Część II.

Badania przyrządów, materyałów, izolacyi, lamp i akumulatorów.

I.

Badanie i cechowanie przyrządów mierniczych.

Przyrządy miernicze ulegają pod wpływem czasu, używania ich, wpływów zewnętrznych i t. p., zmianom, powodującym to, że wskazania tych przyrządów nie są zgodne z rzeczywistością. Wtedy należy taki przyrząd poddać cechowaniu t. j. sprawdzeniu zgodności jego wskazań. Tego rodzaju sprawdzanie odbywa się najczęściej przez porównanie danego przyrządu z normalnym, t. j. takim, którego wskazania są pewne.

Potrzebne jest czasem, a w niektórych wypadkach konieczne, poznanie własności danego przyrządu, a więc jego stałych, wpływu temperatury, zużycia energii, oporu wewnętrznego i t. p. Czynności ku temu zmierzające nazywają się badaniem przyrządu mierniczego. Ze względu na wielką rozmaitość tego rodzaju czynności, ograniczymy się tylko do najważniejszych.

1. Badanie galwanometru statycznego.

a) Pomiar oporu wewnętrznego.

Przez opór wewnętrzny jakiegoś przyrządu rozumiemy opór jego cewek, mierzony na krańcach przyrządu.

Do pomiaru oporu wewnętrznego galwanometrów użyć można metod podanych w pomiarach oporów (p. Część I., 1.), z których najlepiej nadaje się mostek Wheatstone'a, albo też metod odrębnych, opierających się na tamtych, lecz od nich znacznie dogodniejszych i dokładniejszych.

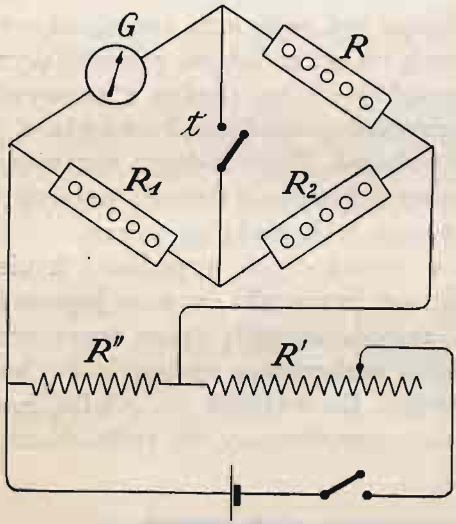
1. Mostek Wheatstone'a.

Galwanometr, którego opór wewnętrzny ma się wyznaczyć, umieszcza się jako jeden z oporów w mostku Wheatstone'a i postępuje się w zwykły sposób, powyżej podany (p. str. 21.). Ażeby jednak przez galwanometr nie przechodził prąd za duży, należy mieć możność regulowania napięcia przyłożonego do mostku, najlepiej przez załączenie ogniwa w upuście do oporu do regulowania. Sposób ten jest dosyć niewygodny z tego względu, oraz dlatego, że trzeba mieć do dyspozycyi jeszcze jeden galwanometr.

Lepsza jest

2. Metoda Thomsona.

Wymaga ona tylko jednego galwanometru i to właśnie badanego. Umieszcza się go w jednym z boków mostku *(rys. 62.)*, a w jednej przekątni zamiast galwanometru daje się wyłącznik t.



Rys. 62.

Opór G mierzy się za pomocą regulowania oporów R, R_1 i R_2 tak długo, aż zamykanie i otwieranie wyłącznika t nie będzie miało wpływu na odchylenie galwanometru. Wtedy według równania Wheatstone'a

$$G = R\frac{R_1}{R_2}.$$

Najlepsze warunki pomiaru będą, jeżeli opór R_1 obierze się mały, R_2 duży, ogniwo wstawi się między punktami połączeń dwuch oporów dużych z dwoma małymi, a odchylenia galwanometru będą duże. Aby otrzymać jak największe odchylenie galwanometru, można obrać jedno położenie skrajne skali jako punkt zerowy.

Błąd graniczny i protokół pomiaru są te same, co przy pomiarze oporów mostkiem Wheatstone'a. Także i inne uwagi tam podane, stosuje się i tutaj.

3. Metoda odchyłowa.

Galwanometr umieszcza się w upuście do oporu R'' *(rys. 63.)*, który powinien być dość mały, aby zmiana oporu w gałęzi galwanometru nie wpływała na zmianę różnicy potencyałów V na upuście. Za pomocą oporu R' reguluje się prąd płynący z ogniwa.

Jeżeli oporu R niema to

$$V=J_1 G,$$

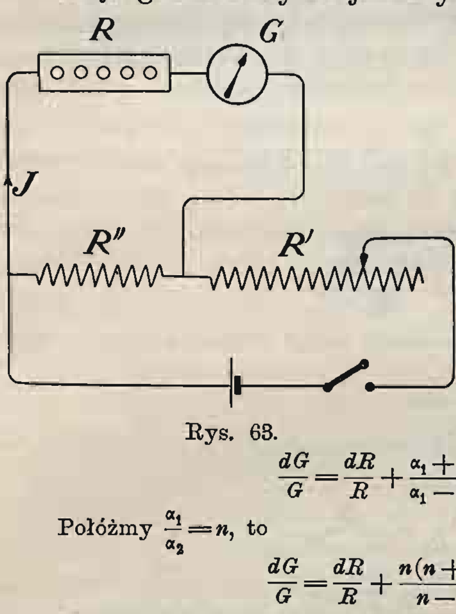
jeżeli zaś jest, to
$$V=J_2(G+R),$$

z tego
$$G=R\frac{J_2}{J_1-J_2}.$$

Jeżeli odchylenia galwanometru odpowiadające prądom J_1 i J_2 będą α_1 i α_2, to można napisać

$$G=R\frac{\alpha_2}{\alpha_1-\alpha_2}.$$

Błąd graniczny znajdziemy przez różniczkowanie cząstkowe wzoru:



Rys. 63.

$$G=R\frac{\alpha_2}{\alpha_1-\alpha_2},$$

(R zmienne)

$$\frac{dG}{G}=\frac{dR}{R},$$

(α_1 zmienne)

$$\frac{dG}{G}=-\frac{d\alpha_1}{\alpha_1-\alpha_2},$$

(α_2 zmienne)

$$\frac{dG}{G}=\frac{\alpha_1}{\alpha_1-\alpha_2}\frac{d\alpha_2}{\alpha_2}.$$

Jeżeli założymy, że błędy się dodają i że $d\alpha_1=d\alpha_2$, to błąd całkowity

$$\frac{dG}{G}=\frac{dR}{R}+\frac{\alpha_1+\alpha_2}{\alpha_1-\alpha_2}\frac{d\alpha_2}{\alpha_2}.$$

Połóżmy $\frac{\alpha_1}{\alpha_2}=n$, to

$$\frac{dG}{G}=\frac{dR}{R}+\frac{n(n+1)}{n-1}\frac{d\alpha_2}{\alpha_2}.$$

W wartościach skończonych i po uwzględnieniu czułości układu ze względu na G, otrzymamy ostatecznie błąd graniczny

$$\frac{\Delta_g G}{G}=\frac{\Delta_g R}{R}+\frac{n(n+1)}{n-1}\frac{\Delta_g\alpha_2}{\alpha_2}+\frac{\delta G}{G},$$

gdzie $\Delta_g R$ zakładamy 0,1—0,2%, $\Delta_g\alpha_2$ 0,2 podziałki, a δG otrzymuje się, zmieniając jeden z oporów tak długo, aż się otrzyma założone odchylenie (0,2) podziałki galwanometru.

Z powyższego wzoru można określić najlepsze warunki pomiaru: Minimum błędu ze względu na odchylenia galwanometru będzie*), jeżeli $n = 2{,}415$ t. j. $\alpha_1 = 2{,}415\,\alpha_2$; prócz tego musi być R duże. Ze względu na to, że przyjmujemy różnicę potencyałów V w obu razach równą, musi być opór R' duży, a R'' bardzo mały, aby błąd z tego powodu powstały, był jak najmniejszy.

d) Metoda równych odchyleń.

Układ połączeń jest podobny do metody poprzedniej *(rys. 63.)*, przychodzi tylko jeszcze opór r, załączony równolegle do galwanometru. Jeżeli upustu r nie ma, to prąd przechodzący przez galwanometr i dający odchylenie α będzie

$$J = \frac{V}{R_1 + G}.$$

Po załączeniu upustu otrzyma się jakieś inne odchylenie; przez zmniejszenie oporu R_1 do wartości R_2 można galwanometr znów sprowadzić do odchylenia α; wtedy płynie przez niego ten sam prąd

$$J = \frac{V}{R_2 + \frac{rG}{r+G}} \frac{r}{r+G} = \frac{Vr}{R_2(r+G) + rG}.$$

Z tych obu równań otrzymamy

$$G = r\frac{R_1 - R_2}{R_2}.$$

Błąd graniczny znajdziemy przez różniczkowanie cząstkowe wzoru

$$G = r\frac{R_1 - R_2}{R_2},$$

(r zmienne) $$\frac{dG}{G} = \frac{dr}{r},$$

(R_1 zmienne) $$\frac{dG}{G} = \frac{dR_1}{R_1 - R_2} = \frac{R_1}{R_1 - R_2}\frac{dR_1}{R_1},$$

(R_2 zmienne) $$\frac{dG}{G} = -\frac{R_1}{R_1 - R_2}\frac{dR_2}{R_2}.$$

Założywszy, że wszystkie błędy się dodają i że $\frac{dR_1}{R_1} = \frac{dR_2}{R_2}$, będzie

$$\frac{dG}{G} = \frac{dr}{r} + \frac{2R_1}{R_1 - R_2}\frac{dR_1}{R_1}.$$

W wartościach skończonych i po uwzględnieniu czułości ze względu na G, otrzymamy jako błąd graniczny

$$\frac{\Delta_g G}{G} = \frac{\Delta_g r}{r} + \frac{2R_1}{R_1 - R_2}\frac{\Delta_g R_1}{R_1} + \frac{\delta G}{G},$$

*) p. Gerard, op. cit. str. 12. i 447.

gdzie $\Delta_g r$ i $\Delta_g R_1$ bierze się 0,1—0,2%, a δG otrzymuje się jak wyżej.

Przez odpowiednią dyskusyę metody, można dojść*), że błąd będzie tem mniejszy, im r mniejsze, a R_1 większe.

Z czterech powyższych metod najdokładniejsze wyniki daje metoda Thomsona, potem metoda równych odchyleń.

b) Wyznaczenie stałej statycznej.

Cewka ruchoma galwanometru, ustawiona równolegle do linii sił magnesu stałego, między którego biegunami jest umieszczona, doznaje pod wpływem prądu J, przepływającego przez nią, odchylenia i stara się ustawić prostopadle do pierwotnego położenia. Ponieważ przeciwdziała temu sprężystość nitki, na której jest zawieszona, przeto cewka przyjmie położenie takie, w którem te dwa momenty, skręcający cewkę i przeciwdziałający temu skutkiem sprężystości nitki, będą się równoważyć.

Jeżeli kąt odchylenia φ jest mały, to moment skręcający nitkę będzie $D\varphi$, gdzie D jest to siła kierująca; moment skręcający cewkę jest Hqn, gdzie H jest to natężenie pola, q powierzchnia zajęta przez jeden zwój, a n liczba zwojów. Wtedy będzie więc

$$D\varphi = JHqn,$$

skąd

$$J = \frac{D}{Hqn}\varphi = c\varphi,$$

gdzie $c = \frac{D}{Hqn}$ nazywa się stałą statyczną galwanometru. Oznacza ona zwykle natężenie prądu w amperach, albo co wygodniej w mikroamperach ($1\mu A = 10^{-6} A$), płynącego przez galwanometr i wywołującego odchylenie o jedną podziałkę. To określenie odnosi się do galwanometrów skazówkowych.

Przy galwanometrach lusterkowych, wielkość odchylenia mierzona na skali w podziałkach, zależy od odległości skali od lusterka. Jeżeli odległość skali od lusterka, mierzoną prostopadle do osi obrotu, a wyrażoną w podziałkach skali, nazwiemy przez A, kąt o jaki się cewka odchyli, przez φ, a odchylenie odczytane na skali przez α, to

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{\alpha}{A},$$

*) p. Gerard loc. cit. str. 449.

czyli
$$\varphi=\tfrac{1}{2}\operatorname{arc\,tg}\left(\frac{\alpha}{A}\right).$$

Przy bardzo małych odchyleniach jest $\measuredangle\ \varphi$ proporcyonalny do odchylenia α, t. zn. że wartość łukowa jednej podziałki jest $\frac{1}{2A}$, albo w stopniach łukowych $28^0{,}648\ \frac{1}{A}$.

Przy większych odchyleniach trzeba już uwzględnić dalsze człony szeregu
$$\varphi=28^0{,}648\frac{\alpha}{A}\left(1-\frac{1}{3}\frac{\alpha^2}{A^2}+\frac{1}{5}\frac{\alpha^4}{A^5}-\ldots\right)$$
$$\operatorname{tg}\varphi=\frac{\alpha}{A}\left(1-\frac{1}{4}\frac{\alpha^2}{A^2}+\frac{1}{8}\frac{\alpha^4}{A^4}-\ldots\right).$$

Jeżeli odchylenia są mniejsze niż 6^0, to wystarczy uwzględnić tylko drugi człon.

Najlepiej przyjmować jest podziałkę skali w *mm*, a odstęp lusterka od skali 1 *m*.

Stałą podaje się czasem w kątach; będzie to więc prąd odpowiadający odchyleniu galwanometru o 1^0; jest to najpewniejsze określenie, lecz w praktycznem zastosowaniu niewygodne.

Stałą galwanometru nazywają także czułością galwanometru.

Wyznaczenie stałej galwanometru odbywa się najlepiej w ten sposób, że przez galwanometr przepuszcza się prąd o znanem natężeniu J, które powoduje odchylenie α, wtedy
$$c=\frac{J}{\alpha}.$$

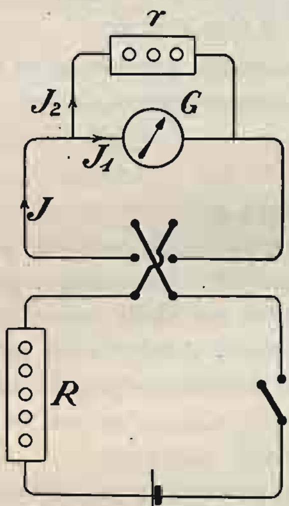
Prąd J mierzy się za pomocą voltametru lub precyzyjnego ampermetru. Najdogodniej jednak jest użyć do tego celu ogniwa normalnego, o *SEM* E i oporze wewnętrznym ϱ, które się załącza w szereg z galwanometrem i dużym oporem R (np. 100000 Ω). Wtedy
$$J=\frac{E}{R+\varrho+G},$$
a
$$C=\frac{1}{\alpha}\frac{E}{R+\varrho+G}.$$

Ażeby otrzymać c w μA, trzeba opory wyrazić w megohmach, a E w voltach.

Zwykle ϱ jest tak małe wobec R, że można je opuścić.

Błąd graniczny stałej c wyznacza się, różniczkując cząstkowo wzór $c=\frac{E}{\alpha(R+G)}$

$$\frac{\Delta_g C}{C}=\frac{\Delta_g E}{E}+\frac{\Delta_g \alpha}{\alpha}+\frac{\Delta_g (R+G)}{R+G},$$



Rys. 64.

gdzie $\Delta_g E$ przyjmuje się 0,05%, $\Delta_g \alpha$ 0,1 podziałki, $\Delta_g R$ 0,1—0,2%, a $\Delta_g G$ zależy od dokładności pomiaru oporu galwanometru.

Z tego wzoru widać również, że aby błąd był najmniejszy, trzeba utrzymywać duże R i duże odchylenie α, które jednak zależne jest od R (por. str. 13). W ogóle powinno się dążyć do tego, aby odchylenie było jak największe.

Jeżeli opór R jest za mały, aby utrzymać odchylenie galwanometru w granicach podziałki, trzeba załączyć upust r do galwanometru *(rys. 64.)*. Wtedy

$$\frac{J_1}{J_2}=\frac{r}{G}$$

$$J_1=J_2\frac{r}{G},$$

ponieważ $J_2=J-J_1$, przeto

$$J_1=\frac{r(J-J_1)}{G}=\frac{Jr}{G+r} \quad \ldots\ldots \quad 1)$$

Za J wartość z $E=JR+J_1G=JR+\frac{Jr}{G+r}G$,

z tego

$$J=\frac{E}{R+\frac{Gr}{G+r}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Z 1) i 2)

$$J_1=\frac{Er}{R(G+r)+Gr}.$$

Ponieważ $c=\frac{J_1}{\alpha}$, przeto

$$c=\frac{1}{\alpha}\frac{Er}{R(G+r)+Gr}.$$

Błąd graniczny tego wzoru znajduje się także za pomocą różniczkowania cząstkowego. Dla uproszczenia podany jest on odrazu (przyczem założono, że błędy procentowe opornic R i r są równe)

$$\frac{\Delta_g c}{c}=\frac{\Delta_g E}{E}+\frac{\Delta_g \alpha}{\alpha}+\frac{2RG+Rr}{R(G+R)+Gr}\frac{\Delta_g R}{R}+\frac{G(R+r)}{R(G+R)+Gr}\frac{\Delta_g G}{G}.$$

Zamiast ogniwa normalnego można wziąć zwykłe, a za to mierzyć natężenie prądu J przyrządem precyzyjnym. Wtedy

$$c=\frac{1}{\alpha}\frac{Jr}{G+r}.$$

c) Badanie proporcyonalności odchyleń.

Stała c, znaleziona w sposób powyższy, odnosić się powinna do każdego odchylenia galwanometru. Jak jednak już wyżej powiedziano, odchylenia, odczytane na skali, są tylko do pewnej granicy proporcyonalne do prądu. Ażeby więc móc użyć odczytane odchylenie do obliczenia natężenia prądu, należy je przeliczyć w sposób podany wyżej, albo — co jest wygodniej — mieć odrazu stałą c dla różnych odchyleń.

Robi się to w ten sposób, że za pomocą tego samego ogniwa i przy regulowaniu oporu, powoduje się odchylenia galwanometru, n. p. co 5 lub 10 podziałek, na przemian w jedną i w drugą stronę od 0, i oblicza się każdorazową wartość stałej c. Te wartości nanosi się jako rzędne dla odpowiednich odchyleń jako odciętych.

Albo też oblicza się z napięcia i oporu każdorazowe natężenie prądu i nanosi się je jako odcięte, a jako rzędne odpowiednie odchylenia. W razie gdy istnieje proporcyonalność między odchyleniami a prądami, to linia łącząca poszczególne punkty jest prostą. W przeciwnym razie odchyłki od niej oznaczają poprawki.

Częstokroć wystarcza, jeżeli z obliczonych wartości stałej przy różnych odchyleniach weźmie się średnią.

Za pomocą przełącznika bada się zgodność odchyleń w obie strony.

2. Badanie galwanometru balistycznego.

Galwanometrem zwykłym można mierzyć tylko prąd trwale przez niego przepływający. Prąd krótko trwający, powoduje wprawdzie odchylenie cewki ruchomej galwanometru, to odchylenie nie jest jednak miarą natężenia prądu, gdyż zanim galwanometr się uspokoi, prąd już zniknie, a tylko trwałe odchylenie jest tu miarodajne. Do pomiaru krótko trwających prądów, a właściwie ilości elektryczności, powstających skutkiem tych prądów (przy wyładowaniu kondenzatora, przy przerwaniu prądu w cewce), stosuje się zasadę pomiaru siły uderzenia kuli karabinowej lub armatniej; uderzenie sprawia tu ilość elektryczności. Czas trwania uderzenia musi być tak krótki, aby działanie uderzenia już zniknęło, zanim przyrząd dozna odchylenia. Część ruchoma galwanometru musi być w takim razie dostatecznie ciężka, aby dopiero odchyliła się, kiedy prąd już przez nią przepłynął; czas trwania jednego odchylenia musi być bardzo duży, a tłumienie jak najmniejsze.

Równanie podające zależność odchylenia galwanometru od ilości elektryczności jest

$$a_1 = e^{-\frac{\Lambda}{\pi} \operatorname{arc tg} \frac{\pi}{\Lambda}} \frac{HqnQ}{\Theta} \frac{T_0}{\pi}.$$

Znajomość wyprowadzenia tego wzoru jest potrzebna do zrozumienia działania i własności galwanometru balistycznego; z tego względu podane jest ono poniżej.

Równanie to wyprowadza się*) z prawa ruchu cewki, że zmiana jej siły żywej jest równa sumie algebraicznej prac elementarnych sił występujących przy odchyleniu. Jeżeli Θ jest to moment bezwładności cewki, ω chyżość kątowa, a M momenty działające przy ruchu, to

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\Theta\omega^2}{2}\right) = \Theta\omega\frac{d\omega}{dt} = \Sigma(M\omega).$$

Ponieważ $\omega = \frac{d\alpha}{dt}$, gdzie α jest to kąt odchylenia cewki w czasie t,

przeto $$\Theta\frac{d^2\alpha}{dt^2} = \Sigma(M).$$

Momenty działające podczas ruchu są następujące:

moment przyśpieszający, zależny od prądu i krótko trwającego i wynoszący według poprzedniego $iHqn$;

moment opóźniający, powstający skutkiem skręcenia nitki, proporcyonalny do kąta odchylenia α, można go wyrazić przez $-D\alpha$, gdzie D jest to siła kierująca;

moment tłumiący, pochodzący od tłumienia cewki skutkiem prądów wirowych i tarcia o powietrze. Praca tłumienia da się wyrazić przez moment spowodowany prądem i', powstającym skutkiem *SEM* przy

*) p. Kohlrausch, Gerard, op. cit.

ruchu cewki z chyżością kątową $\frac{d\alpha}{dt}$; wtedy *SEM* jest $Hqn\frac{d\alpha}{dt}$, a prąd $i' = \frac{Hqn}{R}\frac{d\alpha}{dt}$, gdzie R jest to opór obwodu cewki galwanometru; moment skutkiem prądu i będzie więc

$$i'Hqn = -\frac{H^2q^2n^2}{R}\frac{d\alpha}{dt}.$$

Praca tarcia p_t jest proporcyonalna do chyżości, moment będzie więc $-p_t\frac{d\alpha}{dt}$. W obu wypadkach znak — wskazuje, że te momenty są skierowane przeciw momentowi przyspieszającemu.

Całe równanie będzie więc

$$\Theta\frac{d^2\alpha}{dt^2} = iHqn - D\alpha - \frac{H^2q^2n^2}{R}\frac{d\alpha}{dt} - p_t\frac{d\alpha}{dt},$$

czyli

$$\Theta\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \left(p_t + \frac{H^2q^2n^2}{R}\right)\frac{d\alpha}{dt} + D\alpha = JHqn \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1)$$

Jeżeli uderzenie jest krótkie, a moment bezwładności dostatecznie duży, to po czasie τ, kiedy uderzenie już ustąpiło, a cewka jeszcze się nie poruszyła, będzie $\alpha = 0$, czyli

$$\Theta\frac{d^2\alpha}{dt^2} = iHqn,$$

po scałkowaniu

$$\Theta\frac{d\alpha}{dt} = Hqn\int_0^\tau idt = HqnQ.$$

gdzie Q jest ilością elektryczności, sprawiająca uderzenie.

Po czasie τ, kiedy ilość elektryczności już ustąpiła, $HqnQ = 0$, czyli

$$\Theta\frac{d^2\alpha}{dt} + \left(p_t + \frac{H^2q^2n^2}{R}\right)\frac{d\alpha}{dt} + D\alpha = 0 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 2)$$

Jeżeli podzielimy to równanie przez Θ i położymy

$$\frac{p_t}{2\Theta} + \frac{H^2q^2n^2}{2R\Theta} = a,$$

gdzie a jest to t. zw. czynnik tłumienia, a

$$\sqrt{\frac{D}{\Theta}} = b,$$

to równanie 2) przedstawi się w formie

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + 2a\frac{d\alpha}{dt} + b^2\alpha = 0,$$

która ma dwa rozwiązania zależnie od tego, czy $a > b$, czy też $a < b$.

Jeżeli $a > b$, to $\alpha = e^{-at}(Ae^{t\sqrt{a^2-b^2}} + Be^{-t\sqrt{a^2-b^2}})$ . . . . 3)
jest to równanie ruchu aperyodycznego, wskazujące, że galwanometr bez wahnień wraca do pierwotnego położenia (tłumienie silne).

Jeżeli $a < b$, to $\alpha = e^{-at}(A\cos t\sqrt{b^2-a^2} + B\sin t\sqrt{b^2-a^2})$ . . . . 4)
jest to równanie ruchu peryodycznego, wskazujące, że galwanometr wykonuje cały szereg wahnień w obie strony nim wróci do pierwotnego położenia (tłumienie bardzo słabe).

Jeżeli położymy $\sqrt{b^2 - a^2} = \rho$,
to będzie $\alpha = e^{-at}(A\cos t\rho + B\sin t\rho)$ . . . . 4a)

a $$\frac{d\alpha}{dt}=e^{-at}[(B\rho-Aa)\cos t\rho-(aB+\rho A)\sin t\rho] \quad \ldots\ldots 5)$$

A i B są to stałe całkowania. Znaleść je można, wprowadziwszy w równania 4a) i 5) początkowe warunki ruchu

$$t=0,\ \alpha=0,\ \text{a}\ \frac{d\alpha}{dt}=\frac{HqnQ}{\Theta}.$$

Wtedy będzie $$A=0,\ B=\frac{HqnQ}{\rho\Theta}.$$

Podstawiwszy to w równanie 4a) i 5), będzie

$$\alpha=e^{-at}\frac{HqnQ}{\rho\Theta}\sin t\rho \quad \ldots\ldots 6)$$

$$\frac{d\alpha}{dt}=e^{-at}\left(\frac{HqnQ}{\Theta}\cos t\rho-\frac{HqnQ}{\rho\Theta}\sin t\rho\right) \quad \ldots\ldots 7)$$

Po czasie t będzie chyżość kątowa $\frac{d\alpha}{dt}=0$,

czyli $$\frac{HqnQ}{\Theta}\cos t\rho=\frac{aHqnQ}{\rho\Theta}\sin t\rho,$$

albo $$\operatorname{tg} t\rho=\frac{\rho}{a},$$

$$\sin t\rho=\frac{\rho}{\sqrt{a^2+\rho^2}}.$$

Pierwsze odchylenie α_1 galwanometru będzie określone wielkością α, odpowiadającą czasowi t_1, którego wielkość jest

$$t_1=\frac{1}{\rho}\operatorname{arc\,tg}\frac{\rho}{a};$$

podstawiwszy to, oraz wartość za $\sin t\rho$ w 6), będzie

$$\alpha_1=e^{-\frac{a}{\rho}\operatorname{arc\,tg}\frac{\rho}{a}}\frac{HqnQ}{\rho\Theta}\frac{\rho}{\sqrt{a^2+\rho^2}} \quad \ldots\ldots 8)$$

Po czasie t_1 galwanometr zacznie się wracać, aż po czasie t_2 chyżość kątowa znowu będzie $=0$, będzie to dla

$$\operatorname{tg} t_2\rho=\operatorname{tg}(\pi+t_1\rho),$$

czyli dla $$t_2=\frac{\pi}{\rho}+t_1.$$

Podobnie będzie $$t_m=\frac{\pi}{\rho}+t_{m-1}=\frac{\pi}{\rho}(m-1)+t_1.$$

W ogóle dla odchylenia α_m otrzymamy według 6)

$$\alpha_m=e^{-at_m}\frac{HqnQ}{\rho\Theta}\sin[\pi(m-1)+t_1\rho],$$

albo $$\alpha_m=\alpha_1 e^{-a(m-1)\frac{\pi}{\rho}} \quad \ldots\ldots 9)$$

Widać stąd, że odchylenia cewki galwanometru są równe pod względem czasu trwania odchylenia, przyczem ten czas jest $\frac{\pi}{\rho}=T$.

e^{-aT} wskazuje, że amplituda odchyleń maleje geometrycznie. Wykładnik aT, wzięty ze znakiem dodatnim, nazywa się **d e k r e m e n t e m** logarytmicznym, $\Lambda = aT$; jest on logarytmem naturalnym ilorazu z dwuch po sobie następujących odchyleń

$$\Lambda = \log_n \frac{\alpha_{m-1}}{\alpha_m} = \log_n k,$$

gdzie k jest to t. zw. stosunek tłumienia.

Podstawiwszy wartości za a i b, będzie

$$a = \frac{\Lambda}{T} = \frac{p_t}{2\Theta} + \frac{H^2 q^2 n^2}{2R\Theta},$$

$$b = \frac{1}{T}\sqrt{\pi^2 + \Lambda^2} = \sqrt{\frac{D}{\Theta}},$$

a

$$\alpha_1 = e^{-\frac{\Lambda}{\pi} \operatorname{arc\,tg} \frac{\pi}{\Lambda}} \frac{HqnQ}{\Theta} \frac{T}{\sqrt{\pi^2 + \Lambda^2}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 10)$$

Jeżeli tłumienia niema, to $a = 0$ i $\Lambda = 0$, a czas wahnienia

$$T_0 = \frac{\pi}{b},$$

stąd

$$T = T_0 \sqrt{1 + \frac{\Lambda^2}{\pi^2}}.$$

Podstawiwszy to w równanie 10), będzie (jak na str. 119.)

$$\alpha_1 = e^{-\frac{\Lambda}{\pi} \operatorname{arc\,tg} \frac{\pi}{\Lambda}} \frac{HqnQ}{\Theta} \frac{T_0}{\pi}.$$

Z tego można już obliczyć ilość elektryczności przepływającą przez galwanometr

$$Q = \frac{\Theta}{Hqn} \frac{\pi}{T_0} \alpha_1 e^{\frac{\Lambda}{\pi} \operatorname{arc\,tg} \frac{\pi}{\Lambda}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 11)$$

Wyrażenie $\frac{\Theta}{Hqn} \frac{\pi}{T_0} = c_b$ nazywa się stałą balistyczną galwanometru;

$$Q = c_b \alpha_1 e^{\frac{\Lambda}{\pi} \operatorname{arc\,tg} \frac{\pi}{\Lambda}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 11a)$$

Dekrement logarytmiczny jest zwykle mały, tak że można przyjąć $\operatorname{arc\,tg} \frac{\pi}{\Lambda}$ prawie równy $\frac{\pi}{2}$, wobec tego będzie

$$Q = c_b \alpha_1 e^{\frac{\Lambda}{2}}.$$

Ponieważ $e^{\frac{\Lambda}{2}} = 1 + \frac{\Lambda}{2} + \frac{1}{1.2} \frac{\Lambda^4}{4} + \ldots$, gdzie wyższe człony można opuścić, przeto

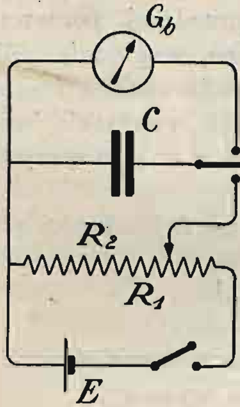
$$Q = c_b \alpha_1 \left(1 + \frac{\Lambda}{2}\right) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 12)$$

Jest to równanie, którego można w większości wypadków użyć. Widać stąd, że do wyznaczenia ilości elektryczności trzeba, prócz stałej balistycznej, znać jeszcze dekrement logarytmiczny.

a) Wyznaczenie stałej balistycznej.

1. Za pomocą kondenzatora.

Kondenzator normalny o pojemności C ładuje się za pomocą ogniwa normalnego o *SEM* E i wyładowuje się go przez galwanometr balistyczny *(rys. 65.)*. Wtedy ilość elektryczności Q, jaka przepłynie przez galwanometr będzie określona przez



Rys. 65.

$$Q = CE = c_b \alpha_1 \left(1 + \frac{\Lambda}{2}\right),$$

z czego
$$c_b = \frac{CE}{\alpha_1 \left(1 + \frac{\Lambda}{2}\right)}.$$

Jeżeli ładunek kondenzatora jest za duży w stosunku do odchyleń galwanometru i aby można było wyznaczać stałą przy różnych wartościach ładunku, zmniejsza się napięcie ogniwa przez umieszczenie go w upuście do oporu R_1, wtedy będzie

$$c_b = \frac{CE\frac{R_2}{R_1}}{\alpha_1 \left(1 + \frac{\Lambda}{2}\right)}.$$

$R_1 - E$ $\frac{E}{R_1}$
$R_2 - E\frac{R_2}{R_1}$

Błąd graniczny stałej c_b będzie

$$\frac{\Delta_g c_b}{c_b} = \frac{\Delta_g C}{C} + \frac{\Delta_g E}{E} + \frac{\Delta_g R_1}{R_1} + \frac{\Delta_g R_2}{R_2} + \frac{\Delta_g \alpha_1}{\alpha_1} + \frac{\Delta_g \Lambda}{2 + \Lambda},$$

$\frac{\Delta\left(1+\frac{\Lambda}{2}\right)}{1+\frac{\Lambda}{2}}$

gdzie $\Delta_g C$ przyjmuje się 0,2%, $\Delta_g E$ 0,05%, $\Delta_g R_1$ i $\Delta_g R_2$ 0,1—0,2%, $\Delta_g \alpha_1$ 0,25—0,5 podziałki, a $\Delta_g \Lambda$ 0,2%.

Przy tej metodzie otrzymuje się tę stałą balistyczną, która odpowiada tłumieniu $=0$, gdyż odchylenie galwanometru jest tu w znacznych granicach (do 100000Ω) nie zależne od oporu galwanometru.

2. Za pomocą cewki.

Ta metoda polega na mierzeniu ilości elektryczności wzbudzonej w cewce wtórnej, o liczbie zwojów n_2, połączonej z galwanometrem, przy przerywaniu prądu J w cewce pierwotnej n_1 (por. str. 79.). Jeżeli opór obwodu galwanometru jest R, to ilość elektryczności Q, jąka przy tem powstanie, będzie

$$Q = \mathfrak{M}\frac{J}{R} = \frac{4\pi J n_1 n_2 q}{lR} = c_b \alpha_1 \left(1 + \frac{\Lambda}{2}\right),$$

Z tego $$c_b = \frac{4\pi J n_1 n_2 q}{l R \alpha_1 \left(1+\frac{\Lambda}{2}\right)} = \frac{\mathfrak{M} J}{R \alpha_1 \left(1+\frac{\Lambda}{2}\right)}.$$

Tutaj stała zależy od oporu R, a więc od tłumienia.

Ta metoda jest mniej dokładna od poprzedniej, ponieważ gdy tam tylko dwie wielkości są spostrzegane, względnie obliczane t. j. α_1 i Λ, to tutaj prócz R, które także czasem trzeba mierzyć (opór galwanometru i cewki wtórnej!) wszystkie inne wielkości są mierzone, względnie spostrzegane, i to nie wszystkie jednocześnie.

Błąd graniczny tej metody zależy od dokładności pomiarów poszczególnych wielkości

$$\frac{\Delta_g c_b}{c_b} = \frac{\Delta_g \mathfrak{M}}{\mathfrak{M}} + \frac{\Delta_g J}{J} + \frac{\Delta_g R}{R} + \frac{\Delta_g \alpha_1}{\alpha_1} + \frac{\Delta_g \Lambda}{2+\Lambda}.$$

Stałą balistyczną należy wyznaczać dla różnych wartości α i otrzymane wyniki ułożyć w wykazy lub wykresy.

b) Wyznaczenie dekrementu logarytmicznego.

Dekrement logarytmiczny Λ jest to logarytm naturalny stosunku dwu bezpośrednio po sobie następujących odchyleń α_1 i α_2, albo jeżeli się weźmie odchylenia α_1 i α_m, to

$$\Lambda = \frac{1}{m-1} \log_n \frac{\alpha_1}{\alpha_m},$$

wyznacza się go więc przez odczytywanie odpowiednich odchyleń, przy zastosowaniu układu połączeń podanego na *rys. 65.*

Błąd graniczny znaleść można przez zróżniczkowanie względem $\frac{\alpha_1}{\alpha_m}$
$$d\Lambda = \frac{1}{m-1} \frac{\alpha_m d\alpha_1 - \alpha_1 d\alpha_m}{\alpha_1 \alpha_m},$$

a
$$\frac{d\Lambda}{\Lambda} = \frac{\alpha_m d\alpha_1 - \alpha_1 d\alpha_m}{\alpha_1 \alpha_m \log \frac{\alpha_1}{\alpha_m}}.$$

Jeżeli położymy $-d\alpha_m = d\alpha_1$, to w wartościach skończonych

$$\frac{\Delta_g \Lambda}{\Lambda} = \frac{\alpha_1 + \alpha_m}{\alpha_m \log \frac{\alpha_1}{\alpha_m}} \frac{\Delta_g \alpha_1}{\alpha_1},$$

gdzie $\Delta_g \alpha_1$ przyjmuje się 0,25—0,5 podziałki.

Z tego wzoru można znaleść najlepsze warunki pomiaru, t. j. minimum członu pierwszego, a więc najlepszy stosunek $\frac{\alpha_1}{\alpha_m}$, przez położenie pochodnej $=0$.
([illegible] równanie $\lg n = \frac{n+1}{n}$

stosunek $\frac{\alpha_1}{\alpha_m}$ winien być ≅ 3,5

c) Wyznaczenie czasu wahnienia.

Czasem jednego wahnienia galwanometru nazywamy czas, w jakim przebiega cewka od jednego położenia skrajnego do drugiego (jest to więc czas jednego półokresu).

Najlepiej jest obserwować kilkakrotnie za pomocą chronometru czas przejścia skazówki przez 0. Gdyby się wzięło średnią z n obliczonych czasów wahnienia, to otrzymałoby się wynik taki sam, jak przez podzielenie przez n różnicy między pierwszem a n-tem spostrzeżeniem. Pośrednie spostrzeżenia byłyby bezpożyteczne. Ażeby je uwzględnić, robimy parzystą liczbę spostrzeżeń, dzielimy na 2 części i z odpowiednio kolejnych spostrzeżeń obliczamy czas wahnienia; z tak otrzymanych wartości bierze się średnią.

Przykład:

L. p.	Czas przejścia przez 0 w sek.	Czas wahnienia w sek.
1	6,0	
2	24,4	z 1 i 4 $\frac{54,0}{3}=18,0$
3	42,2	
4	60,0	z 2 i 5 $\frac{53,5}{3}=17,8$
5	77,9	
6	96,5	z 3 i 6 $\frac{54,3}{3}=18,1$

średni czas wahnienia 17,98 sek.

Jeżeli wahnienia następują za szybko po sobie, to notuje się co drugie przejście, albo dojścia do położenia skrajnego po jednej stronie, a wahnienia oblicza się jak wyżej, tylko z uwzględnieniem odpowiednich zmian.

Czas wahnienia galwanometru bez tłumienia T_0 można obliczyć na podstawie wyprowadzonego powyżej stosunku

$$T_0 = \pi \frac{T}{\sqrt{\pi^2 + \Lambda^2}},$$

t. zn. trzeba znać lub obliczyć poprzednio czas T i dekrement logarytmiczny Λ.

Błąd graniczny powyższego wzoru będzie

$$\frac{\Delta_g T_0}{T_0} = \frac{\Delta_g T}{T} + \frac{\Lambda^2}{\pi^2 + \Lambda^2} \frac{\Delta_g \Lambda}{\Lambda},$$

gdzie za $\Delta_g T_0$ i $\Delta_g \Lambda$ wstawia się znalezione poprzednie wartości.

d) Badanie tłumienia galwanometru.

Charakterystyką tłumienia galwanometru jest stosunek

$$k=\frac{a_1}{a_2}=\frac{a_2}{a_3}=\ldots$$

albo $\frac{a_1}{a_3}=k^2$, czyli $k=\sqrt{\frac{a_1}{a_3}}$, albo ogólnie

$$k=\sqrt[n-m]{\frac{a_m}{a_n}},$$

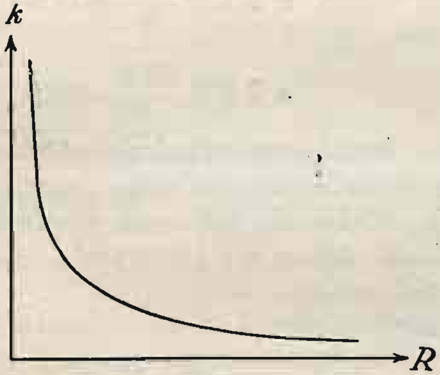
przyczem $\log_n k=\Lambda$, t. j. dekrement logarytmiczny. Oprócz Λ wprowadza się także $\lambda=\log k$, czyli $k=10^\lambda$, albo $\Lambda=2{,}3026\,\lambda$, a $k=e^\Lambda$.

Wobec tego można równanie 11a) napisać w formie

$$q=c_b a_1 k^{\frac{1}{\pi}\operatorname{arc\,tg}\frac{\pi}{\Lambda}};$$

gdzie $k^{\frac{1}{\pi}\operatorname{arc\,tg}\frac{\pi}{\Lambda}}=K$ i nazywa się spółczynnikiem tłumienia.

Najważniejszym czynnikiem tłumiącym ruch cewki galwanometru są prądy indukowane podczas jej ruchu w polu magnetycznem. Im ten prąd jest większy, tem tłumienie silniejsze; zależy więc ono od oporu R obwodu cewki galwanometru t. j. od oporu wewnętrznego galwanometru G i oporu reszty obwodu R'; $R=G+R'$. Ponieważ opór G jest zwykle stały, przeto tłumienie zależy głównie od oporu R'.



Rys. 66.

Zależnie od oporu $R=G+R'$ mogą zajść 3 wypadki:

a) $R>R_k$, gdzie R_k jest to t. zw. opór krytyczny, ? powodujący ruch aperyodyczny. Wtedy tłumienie jest małe, a galwanometr wykonuje peryodyczne wahnienia około położenia pierwotnego t. zn. $k>1$ ale $<\infty$.

b) $R=R_k$, wtedy galwanometr po pierwszem odchyleniu wraca odrazu do pierwotnego położenia t. zn. ruch jest aperyodyczny, $k=\infty$. Wtedy równanie 11a) będzie $q=c_b\alpha e$, czyli $K=e$.

praktycznie galwanometr tłumi się za pomo-
cą zwarcia t. j. połączenia przez b. ma-
R

c) $R < R_k$, wtedy tłumienie jest za wielkie, cewka potrzebuje do wrócenia do pierwotnego położenia dłuższego czasu niż wynosi jej naturalny czas wahnienia. Wtedy $K > e$.

Widać stąd, że każdej wartości R odpowiada inna wartość k; przy używaniu więc galwanometru balistycznego n. p. do metod porównawczych, trzeba utrzymywać przy każdym pomiarze ten sam opór R, albo znać zależność k od R. Ta zależność przedstawia się jak krzywa na *rys. 66.*

Opór załączony równolegle do galwanometru (upust), sprawia przeciwne działanie niż załączony szeregowo: przy zmniejszaniu upustu dekrement, a więc i tłumienie, rosną. Wielkość upustu dla otrzymania ruchu aperyodycznego określa, jak poprzednio, opór krytyczny.

Opór krytyczny R_k znaleźć można z warunku, że $a=b$, czyli

$$\frac{p_t}{2\Theta}+\frac{H^2q^2n^2}{2R_k\Theta}=\sqrt{\frac{D}{\Theta}}.$$

Tłumienie powietrzne jest zwykle o wiele słabsze od indukcyjnego, można je więc opuścić, wtedy

$$R_k=\frac{H^2q^2n^2}{2\Theta}\sqrt{\frac{\Theta}{D}}=\frac{H^2q^2n^2}{2\Theta}\,\frac{T_0}{\pi}.$$

Opór krytyczny wyznacza się zwiększając opór załączony w szereg z galwanometrem, lub zmniejszając upust galwanometru tak długo, aż otrzyma się ruch aperyodyczny, t. j. aż galwanometr po pierwszem odchyleniu wróci odrazu do pierwotnego położenia.

Stosunek tłumienia k oznacza się w zależności od oporu obwodu galwanometru R, powodując wahnienia galwanometru — tą samą ilością elektryczności — przy układzie połączeń *rys. 65.* i zamykając obwód oporami R od ∞ do najmniejszego. Można także zmieniać opór upustem.

Otrzymane wartości nanosi się jako krzywę tłumienia $k=f(R)$ (*rys. 66.*).

e) Sprawdzenie stosunku stałej statycznej do balistycznej.

Poprzednio mieliśmy, że dla tego samego galwanometru

$$\text{stała statyczna}\quad c=\frac{D}{Hqn},$$

$$\text{a stała balistyczna}\quad c_b=\frac{\Theta}{Hqn}\,\frac{\pi}{T_0}.$$

Z praw wahadła mamy

$$T_0=\pi\sqrt{\frac{\Theta}{D}}, \text{ z tego } D=\frac{\pi^2}{T_0{}^2}\Theta.$$

Podstawmy to w równanie na c

$$c=\frac{\Theta}{Hqn}\frac{\pi^2}{T_0{}^2}.$$

Porównajmy to ze wzorem na c_b, to otrzymamy

$$\frac{c}{c_b}=\frac{\pi}{T_0}.$$

Za T_0 można podstawić wartość poprzednio znalezioną

$$T_0=\pi\frac{T}{\sqrt{\pi^2+\Lambda^2}}.$$

$$\frac{c}{c_b}=\frac{\sqrt{\pi^2+\Lambda^2}}{T}.$$

Sprawdzenie tego stosunku odbywać najlepiej ze względu na π; t. j. obliczyć błąd graniczny $\Delta_g\pi$, oraz π' jakie wypada według $\pi=\frac{c}{c_b}T_0$. $(\Lambda=0\ ;\ T=T_0)$

Błąd graniczny π wynosi

$$\frac{\Delta_g\pi}{\pi}=\frac{\Delta_g c}{c}+\frac{\Delta_g c_b}{c_b}+\frac{\Delta_g T_0}{T_0},$$

gdzie za poszczególne błędy graniczne wstawia się błędy otrzymane przy wyznaczaniu tych wielkości.

Wtedy $\frac{\pi-\pi'}{\pi}$ musi być mniejsze od $\frac{\Delta_g\pi}{\pi}$.

f) Pomiar oporu galwanometru.

Opór galwanometru balistycznego mierzy się jedną z metod podanych w poprzednim ustępie (str. 111 i n.), używając galwanometr jako statyczny, lub też wprost jako opór nieznany.

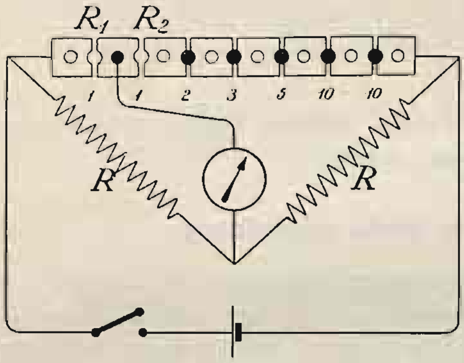
3. Cechowanie opornic.

Opornice o jednej wartości cechuje się, porównując je z takiemi samemi opornicami normalnemi; tak samo opornice zatyczkowe najlepiej jest porównywać z normalnemi opornicami zatyczkowemi. W razie braku tychże używa się oporu normalnego (o jednej wartości) i porównywuje się części lub wielokrotności pewnego oporu o tej samej wartości normalnej ze sobą, a potem jedną część z normalnym oporem.

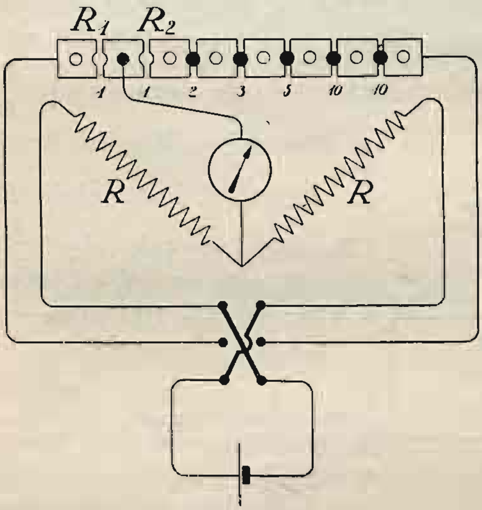
Najlepiej jest zastosować układ połączeń mostku Wheatstone'a *(rys. 67.)*. Opornicę badaną łączy się według układu z dwoma znanymi oporami jednakowymi R. Opory połączeń tych oporów z opornicą badaną muszą być jednakowe. — Galwanometr przyłącza się tak, aby opornica rozpadła się na 2 części R_1 i R_2 o tej samej nominalnej wartości. Jeżeli $R_1 = R_2$, to galwanometr stoi na 0; zwykle jednak tak nie jest, lecz dostaje się odchylenie α_1. Wtedy załącza się zwykle do mniejszego zcechowanego oporu, n. p. do R_2 mały znany normalny opór r (n. p. 0,01, 0,1, 1 Ω, jednak większy od $R_1 - R_2$), wtedy odchylenie będzie $-\alpha_2$. Na mocy interpolacyi metod zerowych (p. str. 16.)

$$R_1 = R_2 + r\frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2},$$

jako rzeczywista wartość R_1.



Rys. 67.



Rys. 68.

Przy zastosowaniu przełącznika do przemieniania oporów R_1 i R_2 *(rys. 68.)*, odpada wpływ ewentualnych nierówności oporów R. Jeżeli odchylenia będą wtedy, odpowiednio do położenia przełącznika, α'_1 i α''_1, oraz α'_2 i α''_2, to

$$R_1 = R_2 + r\frac{\alpha'_1 + \alpha''_1}{(\alpha'_1 + \alpha''_1) + (\alpha'_2 + \alpha''_2)}.$$

Różnicę (Δ) między podaną a rzeczywistą wartością układa się w wykazy lub wykresy.

Protokół pomiaru:

L. p.	$R_{1\,odcz.}$	$R_{2\,odcz.}$	a'_1	a''_1	a'_2	a''_2	$R_{1\,rzecz.}$	Δ

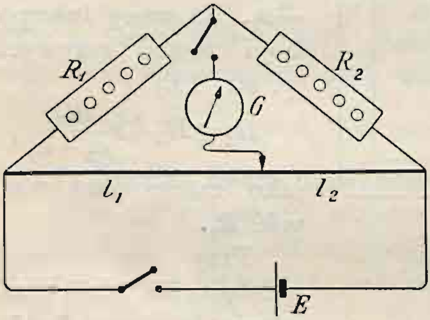
Przy tym układzie połączeń odpada wpływ prądów termicznych, jakie mogą czasem powstać.

4. Cechowanie drutu mierniczego.

Cechowanie drutu mierniczego polega na mierzeniu jego oporu, a właściwie na sprawdzaniu, czy jego jednakowym długościom odpowiadają jednakowe opory: jest to t. zw. kalibrowanie. Przed właściwym pomiarem należy się przekonać — za pomocą śruby mikrometrycznej — czy przekrój drutu jest wszędzie jednakowy.

a) Cechowanie przy pomocy opornicy normalnej *(rys. 69.)*.

Jest to najlepszy sposób. W zwyczajnym mostku Kirchhoffa porównuje się różne stosunki opornic normalnych $\frac{R_1}{R_2}$ ze stosunkiem długości drutu $\frac{l_1}{l_2}$. Najlepiej jest jeżeli R_1 i R_2 obiera się tak, aby było $(R_1 + R_2)$ ohmów $= (l_1 + l_2)\, m/m$, a więc zwykle $1000\, m/m$.



Rys. 69.

Jeżeli $l_1 + l_2 = 1000$, to

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{l_1}{1000 - l_1} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_1}{1000 - R_1},$$

z tego $l_1^{mm} = R_1 \Omega$. Jeżeli drut jest jednolity, to opór jego jest proporcyonalny do długości l_1, wtedy l_1 musi się zgodzić z R_1. W przeciwnym razie drut jest nierówny i należy wprowadzić poprawkę.

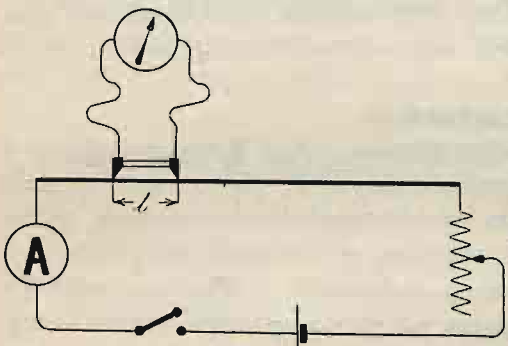
Opory przewodów łączących R_1 i R_2 z drutem powinny być bardzo małe, czyli przewody grube. Dobrze jest przy każdym pomiarze puszczać prąd w obu kierunkach i brać l_1 średnie.

Protokół pomiaru najlepiej jest prowadzić w następujący sposób:

R_1	R_2	$l_{1\,rzecz.}$	$l_{1\,odczyt.}$	$\frac{l_1}{l_2}\,_{odczyt.}$	$\frac{l_1}{l_2}\,_{rzecz.}$	$\pm\Delta$
100	900	100	.	.	.	.
200	800	200	.	.	.	.
300	700	300	.	.	.	.
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
900	100	900	.	.	.	.

Otrzymane w ten sposób poprawki $\left(\Delta = \frac{l_1}{l_2}\,_{odcz.} - \frac{l_1}{l_2}\,_{rzecz.}\right)$ można przedstawić wykreślnie $\Delta = f\left(\frac{l_1}{l_2}\,_{odcz.}\right)$, albo też wykreślić $\frac{l_1}{l_2}\,_{odcz.} = f\left(\frac{l_1}{l_2}\,_{rzecz.}\right)$; o ileby drut był dobrze skalibrowany, to powinno się otrzymać linię pustą.

b) Cechowanie za pomocą przesuwalnych styków *(rys. 70.)*. Wzdłuż drutu mierniczego przesuwa się dwa styki, osadzone na izolowanej podstawie i połączone z galwanometrem.



Rys. 70.

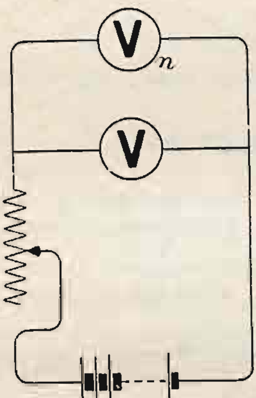
Jeżeli przez drut przepływa stały prąd J — co kontroluje się ampermetrem albo galwanometrem, a reguluje oporem — to przy przesuwaniu styku wzdłuż drutu powinno się dostać te same odchylenia igiełki galwanometru. Wtedy te odchylenia narysowane w funkcyi długości drutu muszą dać prostą równoległą do osi odciętych. W razie nierówności dostanie się dobry przegląd zachodzących stosunków.

5. Cechowanie voltmetrów i ampermetrów.

Najprostszym technicznym sposobem cechowania voltmetrów i ampermetrów jest porównywanie wskazań danego przyrządu z normalnym. Do dokładniejszego cechowania służą

t. zw. kompenzatory, to jest przyrządy, polegające na zasadzie pomiaru *SEM* przez kompenzacyę (por. str. 63.).

Jako źródła prądu najlepiej jest przy cechowaniu używać akumulatorów, gdyż prąd z maszyny nie jest równomierny. Do voltmetrów potrzeba więc bateryi akumulatorów, złożonej często z bardzo wielu ogniw; te ogniwa zwykle są małe, mogące dawać prąd nie większy niż 1 amp. Do ampermetrów wystarczy kilka ogniw o dużym prądzie wyładowania; pamiętać jednak przy tem należy, ażeby napięcie nie było za małe, gdyż przy wielkim prądzie spadek napięcia na wszystkich oporach w obwodzie może być czasem bardzo znaczny.



Rys. 71.

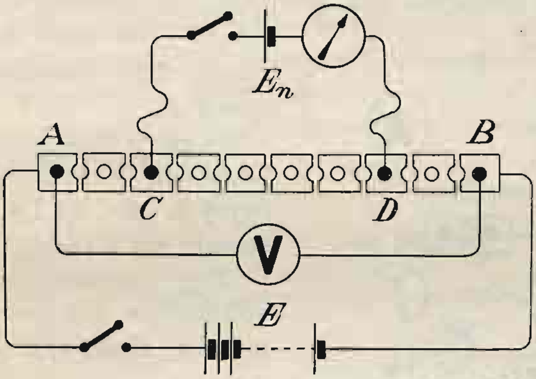
Cechowanie przekonuje nas o dobroci danego przyrządu. Przyrządy precyzyjne mają dokładność do ±0,1 podziałki. Jako określenie dobroci dokładnych przyrządów technicznych, można przyjąć błąd w granicach ±0,2 do 0,3 podziałki, lub ±0,01 do 0,02 wartości rzeczywistej. Przy przyrządach używanych na tablicach rozdzielczych można się zadowolić dokładnością do 0,5 podziałki.

1. Cechowanie voltmetrów.

a) Sposób techniczny *(rys. 71.)*. Voltmetr badany V załącza się równolegle z normalnym V_n na to samo napięcie i za pomocą dodatkowego oporu reguluje się napięcie na ich końcówkach, odczytując (najlepiej w równych odstępach n. p. co 10 podziałek) dla danego wskazania voltmetru badanego, rzeczywistą wartość napięcia na normalnym. Wartości odczytane na badanym przyrządzie nanosi się jak rzędne, a rzeczywiste jako odcięte. Wtedy z wypośrodkowanej krzywej ciągłej otrzymuje się ewentualne poprawki wskazań voltmetru.

b) Sposób precyzyjny, za pomocą kompenzatora *(rys. 72.)*. Kompenzator składa się z szeregu oporów normalnych (przedstawionych jako opornica zatyczkowa AB), dających się dokładnie regulować. Do nich przykłada się dwie *SEM*-e pomocniczą E i normalną E_n. Voltmetr badany załącza się na końcach oporu AB, o wartości n. p. R_1, a w upuście do oporu

R_1 n. p. na długości CD, o wartości R_2, daje się ogniwo normalne i w szereg z niem galwanometr. Opór CD reguluje się tak, aby galwanometr nie dawał odchyleń, czyli aby ogniwo normalne było skompenzowane, wtedy



Rys. 72.

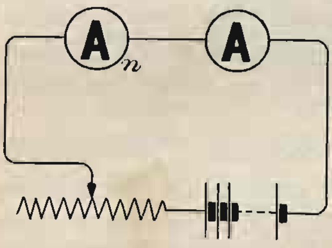
$$\frac{V}{E_n}=\frac{R_1}{R_2},$$

czyli $$V=E_n\frac{R_1}{R_2}.$$

Zamiast opornicy normalnej można wziąć drut mierniczy; wtedy w miejsce oporów przyjdą odpowiednie długości. Przy używaniu ogniwa normalnego (n. p. Westona) należy uważać, aby nie zamykać go oporem nie mniejszym, niż 100000 Ω; dopiero kiedy prądu wcale nie daje, można ten opór wyłączyć.

2. Cechowanie ampermetrów.

a) Sposób techniczny *(rys. 73.)*. Ampermetr badany A łączy się w szereg z normalnym A_n i za pomocą oporu dodatkowego reguluje się natężenie prądu przepływającego przez oba przyrządy; wskazania ich porównuje się ze sobą.



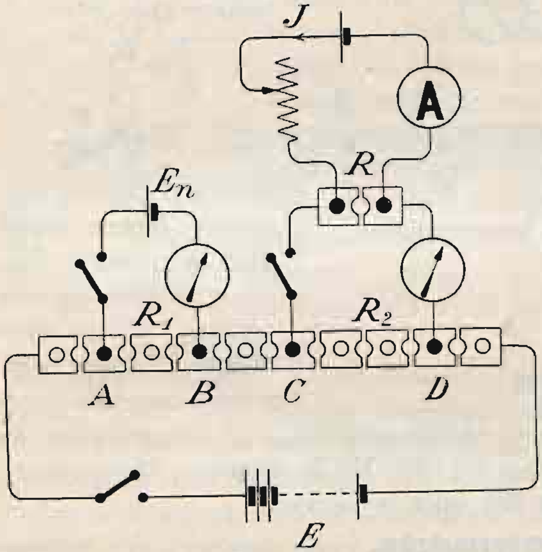
Rys. 73.

b) Sposób precyzyjny, za pomocą kompenzatora *(rys. 74.)*. Kompenzator załącza się według podanego układu. Prąd J, przechodzący przez ampermetr badany A, przepływa przez opór normalny R i wywołuje spadek napięcia JR. Ten spadek napięcia kompenzuje się w zwykły sposób względem E, będzie to dla wartości oporu $CD=R_2$; potem kompenzuje się tak samo ogniwo normalne E_n. Te dwie różnice potencyałów między p. A i B oraz C i D porównuje się ze sobą

$$\frac{JR}{E_n}=\frac{R_2}{R_1},\ \text{z tego}\ J=E_n\frac{R_2}{RR_1}.$$

W ten sposób postępuje się dla różnych wartości J, zmieniając natężenie prądu za pomocą oporu dodatkowego.

Tego samego układu połączeń używa się przy cechowaniu voltmetrów do napięć niższych niż 1 V; voltmetr załącza się wtedy równolegle do oporu CD (zamiast oporu R).



Rys. 74.

Uwagi podane przy metodach kompenzacyjnych (str. 58. i n.) stosuje się i tutaj.

Przy cechowaniu voltmetrów i ampermetrów elektromagnetycznych (o rdzeniu żelaznym) należy uwzględnić hysterezę i zdjąć cały przebieg krzywej cechowania wzrastającej i opadającej; ta ostatnia będzie leżeć wyżej niż pierwsza. Krzywa wypośrodkowana z tych dwuch będzie właściwą krzywą cechowania. Przy tem należy zachować środki ostrożności, jak przy pomiarach magnetycznych; przedewszystkiem więc trzeba stale zwiększać prąd albo stale go zmniejszać, t. j. iść tylko w tym samym kierunku (por. Część II., rozdz. 3.).

Przy prądzie przemiennym cechowanie jest mniej dokładne, gdyż niema tam tak pewnych przyrządów jak kompenzatory. Ograniczyć się więc trzeba do porównywania wskazań przyrządu badanego z normalnym; te przyrządy załącza się albo bezpośrednio, albo za pośrednictwem precyzyjnego transformatorka mierniczego (napięcia lub prądu). Precyzyjne przyrządy do prądu przemiennego (elektrodynamiczne) mają dokładność do $\pm 0{,}2$ podziałki. Przy cechowaniu prądem przemiennym należy także uwzględnić wpływ przebiegu krzywej.

6. Cechowanie wattmetrów.

a) Przy prądzie stałym. — Przez obie cewki, główną i upustową przepuszcza się prądy, pochodzące z 2 różnych źródel; napięcie prądu w cewce głównej może wynosić tylko kilka voltów. Cechowanie odbywa się w ten sposób, że przez jedną cewkę przepuszcza się prąd o stałem natężeniu, a przez drugą regulowany opornicą; przy tem lepiej jest, aby przez cewkę główną płynął prąd niezmieniający się, a to ze względu na wpływ zaburzeń elektromagnetycznych, jakie powstają przy regulowaniu dużych prądów. Prądy przepływające przez obie cewki mierzy się albo za pomocą przyrządów precyzyjnych albo kompenzatorów.

Jeżeli prąd główny J i upustowy i powodują odchylenie α, to

$$c\alpha = Ji = J\frac{V}{r},$$

gdzie r jest to opór cewki upustowej wattmetru; ztąd stała wattmetru

$$c = \frac{VJ}{\alpha r}.$$

Ażeby uniknąć wpływu obcych pól magnetycznych, należy zmieniać kierunek prądu w obu cewkach równocześnie (wtedy moment skręcający zachowuje ten sam kierunek!).

b) Przy prądzie przemiennym. — Cechowanie odbywa się przez porównywanie odczytów danego wattmetru z badanym. Te oba wattmetry łączy się w ten sposób, że ich cewki główne są połączone w szereg i zasilane prądem z jednego źródła, a cewki upustowe są załączone równolegle na drugie źródło. Oba te źródła muszę mieć tę samą częstość okresów, a przesunięcie fazy między niemi ma być umożliwione w znacznych granicach. Do tego celu służą specyalne maszyny.

Cechowanie zaczyna się od przesunięcia 90°, wtedy oba wattmetry (a przynajmniej normalny) nie mogą dać żadnego odchylenia, czyli obie skazówki muszą stać na 0.

Zmianę obciążenia dostaje się w dwojaki sposób, albo utrzymując natężenie w jednej cewce stałe, a zmieniając w drugiej, albo przy obu stałych natężeniach, zmieniając przesunięcie faz między niemi.

7. Cechowanie mierników.

Cechowanie mierników sprowadza się przeważnie do wyznaczania stałej miernika, to jest wartości, przez którą należy wskazania przyrządu pomnożyć, aby otrzymać rzeczywistą wartość pomierzonej energii w ampergodzinach lub wattgodzinach. Pozatem iść może o zbadanie, jak się zachowuje miernik w pewnych warunkach.

Ponieważ na miernikach opierają się rachunki między wytwórcą prądu elektrycznego a konsumentem, przeto w poszczególnych państwach istnieją przepisy normujące cechowanie i badanie mierników przez władze. Te przepisy opierają się zwykle na następujących pomiarach:

Wskazania mierników są zależne do pewnego stopnia od temperatury, napięcia, częstości okresów. Podczas cechowania należy więc te stosunki uwzględnić, albo badać miernik w takich warunkach, w jakich się normalnie znajduje. Tej zależności od wpływów ubocznych nie można dokładnie ustalić, są tylko przybliżone daty. Tak n. p. zmiana temperatury o 1^0C. a napięcia i częstości okresów o $1^0/_0$, powoduje $0{,}15^0/_0$ zmiany stałej.

1. Wyznaczenie stałej miernika. — Najprostrzym sposobem jest obciążenie miernika — przy zachowaniu odpowiednich warunków — i mierzenie za pomocą precyzyjnych przyrządów napięcia, natężenia, mocy, częstości okresów przez pewien przeciąg czasu. W ten sposób otrzymaną pracę porównuje się ze wskazaniami miernika i tak wyznacza się stałą, albo się ją poprawia. Tego rodzaju pomiar wymaga dłuższego czasu, gdyż dokładność będzie tem większa, im czas pomiaru dłuższy; przeto aby nie zużywać na darmo dużo energii, przepuszcza się przez cewkę główną prąd o niskiem napięciu.

Przy miernikach motorkowych i oscylacyjnych można zastosować następujący sposób wyznaczenia stałej. Stała c miernika jest zwykle określona jako liczba obrotów lub oscylacyi, odpowiadająca p wattgodzinom, p jest zwykle $= 1$, 10, 100... lub 0,1, 0,01... jeżeli więc miernik przez przeciąg t sekund wykona N wahnień przy stałej mocy P, to energia przez niego pomierzona powinna wynosić

$$Pt'' = \frac{3600 p N}{c}, \text{ skąd } c = \frac{3600 p N}{P t''}.$$

Do wyznaczania stałej miernika wahadłowego Arona nadaje się bardzo dobrze następujący sposób. Jeżeli oznacza

n różnicę wahnień obu wahadeł, potrzebną do przesunięcia skazówki o jedną podziałkę,

N liczbę wahnień wahadła nieobciąż. na 1 podź.,

$N+n$ liczbę wahnień wahadła obciąż. na 1 podz.,
T czas jednego wahnienia wahadła nieobciąż.,
t czas jednego wahnienia wahadła obciąż.,
to czas przesunięcia się o 1 podziałkę musi być $NT=(N+n)\,t$,

z tego $$N=\frac{nt}{T-t},$$

czyli $$\frac{nt}{T-t}\,\frac{T}{3600}\,p=c$$

będzie ilością wattgodzin odpowiadającą przesunięciu się skazówki miernika o 1 podziałkę czyli stałą miernika.

Przykład: Wyznaczenie stalej miernika wattgodzin (110 V, 13 A). Obliczenie czasu wahnienia. Jedno wahadło w ruchu;

bez obciążenia: 480 wahnień w 292,2″, czyli $\frac{292,2}{480}=0,609=T$,

przy obciążeniu 13,2 amp.: 480 wahnień w 280″, czyli $\frac{280}{480}=0,584=t$.

Obliczenie $(N+n)$. Oba wahadła w ruchu; obciążenie prądem 13,2 amp.
Stan podziałek przed puszczeniem w ruch 183,8,
„ „ po zatrzymaniu 186,4.
Różnica stanu podziałek 2,6. W tym czasie wahadło obciążone zrobiło 1600 wahnień czyli na 1 podziałkę przypada

$$\frac{1600}{2,6}=615=N+n.$$

W obec tego $$N=\frac{615\,.\,0,584}{0,609}=590$$

$$n=615-590=25$$

$$T-t=0,609-0,584=0,025.$$

Stała $c=\frac{25\,.\,0,584\,.\,0,609\,.\,13,2\,.\,110}{0,025\,.\,3600}=$ **144,65** wattgodzin na 1 podziałkę.

2. Wyznaczenie najmniejszego prądu. — Miernik obciąża się przy normalnem napięciu prądem coraz to większym i bada się przy jakiej wartości prądu zaczyna iść pewnie (mierniki motorkowe). Taką samą próbę odbywa się przy zmniejszaniu prądu i bada się kiedy miernik stanie.

B

3. Próba biegu jałowego. — Do miernika nieobciążonego przykłada się coraz to większe napięcie — aż do 120% normalnego — i bada się przy jakiem napięciu zaczyna iść, oraz ile wtedy energii wskazuje.

4. Próba zwarcia. — Miernik załącza się na sieć bez oporu tylko przez bezpieczniki, odpowiadające jego nominalnie największej wartości prądu, wtedy następuje zwarcie i stopki spalają się. Stała miernika powinna pozostać nie zmieniona

przed i po próbie. Ewentualne zmiany pochodzą od zmniejszenia się magnetyzmu magnesów motorku skutkiem oddziaływania obcych prądów. (W obec tego jest wskazane budować mierniki tak, aby pole wytworzone przez cewkę główną nie przechodziło przez magnesy).

Rozporządzenie austr. ministerstwa handlu z 29. grudnia 1903 r. normuje w następujący sposób szczegóły badania mierników:

Jako stałą miernika należy uważać średnią arytmetyczną z 3 wartości t. j. 100, 50 i 10% nominalnego natężenia prądu przy normalnem napięciu; przy prądzie przemiennym i obciążeniu nieindukcyjnem przychodzi jeszcze warunek, aby częstość okresów była ta sama; przy prądzie przemiennym i obciążeniu indukcyjnem oblicza się stałą, jako średnią z 3 powyższych wartości i czwartej otrzymanej przy 100% natężenia prądu i nominalnem $\cos \varphi$ (§. 33.).

Miernik bez obciążenia, a tylko przy załączonem napięciu, ma wskazać nie więcej niż $^1/_{10}$% tej wartości, jakąby wskazał w tym samym czasie przy pełnem obciążeniu (§. 34.).

Miernik ma, jeżeli jego największe natężenie prądu wynosi 3 *A*, zacząć iść pewnie przy 3%, a jeżeli jego największe natężenie prądu jest wyższe niż 3 *A*, przy 2% największego obciążenia (§. 35.).

Różnice wskazań miernika prądu stałego mogą wynosić najwyżej ± 4% nominalnych jego wartości przy temperaturze otoczenia, przy 100, 50 i 10% nominalnego natężenia prądu, przy normalnem napięciu i przy normalnej częstości (mierniki prądu przemiennego nieindukcyjnego). Dokładność wskazań miernika prądu przemiennego indukcyjnego jest taka sama, przyczem pomiar ma się odbywać przy 100% nominalnej wartości natężenia, napięcia i częstości i przy kątach przesunięcia faz 0 i 45° (§. 36.).

Bliższe szczegóły odnoszące się do badania i cechowania mierników znaleźć można n. p. w książce Königswerthera: „Konstruktion und Prüfung der Elektrizitätszähler“, Berlin 1903.

II.

Badanie przewodników i izolatorów.

Materyały używane w elektrotechnice dadzą się podzielić na przewodniki i izolatory, jakkolwiek, ściśle biorąc, niema absolutnych izolatorów i wszystkie ciała w większym lub mniejszym stopniu przewodzą prąd elektryczny. Jako przewodniki określać będziemy ciała, które służą do przewodzenia prądu, a jako izolatory, te które służą do powstrzymania prądu. Stosownie do tego będziemy mówić osobno o badaniu elektrycznych własności przewodników i izolatorów.

A. Badanie przewodników.

1. Wyznaczenie oporu właściwego ciał stałych.

Przewodniki mają zwykle kształt drutu lub pręta o jednostajnym przekroju. Wtedy opór w ohmach kawałka takiego przewodu o długości l w m i przekroju q w m/m^2 jest

$$R = \varrho \frac{l}{q},$$

gdzie ϱ jest to opór właściwy danego materyału; stąd

$$\varrho = \frac{Rq}{l}.$$

Odwotność oporu właściwego $\lambda = \frac{1}{\varrho}$ nazywa się przewodnictwem.

Do wyznaczenia oporu właściwego używa się powyższego wzoru; trzeba więc znać opór danego kawałka, jego długość i jego przekrój.

Opór mierzy się w jakikolwiek dokładny sposób, najlepiej zaś za pomocą mostku Thomsona (p. str. 37.) ze względu na to, że zwykle opór ten jest bardzo mały.

Długość mierzy się za pomocą kilkakrotnego przykładania dokładnej podziałki; przyczem należy czasem wprowadzić poprawki ze względu na rozszerzenie się próbki i podziałki pod wpływem temperatury.

Przekrój oblicza się, za pomocą śruby mikrometrycznej, w kilku lub kilkunastu miejscach i z otrzymanych wartości bierze się średnią; lub przez zważenie danej próbki — zwłaszcza, jeżeli to jest mały a gruby kawałek, — wyrażając jego masę Q w gramach, a długość l w metrach; wtedy przekrój

$$q=\frac{Q}{l\gamma},$$

gdzie γ jest to ciężar właściwy danego materyału. Ponieważ Q, l i γ zmieniają się pod wpływem temperatury, należy te wszystkie wartości sprowadzić do jednej temperatury.

Opór właściwy jest zależny od temperatury, wobec tego należy przy pomiarze uwzględnić ten wpływ temperatury przez sprowadzenie oporu do temperatury n. p. 18°C.

Opór właściwy określa się także jako opór kawałka danego materyału o długości 1 *cm* i przekroju 1 cm^2 i to najczęściej jako opór kostki 1 cm^3; jest to t. zw. opór w *ohmach na cm.* Opór właściwy ϱ' takiej kostki będzie więc od poprzednio określonego 10000 razy mniejszy, a przewodnictwo λ' w ten sposób określone 10000 razy większe.

Pierwsze określenie stosuje się zwykle do przewodników stałych, drugie do cieczy i izolatorów.

Wzajemną zależność ρ, ρ', λ i λ' wskazuje następujące zestawienie:

$$\rho=\frac{1}{\lambda}=10000\,\rho'=10000\,\frac{1}{\lambda'},$$

$$\lambda=\frac{1}{\rho}=\frac{1}{10000}\,\frac{1}{\rho'}=\frac{1}{10000}\lambda',$$

$$\rho'=\frac{1}{\lambda'}=\frac{1}{10000}\,\rho=\frac{1}{10000}\,\frac{1}{\lambda},$$

$$\lambda'=\frac{1}{\rho'}=10000\,\frac{1}{\rho}=10000\,\lambda.$$

Przy bardzo małych oporach wspomniane jednostki są jeszcze za duże; wtedy używa się jednostek 10^6 razy mniejszych t. j. *mikroohmów i mikroohmów na cm.*

N. p. opór drutu miedzianego 1 *m* dług. i 1 mm^2 jest 0,017 *ohmów*; a opór kostki miedzianej 1 *cm* dług. i 1 cm^2 jest 0,0000017 *ohmów na cm* = 1,7 *mikroohmów na cm.*

Opór właściwy ρ, przewodnictwo λ i spółczynnik temperatury α przewodników stałych.

Materyał	ρ przy 18°C	λ	α
srebro	0,016	62,5	+0,0038
miedź	0,017	58,8	0,004
złoto	0,023	43,4	0,004
aluminium	0,032	31,2	0,0036
cynk	0,061	16,3	0,0037
osmium	0,10	10,0	0,004
platyna	0,108	9,2	0,0039
nikiel	0,08—0,11	12,5—9,1	do 0,006
żelazo	0,09—0,15	11,1—6,6	do 0,006
stal	0,15—0,5	6,6—2,0	0,004
tantal	0,15	6,6	0,0033
ołów	0,21	4,7	0,0039
rtęć	0,958	1,04	0,0092
bismut	1,2	0,83	0,0042
konstantan	0,49	2,04	—0,00003 do +0,00005
manganin	0,42	2,38	do +0,00003
nikielin	0,42	2,38	0,00023
węgiel (gazowy)	ok. 50	ok. 0,02	—0,00002 do —0,0008

Daty odnoszące się do innych materyałów znaleźć można u Kohlrauscha op. cit.

2. Wyznaczenie oporu właściwego cieczy.

Metody pomiarów oporu cieczy podane są na str. 44 i n. Z nich nadaje się do wyznaczenia oporu właściwego głównie metoda Kohlrauscha, jako najdokładniejsza, polegająca na pomiarze oporu za pomocą prądu przemiennego lub przerywanego, mostku Kohlrauscha i telefonu.

Przy tem używa się zwykle metod porównawczych, porównując opór danej cieczy z oporem jakiegoś roztworu — najczęściej soli kuchennej — którego opór właściwy ϱ' jest znany. Naczynia używane do tego celu mają zwykle kształt U; elektrody są platynowe, powleczone gąbką platynową.

Do tego samego naczynia wlewa się naprzód jedną ciecz i mierzy jej opór R_1, potem drugą i mierzy się jej opór R_2. Ponieważ naczynia są te same, można położyć

$$R_1 = \varrho'_1 \frac{l}{q}, \quad \text{a} \quad R_2 = \varrho'_2 \frac{l}{q},$$

stąd

$$\frac{\varrho'_1}{\varrho'_2} = \frac{R_2}{R_1},$$

albo $$\varrho'_1=\varrho'_2\frac{R_2}{R_1}.$$

Opór właściwy cieczy określa się zwykle — jak to już poprzednio zaznaczono — w *ohmach na cm.*

Ciecze mają spółczynnik temperatury ujemny; przy pomiarze oporu właściwego należy uwzględnić wpływ temperatury i opór sprowadzić do temperatury 18°C.

Najczęściej używane są następujące roztwory (według Kohlrauscha):

Materyał	Roztwór w %	Ciężar gatunk. γ	Opór właściwy ϱ'	Spółczyn. temper. α
Kwas siarkowy H_2SO_4	30,4	1,224	1,36	—0,016
Sól kuchenna $NaCl$	26,4	1,201	4,68	—0,022
Azotan srebra $AgNO_3$	15	1,040	14,7	—0,022
Sól kwaśna $MgSO_4$	17,3	1,870	20,5	—0,026
Siarczan miedzi $CuSO_4$	15	1,167	23,8	—0,022
Kwas octowy $C_2H_3O_2$	16,6	1,022	62,1	—0,018

3. Wyznaczenie spółczynnika temperatury.

Opór prawie wszystkich przewodników zależy od temperatury; u ciał stałych przeważnie rośnie on z temperaturą, u cieczy maleje. Przyrost oporu jakiegoś przewodnika przy ogrzewaniu go od temperatury t_1 do t_2, przedstawia się w formie $$R_2=R_1(1+\alpha t+\beta t^2+...),$$
gdzie R_1 jest to opór tego przewodnika, odpowiadający temperaturze początkowej t_1, a R_2 opór, odpowiadający temperaturze końcowej t_2; α i β są to t. zw. spółczynniki temperatury; ponieważ β jest bardzo małe w obec α (dla miedzi $\beta=0,00000169$) opuszcza się go zwykle i wzór przybiera formę $$R_2=R_1(1+\alpha t),$$
gdzie t jest to różnica temperatury t_2-t_1. α jest to więc zmiana jednostki oporu przy zmianie temperatury o 1°C.

Ponieważ opór jest przy każdej temperaturze inny, należy go sprowadzić do jednej temperatury początkowej; zwykle t_1 bierze się 0° lub 18°C, a R_1 oblicza się na podstawie wymiarów danego przewodnika i jego oporu właściwego (przy 0° lub 18°C).

Opory właściwe i spółczynniki temperatury, sprowadzone do 18°, są podane w tablicy na str. 141.

Spółczynnik temperatury wyznacza się na podstawie dwuch lub więcej pomiarów oporu przy różnych temperaturach. Jeżeli przy t_1 jest opór R_1 a przy t_2 R_2, to

$$R_2 = R_1(1 + \alpha t),$$

z tego

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)}.$$

W podobny sposób wyznacza się α przy temperaturach t_1 i t_3 i t. d. i z otrzymanych wartości bierze się średnią.

Do pomiaru oporów stosuje się bardzo dokładne metody — najlepiej mostkowe. Przewody badane umieszcza się w kąpieli z cieczy nieprzewodzącej prądu (oliwa, nafta) i podgrzewa się ją płomieniem lub — co lepiej — prądem elektrycznym. Ciecz należy ciągle wzruszać, aby się jednostajnie nagrzewała, a pomiar wykonać dopiero wtedy, gdy temperatura już się ustaliła. Najlepiej jest ogrzać kąpiel do dość wysokiej temperatury (100°) i potem przy oziębianiu wykonywać pomiary oporu.

Znając spółczynnik temperatury, można z przyrostu oporu pomierzyć temperaturę danego przewodnika. Tego sposobu używa się przy pomiarze grzania się uzwojeń cewek maszyn elektrycznych.

B. Badanie izolatorów.

1. Wyznaczenie oporu właściwego.

Materyałowi badanemu nadaje się formę płyty, t. j. bardzo małą długość w porównaniu z przekrojem. Z obu stron płyty daje się obłożenia metalowe, połączone z resztą obwodu układu połączeń danej metody.

Do pomiaru najlepszą jest metoda odchyłowa (p. str. 40. i n.). Aby zniweczyć wpływ ewent. wyładowań bocznych, otacza się w pewnem oddaleniu obłożenie, połączone z galwanometrem, pierścieniem z takiego samego materyału i łączy się go z tym biegunem bateryi, który jest przyłączony do galwanometru; wtedy prądy tamtędy przepływające nie wywierają działania na galwanometr. Obłożenia powinne jak najdokładniej przylegać do płyty.

Opór właściwy materyałów, służących do ilozacyi przewodów lub kabli, wyznacza się najlepiej, mierząc opór izolacyi R_i w ohmach (p. Część II., rozdz. 4.) przewodu izolowanego dotyczącym materyałem. Jeżeli przewód goły ma średnicę d_1, a z izolacyą d_1, długość jego wynosi l *cm*, R_i podane jest w ohmach, to opór właściwy izolacyi jest

$$\varrho_i = \frac{2\pi l R_i}{\log_n \frac{d_2}{d_1}}.$$

Przez zanurzenie przewodu w wodzie o różnej temperaturze, można wyznaczyć zależność oporu właściwego od temperatury.

Do wyznaczenia takiej zależności dla materyałów w kształcie płyt, trzeba używać specyalnych termostatów.

Ważniejszy, aniżeli wyznaczenie oporu właściwego izolatorów, jest pomiar ich zdolności izolacyi t. j. wytrzymałości na przebicie; o tem będzie mowa w II. tomie.

2. Wyznaczenie stałej dielektrycznej.

Pojemność kondenzatora jest proporcyonalna do jego stałej dielektrycznej, jeżeli wszystkie linie sił przechodzą przez dielektryk (a nie przez otaczające powietrze). Jeżeli więc mamy dwa kondenzatory o tych samych wymiarach, z których jeden o pojemności C_2 jest z innego materyału, to $C_2 = \varkappa C_1$, gdzie $\varkappa$ jest to stała dielektryczna; stąd

$$\varkappa = \frac{C_2}{C_1}.$$

Na tej podstawie można najdogodniej wyznaczyć stałą dielektryczną.

a) Ciała stałe.

Do pomiaru służy płaski kondenzator powietrzny (w kształcie tarczy) o odstępie obłożeń dającym się regulować. Ciało, którego stałą dielektryczną ma się wyznaczyć, musi być także w kształcie tarczy, o średnicy znacznie większej, niż kondenzator, aby uniknąć bocznego przechodzenia linii sił. Najpierw mierzy się pojemność kondenzatora powietrznego C_1, potem wstawia się w niego jako dielektryk ciało badane i przy tym samym odstępie obłożeń mierzy się pojemność C_2. Wtedy

$$\varkappa = \frac{C_2}{C_1}.$$

Im dielektryk jest cieńszy, tem pomiar dokładniejszy, bo tem mniej linii sił przechodzi bokami.

Jeżeli odstęp obłożeń kondenzatora powietrznego jest niezmienny, a grubości badanej płyty nie można dostosować dokładnie do grubości dielektryku kondenzatora powietrznego, lecz jest ona mniejszą, to można zastosować następujące obliczenie:

Pojemność kondenzatora powietrznego w kształcie tarczy o promieniu r jest $C_1 = \frac{r^2}{4 d_1}$, gdzie d_1 jest to odstęp obłożeń. Jeżeli między te obłożenia wstawimy równolegle płytę o grubości d_2 i stałej dielektrycznej $\varkappa$, którą mamy wyznaczyć, to ta płyta działa jakby warstwa powietrza o grubości $\frac{d_2}{\varkappa}$, prócz tego jest jeszcze warstwa powietrza $d_1 - d_2$, wtedy pojemność tak utworzonego kondenzatora będzie

$$C_2 = \frac{r^2}{4\left(d_1 - d_2 + \frac{d_2}{\varkappa}\right)}.$$

Przez podzielenie otrzymamy

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{d_1 - d_2 + \frac{d_2}{\varkappa}}{d_1},$$

z tego

$$\varkappa = \frac{1}{1 - \frac{d_1}{d_2} \frac{C_2 - C_1}{C_2}}.$$

Jak ze wzoru poznać, ta metoda nie może być bardzo dokładna, a nadto pojemność doprowadzeń może mieć znaczny wpływ na pomiar. Lepszą jest metoda następująca, przy której odpada potrzeba znajomości wzgl. pomierzenia pojemności, oraz wpływ doprowadzeń:

Jeżeli obłożenia kondenzatora powietrznego dają się przesuwać i ich odstęp dokładnie zmierzyć, to po wstawieniu do tego kondenzatora płyty, której stałą mamy wyznaczyć, trzeba pierwotny odstęp obłożeń zwiększyć o δ, aby można było otrzymać pierwotną wartość pojemności C_1. Wtedy, według poprzedniego, odstęp obłożeń będzie $d_1 - d_2 + \frac{d_2}{\varkappa} + \delta$; musi więc być

$$d_1 = d_1 - d_2 + \frac{d_2}{\varkappa} + \delta,$$

z tego $$\varkappa = \frac{d_2}{d_2 - \delta}.$$

Przy tej metodzie można wygodnie zastosować metody zerowe pomiarów pojemności.

b) Ciecze.

Do pomiaru stałej dielektrycznej cieczy nadaje się najlepiej metoda pierwsza; tylko zamiast kondenzatora płaskiego lepiej jest użyć cylindrycznego o wysokich ściankach równoległych i małym odstępie obłożeń. Raz mierzy się pojemność takiego kondenzatora w powietrzu, drugi raz po zanurzeniu go w cieczy i z obu pomiarów oblicza się stałą $\varkappa$.

Kondenzator musi być zanurzony dosyć głęboko, aby znaczna warstwa cieczy nad nim utrudniała boczne pochodzenie linii sił.