

wystarczająco dużą powierzchnię chłodzenia.

d/ Woltomierze techniczne są przyrządami, w których cewka jest wykonana z dużej liczby zwojów cienkiego drutu, zatem posiada ona duży opór $/100 \Omega /$, przez co zużycie prądu wynosi zaledwie mało miliamperów przy pełnem odchyleniu. Rozszerzenie skali uskutecznia się za pomocą oporników dodatkowych, połączonych w szereg z cewką ruchomą, przyczem oporniki te mogą znajdować się w samym przyrządzie lub nazewnątrz niego. Dokładność pomiaru wynosić może 0,03 % na stopień.

R O Z D Z I A Ł IV.

PRZYRZĄDY DYNAMOMETRYCZNE.

1/ Zasada działania.

Przyrządy oparte na zasadzie elektrodynamometru składają się z dwóch cewek, z których jedna jest ruchoma a druga nieruchoma, i przez które przepływa ten sam prąd lub dwa różne prądy. Moment kręjący powstaje wskutek

tendencji do równoległego ustawienia się cewki ruchomej względem nieruchomej, przyczem moment ten jest proporcjonalny do iloczynu obu prądów. Moment zwracający może być wywołany siłą ciężkości, elastycznością zawieszenia lub sprężyną skręceniovą i jest proporcjonalny do kąta odchylenia α .

Równanie równowagi posiada następującą postać:

$$K_1 i_1 i_2 = K_2 \alpha$$

stad:

$$\alpha = \frac{K_1}{K_2} i_1 i_2 = K i_1 i_2.$$

Jeżeli przez obie cewki przepływa ten sam prąd /cewki połączone szeregowo/, to $i_1 = i_2 = i$ zaś $\alpha = K i^2$, skąd $i = C \sqrt{\alpha}$, zatem skala ma charakter kwadratowy. Stała C jest zależna od liczby zwojów cewek i ich wzajemnego położenia, gdyż cewka ruchoma, obracając się, napotyka pole magnetyczne o coraz to innem natężeniu i wskutek tego skala nie rośnie kwadratowo, lecz wolniej. Częstokroć dąży się, przez odpowiednie ukształtowanie cewek, do osiągnięcia równomierności skali.

Bardzo ważną zaletą przyrządów dynamometrycznych jest możliwość stosowania ich do prądu stałego jak i zmiennego, gdyż prąd zmienia swój kierunek w cewce ruchomej i nieruchomej jednocześnie i wskutek tego kierunek momentu kręcącego pozostaje bez zmiany. Wadą zaś tych przyrządów jest znaczny wpływ postronnych pól magnetycznych na ich wskazania, co szczególnie objawia się w cewkach nie zawierających żelaza, gdyż w nich pola magnetyczne prądów są wówczas słabe. Przy pomiarach prądem stałym pole ziemskie wywiera pewien nieznaczny wpływ, który staramy się wyeliminować, wykonując pomiar przy dwóch kierunkach prądu, i biorąc średnią wartość odczytów. Przy pomiarach prądem zmiennym wpływ ten eliminuje się samoczynnie, wskutek ciągłych zmian kierunku prądu.

W przyrządach dla prądu zmiennego czynnikiem wpływającym na wskazania przyrządu są prócz tego prądy wirowe, indukowane w jego częściach masywnych, wskutek czego wskazania przy prądzie stałym i zmiennym różnią się. Należy zatem przy budowie tego rodzaju przyrządów możliwie unikać masywnych części mete-

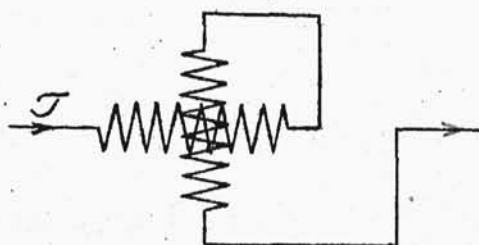
lowych lub też nadawać im takie kształty względnie budować z takiego materiału, aby wpływ prądów wirowych na wskazania przyrządu był minimalny.

Rozróżniamy następujące rodzaje przyrządów dynamometrycznych:

- a/ przyrządy bez żelaza,
- b/ " z osłoną żelazną,
- c/ " z rdzeniem żelaznym.

2/ Zastosowanie.

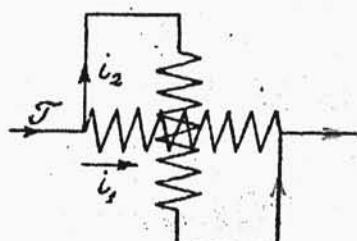
Pomiar prądu = Przy małych prądach stosujemy połączenie szeregowe cewek /rys.34/, w któ-



Rys. 34.

rym przez obie cewki płynie ten sam prąd. W tym wypadku pomiędzy prądem i odchyleniem zachodzi znany związek: $I = c\sqrt{\alpha}$ Ponieważ część ruchoma, składająca się z cewki i sprężyn spiralnych,

musi być możliwie lekka, zatem prąd przez nią przepływający nie może być zbyt duży i wskutek tego przy większych prądach stosuje się połączenie bocznikowe /rys.35/, w którym przez cewkę ruchomą przepływa tylko pewna część prądu całkowitego.

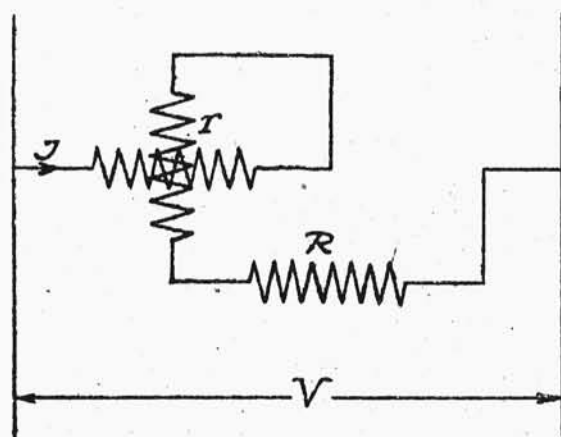


Rys. 35.

Przy prądzie zmiennym występuje pomiędzy prądem i_1 i i_2 pewne przesunięcie fazy, spowodowane różną indukcyjnością cewek, co powoduje zależność wskazań przyrządu od częstotliwości. W celu skompensowania tego wpływu, jak również wpływu, spowodowanego różnicą temperatur cewek, włącza się oporniki dodatkowe, bocznikowe i szeregowo, utrzymujące racjonalny rozdział całkowitego prądu I pomiędzy cewkami.

Pomiar napięcia. - Przy pomiarze napięcia obie cewki są połączone szeregowo, przyczem przepływa przez nie prąd proporcjonalny do napięcia

mierzonego. Aby możliwie zmniejszyć zużycie prądu, obie cewki są wykonane z dużej ilości zwojów cienkiego drutu; oprócz tego przy wyższych napięciach załącza się opornik dodatkowy R /rys.36/.



Rys. 36.

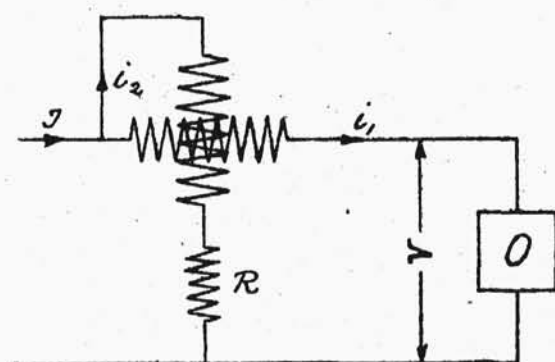
Przyjmując oznaczenia, wskazane na rys.36, otrzymujemy:

$$V = J(r + R) = c\sqrt{\alpha} (r + R) = c'\sqrt{\alpha}$$

czyli skala jest kwadratowa, jak przy amperomierzach. Przy prądzie zmiennym przyrząd wskazuje wartość skuteczną napięcia. Opornik R uniezależnia przytem wskazania przyrządu od częstotliwości /kompensuje indukcyjność cewek/, od kształtu krzywej napięcia oraz od zmian temperatury cewek, gdyż wykonywa się go z materia-

łu o małym współczynniku termicznym.

Pomiar mocy prądu stałego. - Przyrządy dynamometryczne odgrywają bardzo ważną rolę przy pomiarze mocy. Rys. 37 uwidocznia układ połączeń elektrodynamometru, zastosowany do pomiaru mocy odbiornika O .



Rys. 37.

Przez cewkę nieruchomą, t.zw. prądową, przepływa główny prąd I_1 , wskutek czego cewka ta musi być utworzona z małej ilości zwojów grubszego drutu. Cewka druga napięciowa, utworzona z dużej ilości zwojów cienkiego drutu, jest złączona, podobnie jak woltomierz, na napięcie V w szereg z opornikiem dodatkowym R .

Odchylenie cewki ruchomej jest, jak wiadomo, równe $\alpha = K I_1 I_2$. Lecz prąd $I_2 = \frac{V}{R'}$, gdzie R' jest łącznym oporem cewki napięciowej i

opornika dodatkowego R ; a zatem:

$$\mathcal{L} = K i, \frac{V}{R'}$$

Lecz i, V wyraża moc P , zużytą przez odbiornik O ; zatem:

$$\mathcal{L} = K \frac{P}{R'}$$

Stąd zaś:

$$P = \frac{R'}{K} \mathcal{L} = C \mathcal{L}$$

Zatem odchylenie \mathcal{L} elektrodynamometru jest miarą mocy zużytej w odbiorniku O . Przez wprowadzenie odpowiednich poprawek można uwzględnić również straty cieplne, występujące w cewkach.

Pomiar mocy prądu zmiennego. - Przy prądzie zmiennym występuje pomiędzy prądami i_1 i i_2 pewne przesunięcie fazy. Niechaj napięcie zmienia się według prawa:

$$v = v_m \sin \omega t \quad \text{oraz} \quad V = \frac{v_m}{\sqrt{2}}$$

gdzie V jest wartością skuteczną napięcia. Jeżeli prąd główny i , opóźnia się względem napięcia o pewien kąt φ , to wtedy:

$$i_1 = i_{1m} \sin(\omega t - \varphi_1)$$

a w wartościach skutecznych:

$$I_1 = \frac{V}{\sqrt{R_1^2 + \omega^2 L_1^2}} \quad \text{oraz} \quad \tan \varphi_1 = \frac{\omega L_1}{R_1}$$

W tych wzorach R_1 i L_1 oznaczają opór omowy i indukcyjność obwodu cewki prądowej. Prąd i_2 w cewce napięciowej spóźnia się względem napięcia o pewien kąt φ_2 , gdyż cewka ta posiada pewną indukcyjność, zatem:

$$i_2 = i_{2m} \sin(\omega t - \varphi_2)$$

zaś w wartościach skutecznych:

$$I_2 = \frac{V}{\sqrt{R_2^2 + \omega^2 L_2^2}} \quad \text{oraz} \quad \tan \varphi_2 = \frac{\omega L_2}{R_2}$$

przyczem R_2 i L_2 oznaczają opór omowy i indukcyjność cewki napięciowej wraz z opornikiem dodatkowym.

Moment kręcący jest proporcjonalny do iloczynu prądów i_1 i i_2 , zaś kąt obrotu - do średniego momentu kręcącego, zatem:

$$\alpha = K \frac{1}{T} \int_0^T i_1 i_2 dt =$$

$$\begin{aligned}
 &= \kappa \frac{1}{T} \int_0^T i_{1m} i_{2m} \sin(\omega t - \varphi_1) \sin(\omega t - \varphi_2) dt = \\
 &= \kappa J_1 J_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) = \\
 &= \kappa J_1 \frac{V}{\sqrt{R_2^2 + \omega^2 L_2^2}} \cos(\varphi_1 - \varphi_2) = \\
 &= \kappa \frac{V J_1}{R_2 \sqrt{1 + \tan^2 \varphi_2}} \cos(\varphi_1 - \varphi_2) = \\
 &= \kappa \frac{V J_1}{R_2} \cos(\varphi_1 - \varphi_2) \cos \varphi_2.
 \end{aligned}$$

skąd

$$V J_1 = \frac{R_2 \mathcal{L}}{\kappa \cos(\varphi_1 - \varphi_2) \cos \varphi_2}$$

Lecz moc mierzona równa się:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v i_1 dt = V J_1 \cos \varphi_1$$

po podstawieniu zaś wartości na $V J_1$, otrzymamy:

$$P = \frac{\mathcal{L}}{\kappa} R_2 \frac{\cos \varphi_1}{\cos(\varphi_1 - \varphi_2) \cos \varphi_2} = \frac{\mathcal{L}}{\kappa} R_2 \frac{1 + \tan^2 \varphi_2}{1 + \tan \varphi_1 \tan \varphi_2}$$

Ponieważ zwykle kąt φ_2 jest bardzo mały,

t.j. $\operatorname{tg} \varphi_2 \cong 0$, zatem:

$$P = \frac{R_2}{K} \mathcal{L} = c \mathcal{L}$$

czyli w tym wypadku odchylenie \mathcal{L} elektrodynamometru jest miarą mocy zużytej w odbiorniku 0, przyczem otrzymujemy odrazu moc rzeczywistą.

Przez odpowiednie ukształtowanie cewek można osiągnąć niezależność stałej c od położenia cewki ruchomej, a więc równomierność skali.

3/ Przyrządy dynamometryczne bez żelaza.

W starszych konstrukcjach unikano starannie żelaza i starano się zastąpić go materiałami izolacyjnymi. Zaletą tych materiałów jest ich niemagnetyczność, zaś wadą - wielki koszt i trudność obróbki. Istnieją wprawdzie materiały izolacyjne, dające się łatwo obrać, nie są one jednak wytrzymałe na działanie ciepła i wskutek tego zmieniają swój kształt a przez to i stałe przyrządu, nie mogą więc być stosowane. Te znów materiały, które są wytrzymałe na działanie ciepła,

wskutek swej kruchości nie dają się łatwo obrabiać.

Przyrządy dynamometryczne, nie zawierające żelaza, są wrażliwe na wpływ zewnętrznych pól magnetycznych, gdyż pola magnetyczne prądów są w nich słabe; np. w watomierzach gęstość pola magnetycznego przy pełnym prądzie ma wartość około 20 gausów. Dla pełnego obciążenia cewki ruchomej błąd spowodowany wpływem pola ziemskiego wynosi przeciętnie $0,1 \div 0,5 \%$. Przy prądzie stałym wpływ ten eliminuje się przez podwójne odczytywanie, zmieniając kierunek prądu w obu cewkach jednocześnie, przyczem średnia arytmetyczna z tych dwóch odczytów daje mierzoną wielkość.

Pełne usunięcie wpływu obcych pól można uskuteczyć za pomocą układu astatycznego, w którym cewkę ruchomą stanowią dwie cewki skierowane przeciwnie. Jedna z nich znajduje się wewnątrz cewki nieruchomej, a druga z zewnątrz niej. Ponieważ obce pole magnetyczne działa na te cewki w kierunkach przeciwnych, zatem nie będzie ono wpływać na wskazania przyrządu. Moment kręjący pochodzi tylko od jednej cewki ruchomej t.j. wewnętrznej.

Co się tyczy wpływu temperatury, to wynosi on w woltomierzach $0,1 \div 0,2 \%$, a w amperomierzach $0,2 \div 0,3 \%$.

Czułość dynamometrów bez żelaza jest tem większa, im mniejszą jest siła zwracająca.

Istnieje duża różnorodność typów dynamometrycznych przyrządów bez żelaza:

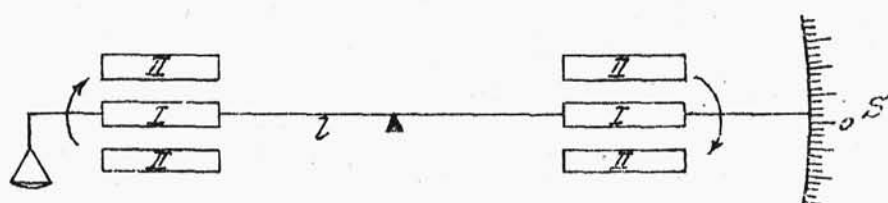
a/ Elektrodynamometr pokretny /Siemens/ jest pierwszym przyrządem dynamometrycznym. Składa on się z cewki stałej i ruchomej, obejmującej stałą, zawieszoną na nitce i umocowanej na śrubce. Pomiar odbywa się w ten sposób, że odchyleną skutkiem prądu mierzonego cewkę ruchomą spowodza się, przez skrócenie śrubki, do pierwotnego /zerowego/ położenia. Wielkość kąta skrócenia jest miarą wielkości mierzonej.

Przyrząd ten jest czuły na działanie pola ziemskiego, przyczem to działanie zależy od położenia cewki ruchomej. Przed przystąpieniem do pomiaru należy przyrząd odpowiednio ustawić, a mianowicie w ten sposób, aby cewka nieruchoma leżała w płaszczyźnie południka magnetycznego, a ruchoma

prostopadle do niej, wskutek czego cewka ruchoma, sprowadzona do pierwotnego położenia, znajdować się będzie stale w tych warunkach, w których pole ziemskie na nią nie działa. W celu przekonania się, czy warunek ten został spełniony, puszczamy do cewki ruchomej prąd stały, obwód zaś cewki nieruchomej pozostawiamy otwartym, wówczas cewka ruchoma winna pozostać w spoczynku. W celu sprawdzenia prostopadłości cewek należy do cewki ruchomej puścić prąd zmienny, a cewkę nieruchomą zewrzeć, i w tym wypadku cewka ruchoma winna pozostać w spoczynku.

Skala jest wykonana w działkach, których liczbę należy pomnożyć przez stałą przyrządu, przeliczoną na wielkość mierzoną. Tłumienie może być powietrzne lub płynne. Te przyrządy zostały już zarzucone i mają one obecnie tylko znaczenie historyczne.

b/ Przyrząd wagowy /Thomson/. Zasadę działania tego przyrządu uwidocznia rys.38; jest on utworzony z dźwigni dwuramiennej Z , do której końców są przymocowane cewki I , i czterech cewek nieruchomych II .



Rys. 38.

W celu usunięcia wpływu pola ziemskiego prądy w cewkach I mają kierunki przeciwne, cewki zaś II są w ten sposób ze sobą połączone, że działania ich na cewki I sumują się. Wyprowadzenie wagi z położenia zerowego równoważy się ciężarkami, które są miarą wielkości mierzonej. Za pomocą tych przyrządów można mierzyć natężenie prądu, napięcie i moc. Dawniej używano ich do cechowania amperomierzy prądu zmiennego, obecnie mają tylko znaczenie historyczne.

c/ Elektrodynamometr lusterkowy, budową swoją przypomina galwanometr lusterkowy z ruchomą cewką, z tą jednakże różnicą, że zamiast magnesu stałego znajduje się cewka nieruchoma; cewka ruchoma jest zawieszona na nitce w polu działania cewki stałej. Przyrządy te służą tak do prądu stałego, jak i zmiennego. Budowa ich postąpiła tak dalece naprzód, że używa się ich jako przy-

rzędów wzorcowych dla prądu zmiennego.

d/ Przyrządy wskazówkowe, zbudowane na zasadzie dynamometru, mogą służyć jako amperowo- i watomierze. Przyrządy te odgrywają szczególnie ważną rolę przy pomiarach prądami zmiennymi. Cewka ruchoma, umieszczona wewnątrz nieruchomej, może być podparta lub zawieszona, tłumienie jest powietrzne. Watomierze Westona, do pomiaru mocy poniżej 3 kW , posiadają t.zw. uzwojenie kompensacyjne, w celu uniknięcia poprawek ze względu na zużycie mocy w przyrządzie.

Do pomiarów prądem stałym korzystnie jest używać przyrządów astatycznych, gdyż przez to odpada konieczność przełączania prądu.

4/ Przyrządy z osłoną żelazną.

Aby uchronić cewkę ruchomą od wpływu obcych pól magnetycznych, zaopatruje się niekiedy przyrząd w pancerz lub osłonę żelazną. Wydatniejsze zwiększenie momentu kręcącego przez to nie następuje, wynosi ono najwyżej 10 %. Wskutek obecności osłony żelaznej przyrządy te nie wzbudzały zaufania, gdyż uważano, że obecność żelaza w

dynamometrze wpływa niekorzystnie na dokładność i niezawodność przyrządu. Jednakże najnowsze konstrukcje i obliczenia przyrządów z osłoną żelazną wykazały nieszkodliwość nawet większych ilości żelaza, o ile przyrząd jest racjonalnie zbudowany. Przy amperomierzach i woltomierzach zaleca się jednak przy prądzie stałym robić podwójne odczyty, zmieniając kierunek prądu. Przy prądzie zmiennym osłona jest wykonana z cienkich blach izolowanych od siebie. Po silnem przeciążeniu cewki prądowej pozostaje w osłonie szczątkowy magnetyzm, który zmniejsza dokładność wskazań przyrządu. Dynamometry z osłoną żelazną znajdują mniejsze zastosowanie niż dynamometry bez żelaza.

5/ Przyrządy z rdzeniem żelaznym.

W celu wzmocnienia pola magnetycznego i wraz z nim momentu kręącego, cewka nieruchoma jest umieszczona wewnątrz żelaznego rdzenia. Przyrząd ten formą zewnętrzną przypomina galwanometr z ruchomą cewką, lecz o wzbudzeniu elektromagnetycznem. Przy prądzie stałym przyrząd wy-

kazuje różnicę wskazań, zależnie od tego czy prąd się zwiększa czy zmniejsza /wpływ hysterezy/, przyczem średnia z dwóch odczytów, odpowiadająca stałemu prądowi w cewce ruchomej, nie jest proporcjonalną do prądu wzbudzającego w cewce nieruchomej. Przy prądzie zmiennym straty hysterezyowe powodują przesunięcie fazy pomiędzy prądem wzbudzającym i polem magnetycznym. Jeżeli to przesunięcie fazy jest duże, to wskazania przyrządu są fałszywe, przyczem błąd wynosi do $0,8 \div 1 \%$.

R O Z D Z I A Ł V.

PRZYRZĄDY INDUKCYJNE,

1/ Zasada działania.

W przyrządach indukcyjnych tarcza lub bęben aluminiowy ruchomy znajduje się pod działaniem nieruchomego elektromagnesu o prądzie zmiennym. Moment kręący powstaje wskutek działania strumienia magnetycznego, przenikającego tarczę lub bęben, na indukowane przez niego w tarczy lub bębnie prądy wirowe.