

mogący obracać się około osi pionowej. Prąd doprowadza się w punkcie 0, leżącym na powierzchni naczynia; odprowadza się go ze środka naczynia. W czasie przepływu prądu rtęć zostaje wprowadzona w ruch obrotowy i porywa ze sobą dzwon. Ruch dzwona przenosi się na liczydło. W nowszych konstrukcjach doprowadzenie i odprowadzenie prądu leżą na powierzchni naczynia w punktach średnicowo przeciwnych. Liczniki te znajdują większe zastosowanie w Anglii; na lądzie stałym nie są prawie wcale stosowane.

R O Z D Z I A Ł XIV.

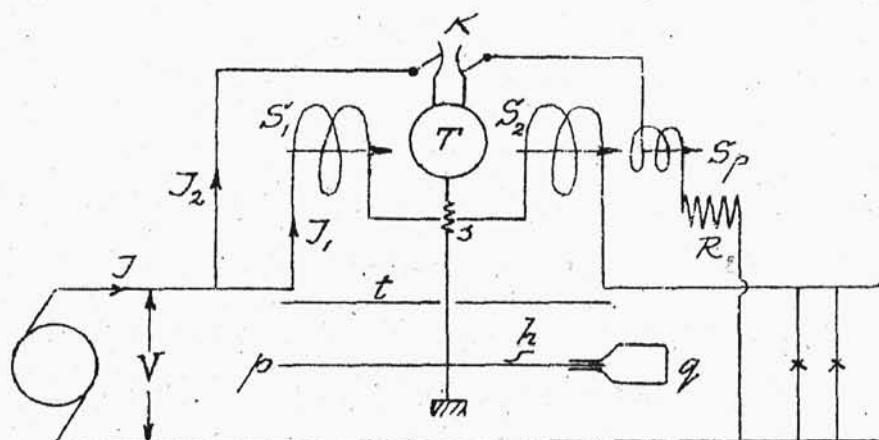
LICZNIKI ELEKTRODYNAMICZNE.

1/ Zasada działania.

Liczniki te polegają na zasadzie działania elektrodynamometru, który jest tak zbudowany, aby cewka ruchoma mogła się obracać w polu magnetycznym, wytworzonym przez cewkę stałą. Ustrój tego licznika jest podobny do ustroju silnika, którego magnesnicę stanowią zwykle dwie cewki prądowe sta-

łe, twornikiem zaś jest cewka napięciowa ruchoma, wykonana w kształcie kuli i opatrzona kolektorkiem i szczotkami. Cewki wspomniane nie zawierają przytem żelaza.

Układ połączeń licznika elektrodynamicznego, jak również ważniejsze jego części, wskazuje rys. 82. Cewki prądowe S_1 i S_2 wytwarzają pole



Rys. 82.

magnetyczne, które działa kręcąco na cewki twornika T . Twornik jest załączony na napięcie V sieci i otrzymuje prąd za pomocą kolektora K ze szczotkami. W szereg z nim jest załączony opór dodatkowy R i cewka pomocnicza S_p , której znaczenie będzie wyjaśnione później. Obwód twornika jest utworzony przeważnie z miedzi i niklu, t.j. materiałów o takim samym współ-

czynniku termicznym, jaki posiada aluminiowa tarcza hamująca ρ . Prąd twornikowy \mathcal{I}_2 powinien być bardzo mały, aby tak zużycie mocy w nim, jak również zużycie szczotek i kolektora było niewielkie; zatem całkowity opór \mathcal{R}_2 obwodu twornikowego powinien być duży. Liczydło jest wprowadzane w ruch za pomocą ślimaka \mathcal{S} . Tarcza hamująca ρ jest oddzielona od systemu pędzącego żelazną płytą \mathcal{Z} , która ma za zadanie wzajemną ochronę tegoż systemu i systemu hamującego. W wypadku zwarcia silne pole magnetyczne mogłoby zmienić magnetyzm stałego magnesu hamującego \mathcal{Q} , co znów mogłoby spowodować zbyt szybki bieg licznika. Płyta \mathcal{Z} zabezpiecza również licznik od biegu luźnego, który mógłby być wywołany oddziaływaniem pola rozproszonego magnesu \mathcal{Q} na prąd w tworniku, przy przerwaniu prądu w cewkach prądowych.

Dane liczbowe, odnoszące się do tych liczników, są w przybliżeniu: Liczba amperozwojów cewek prądowych $1000 \div 2000$. Opór cewek napięciowych $500 \div 1000 \Omega$, grubość drutu $0,1 \text{ mm.}$, prąd zaledwie parę setnych A .

Opór cewki pomocniczej $1000 \div 3000 \Omega$, jej liczba zwojów $1000 \div 2000$. Grubość hamującej tarczy aluminiowej $1 \div 2 \text{ mm}$.

Cewki S_1 i S_2 , przez które przepływa prąd J_1 , wywierają na twornik jednakowe momenty, które dodają się do siebie, tworząc moment wypadkowy. Wielkość M_s tego momentu wypadkowego jest proporcjonalna do natężenia H_1 pola magnetycznego cewek prądowych i do prądu twornikowego J_2 , czyli:

$$M_s = c_1 H_1 J_2 \quad 1/$$

Lecz natężenie H_1 jest proporcjonalne do prądu J_1 w cewkach prądowych oraz ich liczby zwojów, t.j.

$$H_1 = c_2 J_1 \quad c_2 = +(-) \quad 2/$$

a zatem:

$$M_s = c_1 c_2 J_1 J_2$$

Ponieważ zaś prąd twornikowy $J_2 = \frac{V}{R_2}$, więc:

$$M_s = c_1 c_2 J_1 \frac{V}{R_2} = K_s J_1 V = K_s P \quad 3/$$

gdzie P jest mierzoną mocą, a K_s współczynnikiem momentu kręącego

Od mocy P należałoby odjąć moc straconą w cewce napięciowej, lecz, jak było wspomniane, staramy się, aby moc ta była możliwie mała i dlatego nie weźmiemy jej pod uwagę.

Licznik w czasie ruchu musi pokonywać opory tarcia, które zmniejszają jego wskazania i uniemożliwiają ruszenie z miejsca przy małym obciążeniu. Ażeby zmniejszyć względnie skompensować wpływ tarcia na wskazania licznika, dodaje się pomocniczą cewkę S_p , wywierającą moment pomocniczy M_p , który dodaje się do momentu kręcącego M_s . Moment M_p jest proporcjonalny do natężenia H_p pola magnetycznego, wytwarzanego przez cewkę pomocniczą, oraz do prądu tworzącego J_2 , zatem:

$$M_p = c_3 H_p J_2$$

Lecz natężenie H_p jest proporcjonalne do prądu J_2 , t.j.

$$H_p = c_4 J_2$$

a więc

$$M_p = c_3 c_4 J_2^2 = c_5 \frac{V^2}{R_2^2} = K_p = \text{const.}$$

Cewka pomocnicza jest przesuwana i zależnie od jej położenia względem twornika działanie jej jest słabsze lub silniejsze. Przy danym jej ustawieniu i niezmienności V oraz R_2 , moment pomocniczy jest wielkością stałą.

Czynnikami przeciwdziałającymi ruchowi są:

- hamowanie za pomocą prądów wirowych, indukowanych w tarczy p .
- tarcie,
- siła przeciwelektromotoryczna.

Hamowanie prądami wirowymi. - Strumień Φ_t magnesu trwałego φ , przenikający tarczę, wzbudza w niej prądy wirowe, wywołujące moment hamujący /tłumiący/ proporcjonalny do kwadratu strumienia i do liczby obrotów w jednostce czasu/ jak poprzednio/ czyli:

$$M_h = c_g \Phi_t^2 n = K_h n$$

Tarcie. - Składa się ono z tarcia osi twornika w łożyskach, mechanizmu zegarowego i tarcia powietrznego. Moment tarciowy M_t jest pra-

wie proporcjonalny do liczby obrotów, t.j.

$$M_t = K_t n.$$

Siła przeciwelektromotoryczna. - Skutkiem ruchu obrotowego twornika w polu magnetycznym powstaje w nim siła przeciwelektromotoryczna E , skierowana wbrew napięciu V . Wskutek tego prąd płynący przez twornik nie jest równy $I_2 = \frac{V}{R_2}$ lecz właściwie $I_2' = \frac{V-E}{R_2}$

Siła przeciwelektromotoryczna E winna być bardzo mała w porównaniu z napięciem V . Zwykle jest $E < 0,5 V$; ponieważ zaś jest prawie zawsze $V > 100 V$, przeto siła przeciwelektromotoryczna może być pominięta, uważając, że napięcie równoważy spadek napięcia na oporze R_2 . Odwrotnie ma się rzecz w silnikach bezszukowych prądu stałego, gdzie spadek napięcia jest praktycznie równy zeru, zaś siła przeciwelektromotoryczna równa się prawie napięciu, czyli powinna być możliwie duża.

Twornik licznika obraca się pod wpływem momentów M_s i M_p ; w wypadku ruchu ustalonego momenty te równoważą się z momentami przeciwdziałającymi M_h i M_t , zatem:

$$M_s + M_p = M_h + M_t$$

lub

$$K_s VJ_1 + K_p = (K_h + K_t) n$$

Jeżeli pomocnicza cewka jest na stałe ustawiona, to działanie jej dodaje się stale do momentu kręącego M_s ; można więc założyć:

$$K_s VJ_1 + K_p = K_s' VJ_1$$

Wobec tego będzie:

$$K_s' VJ_1 = (K_h + K_t) n$$

stąd zaś:

$$VJ_1 = \frac{K_h + K_t}{K_s'} n = c n$$

czyli

$$n = c' VJ_1 = c' P$$

A zatem liczba obrotów w jednostce czasu jest proporcjonalna do mocy. Mnożąc przez czas t , otrzymujemy:

$$VJ_1 t = c n t$$

albo

$$A = c n t = c N$$

t, zn. energia zużyta w pewnym czasie jest proporcjonalna do liczby obrotów N , wykonanych

w tym czasie. Przekładnia pomiędzy osią licznika a liczydłem jest tak dobrana, że liczydło wskazuje mierzoną pracę bezpośrednio w KWh

2/ Wpływy postronne, błędy i regulacja.

a/ Tarcie. - Wzrasta ono słabo wraz ze wzrostem liczby obrotów na minutę. Następująca tabela podaje wartości momentu tarcioowego M_t w zależności od liczby obrotów n na minutę w dobrze zbudowanych licznikach.

n / w min. /	10	30	60	90	120
M_t / gr cm /	0,054	0,061	0,075	0,093	0,116

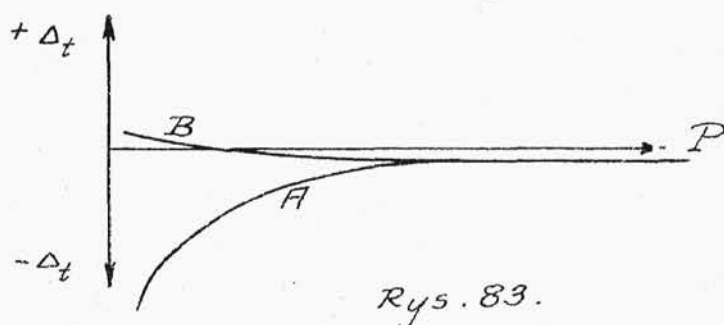
Błąd Δ_t , spowodowany tarciami, można wyrazić różnicą momentów $(M_s - M_t)$ i M_s w następujący sposób:

$$\Delta_t \% = \frac{(M_s - M_t) - M_s}{M_s} 100 = -\frac{M_t}{M_s} 100 \%$$

ma on zatem wartość ujemną.

Wartości momentu tarcioowego podane w tabelce są niewielkie, jednakże moment ten może wywrzeć dość znaczny wpływ na wskazania licznika

i to tem większy, im obciążenie licznika jest mniejsze. Krzywa błędów A posiada kształt przedstawiony na rys.83.



Rys. 83.

Przez zastosowanie cewki pomocniczej można skompensować moment tarcowy częściowo lub całkowicie /krzywa B /.

b/ Temperatura. Wraz z rosnącą temperaturą rosną opory uzwojenia i tarczy w tym samym stosunku, zaś opór bocznika \mathcal{R} praktycznie pozostaje stałym. Wskutek tego liczba obrotów byłaby niezależna od temperatury. Ponieważ jednak strumień magnesów trwałych nieco się zmniejsza z rosnącą temperaturą, przeto liczba obrotów nieco się zwiększa.

c/ Napięcie. Z równania ruchu ustalonego otrzymaliśmy wzór:

$$\sqrt{J} = c n$$

według którego liczba obrotów \mathcal{N} przy stałym prądzie jest proporcjonalna do napięcia V . Wzór ten, wyprowadzony w założeniu, że opór \mathcal{R}_2 obwodu napięciowego nie ulega zmianie, nie jest zupełnie zachowany dla napięcia odmiennego od tego, przy którym licznik został wycechowany. Bowiem, jeżeli napięcie V wzrośnie, to przy tej samej temperaturze otoczenia wzrośnie ilość ciepła, wydzielana w obwodzie napięciowym, zgodnie z wyrażeniem $\frac{V^2}{\mathcal{R}_2}$, a przez to temperatura tego obwodu stanie się wyższą od tej, która miała miejsce w czasie cechowania. Skutkiem zwiększonej temperatury nastąpi powiększenie się oporu obwodu napięciowego, przez co prąd \mathcal{I}_2 nie wzrośnie proporcjonalnie do napięcia lecz nieco mniej i moment kręjący będzie stosunkowo za mały. - Skutkiem zwiększenia się w liczniku wydzielanej ilości ciepła wzrośnie również temperatura tarczy hamującej i magnesu trwałego, lecz w znacznie mniejszej mierze. Nadwyżka temperatury obwodu napięciowego w stosunku do tejże nadwyżki tarczy hamującej i magnesu trwałego jest dość znaczna i moment hamujący pozostanie

prawie ten sam. Stąd wynika, że przy większym obciążeniu licznik będzie wskazywał mniej, a przy mniejszym - więcej.

Błąd dopuszczalny wynosi 2 % , przy ± 10 % zmiany napięcia i przy połowie normalnego obciążenia.

d/ Pole magnetyczne. - Wpływ obcych pól magnetycznych jest taki jak w elektrodynamometrach. Im pole główne licznika jest słabsze, tym wpływ pól pestrennych - silniejszy. Stąd wynika, że przy mniejszym obciążeniu błąd będzie większy, a przy większym - mniejszy. W celu zmniejszenia tego błędu staramy się, aby licznik nie posiadał słabszego pola niż 100 gaussów. Bywają również stosowane liczniki statyczne o podwójnym tworniku, w których wpływ obcych pól magnetycznych jest w ten sposób skompensowany. Blacha osłonowa, chroniąca licznik od wspomnianego wpływu, jest także stosowana.

Urządzenia pomocnicze - urządzenia te są następujące:

a/ cewka pomocnicza S_p do skompensowania tarcia,

b/ hamowidełko - pod wpływem cewki pomocni-

czej mógłby licznik obracać się w stanie jałowym /cewki prądowe wyłączone/ o ileby moment pomocniczy wzrósł lub moment tarcio-
wy zmalał. Zapobiega temu hamowidełko /skrzydełko/ żelazne h /rys. 82/ umieszczo-
ne na tarczy hamującej i przyciągane przez
magnes trwały. Moment wywierany przez to
hamowidełko winien być tak duży, aby przy
wzroście napięcia o 10 % , przy wyłączonych
cewkach prądowych, nie nastąpił bieg jałowy
licznika. Zamiast skrzydełka może być
użyta płaśma żelazna

c/ płytką osłonową t - która, jak już
zaznaczono, ma na celu

- zapobiec, aby pole cewek prądowych nie
decydowało do magnesu trwałego i nie osłabia-
ło go, zwłaszcza przy zwarcu.

- zapobiec, aby pole magnesu trwałego
nie wpływało na pole główne licznika, a więc
aby wskazania licznika były zależne od kie-
runku prądu, płynącego przez cewki prądowe.

3/ Zastosowanie.

Nadą liczników elektrodynamicznych jest

znaczne zużycie energji. Obwód napięciowy zużywa stale $1,5 \div 2 \text{ W}$ na każde 100 V , co daje ok. 15 KWh rocznie przy 110 V na niekorzyść elektrowni. Obwód prądowy zużywa $1 - 1,5 \%$ mocy, za którą płaci konsument. Słabą stroną stanowi kolektor, który musi być starannie wykonany. Osadzający się pył na szczotkach i kolektorze zwiększa straty na tarcie, może spowodować zwarcie działek kolektorowych, oraz zmienia opór stykowy, a więc i prąd twornika, zmieniając wskutek tego stałą licznika. W celu usunięcia tej wady szczotki i kolektor wykonywa się z metalu szlachetnego /srebro i złoto/. Należy unikać podskakiwania szczotek, gdyż to powoduje iskrzenie, czyniąc powierzchnie szczotek i kolektora szorstkimi i zwiększając wskutek tego tarcie. Szczotki winny być delikatne i dobrze przylegające. Napięcie pomiędzy działkami winno być nie większe od 2 V , nie powinno być również zbyt małe. Czyszczenie kolektora winno być uskuteczniane nie za pomocą tkuszców, lecz benzyny lub spirytusu.

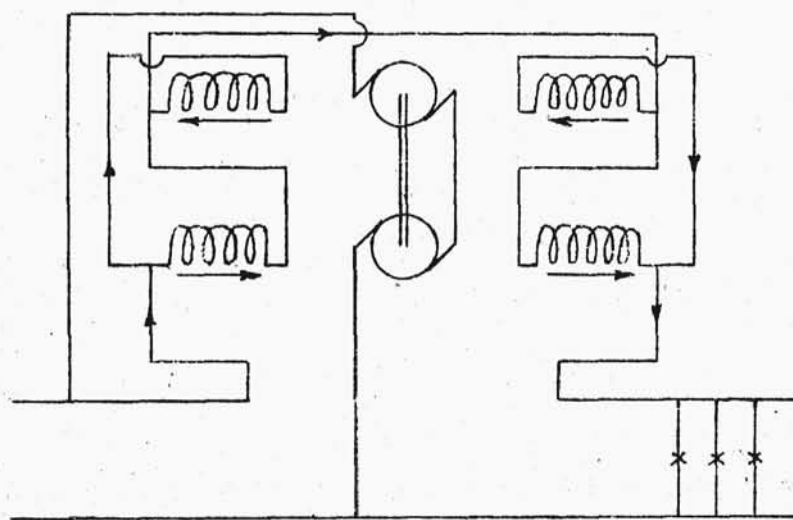
Liczniki elektrodynamiczne są używane głównie do prądu stałego; mogą być jednak stosowane

i przy prądzie zmiennym, jeżeli cewki prądowe i napięciowe nie zawierają żelaza i jeżeli indukcja ich jest tak mała, że uniknie się przesunięcia fazy między oboma czynnymi polami. Liczniki te do prądu zmiennego obecnie nie stosują się, gdyż lepiej nadają się do tego celu liczniki indukcyjne.

U niektórych typów liczników prądu stałego stosuje się żelazo, celem zwiększenia momentu kręcącego, przez zwiększenie natężenia pola magnetycznego cewek prądowych. Jednakże wówczas przy małym obciążeniu magnetyzm szczątkowy wpływa na wskazania licznika, wytwarzając dodatkowy moment, przeciwdziałający ruchowi. Dla skompensowania tego momentu dodaje się cewkę pomocniczą, wywierającą moment przeciwny. Licznik taki wskazuje dobrze przy nasyceniu magnetycznym żelaza. Można także dać żelazo w tworniku, wówczas wskutek większego ciężaru układu ruchomego występują większe tarcia.

Do dużych prądów /około 1000 A / stosuje się licznik z bezcznikiem, przez cewki prądowe płynie jednak wówczas prąd stosunkowo duży /około 100 A /. Spadek napięcia na bezczniku przy

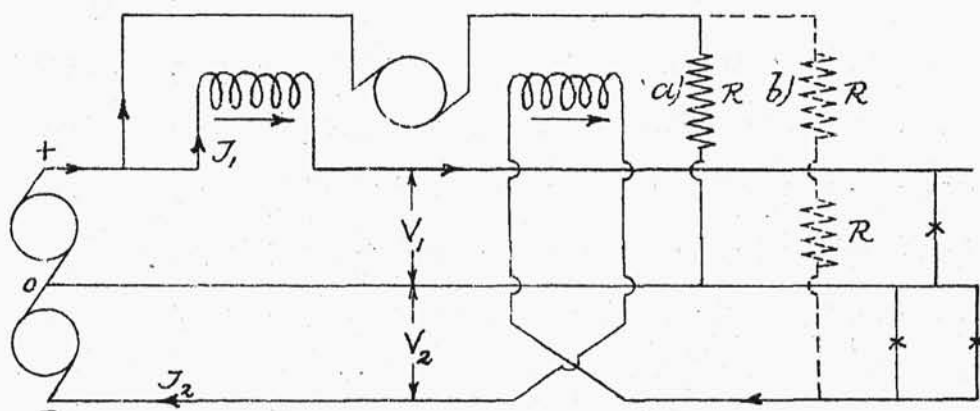
pełnem obciążeniu wynosi około stokilkadzieśiąt miliwoltów. Aby uniknąć wpływu dużego prądu bocznikowego na wskazania licznika, stosuje się układ astatyczny, za pomocą którego można wogóle skompensować wpływ obcych pól magnetycznych. Licznik taki jest przedstawiony na rys. 84. - Składa on się z dwóch par cewek, wytwarzających



Rys. 84

pola przeciwne, oraz dwóch tworników nawiniętych przeciwnie, tak, że ich momenty kręjące dodają się, zaś obce pola nie wywierają wpływu na wskazania przyrządu.

Liczniki trójprzewodowe. Licznik elektrodynamiczny może być użyty do pomiaru zużycia energii w układzie trójprzewodowym. Z dwóch cewek prądowych jedna jest załączona do przewodu $+$, druga do przewodu $-$ /rys. 85/ i są tak połączone, aby dawały pole jednokierunkowe oraz taki sam moment kręjący. Obwód napięciowy może być załą-



Rys. 85.

czony dwójako: a/ między przewód skrajny i zero-
wy w szereg z oporem R /linja ciągła/, b/ mię-
dzy oba przewody skrajne w szereg z oporem $2R$
/linja przerywana/. Mierzona moc układu trójprze-
wodowego jest:

$$P = V_1 I_1 + V_2 I_2$$

Zależnie od sposobu załączenia obwodu napięcio-

węce wskazania licznika są:

$$a/ \quad V_1 (I_1 + I_2)$$

$$b/ \quad \frac{V_1 + V_2}{2} (I_1 + I_2)$$

Jeżeli $V_1 = V_2 = V$, to moc wskazana przez licznik w obu wypadkach jest taka sama i równa się:

$$P = V(I_1 + I_2)$$

Jeżeli zaś $V_1 \neq V_2$, to mogą powstać błędy.

Połączenie b/ ma tę słabą stronę, że w razie przerwania prądu w przewodzie ujemnym, licznik staje, konsument może jednak bez liczenia dalej pobierać prąd między przewodem dodatnim i zerowym. Przy połączeniu a/ natomiast, będzie to tylko wówczas, gdy przerwa nastąpi w tym przewodzie zewnętrznym, do którego jest przyłączona cewka napięciowa; o ile przerwa nastąpi w drugim przewodzie skrajnym, to licznik wskazywać będzie w dalszym ciągu moc zużytą w nienaruszonej połowie.

Liczniki oscylacyjne.

W tych licznikach system ruchomy nie wykonywa

pełnych obrotów, lecz oscyluje naprzemian w jedną i drugą stronę. Część ruchomą stanowią dwie cewki napięciowe, które są naprzemian włączane i wyłączane, oscylując pomiędzy nieruchomymi cewkami prądowymi. W punktach zwrotnych następuje za każdym razem przełączenie cewek napięciowych, tak, że kierunek siły ulega zmianie i system ruchomy jest zmuszony poruszać się w kierunku odwrotnym. Ruch oscylacyjny przenosi się na liczydło, wskazujące zużyta moc w watogodzinach. Wskutek przerywania prądu powstają iskry, niszczące kontakty, co stanowi wadę tego rodzaju liczników.

R O Z D Z I A Ł X V .

LICZNIKI INDUKCYJNE.

1/ Zasada działania.

Liczniki indukcyjne polegają na działaniu zmiennych pól magnetycznych na prądy wirowe, wywołane przez te pola w tarczy metalowej, osadzonej na osi, obracającej mechanizm liczbowy