

J i i w układzie trójfazowym, otrzymamy dla mocy całkowitej prądu trójfazowego wzór następujący:

$$P = 3 \cdot V i = 3 \cdot V \cdot \frac{J}{\sqrt{3}},$$

$$P = \sqrt{3} \cdot V_{ab} J_1.$$

A więc otrzymaliśmy ten sam wzór, jaki znaleźliśmy w przypadku połączenia odbiorników w gwiazdę.

Stąd widzimy, że przy obciążeniu bezindukcyjnym i bezpojemnościowym, równem na wszystkich trzech fazach, moc całkowitą prądu trójfazowego można obliczyć ze wzoru:

$$P = \sqrt{3} \cdot V J,$$

w którym V oznacza napięcie międzyprzewodowe, pomiędzy dowolnymi dwoma przewodami układu trójfazowego, a J — prąd w dowolnym przewodzie.

Wobec tego w tym przypadku jeden woltomierz i jeden amperomierz, włączone tak, jak wskazują rys. 78 i 81, wystarczają do pomiaru mocy prądu trójfazowego.

Jeżeli zaś mamy odbiorniki indukcyjne lub pojemnościowe, czy obciążenie faz nierówne, to posługujemy się watomierzami.

42. Watomierz elektrodynamiczny.

Do mierzenia mocy prądu zmiennego wskazania woltomierza i amperomierza wogóle nie wystarczają, gdyż moc takiego prądu zależy jeszcze od różnicy faz napięcia i prądu. Należałoby zatem w tym przypadku stosować jeszcze trzeci przyrząd — fazomierz.

Wtedy zamiast trzech przyrządów stosujemy jeden watomierz, który od razu wskazuje średnią moc prądu zmiennego.

Ścisłe są watomierze elektrodynamiczne, oparte na zasadzie oddziaływania na siebie dwóch cewek.

Układ cewek i włączenie w obwód do pomiaru mocy, pobranej przez odbiornik, wskazane jest na rys. 84.

Cewka nieruchoma K jest włączona w obwód główny, w niej przepływa prąd J , płynący do odbiornika. Cewka ruchoma k jest połączona przez opornik z punktami c i b obwodu, w których mamy napięcie V_{cb} , różniące się od napięcia V_{ab} na odbiorniku o spadek napięcia w cewce nieruchomej K i w przewodzie, łączącym tę cewkę z odbiornikiem.

W tych warunkach watomierz mierzy moc prądu, pobraną przez odbiornik łącznie z mocą prądu, zamieniającą się na ciepło w części obwodu ca .

Oddziaływanie cewki nieruchomej na ruchomą wytwarza moment obrotowy M , który jest proporcjonalny do prądów, płynących w obu cewkach. Moment ten jest zmienny co do wielkości, a nawet i co do kierunku, o ile prądy w cewkach przyrządu nie jednocześnie zmieniają swój kierunek.

Oznaczmy prąd w cewce nieruchomej przez J , a w cewce ruchomej przez i . W takim razie w chwili t , będzie:

$$M_t = K \cdot J_t \cdot i_t,$$

gdzie K współczynnik proporcjonalności, zależny od położenia cewek, ich wymiarów i liczby zwojów.

Cewka ruchoma jest zazwyczaj osadzona, jak w amperomierzach elektrodynamicznych, w łożyskach z kamieni, za pomocą czopów; spiralne sprężynki utrzymują tę cewkę w położeniu równowagi.

Pomimo zmiennego momentu obrotowego, skutkiem dość znacznej bezwładności układu ruchomego, ustala się przy prądzie okresowo-zmiennym, pewien stały kąt wychylenia tego układu α .

Moment zatrzymujący spiralnych sprężyn M' jest proporcjonalny do tego kąta:

$$M' = K' \cdot \alpha,$$

tu K' współczynnik proporcjonalności jest zależny od własności sprężystych sprężynek.

W równowadze, moment obracający elektrodynamiczny średni równoważy się z momentem zatrzymującym sprężynek:

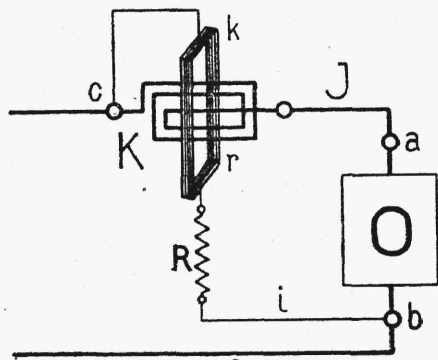
$$M_{sr} = M',$$

stąd

$$K'' (J_t \cdot i_t)_{sr} = K' \cdot \alpha.$$

Jeżeli oporność cewki ruchomej oznaczmy przez r , oporność oporu dodatkowego przez R , a napięcie na końcach obwodu cewki ruchomej $c b$ przez V , to, pomijając nieznaczną indukcyjność ruchomej cewki k , otrzymamy według prawa Ohma:

$$i_t = \frac{V_t}{R + r}.$$



Rys. 84. Włączenie watomierza w obwód.

Podstawiając wyraz na i_t we wzór poprzedni, otrzymamy:

$$(V_t I_t)_{sr} = K''' \cdot \alpha.$$

Tu:

$$K''' = (R + r) \frac{K'}{K''}.$$

Średni iloczyn napięcia przez prąd nazywamy mocą prądu zmiennego P , więc:

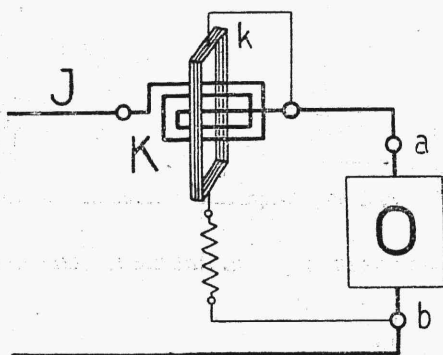
$$P = K''' \cdot \alpha.$$

Wzór ten wyprowadziliśmy, nie robiąc żadnych założeń co do kształtu krzywej prądu, jest więc on słuszny dla wszelkich prądów okresowo-zmiennych.

Jeżelibyśmy założyli, że prąd jest stały, to oczywiście również otrzymalibyśmy ten sam wzór. Możemy więc skalę przyrządu cechować prądem stałym i potem tę samą skalę stosować przy pomiarach mocy prądu zmiennego.

Zwykle udaje się dobrać taki kształt i układ cewek, że współczynnik K''' jest wielkością prawie stałą, wtedy skalę mamy równomierną.

Mierząc moc prądu, pochłanianą przez odbiorniki O , przy połączeniu według rys. 84 popełniamy błąd, mierząc zarazem moc straconą w cewce nieruchomej watomierza.



Rys. 85. Drugi sposób włączenia watomierza w obwód.

Jeżeli zmienimy połączenie, łącząc watomierz według rys. 85, to wskazania watomierza, oprócz mocy, pochłanianej przez odbiornik, zawierać będą jeszcze moc, przetwarzającą się na ciepło w cewce ruchomej, gdyż prąd w cewce nieruchomej składa się z dwóch prądów: z prądu odbiornika i z prądu cewki ruchomej.

Niektóre watomierze bywają zaopatrywane w uzwojenie kompensacyjne, które usuwa wyżej wspomniany błąd.

Cewkę kompensacyjną, połączoną w szereg z cewką ruchomą, umieszcza się nieruchomo w ten sposób, aby nieco osłabić pole magnetyczne, wywołane przez cewkę nieruchomą.

Watomierze, stosowane w pracowniach, zaopatrzone są zwykle w cztery zaciski (rys. 86). Dwa mniejsze do obwodu cewki ruchomej i dwa większe do obwodu cewki nieruchomej.

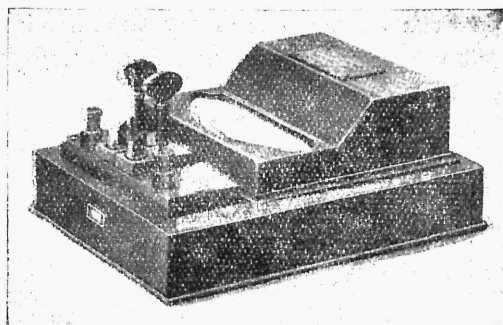
Jeżeli watomierz jest przeznaczony do różnych napięć, to często cewka ruchoma, z małym opornikiem wewnątrz pudełka przyrządu, przystosowana jest do napięcia np. 90 woltów, dla większych napięć np. do 120, 240 420, 600 woltów, mamy oporniki w osobnej skrzynce.

Oporniki te włączamy w obwód cewki ruchomej w ten sposób, aby pomiędzy cewką ruchomą a nieruchomą było jak najmniejsze napięcie, dla uniknięcia przypadkowych krótkich zwarc.

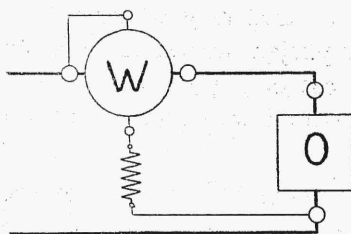
Na rys. 87 i 88 mamy pokazane dwa połączenia: jedno dobre (rys. 87), drugie złe (rys. 88).

Są jeszcze watomierze laboratoryjne z kilku oporami, włączonemi w szereg, znajdującymi się wewnątrz skrzynki przyrządu.

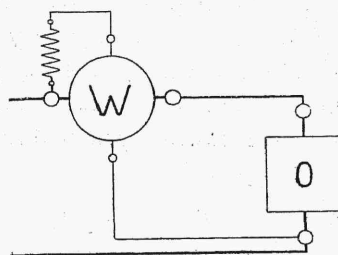
Układ wewnętrznych połączeń takiego watomierza mamy pokazany na rys. 89.



Rys. 86. Watomierz na prąd jednofazowy, ustrój laboratoryjny, w wykonaniu fir. S. & H.



Rys. 87. Dobre włączenie opornika w obwodzie napięciowym watomierza.



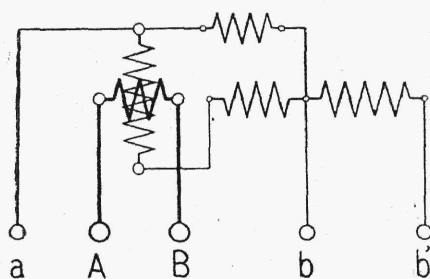
Rys. 88. Złe włączenie opornika w obwodzie napięciowym watomierza.

Tu A i B stanowią zaciski prądowe, połączone z cewką nieruchomą, a zaciski napięciowe mamy podwójne: dla jednego napięcia ab , a dla drugiego wyższego ab' .

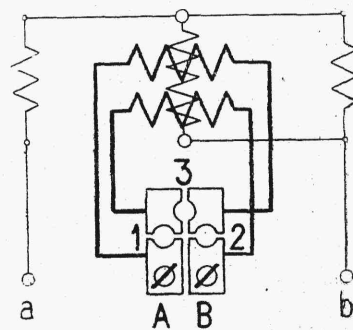
Gdy chodzi o rozszerzenie skali prądu watomierza, stosowane są wielokrotne cewki nieruchome.

Na rys. 90 mamy układ połączeń w watomierzu tego rodzaju. Zaciski prądowe A i B mogą być łączone za pomocą kołków z dwiema nieruchomymi cewkami w rozmaity sposób. Gdy włożymy jeden kołek w gniazdku 3-im, to będziemy mieli szeregowe połączenie cewek. Cały prąd przepływa przez

wszystkie zwoje, a więc działanie magnetyczne cewek będzie znaczne i pełne wychylenie otrzymamy przy prądzie niezbyt wielkim; jeżeli natomiast włożymy dwa kołki w gniazdka 1 i 2, pozostawiając 3-cie puste, to cewki będą połączone równolegle, prąd rozgałęzia się. Jeżeli oporności pozorne cewek weźmiemy zupełnie równe, to przez każdą cewkę popłynie tylko połowa całego prądu, działanie magnetyczne przy tym samym prądzie



Rys. 89. Układ połączeń watomierza na dwa różne napięcia.



Rys. 90. Układ cewek watomierza na dwa zakresy prądu.

będzie słabsze i, chcąc otrzymać pełne wychylenie skali, wypadnie puścić prąd dwa razy silniejszy. W ten sposób przyrząd będzie miał dwie skale, działki drugiej skali będą miały wartości dwa razy większe.

Jeżeli wstawimy trzy kołki, zatykając wszystkie gniazdka, to cewki będą krótko zwarte. Stosuje się to czasem, gdy chodzi o zabezpieczenie przyrządu od chwilowych nadmiernych prądów np. przy rozruchu silników.

43. Poprawka na indukcyjność cewki ruchomej watomierza elektrodynamicznego.

Według wywodów, podanych w paragrafie poprzednim, średni iloczyn prądów w cewkach, ruchomej i nieruchomej, jest proporcjonalny do wychylenia wskazówki watomierza, więc:

$$(J_t \cdot i_t)_{sr} = K \cdot \alpha,$$

jeżeli więc pominiemy indukcyjność cewki ruchomej i oznaczmy całą oporność obwodu cewki ruchomej przez R' , to:

$$i_t = \frac{V_t}{R'}.$$

przeto:

$$(V_t J_t)_{sr} = R' \cdot K \cdot \alpha$$