, podlegających elektrolizie, to do zasilania obwodów mostku Wheatstone'a nie można stosować prądu stałego, wiadomo bowiem, że przy elektrolizie powstaje siła elektromotoryczna polaryzacji i wzory poprzednio wyprowadzone tracą swą wartość.

Można jednak, zachowując układ ogólny mostku Wheatstone'a, zastąpić baterję jakimkolwiek źródłem prądu, wytwarzającym siłę elektromotoryczną o kierunku zmiennym, galwanometr zaś zwyczajny ze stałym magnesem zastąpić czułym elektrodynamometrem, lub słuchawką telefoniczną.

Jako źródło prądu zmiennego najczęściej bywa stosowana mała cewka indukcyjna z przerywaczem sprężynkowym, połączona z obwodem mostku, jak na rys. 137.

Przy zetknięciu sprężynki S ze śrubką k prąd płynie w mostku od a do b , a jednocześnie także przez zwojnicę Z . Rdzeń żelazny tej zwojnicy magnesuje się i przyciąga sprężynkę stalową S , połączenie ze śrubką k przerywa się i w zwojnicy Z powstaje znaczna siła elektromotoryczna samoindukcji, skierowana w prawo; ta siła elektromotoryczna wywołuje prąd w kierunku od b do a .



Rys. 137. Mostek Wheatstone'a na prąd zmienny.

Słuchawka telefoniczna T ma cewki z drutu na rdzeniach z miękkiego żelaza, przytwierdzonych do biegunów magnesu stalowego. Nad cewkami umieszczona jest cienka blaszka żelazna, okrągła, umocowana na obwodzie. Gdy w cewkach płynie prąd zmienny, to pod wpływem zmiennej

siły przyciągania blaszka drży i wydaje dźwięk.

Dobrze zbudowane słuchawki telefoniczne stanowią przyrządy równie czułe, jak galwanometry.

Kiedy wartość oporności oporów w układzie, wskazanym na rys. 137, czyni zadość wzorowi (c) na str. 128, wyprowadzonemu dla prądu stałego, a samoindukcja w obwodzie mostku jest znikomo mała, to w telefonie nie słyhać żadnego dźwięku. Jeżeli zaś z powodu niezrównoważonej samoindukcji obwodu i pewnej polaryzacji elektrod, nie można osiągnąć zupełnego zaniku tego dźwięku, to wyznacza się położenie kontaktu ruchomego na drucie, odpowiadające dźwiękowi najslabszemu. Położenie to można znaleźć najdokładniej, biorąc średnią z dwóch ustawień kontaktu na jednakowe natężenie dźwięku po obu stronach powyższego położenia.

Przewodność właściwa elektrolitów łatwo da się wyznaczyć, jeżeli posiadamy naczynie o wymiarach dokładnie określonych. W praktyce sto-

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 cm² 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	" "

Oznaczmy przewodność właściwą roztworu soli kuchennej przez γ , oporność tego roztworu w powyższym naczyniu przez r , a współczynnik 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 . Oznaczmy 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 przefiltrowaną (dystylowaną) przed nalaniem nowego elektrolitu i ważania 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 nieznan.**) 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.