

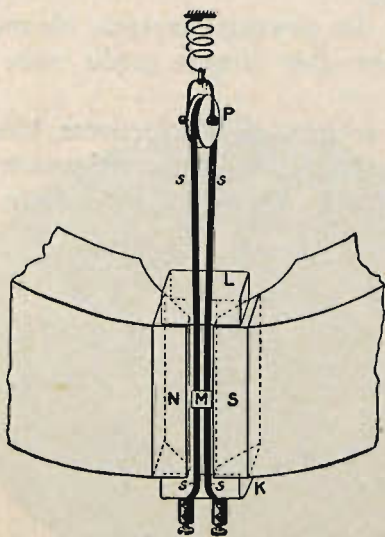
## ROZDZIAŁ XXXIV.

### Oscylografy.

Do badania prądów zmiennych stosowane bywają obecnie w wielu przypadkach przyrządy, zwane oscylografami, a służące do wyznaczania wartości napięcia i siły prądu w każdej chwili, o ile prąd nie zmienia się zbyt szybko.

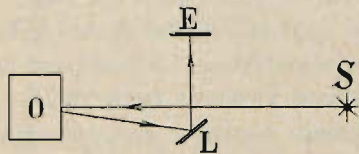
Zasada budowy tych przyrządów jest następująca:

Pomiędzy biegunami  $N$  i  $S$  silnego elektromagnesu (rys. 389) znajdują się dwa przewodniki, stanowiące jedną pętelkę, przerzuconą przez krążek  $P$ . Sprężyna, ciągnąca krążek do góry, utrzymuje te przewodniki w stanie napiętym. Jeżeli przez taką pętelkę przepuścić prąd, to w jednym przewodniku prąd będzie płynął do góry, w drugim zaś — na dół.



Rys. 389.

Spostrzec ruchy lusterka  $M$  można za pomocą promienia świetlnego, odbitego w powyższym lusterku. Promień ten może nam wykreślić nawet krzywą, wyrażającą zależność prądu od czasu, jeżeli promień odbity w lusterku  $M$  skierujemy na lusterko  $L$  (rys. 390), a stąd na ekran lub płytę fotograficzną  $E$ . Lusterko  $L$  w tym urządzeniu obraca się około osi poziomej jednostajnie, synchronicznie ze zmiennością prądu, tak, że te same położenia lusterka  $L$  odpowiadają zawsze tym samym wartościom siły prądu. Na rys. 390 promień  $SO$ , biegnący ze źródła światła do oscylografu, jest nieruchomy, promień  $OL$  odbity w lusterku oscylografu porusza się w płaszczyźnie prawie poziomej. Promień  $LE$



Rys. 390.

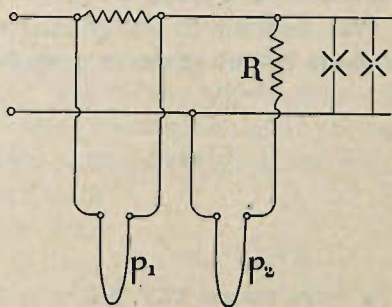


wykonywa ruch złożony, składający się z dwóch ruchów: jednego w płaszczyźnie pionowej, prostopadłej do płaszczyzny rysunku, i drugiego, również w płaszczyźnie pionowej, lecz leżącej w płaszczyźnie rysunku. Krzywa, otrzymana na ekranie, będzie miała rzędne, wyrażające siłę prądu, w kierunku prostopadłym do rysunku.

Dla dokładniejszego uchwycenia tych chwil, w których prąd zmienia swój kierunek, oscylografy zaopatrywane są zwykle w drugie lustro nieruchome, umieszczone obok lusterka  $M$  (rys. 389). Promień odbity od lusterka nieruchomego zakreśli na ekranie  $E$  linię prostą, równoległą do płaszczyzny rysunku, stanowiącą oś odciętych.

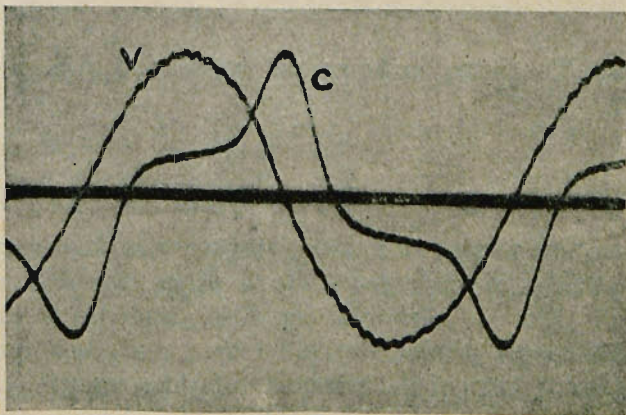
Chcąc za pomocą oscylografu wykreślić krzywą, wyrażającą zmianę napięcia w zależności od czasu, należy pętlicę oscylografu połączyć przez odpowiedni opór bezindukcyjny z badanym napięciem; w takim układzie wartość siły prądu będzie w każdej chwili proporcjonalna do napięcia.

W wielu przypadkach badaczowi zależy na tym, ażeby krzywe prądu i napięcia mógł widzieć jednocześnie i miał możliwość określenia różnicy faz tych dwóch zmiennych wielkości. Oscylograf zaopatruje się wtedy w dwie jednakowe pętlice, umieszczone pomiędzy biegunami jednego elektromagnesu. Przez jedną pętlicę  $P_1$  (rys. 391) przepuszcza się prąd badany, cały lub odgałęziony od bocznika, a przez drugą  $P_2$  i dodatkowy opór bezindukcyjny  $R$  przepuszcza się prąd, płynący od badanego napięcia. Oscylograf ma wtedy trzy lusterka: dwa ruchome i jedno nieruchome.



Rys. 391.

Krzywe świetlne, otrzymane na ekranie, można oczywiście fotografować. Jako przykład, podana jest na rys. 392 odbitka fotografii, przedstawiającej napięcie  $V$  i prąd  $C$  dynamomaszyny prądu zmiennego, zasilającej szereg transformatorów nieobciążonych, a więc takich, których zwoje wtórne mają obwody przerwane. Na krzywej  $V$  widzimy wyraźne drobne ząbki, wywołane zmiennością siły elektromotorycznej w dynamomaszynie; zmienność ta stąd pochodzi, że druty, w których wywołuje się przez indukcję siła elektromotoryczna, ułożone są wiązkami w rowkach, wyciętych w żelazie. Krzywa prądu ma postać zupełnie niepodobną do sinusoidy, albowiem pod



Rys. 392.



wpływem histerezy, powstałej w żelazie transformatorów, te ostatnie działały w danym razie jako zwykłe dławiki.<sup>1)</sup>

Za pomocą oscylografu dają się obserwować wszelkie te zmiany w prądzie, które powtarzają się okresowo. Fotografować zaś można nawet niepowtarzające się zmiany. Wystarczy tylko umieścić w odpowiedniej chwili płytę lub błonkę fotograficzną na miejscu ekranu  $E$ , lub też usunąć zupełnie lustro  $L$  (rys. 390) i przesunąć szybko kliszę z góry na dół, umieszczając ją na drodze odbitych promieni  $OL$ . Jeżeli klisza przesuwana się będzie wtedy, gdy lustro oscylografu drga pod wpływem zmian prądu, to otrzymamy na niej linię krzywą, z której będziemy mogli wnioskować o charakterze zmian prądu.<sup>2)</sup>

Dla odczytania na krzywych oscylografu wielkości prądu w amperach wystarczy, przy danym natężeniu pola elektromagnesu, przepuścić przez pętlę prąd stały, wyznaczyć jego wielkość za pomocą dokładnego amperomierza, a jednocześnie wymierzyć odległość od osi odciętych linii zakreślonej promieniem, odbitym od lusterka ruchomego, które będzie odchylone o pewien kąt stały.

Przy niewielkich odchyleniach lusterka  $M$  (rys. 389) rzędne krzywych oscylografu mogą być uważane za proporcjonalne do siły prądu.

---

<sup>1)</sup> Patrz rozdział XXV, § 3.

<sup>2)</sup> Niektóre jeszcze szczegóły o oscylografie czytelnik znajdzie w artykule autora: „Oscylograf i jego zastosowanie“, drukowanym w *Wektorze* w r. 1913 i wydanym w odcieku.

## ROZDZIAŁ XXXV.

### M i e r z e n i e o p o r u.

Opory w praktyce bywają mierzone w dwojaki sposób: albo drogą pośrednią — przez mierzenie napięcia i prądu, lub też wprost — przez porównanie oporów niewiadomych z wiadomymi.

1. Mierzenie oporu przez wyznaczenie siły prądu i napięcia. Sposób ten stosuje się najczęściej w dwóch wypadkach: Przedewszystkiem przy mierzeniu oporów małych (np. mniejszych od jednego oma), a następnie, gdy opór ma być mierzony pod prądem, t. j. wówczas, kiedy pewien prąd przebiega przez ten opór.

Zasada tego sposobu polega na tem, że ze źródła prądu stałego (najlepiej z akumulatorów) (rys. 393) przepuszcza się prąd przez opór regulacyjny  $R$ , amperomierz  $A$  i opór niewiadomy  $c d$ . Końcówki oporu niewiadomego  $c$  i  $d$  połączone są pozatem z woltomierzem  $V$ .

Założmy, że woltomierz  $V$  wskazuje  $e$  woltów, a amperomierz  $J$  amperów, opór zaś woltomierza niech będzie  $r$  omów; wtedy prąd, przepływający przez niewiadomy opór  $x$ , wyniesie:

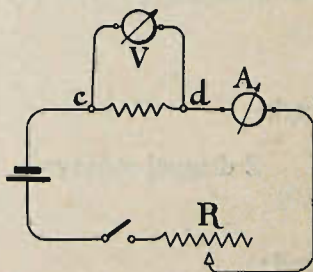
$$J = \frac{e}{r},$$

opór zaś niewiadomy  $x$  obliczony być może na zasadzie prawa Ohma ze wzoru.

$$x = \frac{e}{J - \frac{e}{r}},$$

Stosując ten sposób, należy zwracać szczególną uwagę na to, aby woltomierz był przyłączony dokładnie na końcach oporu  $x$ ; dla osiągnięcia tego celu prąd doprowadza się nieraz do oporu  $x$  zapomocą osobnych zacisków.

Przy pomiarach bardzo dokładnych, prąd i napięcie mierzą się sposobem kompensacyjnym; prąd przez mierzenie napięcia na oporze wiadomym, a napięcie wprost, przyłączając układ kompensacyjny do punktów  $c$  i  $d$ <sup>1)</sup>.



Rys. 393.

<sup>1)</sup> Patrz rozdział XXIX, § 10 i rozdział XXX, § 2.



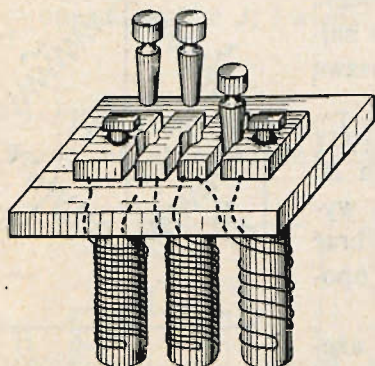




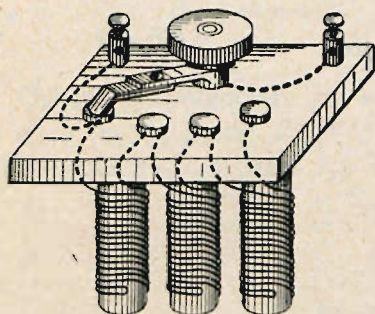




do których przytwierdzone są końce zwojów drutu, posiadającego określony opór. Stykające się powierzchnie metalowe powinny być dokładnie czyste i szczelnie przylegać do siebie.



Rys. 396.



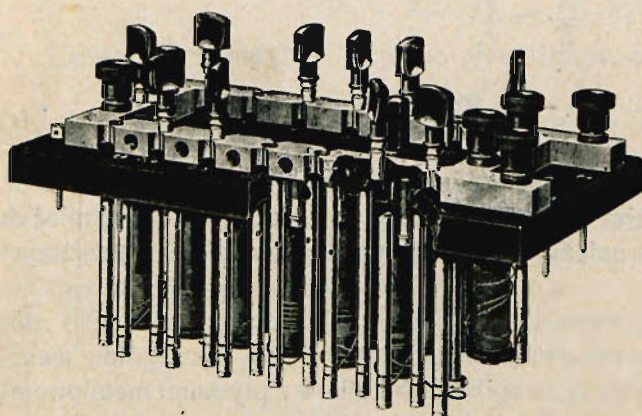
Rys. 397.

Dla uwidocznienia zaś, jak wielkie ma znaczenie dokładność przylegania kołków lub szczotek kontaktowych w opornikach, podaję kilka liczb, wyrażających wielkość oporów przy przejściu prądu przez styki.

Opór przy przejściu prądu od jednego klocka mosiężnego do następnego przez kołek, znajdujący się między nimi (rys. 396), gdy powierzchnie zetknięcia są zupełnie czyste, wynosi od 0,00005 do 0,0002  $\Omega$ . Opór szeregu takich styków w jednej ze skrzynek wynosił od 0,0014 do 0,0055  $\Omega$ . Opór w kontaktach ślizgowych jest stałszy; wynosił on np. od 0,0023 do 0,0027  $\Omega$ .

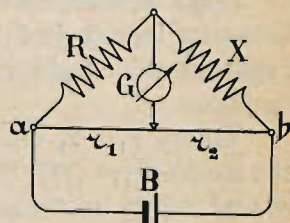
Na rys. 398 widzimy niektóre szczegóły ustroju opornika skrzynkowego z kołeczkami.

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



Rys. 398.

Układ połączeń w tym przypadku wskazany jest na rysunku 399. Opór  $R$  dobiera się możliwie zbliżony do  $x$ , ostatecznie zaś sprowadza-



Rys. 399.

nie prądu w galvanometrze do zera odbywa się za pomocą ustawienia w odpowiednim miejscu kontaktu na drucie.



Wzór do obliczania oporu  $X$  będzie w tym przypadku ten sam, co i poprzednio, z tą tylko różnicą, że teraz stosunek 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 oporze drutu, a więc i o wysokości badanej temperatury. Można również nie przesuwać kontaktu, lecz obserwować tylko odchylenia galwanometru.

Gdy chodzi o wyznaczenie oporu przewodników, podlegających elektrolizie, 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 stałymi magnesami zastąpić czułym elektrodynamometrem lub słuchawką telefoniczną.

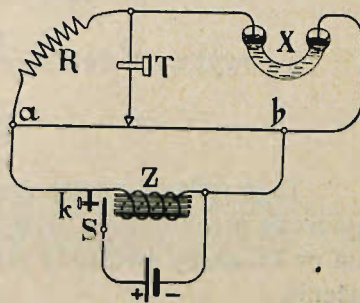
Jako źródło prądu zmiennego najczęściej stosowaną bywa mała cewka indukcyjna z przerywaczem sprężynkowym, połączona z obwodem mostku, jak na rys. 400.

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 na prawo; ta siła elektromotoryczna wywołuje prąd w kierunku od  $b$  do  $a$ .

Słuchawka telefoniczna  $T$  ma zwojnice nawinięte na rdzeniach z miękkiego żelaza, przytwierdzonych do biegunów magnesu stalowego. Nad zwojnicami umieszczona jest cienka blaszka żelazna, okrągła, umocowana na obwodzie. Gdy w zwojnicach płynie prąd zmienny, pod wpływem zmiennej siły przyciągania, blaszka drży i wydaje dźwięk.

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

Kiedy wartość oporów w układzie, wskazanym na rys. 400, czyni zadość wzorowi (c) na str. 373, wyprowadzonemu dla prądu stałego, a samoindukcja w obwodzie mostku jest znikomo mała, to w telefonie nie słychać 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 naj-



Rys. 400.



słabszemu. Położenie to można znaleźć najdokładniej, biorąc średnią z dwóch ustawień kontaktu na jednakowe natężenie dźwięku po obu stronach powyższego położenia.

Przewodnictwo właściwe elektrolitów łatwo da się wyznaczyć, jeżeli posiadamy naczynie o wymiarach dokładnie określonych. W praktyce stosowane są jednak najczęściej naczynia kształtu, wskazanego na rys. 400. <sup>1)</sup> Wtedy należy wykonać dwa pomiary oporu. Przedewszystkiem wymierza się opór roztworu soli kuchennej, której przewodnictwo właściwe dokładnie jest znane. Przy różnych temperaturach przewodnictwo właściwe roztworu nasyconego soli kuchennej na 1 cm długości i 1 cm<sup>2</sup> przekroju wynosi:

przy 15°	—	0,2015
„ 16°	—	0,2063
„ 17°	—	0,2112
„ 18°	—	0,2161
„ 19°	—	0,2210
„ 20°	—	0,2260.

Oznaczmy przewodnictwo właściwe roztworu soli kuchennej przez  $\gamma$ , opór tego roztworu w powyższym naczyniu przez  $r$ , a współczynnik zależny od wymiarów naczynia przez  $\alpha$ , wtedy możemy napisać:

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

Następnie zaś wymierzyć należy w tym samym naczyniu opór innego elektrolitu o przewodnictwie  $\gamma_x$ . Oznaczmy ten opór przez  $r_x$ ; w takim razie będzie:

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

Z powyższych dwóch równań otrzymamy:

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

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

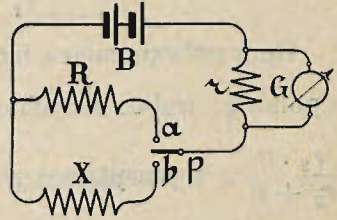
**4. Mierzenie oporów wielkich.** Opory wielkie (zwykle powyżej stu tysięcy omów) najdogodniej mierzyć przez porównanie bezpośrednie z oporem wiadomym, przepuszczając prąd z tego samego źródła, raz przez opór wiadomy i drugi raz przez opór niewiadomy. <sup>2)</sup> Odpowiedni układ połączeń wskazany jest na rys. 401, gdzie  $B$  — źródło prądu stałego,  $R$  — wielki opór wiadomy (np. 100 000  $\Omega$ ),

<sup>1)</sup> Elektrody w tych naczyniach stosowane są platynowe, pokryte czernią platynową. Takie elektrody zapewniają małą gęstość prądu na ich powierzchni i przez to zabezpieczają od polaryzacji.

<sup>2)</sup> Inny sposób, bardziej złożony, stosowany do mierzenia oporów bardzo wielkich, czytelnik znajdzie w książce Kazimierza Drewnowskiego: „Pomiary elektrotechniczne“, Lwów r. 1914.



$X$  — opór niewiadomy,  $r$  — 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 niewiadomy  $X$ . Oznaczmy siłę elektromotoryczną źródła prądu przez  $E$ , opór galwanometru przez  $g$ , a wartości oporów bocznika, stosownie do tego, czy w obwodzie włączony jest opór wiadomy, czy też niewiadomy, przez  $r_1$  i  $r_2$ . Opory boczników dobiera się w taki sposób, ażeby otrzymać w obu przypadkach odchylenia galwanometru możliwie zbliżone do siebie, niezbyt wielkie i niezbyt małe.



Rys. 401.

Prądy w części nierozgałęzionej obwodu oznaczmy przez  $J_1$  i  $J_2$ , w galwanometrze zaś przez  $i_1$  i  $i_2$ , a to odpowiednio do tego, jaki opór jest włączony: wiadomy, czy niewiadomy.

Pomijając opór wewnętrzny źródła prądu i opór przewodników łączących, jako bardzo małe w porównaniu do innych oporów, 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:

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

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

Założmy teraz, że prądy  $i_1$  i  $i_2$  wywołują w galwanometrze odchylenia  $\alpha_1$  i  $\alpha_2$  proporcjonalne do siły prądów. Oznaczając stałą galwanometru przez  $C$ , mamy:

$$i_1 = C \cdot \alpha_1,$$

$$i_2 = C \cdot \alpha_2.$$

Z powyższych sześciu równań wynika, że:

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

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



Dzieląc zaś jedno równanie przez drugie, otrzymamy:

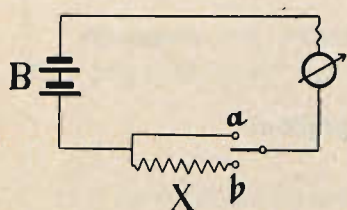
$$X = \left( R + \frac{r_1 \cdot g}{r_1 + g} \right) \cdot \frac{\alpha_1 \cdot (r_1 + g) \cdot r_2}{\alpha_2 \cdot (r_2 + g) \cdot r_1} - \frac{r_2 \cdot g}{r_2 + g}.$$

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

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

W praktyce elektrotechnicznej podany wyżej sposób wyznaczania oporów stosuje się głównie do mierzenia oporu izolatorów i wogóle izolacji. Wtedy posługujemy się zwykle zamiast galwanometrów — woltomierzami albo amperomierzami.

Przyrząd włącza się w obwód tak, jak wskazano na rys. 402; 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. 402.

Oznaczmy opór przyrządu pomiarowego, łącznie z oporem dodatkowym, przez  $R$ , siłę elektromotoryczną źródła prądu przez  $E$ , a siły prądu, przy położeniach przełącznika na kontaktach  $a$  i  $b$ , odpowiednio przez  $i_1$  i  $i_2$ . Wtedy otrzymamy: <sup>1)</sup>

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

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

W amperomierzach i w woltomierzach odchylenia wskazówek, odczytane na skali, są proporcjonalne do prądów, przepływających przez przyrządy pomiarowe, wprowadzając przeto zamiast prądów odchylenia wskazówki przyrządu pomiarowego  $\alpha_1$  i  $\alpha_2$ , znajdziemy:

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

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

Z tych równań wyznaczamy  $X$ :

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

<sup>1)</sup> Opór źródła prądu i przewodników, łączących poszczególne części obwodu pomiędzy sobą, najczęściej pomijamy, jako bardzo małe w porównaniu do innych oporów.



Chcąc otrzymać wyniki pomiaru jaknajdokładniejsze, trzeba stosować przyrządy pomiarowe różne dla różnych oporów niewiadomych. Przedewszystkiem należy oczywiście starać się o to, aby odchylenie  $\alpha_1$  było jaknajwiększe, a odchylenie  $\alpha_2$  odpowiadało zasadzie, że błąd względny <sup>1)</sup> w wyrazie:

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

powinien być jaknajmniejszy.

Założmy, że przy odczytywaniu wskazania  $\alpha_2$  popełniamy błąd  $\Delta \alpha_2$ , wtedy błąd względny w wyrazie powyższym będzie:

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

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

Przekształcając powyższy czynnik, otrzymamy:

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

Pochodna zaś tego czynnika będzie:

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\alpha_2} \left[ \frac{\alpha_1}{\alpha_2 \cdot (\alpha_1 - \alpha_2)} \right] &= - \frac{\alpha_1}{\alpha_2^2 \cdot (\alpha_1 - \alpha_2)^2} \cdot \frac{d}{d\alpha_2} [\alpha_2 \cdot (\alpha_1 - \alpha_2)] = \\ &= \frac{\alpha_1}{\alpha_2^2 \cdot (\alpha_1 - \alpha_2)^2} \cdot (2\alpha_2 - \alpha_1). \end{aligned}$$

Wyraz ten będzie równać się zeru, jeżeli:

$$2\alpha_2 = \alpha_1,$$

czyli:

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

Podstawiając wartość  $\alpha_2$  we wzór (a), 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.

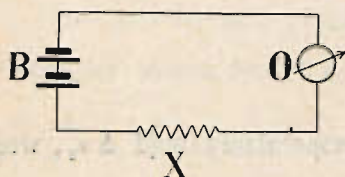
Można podany powyżej sposób stosować również do pomiaru oporów średnich, należy jednak w tym razie używać amperomierzy z oporami dodatkowymi, gdy zaś mamy mierzyć opory duże, odpowiedniejsze są woltomierze, których opór zazwyczaj jest znacznie większy od oporu amperomierzy.

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

<sup>1)</sup> Patrz rozdział XXXIX, § 1. Błąd względny pewnej wielkości wyraża się stosunkiem różniczki tej wielkości do niej samej.



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 <sup>1)</sup> i otrzymaliśmy w tych warunkach odchylenie  $\alpha_1$ ;



Rys. 403.

wprowadzając następnie w powyższy obwód opór niewiadomy  $X$  (rys. 403), otrzymujemy odchylenie mniejsze  $\alpha_2$ , wtedy  $X$ , jak wiemy z poprzednich rozumowań, wyraża się wzorem (a), str. 378, albo inaczej:

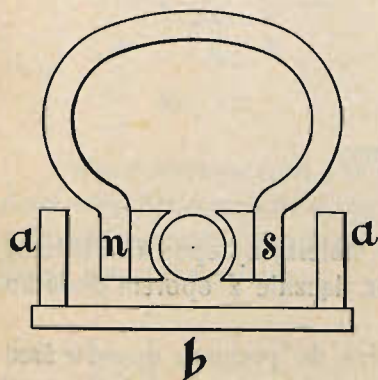
$$X = \alpha_1 \cdot R \cdot \frac{1}{\alpha_2} - R \dots \dots (b)$$

Przy różnych oporach  $X$  otrzymywać będziemy różne odchylenia  $\alpha_2$ , 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, wystarczy włączyć omomierz w obwód według rys. 403, aby móc odczytać na skali wartość oporu  $X$ .

Należy jednak pamiętać, że wartość podziałek na omomierzu obliczona jest dla pewnej wartości  $\alpha_1$ , a więc dla określonej siły elektromotorycznej źródła prądu. Zawsze przeto przy mierzeniu oporów omomierzem należy posługiwać się źródłem prądu z taką siłą elektromotoryczną, do której przystosowana jest podziałka omomierza.

Niektóre omomierze mają urządzenie, które umożliwia posługiwanie się źródłami prądu z rozmaitymi siłami elektromotorycznymi, różniącymi się jednak od siebie nie więcej jak o kilka procent. Tego rodzaju omomierze, urządzone według



Rys. 404.

Deprez d'Arsonvala <sup>2)</sup>, mają bocznik magnetyczny (rys. 404). Trzy płytki żelazne  $a$ ,  $b$ ,  $a$ , umieszczone w pobliżu biegunów magnesu, tworzą obwód magnetyczny, równoległy do obwodu, przechodzącego przez szczeliny powietrzne, gdzie znajduje się ruchoma zwojnica przyrządu, nie pokazana na rysunku. Płytki  $a$ ,  $a$  są ruchome; przysuwając je do biegunów magnesu, skierujemy większą część strumienia magnetycznego wzdłuż obwodu  $aba$  i przez to osłabiamy pole magnetyczne w szczelinach powietrznych.

W omomierzach posługujemy się bocznikiem magnetycznym w sposób następujący. Łączymy omomierz bezpośrednio ze źródłem prądu i przesuwamy za pomocą odpowiedniej śruby płytki  $a$ ,  $a$  w ten sposób, żeby wskazówka omomierza zatrzymała się na działce, oznaczonej liczbą 0 omów i następnie

<sup>1)</sup> t. j. według układu połączeń (rys. 402), przy położeniu przełącznika na kontakcie  $a$ .

<sup>2)</sup> Patrz rozdział XXIX, § 2 i 4.



wprowadzamy w obwód niewiadomy opór  $X$ , wtedy wskazówka stanie na działce, odpowiadającej wartości oporu  $X$ .

W ten sposób, niezależnie od wielkości siły elektromotorycznej źródła prądu, we wzorze (b), str. 380, zawsze otrzymujemy tę samą wartość dla odchylenia  $\alpha_1$ . Gdy siła prądu w przyrządzie jest zbyt duża, natężenie pola magnetycznego osłabiamy; gdy zaś jest zbyt mała, natężenie pola zwiększamy i zawsze doprowadzamy moment obrotowy elektromagnetyczny do tej samej wartości.<sup>1)</sup>

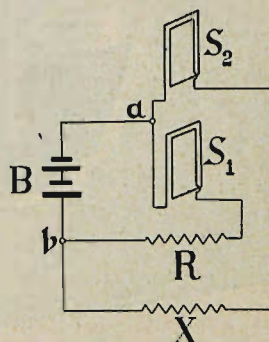
Najdokładniej odczytamy wielkość oporu na omomierzu przy  $\alpha_2 = \frac{\alpha_1}{2}$ , jak to wynika z rozważań, przeprowadzonych w paragrafie poprzednim. Z tego powodu dla mierzenia oporów, różniących się pomiędzy sobą znacznie co do wielkości, stosować należy omomierze odpowiednie o różnych oporach  $R$ .

W celu uniezależnienia wskazań omomierza od siły elektromotorycznej źródła prądu, obmyślono przyrządy, oparte na zasadzie nieco odmiennej.

Prąd ze źródła  $B$  (rys. 405) rozgałęzia się na dwa obwody: jeden z nich stanowi zwojnica  $S_1$  i opór  $R$ , umieszczony wewnątrz przyrządu, a drugi — zwojnica  $S_2$  i opór niewiadomy  $X$  zewnątrz przyrządu.

Jeżeli prądy w poszczególnych obwodach oznaczymy przez  $i_1$  i  $i_2$ , opór zwojnic przez  $r'$  i  $r''$ , a napięcie pomiędzy punktami  $a$  i  $b$  przez  $e$ , to wypadnie:

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= \frac{e}{R + r'}, \dots \dots \dots \\ i_2 &= \frac{e}{X + r''} \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} (a)$$



Rys. 405.

Zwojnice  $S_1$  i  $S_2$  są ze sobą złączone pod kątem prostym i zaopatrzone u góry i u dołu w czopy, opierające się w odpowiednich łózkach (rys. 406 i 407).

Zwojnice te obracają się w polu magnetycznym pomiędzy biegunami stałego magnesu stalowego, którego nasadki biegunowe są **plaskie**; w środku zwojnic znajdują się nieruchome walce żelazne.

Pole magnetyczne pomiędzy biegunami magnesu jest niejednostajne. Największe natężenie pola otrzymuje się w pobliżu środka nasadek biegunowych, gdzie szczelina powietrza jest najwęższa, a więc opór magnetyczny najmniejszy.

Momenty obrotowe, działające na zwojnice  $S_1$  i  $S_2$ , oznaczmy przez  $M_1$  i  $M_2$ . Przez  $H_1$  i  $H_2$  oznaczmy natężenia pola w tych miejscach, gdzie znajdują się odpowiednie zwojnice, a przez  $A_1$  i  $A_2$  — czynniki, zależne od położenia zwojnic względem linii pola i od ustroju zwojnic. Mamy wtedy zależności następujące:

$$M_1 = A_1 \cdot H_1 \cdot i_1,$$

$$M_2 = A_2 \cdot H_2 \cdot i_2.$$

<sup>1)</sup> Patrz wzór na str. 308.



Prąd doprowadzamy do zwojnic za pomocą giętkich spiralek srebrnych (rysunek 406), które wywierają na zwojnice moment obrotowy znikomo mały, położenie więc równowagi zespołu

zwojnic ruchomych zależy będzie tylko od momentów  $M_1$  i  $M_2$ . Stosując odpowiednie kierunki prądów w zwojnicach, łatwo osiągnąć odwrotne działanie momentów  $M_1$  i  $M_2$ . Gdy moment  $M_1$  obraca zwojnice na prawo, to moment  $M_2$  nalewo:

Równowaga nastąpi przy:

$$M_1 = M_2,$$

czyli:

$$A_1 \cdot H_1 \cdot i_1 = A_2 \cdot H_2 \cdot i_2,$$

stąd:

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{A_2 \cdot H_2}{A_1 \cdot H_1}.$$

Na podstawie wzorów (a) (str. 381) zastępujemy stosunek prądów stosunkiem oporów, wtedy wypadnie:

$$\frac{X + r''}{R + r'} = \frac{A_2 \cdot H_2}{A_1 \cdot H_1}.$$

Wartość stosunku  $\frac{A_2 \cdot H_2}{A_1 \cdot H_1}$

zależy oczywiście od położenia zwojnic w polu magnetycznym, możemy przeto wprowadzić oznaczenie:

$$\frac{A_2 \cdot H_2}{A_1 \cdot H_1} = f(\alpha),$$

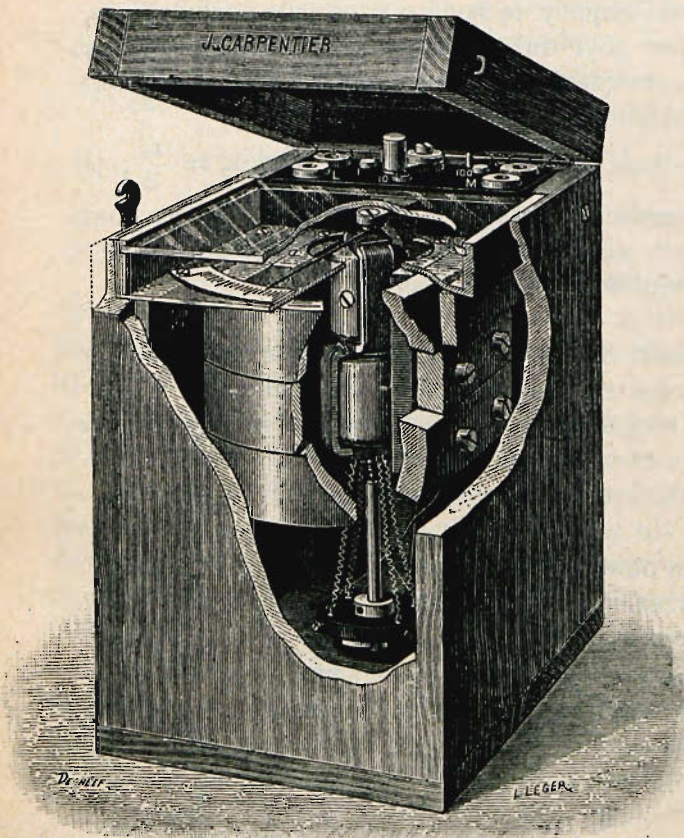
gdzie  $f(\alpha)$  wyraża funkcję kąta  $\alpha$ , za pomocą którego będziemy oznaczali położenie zwojnic, licząc od pewnego położenia, dowolnie przyjętego za zerowe, wtedy:

$$\frac{X + r''}{R + r'} = f(\alpha),$$

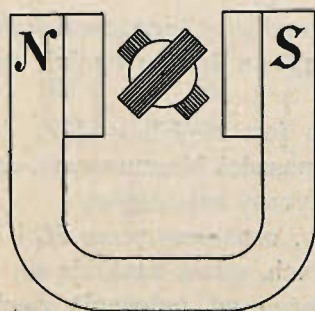
a stąd:

$$X = (R + r') \cdot f(\alpha) - r''.$$

Wzór ten wskazuje, że różne wartości wielkości  $X$  odpowiadają różnym kątom  $\alpha$ , t. j. różnym położeniom zwojnic.



Rys. 406.



Rys. 407.



Wprowadzając do obwodu (rys. 405) różne znane opory  $X$ , na skali, po której przesuwa się wskazówka, przymocowana do zwojnic (rys. 406), możemy oznaczyć podziałki z liczbami, wyrażającymi odpowiednie opory w omach.

Jeżeli:

$$r' = r'' \quad \text{ i } \quad X = R,$$

to:

$$i_1 = i_2.$$

Zwojnice zajmą w tym razie położenie, wskazane na rys. 407. Gdy będzie:

$$X > R,$$

zwojnice przekręca się o pewien kąt w jedną stronę, a gdy będzie:

$$X < R,$$

to w stronę przeciwną.

Zastanawiając się nad skalą takiego przyrządu, łatwo spostrzedz, że przy zmianie oporu  $X + r''$  od 0 do  $\infty$ , wskazówka zakresli kąt  $90^\circ$ <sup>1)</sup>. W tych warunkach równe odległości pomiędzy kreskami skali nie mogą odpowiadać wzrostowi oporu o równe wartości. Przyglądając się skali jednego z takich przyrządów, spostrzegamy np., że w pobliżu działki, odpowiadającej 100  $\Omega$ , na każde 2 mm przesunięcia wskazówki przypada około 30  $\Omega$ , w pobliżu działki 1000  $\Omega$ , na 2 mm przesunięcia wskazówki przypada około 100  $\Omega$ , a w pobliżu działki 10000  $\Omega$ , na 2 mm przesunięcia wskazówki przypada około 2000  $\Omega$ . Działka 1000  $\Omega$  odpowiada tu położeniu zwojnic, wskazanemu na rys. 407. Procentowo wartość 2 mm na skali stanowi:

$$\text{w pierwszym przypadku} \quad \frac{30}{100} \cdot 100 = 30\%$$

$$\text{w drugim} \quad \text{„} \quad \frac{100}{1000} \cdot 100 = 10\%$$

$$\text{w trzecim} \quad \text{„} \quad \frac{2000}{10000} \cdot 100 = 20\%.$$

Z tego zestawienia wynika, że najdokładniej odczytamy opór, którego wartość jest w danym przykładzie bliska 1000  $\Omega$ , wogóle zaś opór taki, przy którym wskazówka zatrzymuje się w pobliżu środka skali.

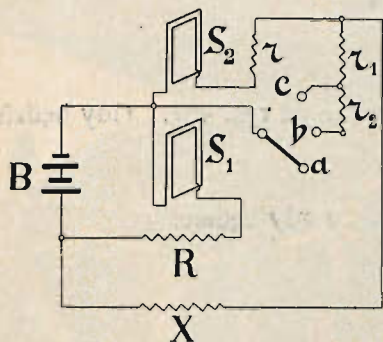
Dla osiągnięcia dość dokładnych wyników przy pomiarach oporów różnej wielkości, stosuje się układ, wskazany na rys. 408. W obwód zwojnicy  $S_2$  włączony jest dodatkowy opór  $r$ , a dwa boczники  $r_1$  i  $r_1 + r_2$  mogą być wprowadzone do obwodu za pomocą przełącznika.<sup>2)</sup> Jeżeli przełącznik ustawimy na kontakcie  $a$ , to cały prąd  $i_2$  popłynie przez zwojnicę  $S_2$ , gdy zaś postawimy go na kontakcie  $b$  lub  $c$ , to do zwojnic popłynie tylko część prądu  $i_2$ .

<sup>1)</sup> Wystarcza w tym celu zastanowić się nad wielkością momentów obrotowych, działających na zwojnice przy ich różnym położeniu w polu magnetycznym (rys. 407).

<sup>2)</sup> Przełącznik widzimy na rys. 406, w głębi pod pokrywką.



Jeżeli pewnej wartości niewiadomego oporu  $X$  odpowiada pewne położenie zwojnic, przy przełączniku, ustawionym na kontakcie  $a$ , to opory  $r$ ,  $r_1$  i  $r_2$  dobieramy w ten sposób, aby przy przełączniku, ustawionym na kontaktach  $b$  i  $c$  otrzymać to samo położenie zwojnic przy oporze niewiadomym dziesięć razy i sto razy mniejszym.



Rys. 408.

Z powyższych rozważań łatwo wywnioskować, że wskazania omomierza z dwoma zwojnicami nie zależą zupełnie od wielkości siły elektromotorycznej źródła prądu. Ta siła elektromotoryczna nie powinna być jednak zbyt mała, gdyż wówczas momenty obracające nie byłyby w stanie utrzymać układu zwojnic we właściwym położeniu równowagi. Nie można również stosować siły elektromotorycznej zbyt wielkiej, bo silne prądy mogłyby uszkodzić zwojnice.

Do omomierzy powyższego ustroju najczęściej stosują się, jako źródła prądu małe, prądnice stałego prądu z magnesami stalowymi, zwane induktorami, które przy niezbyt szybkim obrocie rączki dają siłę elektromotoryczną, wynoszącą około 120 V.



## ROZDZIAŁ XXXVI.

### Mierzenie pojemności.

1. Wyznaczenie pojemności przez porównanie odchyleń galwanometru. Sposób mierzenia pojemności najczęściej w praktyce stosowany polega na porównaniu pojemności niewiadomej z wiadomą, przez ładowanie kondensatorów z jednego i tego samego źródła prądu i porównywanie wielkości zbierających się na kondensatorach ładunków.

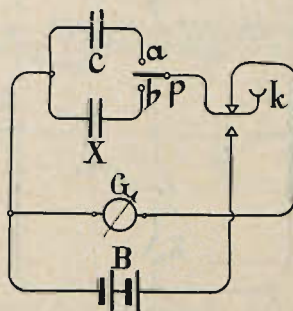
Odpowiedni układ połączeń wskazany jest na rys. 409:

$C$  — pojemność wiadoma,

$X$  — pojemność niewiadoma,

$B$  — źródło prądu o napięciu stałym,

$G$  — galwanometr balistyczny, który tym się różni od zwykłego, że masa jego części ruchomych jest dość znaczna. Jeżeli przez galwanometr balistyczny przepuszczamy prądy chwilowe, to zaczyna on odchylać się wyraźnie dopiero wtedy, gdy prąd już ustał, i ruchoma część



Rys. 409.

galwanometru obraca się dalej skutkiem bezwładności. Ruch ten hamują trzy siły: sprężystość zawieszenia, spółdziałanie powstających pod wpływem ruchu prądów indukcyjnych z polem magnetycznym galwanometru, i wreszcie opór powietrza.

W tych warunkach pierwsze odchylenie galwanometru jest proporcjonalne do tej ilości elektryczności, która przepłynęła w ciągu bardzo krótkiego czasu istnienia prądu chwilowego.<sup>1)</sup>

Dla porównania pojemności kondensatorów  $C$  i  $X$ , ustawiamy przełącznik  $p$  najpierw na kontakt  $a$ ; za pomocą przycisku  $k$  przez połączenie z baterją  $B$  ładujemy kondensator  $C$  i wyładowujemy go następnie przez galwanometr. Potem, posunawszy przełącznik  $p$  na kontakt  $b$ , powtarzamy to samo z kondensatorem o pojemności  $X$ .

Oznaczmy siłę elektromotoryczną baterji przez  $E$ , odchylenia chwilowe galwanometru przez  $\alpha_1$  i  $\alpha_2$ , stałą galwanometru przez  $K$ , wtedy możemy ułożyć równania:

$$C \cdot E = K \alpha_1,$$

$$X \cdot E = K \alpha_2,$$

<sup>1)</sup> Szczegóły, dotyczące teorii galwanometru balistycznego, czytelnik znajdzie w przytoczonej powyżej książce p. Kazimierza Drewnowskiego.

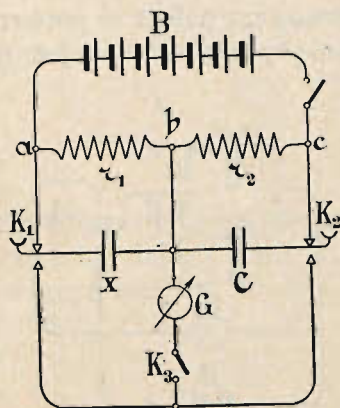


skąd:

$$X = C \cdot \frac{\alpha_2}{\alpha_1}.$$

Sposób powyższy jest bardzo prosty, nie odznacza się jednak wielką dokładnością, głównie z powodu histerezy dielektrycznej w izolatorach kondensatorów. Ładunek kondensatorów przy ładowaniu i wyładowaniu zależy też w znacznym stopniu od czasu ładowania i wyładowywania.

**2. Sposób zerowy porównywania pojemności.** Znacznie dokładniejsze wyniki daje inny sposób porównywania pojemności, podany przez W. Thomsona. Odpowiedni układ połączeń wskazany jest na rys. 410.



Rys 410.

Kondensatory  $C$  i  $X$  ładuje się do napięć, powstających na końcach oporów  $r_1$  i  $r_2$ . Wyładowuje się zaś kondensatory przez naciśnięcie przycisków  $K_1$  i  $K_2$ . Niezwłocznie po przyciśnięciu  $K_1$  i  $K_2$ , zamyka się wyłącznik  $K_3$  w obwodzie galwanometru. Jeżeli ładunki obu kondensatorów były dokładnie równe, to galwanometr  $G$  nie odchyła się; jeżeli natomiast jeden z ładunków jest większy, to galwanometr odchyła się w tę lub w ową stronę. Dobierając odpowiednio stosunek oporów  $r_1$  i  $r_2$ , osiągamy brak prądu w galwanometrze.

Oznaczmy ilość elektryczności na okładkach każdego z kondensatorów przez  $q$ , napięcie na kondensatorach przez  $e_{ab}$  i  $e_{bc}$ , pojemności przez  $X$  i  $C$ , a prąd w oporach  $r_1$  i  $r_2$  przez  $i$ . Otrzymamy wówczas wzory następujące:

$$q = X \cdot e_{ab} = C \cdot e_{bc},$$

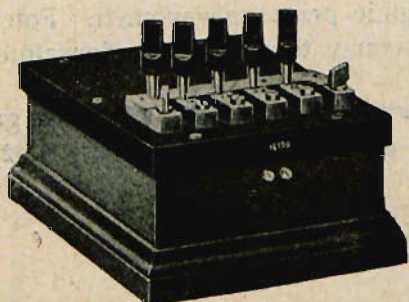
$$e_{ab} = i \cdot r_1, \quad e_{bc} = i \cdot r_2,$$

skąd:

$$\frac{X}{C} = \frac{e_{bc}}{e_{ab}} = \frac{r_2}{r_1},$$

a więc:

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



Rys. 411.

Zupełnie ściśle wyniki otrzymuje się przy powyższym postępowaniu wtedy, gdy własności izolatorów obu kondensatorów są jednakowe. Zaznaczyć też należy, że we wszystkich sposobach określania pojemności nader ważne znaczenie ma dobra izolacja jednego przynajmniej bieguna każdego z kondensatorów łącznie z przewodnikami, prowadzącymi prąd od tego bieguna.

Jako wzorce pojemności używane są



zwykle kondensatory skrzynkowe z izolacją mikową. Na pokrywce skrzynki znajduje się szereg płytek mosiężnych, połączonych z okładkami kondensatora. Pomiedzy sobą łączą się one za pomocą kołków. Na rys. 411 mamy widok zewnętrzny, a na rys. 412 — układ połączeń wewnętrznych takiego kondensatora wzorcowego.

**3. Mierzenie pojemności prądem zmiennym.** Pojemność można mierzyć również prądem zmiennym, stosując wzór, wyrażający opór kondensatora przy prądzie zmiennym, mianowicie:

$$\frac{1}{C z \pi}$$

gdzie  $C$  — pojemność, a  $z$  — liczba zmian prądu na sekundę.

Mierząc prąd  $i$ , przepływający przez kondensator i napięcie  $e$  na okładkach, można obliczyć  $C$  według prawa Ohma ze wzoru:

$$i = \frac{e}{\frac{1}{C z \pi}}$$

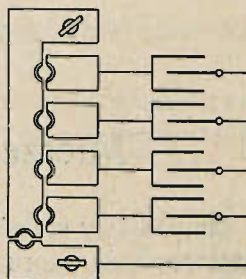
skąd:

$$C = \frac{i}{e \cdot z \cdot \pi}$$

Wyrażając  $i$  w amperach, a  $e$  w woltach, otrzymamy  $C$  w faradach. Jednakże sposób ten oznaczania pojemności stosować należy oględnie, ponieważ wzór powyższy stosuje się ściśle tylko do tego przypadku, gdy prąd, przepływający przez kondensator, zmienia się ściśle według prawa sinusoidy.

Zwykle źródła prądu zmiennego zawsze wytwarzają siłę elektromotoryczną nieprawidłowo zmienną, którą można zresztą rozłożyć na kilka sił zmiennych sinusoidalnie: jedną główną o okresie największym, równym okresowi prądu całkowitego, i inne, o okresach mniejszych 2, 3, 4... razy i mniejszej amplitudzie. Otóż właśnie, te składowe drugorzędne wytwarzają w kondensatorze dość silne prądy, ponieważ przy znacznej częstotliwości kondensator przeciwstawia tym prądom mniejszy opór, niż prądowi głównemu, powstającemu z głównej siły elektromotorycznej.

Można jednak osłabić wpływ prądów o dużej częstotliwości, włączając w szereg zwojnicę, która takim prądom stawia opór znaczny wskutek samoindukcji; należy jednak przytem zwracać uwagę, ażeby pomiędzy pojemnością i samoindukcją nie było rezonansu <sup>1)</sup> przy jakimkolwiek możliwym w danym razie okresie prądu. Najczęściej obok prądów o głównym okresie, występują wyraźnie prądy, mające okres trzy i pięć razy mniejszy.



Rys. 412.

<sup>1)</sup> Patrz rozdział XIII § 8.