

Zwykle wałek licznika łączy się za pomocą przekładni ślimakowej, a następnie zębatej z szeregiem krążków, zaopatrzonych w cyfry, które, ustawiając się w okienku licznika, wskazują pewne liczby.

Przekładnie dobiera się w ten sposób, że różnica dwóch liczb, odczytywanych w okienkach licznika w pewnej chwili t_1 i w późniejszej chwili t_2 , wskazuje pracę prądu w czasie $t_2 - t_1$.

Zwojnica dodatkowa S' (rys. 115-a) wytwarza pole magnetyczne, zgodne z polem zwojnic S , S i służy do zrównoważenia momentu tarcia w łożyskach. Moment tarcia hamuje oczywiście bieg licznika; w powyższych wywodach nie był on brany pod uwagę.

Zdarza się nieraz, że z biegiem czasu, gdy powierzchnie, ślizgające się po sobie, przytrą się, moment hamujący tarcia zmniejsza się, a wtedy zwojnica dodatkowa S' może wywołać bieg licznika nawet wtedy, gdy w zwojnicach SS prądu nie ma. Zapobiec temu można przez umieszczenie na tarczy hamulcowej drucika żelaznego. Magnesy stałe przyciągają ten drucik i wstrzymują tarczę do chwili, gdy zacznie płynąć prąd główny w zwojnicach S , S .

Są jeszcze liczniki, oparte na podobnej zasadzie, co i licznik poprzedni, ale ze zwojnicami ruchomymi, które wykonywują tylko części obrotu w jedną i drugą stronę, tudzież liczniki, w których wszystkie zwojnice są nieruchome i tylko lekki rdzeń żelazny porusza się wahadłowo.

58. Liczniki motorowe na prąd zmienny.

Opisany powyżej licznik Thomsona może być stosowany także do prądu zmiennego, bo kierunek momentu obrotowego nie zmienia się przy jednoczesnej zmianie kierunku prądów w zwojach ruchomych i zwojach nieruchomych, wielkość zaś momentu proporcjonalna jest do średniej wartości iloczynu prądów w obu zwojnicach, a więc do średniej wartości iloczynu napięcia przez natężenie prądu.

Obecnie jednak do mierzenia pracy prądu zmiennego są stosowane zazwyczaj liczniki indukcyjne, których ustrój jest znacznie prostszy od ustroju licznika Thomsona.

Zasada wszystkich liczników prądu zmiennego polega na działaniu zmiennych pól magnetycznych na prądy wirowe, wywołane przez te pola w tarczy metalowej, osadzonej na małym wałku, obracającym mechanizm liczbowy*) licznika i hamowaniu tego ruchu za pomocą magnesu stałego.

Przez odpowiedni układ elektromagnesów otrzymujemy moment obracający proporcjonalny do mocy prądu, którego pracę mamy mierzyć. Moment zaś hamujący stałego magnesu, jak to wyprowadzono w paragrafie poprze-

*) Szereg tarcz, lub kółek z liczbami, ustawiającymi się w okienkach licznika.

dnim, jest proporcjonalny do prędkości obrotu tarczy, przy ruchu więc obrotowym jednostajnym, będziemy mieli równanie:

$$C_1 \cdot P = C_2 \cdot n,$$

gdzie C_1 i C_2 — stałe, P —moc prądu, n —liczba obrotów na jednostkę czasu.

Mnożąc obie strony tego równania przez t i wprowadzając oznaczenia:

$$P \cdot t = A, \quad n \cdot t = N, \quad \frac{C_2}{C_1} = C,$$

otrzymamy:

$$A = C \cdot N.$$

Praca prądu jest tu proporcjonalna do liczby obrotów powyższej tarczy i może być mierzona za pomocą tej liczby. Do prawidłowego więc działania licznika konieczne są dwa warunki: moment obracający tarczę, wywołany przez zwojnicę z prądem, powinien być koniecznie ściśle proporcjonalny do mocy prądu zmiennego, moment zaś hamujący — do prędkości ruchu tarczy. Moc prądu zmiennego może być wyrażona rozmaicie, zależnie od tego, jakie są odbiorniki: indukcyjne, czy też bezindukcyjne, jak również zależnie od tego, z ilofazowym prądem mamy do czynienia. Otóż do tych rozmaitych okoliczności przystosować wypada układ zwojnic.

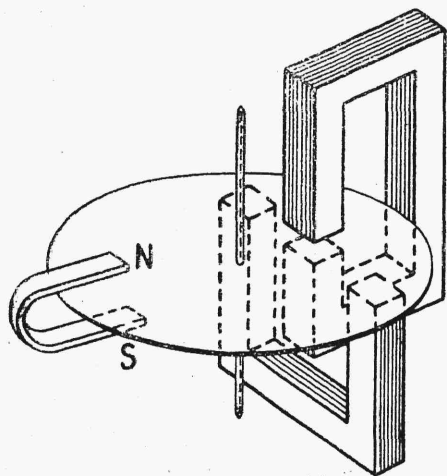
Jakoż rozróżniamy liczniki jednofazowe do obciążenia bezindukcyjnego, jednofazowe do obciążenia indukcyjnego, trójfazowe do równego obciążenia faz, trójfazowe do dowolnego obciążenia faz i t. p.

W celu zapewnienia proporcjonalności momentu hamującego do liczby obrotów tarczy na jednostkę czasu, przy sporządzaniu licznika zachowana być winna zasada zmniejszania do możliwych granic innych momentów hamujących, w powyższym wywodzie nieuwzględnionych.

Celem zrównoważenia momentu tarcia w łożyskach i w mechanizmie liczbowym, są różne urządzenia np. w pobliżu tarczy miedzianej, z boku elektromagnesów umocowana jest blaszka. W tej blaszce zmienne pole magnetyczne elektromagnesów wznicią prądy wirowe, które, działając na prądy wirowe w tarczy ruchomej, wywołują dodatkowy moment obrotowy. Miejsce dla tej blaszki obieramy w ten sposób, aby moment dodatkowy równoważył moment tarcia.

Dla pewności, że licznik będzie się zatrzymywał w razie przerwania prądu głównego, pomimo przepływu prądu w zwojnicach odgałęzionych, przymocowuje się do tarczy drucik żelazny, przyciągany przez magnes stały. Zamiast drucika można tarczę ruchomą w jednym miejscu przedziurawić, przez co układ prądów wirowych przy pewnem położeniu tarczy jest inny i działanie wspomnianej blaszki żelaznej jest wtedy zbyt słabe, aby mogło poruszyć tarczę.

Jako przykład szczegółów ustroju podajemy układ licznika jednofazowego firmy Siemens-Schuckert*). Pod krążkiem (rys. 116 i 117) mamy elektromagnes z rdzeniem, utworzonym z cienkich blaszek żelaznych i uzwojeniem M_1 , włączonem w obwód prądu głównego; w tem samym miejscu obejmuje krążek elektromagnes w kształcie ramki, utworzonej również z cienkich blaszek żelaznych z uzwojeniem, włączonem w odgałęzienie M_2 , przez które płynie prąd, proporcjonalny do napięcia w sieci.

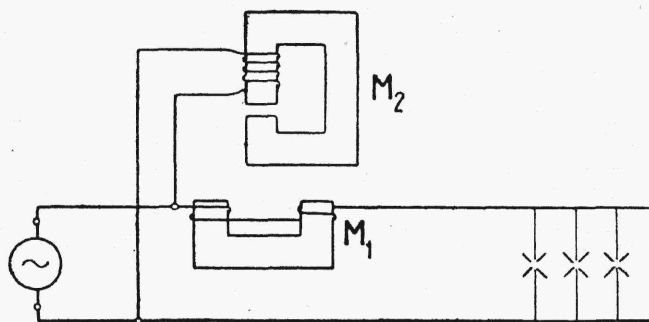


Rys. 116. Układ elektromagnesów Poruszających i magnesu hamującego w liczniku prądu zmiennego

Jeżeli narazie założymy, że mamy obciążenie bezindukcyjne, to wektory prądu głównego J i napięcia V są zgodne (rys. 118). Strumień magnetyczny, wywołany prądem J , oznaczmy przez Φ_1 , wektor tego strumienia jest odchylony od wektora J o kąt ϕ_1 , gdyż jak wiemy strumień magnetyczny spóźnia się względem prądu w zwojnicy skutkiem histerezy w rdzeniu żelaznym i prądów wirowych, które

tu powstają w żelazie i w krążku miedzianym. Prąd i w uzwojeniu drugim spóźnia się względem napięcia o kąt nieco mniejszy od 90° , strumień zaś magnetyczny Φ , wywołany przez ten prąd spóźnia się względem tego prądu tak znacznie, że kąt ϕ , pomiędzy V i Φ , wynosi $90^\circ + \phi_1$ **).

Strumienie Φ_1 i Φ , wznecają w ruchomym krążku prądy wirowe. Prądy te są przesunięte w fazie względem strumieni magnetycznych prawie dokładnie o kąt 90° , w przypuszczeniu, że linii magnetycznych skojarzonych tylko z wtórnymi prądami wi-



Rys. 117. Włączenie cewek licznika prądu zmiennego w obwód lamp.

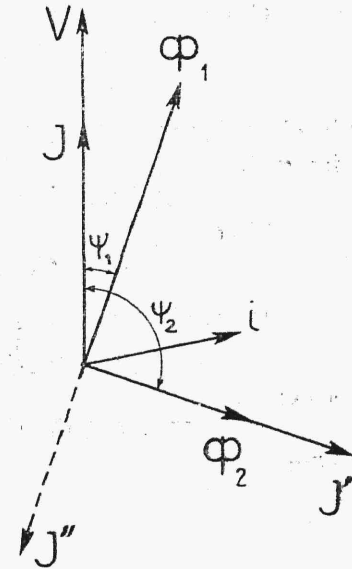
*) Według Dr. Ing. J. A. Möllingera Wirkungsweise der Motorzähler und Messwandler.

**) W końcu tego paragrafu podajemy niektóre szczegóły, sposobu osiągnięcia pomiędzy V i Φ , różnicy faz $90^\circ + \phi_1$.

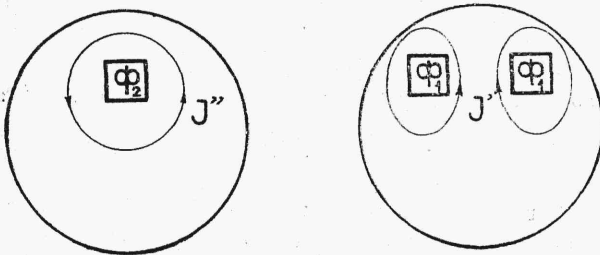
rowemi, jest bardzo mało. Na Rys. 118 wektor J' jest wektorem prądu, wznieconego strumieniem magnetycznym Φ_1 , a wektor J'' wektorem prądu, wznieconego strumieniem magnetycznym Φ_2 . Bieg prądów J' i J'' w krążku pokazany jest na rysunkach 119 i 120.

Działanie strumieni magnetycznych na prądy w krążku wywołuje momenty obrotowe. Siła działania strumienia magnetycznego Φ_1 na prądy wirowe w krążku J' , wzniecone tym strumieniem, jest skierowana prostopadle do powierzchni krążka rys. 119 i momentu obrotowego dać nie może, tak samo siła działania strumienia Φ_2 na prądy wirowe J'' (rys. 119) nie daje momentu obrotowego. Natomiast działanie strumienia magnetycznego Φ_1 na prąd J'' (rys. 120) i strumienia Φ_2 na prąd J' , (rys. 120) wytwarza siły, które leżą w płaszczyźnie krążka, są skierowane w jedną stronę i nie przechodzą przez oś obrotu, wytwarzają więc pewien moment obrotowy, wprawiający w ruch krążek.

Zgodność sił obracających krążek łatwo sprawdzić według reguły trzech palców lewej ręki, uwzględniając, że, stosownie do układu wektorów (rys. 118), Φ_2 zmienia się zgodnie z J'' , a Φ_1 odwrotnie do J'' . W tych warunkach przy wyznaczaniu kierunku siły działania strumienia Φ_1 na prąd J'' należy przyjąć na rys. 120 odwrócony kierunek prądu, gdyż kierunki strumieni magnetycznych i prądów, wskazane na rys. 120, są kierunkami dodatnimi dla wykresu wektorowego.



Rys. 118. Układ wektorów napięcia, prądów i strumieni magnetycznych licznika prądu zmiennego.



Rys. 119 Strumień magnetyczny Φ_2 wznieca w krążku prądy wirowe J'' , a strumień magnetyczny Φ_1 — prądy wirowe J' .

Natężenia prądów wirowych są proporcjonalne do strumieni magnetycznych, wzniecających te prądy.

Oznaczając przez C_1 , C_2 , C_3 i t. d. współczynniki stałe otrzymujemy

$$J' = C_1 \cdot \Phi_1 \quad \text{ i } \quad J'' = C_2 \cdot \Phi_2.$$

A wartość średniego momentu obrotowego określi równanie:

$$M = -C_3 \cdot \Phi_1 \cdot J'' \cdot \cos(\Phi_1, J'') + C_4 \cdot \Phi_2 \cdot J' \cdot \cos(\Phi_2, J').$$

Gdy napięcie i prąd są w odbiornikach zgodne w fazie, jak na rys. 118, to:

$$\angle(\Phi_1, J'') = 180^\circ, \quad \text{a} \quad \angle(\Phi_2, J') = 0,$$

jeżeli zaś pomiędzy prądem w odbiorniku i napięciem będzie różnica faz φ , to:

$$\angle(\Phi_1, J'') = 180^\circ - \varphi, \quad \text{a} \quad \angle(\Phi_1, J'') = \varphi$$

Wtedy:

$$M = C_3 \cdot \Phi_1 \cdot J'' \cdot \cos \varphi + C_4 \cdot \Phi_2 \cdot J' \cdot \cos \varphi.$$

Poprzednio mieliśmy wyrazy:

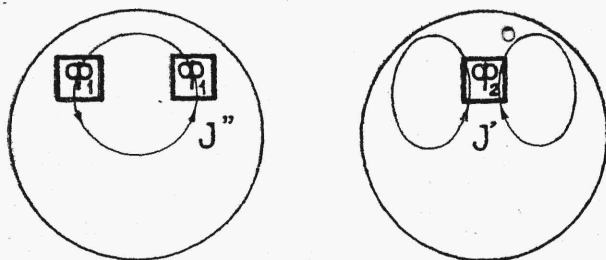
$$J' = C_1 \cdot \Phi_1 \quad \text{i} \quad J'' = C_2 \cdot \Phi_2,$$

więc:

$$M = C_3 \cdot C_2 \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2 \cdot \cos \varphi + C_1 \cdot C_4 \cdot \Phi_2 \cdot \Phi_1 \cdot \cos \varphi,$$

albo:

$$M = (C_3 \cdot C_2 + C_1 \cdot C_4) \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2 \cdot \cos \varphi.$$



Rys. 120. Strumień magnetyczny Φ_2 oddziałuje na prądy wirowe J' , a strumień magnetyczny Φ_1 na prąd wirowy J'' ,

Jeżeli następnie uwzględnimy, że strumień Φ_1 jest proporcjonalny do natężenia prądu głównego J , a strumień Φ_2 proporcjonalny do odgałęzionego prądu i , a i do napięcia V , to wypadnie:

$$M = C_5 \cdot V J \cos \varphi.$$

Wzór ten wskazuje, że moment obrotowy jest proporcjonalny do mocy prądu zmiennego.

Momentowi obrotowemu przeciwstawia się moment hamujący, wywołany oddziaływaniem strumieni magnetycznych na prądy wirowe w krążku, powstające na skutek ruchu obrotowego tego krążka. W hamowaniu przyjmują udział strumienie magnetyczne zmienne Φ_1 i Φ_2 , oraz stały strumień magnetyczny Φ_m , wywołany stałym magnesem.

Siły, a więc i momenty hamujące są proporcjonalne do strumieni magnetycznych i do prądów wirowych, powstających w krążku skutkiem jego ruchu. Prądy te są proporcjonalne do sił elektromotorycznych indukowanych w krążku, a te siły elektromotoryczne znowu są proporcjonalne

do strumieni magnetycznych i do szybkości ruchu krążka, wyrażonej liczbą obrotów na jednostkę czasu. Ujmując wszystkie współczynniki proporcjonalności w jeden, wypadnie, że momenty hamujące poszczególnych strumieni są proporcjonalne do drugiej potęgi tych strumieni i do liczby obrotów krążka na jednostkę czasu.

$$M' = C' \cdot \Phi_m^2 \cdot n + C'' \cdot \Phi_1^2 \cdot n + C''' \cdot \Phi_2^2 \cdot n.$$

W licznikach mamy zazwyczaj strumień Φ_m , znacznie większy od strumieni Φ_1 i Φ_2 .

Wielkość strumienia Φ_m jest stała, przeciętna wartość kwadratu strumienia Φ_2 jest również prawie stała, ze względu na stałą w przybliżeniu wartość napięcia sieci. Uwzględniając powyższe okoliczności, w przybliżeniu możemy napisać, że

$$M' = C^{IV} \cdot n$$

t. j., że moment hamujący jest proporcjonalny do szybkości ruchu krążka. Gdy ruch krążka jest jednostajny, to $M = M'$

$$\text{i } C_5 \cdot V J \cos \varphi = C^{IV} \cdot n$$

Zakładając, że w ciągu czasu t moc prądu pozostaje stałą, otrzymamy:

$$C_5 \cdot V J \cos \varphi \cdot t = C^{IV} \cdot n \cdot t.$$

Ponieważ:

$$A = V J \cos \varphi \cdot t,$$

$$\text{a } n \cdot t = N,$$

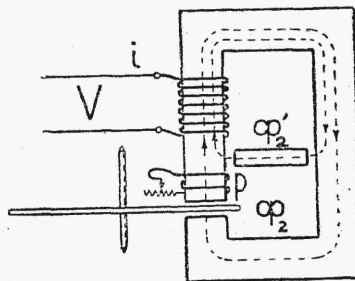
więc

$$A = C \cdot N.$$

Praca jest proporcjonalna do liczby obrotów krążka w czasie t .

Kąt $\phi_2 = 90^\circ + \phi_1$ pomiędzy wektorami V i Φ_2 można osiągnąć wprowadzeniem zwartego uzwojenia pomocniczego P i bocznika magnetycznego (rys. 121), przez który zamyka się strumień Φ'_2 , omijający krążek. W zwojnicy magnesującej będziemy mieli dwie siły elektromotoryczne E od strumienia Φ_2 i E' od strumienia Φ'_2 . Jeżeli przez r oznaczmy oporność omową zwojnicy magnesującej, to według prawa Ohma otrzymamy:

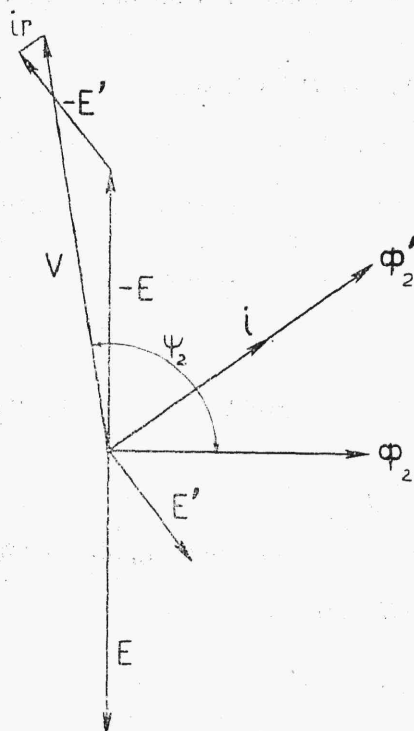
$$v_t = i_t r - E_t - E'_t.$$



Rys. 121. Szczegóły ustroju elektromagnesu napięciowego.

Z dodawania wektorów, wyrażających wartości skuteczne na rys. 122, wypada, że można osiągnąć:

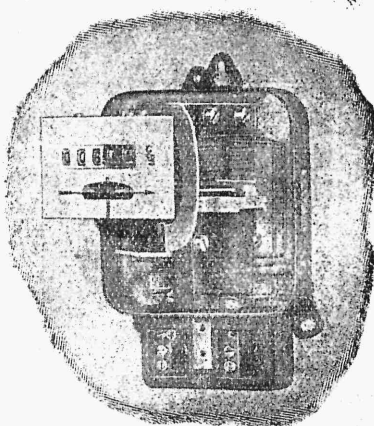
$$\psi_2 = 90^\circ + \psi_1.$$



Rys. 122. Wektory napięć, prądów i strumieni magnetycznych w elektromagnesie napięciowym.

Pomocnicze uzwojenie p , zwarte przez mały regulacyjny opór, zwiększa kąt pomiędzy prądem i i strumieniem Φ_2 , co również sprzyja powiększeniu kąta ψ_2 .

Widzimy więc, że regulacja kąta ψ_2 odbywać się może w dwojaki sposób: bocznikiem magnetycznym i oporem, zwierającym pomocniczą zwojnicę p .



Rys. 122-a. Licznik na prąd zmienny, bez pokrywy, w wykonaniu fir. S. & H.

W celu uniezależnienia się od tarcia w łożyskach i wogóle dokładniejszego zbliżenia działania licznika do przybliżonego wzoru

$$A = C \cdot N,$$

zazwyczaj umocowuje się w pobliżu elektromagnesów blaszki, czy pręciki metalowe w ten sposób, aby powstał niewielki pomocniczy moment obrotowy. Ogólny układ urządzenia licznika na prąd zmienny widzimy na rys. 122 a.

Jeżeli mamy prąd trójfazowy, to przy równym obciążeniu faz, możemy stosować licznik takiej samej budowy, jak wyżej opisany, z niektórymi tylko drobnymi zmianami. Przy różnym zaś obciążeniu faz licznik powinien być zaopatrzony w dwa krążki metalowe, umocowane na jednym wspólnym wałku. Układ połączeń zwojnic takiego licznika z siecią oparty jest na nieco zmienionej zasadzie mierzenia mocy prądu trójfazowego za pomocą dwóch watomierzy.