

do zmiennego obciążenia.

Wadę tych liczników stanowi konieczność nakręcania względnie stosowania automatów nakręcających, które mogą zawieść i które zużywają dużo energii. Następną wadą jest duża ich cena, która tłumaczy się skomplikowanym urządzeniem zegarowym; pozatem zajmują dużo miejsca.

Zamiast pionowych wahadeł, poddanych działaniu siły ciężkości, mogą być stosowane również wyrównoważone wahadła poziome. Siłę ciężkości zastępują wówczas sprężyny spiralne lub magnesy stałe. Tego rodzaju liczniki są używane w elektrowozach.

R O Z D Z I A Ł XIII.

LICZNIKI MAGNETOMOTORYCZNE.

1/ Zasada działania.

Liczniki magnetomotoryczne są oparte na zasadzie galwanometru z ruchomą cewką, z tą jednakże różnicą, że podczas gdy w galwanometrze cewka wykonywa tylko część obrotu, to w liczni-

ku wykonywa ona pełne obroty. W tym celu cewka jest zbudowana w formie twornika, zaopatrzonego w kolektor ze szczotkami, i znajduje się pomiędzy biegunami magnesu trwałego; kształt cewki może być cylindryczny lub tarczowy ze zwojami płaskimi. Moment kręcący pochodzi od wzajemnego działania strumienia magnetycznego magnesu trwałego oraz prądu, płynącego przez twornik i powstającego pod wpływem spadku napięcia na oporniku, załączonym bocznikowo do twornika. Ruch bębna lub tarczy przenosi się na system cyfr skaczących.

Moment, przeciwdziałający ruchowi, pochodzi od hamowania prądami wirowymi, powstającymi podczas ruchu w tworniku /tarczy/ oraz tarcia.

Do wywołania momentu, przeciwdziałającego ruchowi, wysyskuje się:

a/ albo samo tarcie, a hamowanie elektryczne doprowadza się do minimum.

b/ albo hamowanie elektryczne i tarcie.

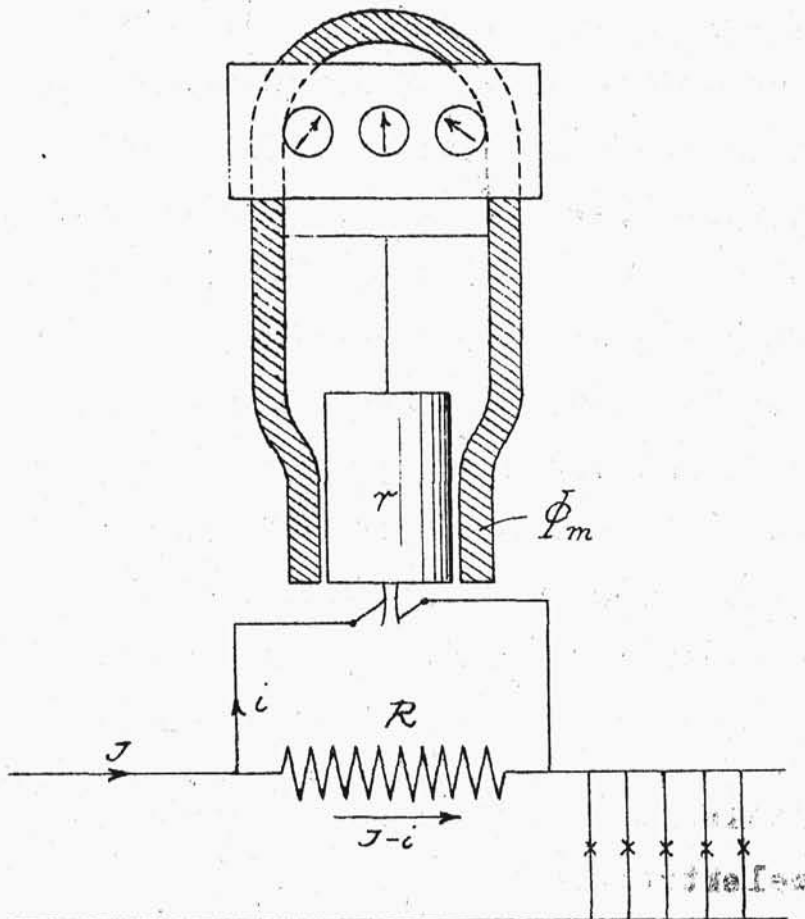
Sposób a/ nadaje się przedewszystkiem do liczników z twornikiem cylindrycznym, zaś sposób b/ - do liczników z twornikiem tarczowym. Zależnie od tego rozróżniamy:

- a/ liczniki magnetomotoryczne bez hamowania,
b/ " " z hamowaniem.

Zaznaczyć należy, że istnieją liczniki z twornikiem cylindrycznym, posiadające hamowanie.

X 2/ Liczniki bez hamowania.

Licznik tego typu, przedstawiony na rys. 75,



Rys. 75.

jest znany pod nazwą systemu O Keenan'a.

Składa on się z cienkiego mikanitowego cylindra, otwartego u góry, na którym są umieszczone zwojnice w liczbie od 4 do 6 po 100 zwojów każda. Zwojnice te są połączone z kolektorem, posiadającym 4 - 6 działek. Do wnętrza twornika wchodzi od góry nieruchomy i pusty cylinder żelazny, który skupia w sobie linie sił pola magnetycznego. Przez ten cylinder przechodzi osź twornikowa, wprawiająca w ruch liczydło. Becznik \mathcal{R} jest wykonany z drutu konstantanowego tak wymiarsenego, że najwyższy spadek napięcia w nim wynosi 0,5 V .

Licznik ten pracuje jak silnik bez żadnego prawie obciążenia, gdyż tarcie jest zmniejszone do minimum. Moment kręcący jest proporcjonalny do strumienia Φ_m magnesu stałego, liczby zwojów Z twornika oraz prądu twornikowego i . Przy zahamowanym tworniku moment ten będzie:

$$M_{so} = C, \Phi_m Z i_o \quad //$$

W czasie ruchu twornika występuje w nim siła przeciwelektromotoryczna indukcji \mathcal{E} , zależna od strumienia Φ_m , liczby zwojów Z i liczby obrotów n ; zatem:

$$E = c_2 \Phi_m Z n \quad 2/$$

Ponieważ Φ_m i Z są wielkościami stałymi, więc:

$$E = c_3 n \quad 3/$$

Siła ta zmniejsza prąd twornikowy od wartości i_0 do pewnej wartości i , a zatem moment kręjący, występujący w czasie ruchu, będzie:

$$M_s = c_4 \Phi_m Z i \quad 4/$$

przyczem moment ten będzie mniejszy od momentu M_{s_0} , z racji zmniejszenia się prądu twornikowego.

Spadek napięcia V na boczniku R wyraża się, jak wiadomo, w następujący sposób:

$$V = r i + E = r i + c_3 n \quad 5/$$

gdzie r jest oporem twornika. Leż, jak wynika z rysunku 75, jest:

$$V = R(J - i)$$

$$i = J \frac{R}{R + r}$$

Podstawiając to w równanie 5/, otrzymamy:

$$r i + c_3 n = R(J - i) = \left(R - \frac{R^2}{R + r}\right) J$$

lub:

$$r\dot{c} + C_3 n = C_4 J \quad 6/$$

gdzie

$$C_4 = R - \frac{R^2}{R+r}$$

Z ostatniego równania otrzymujemy:

$$n = \frac{C_4}{C_3} J - \frac{r\dot{c}}{C_3} = C_5 J - \frac{r\dot{c}}{C_3} \quad 7/$$

Warunkiem proporcjonalności liczby obrotów n do prądu J jest, aby wyraz $\frac{(R+r)\dot{c}}{C_3}$ był bardzo mały, czyli, jak to wynika z równania: $\dot{c} = \frac{V-E}{r}$ 5/, aby siła przeciwelektromotoryczna E była duża w stosunku do spadku napięcia $r\dot{c}$. Wówczas będzie:

$$V \cong E$$

zaś:

$$n = C_5 J \quad 8/$$

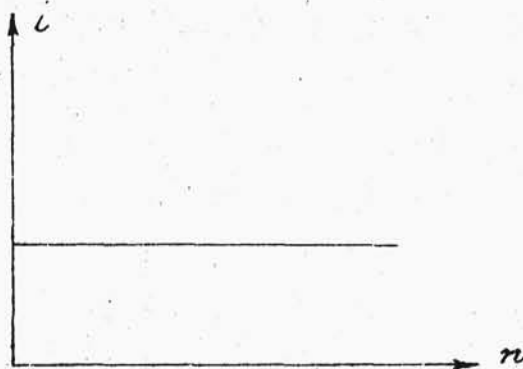
Mnożąc obie strony ostatniego równania przez t , otrzymamy:

$$N = nt = C_5 Jt$$

skąd

$$Jt = \frac{N}{C_5} = c n t = c N ; \quad 9/$$

Równanie 9/ wskazuje nam, że ilość elektryczności, jaka przepłynie w czasie t przez licznik, jest proporcjonalna do liczby obrotów w tym czasie. Wskutek tego liczniki te są używane jako amperogodzinomierze. Prąd i , płynący przez twornik, jest prawie stały, niezależny od liczby obrotów, gdyż moment przeciwdziałający ruchowi pochodzi tylko od tarcia, które jest stałe i bardzo małe. Wykres, przedstawiający zależność prądu twornikowego od liczby obrotów w jednostce czasu, uwidocznia rys. 76.



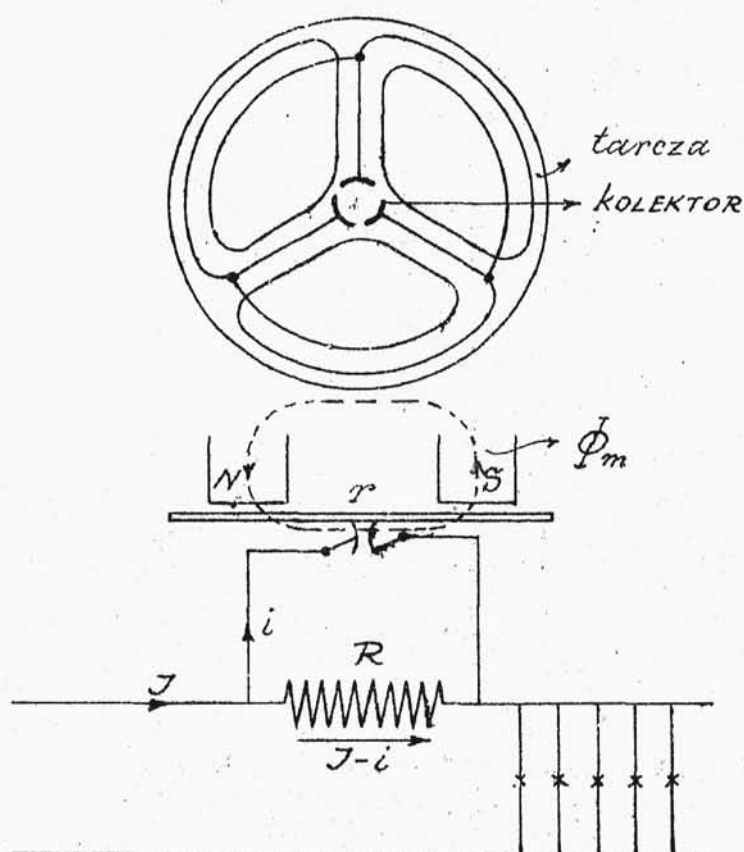
Rys. 76.

Liczniki tego typu są budowane prawie wyłącznie z twornikiem cylindrycznym.

3/ Liczniki z hamowaniem.

Licznik ten, przedstawiony na rys. 77, składa się z tarczy z /trzema/ zwojnicami, zaopatrzonej w kolektor ze szczotkami, połączonemi z opornikiem bocznikowym R o małym współczynniku termicznym.

Strumień Φ_m , wytwarzany przez magnesy



Rys. 77.

stalowe, przebiega po prawej stronie z dołu do góry, zaś po lewej - z góry na dół, działając kręcąc na cewki, znajdujące się pod prądem, i hamujące na tarczę aluminiową.

Głównym czynnikiem przeciwdziałającym ruchowi są prądy wirowe i' wzbudzone w tarczy i sprawiające moment hamujący M_h . Prądy wirowe proporcjonalne są do siły elektromotorycznej wzbudzonej w tarczy, a więc do strumienia Φ_m i liczby obrotów w jednostce czasu /minucie/ oraz do przewodności tarczy γ :

$$i' = f_1(\Phi_m, n, \gamma)$$

Przeto moment hamujący $M_h = f_2(\Phi_m, i')$ zależy od Φ_m^2 i liczby obrotów n . Prócz tego występuje jeszcze stały moment tarcioowy M_t , który zresztą jest zwykle bardzo mały. W wypadku ruchu ustalonego momenty kręcący i przeciwdziałający ruchowi muszą być sobie równe t.j. $M_s = M_h + M_t$ lub, zaniedbując moment tarcioowy:

$$C_1 \Phi_m^2 Z i = C_2 \Phi_m^2 n \gamma + C_3 n$$

a stąd:

$$i = \frac{c_2}{c_1} \frac{\Phi_m n}{Z} = c_4 \frac{\Phi_m n}{Z} \quad 2/$$

Z drugiej strony prąd twornikowy jest równy:

$$i = \frac{V - E}{r} = \frac{V - c_3 \Phi_m Z n}{r} \quad 3/$$

Podstawiając zaś wartość z równania 2/ otrzymamy:

$$V - c_3 \Phi_m Z n = c_4 \frac{\Phi_m n}{Z} r \quad 4/$$

skąd

$$V = \Phi_m n \left(c_3 Z + \frac{c_4}{Z} r \right) = c_5 \Phi_m n \quad 5/$$

a zatem:

$$n = \frac{V}{c_5 \Phi_m} \quad 6/$$

Lecz, jak wynika z rys. 77, jest:

$$J = V \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r} \right) = c_6 V \quad 7/$$

Podstawiając wartość napięcia z równania 7/ w równanie 6/, otrzymamy:

$$n = \frac{J}{c_6 c_5 \Phi_m} = c_7 J \quad 8/$$

t.zn. liczba obrotów w jednostce czasu jest proporcjonalna do prądu płynącego w obwodzie.

Jeżeli pomnożymy przez czas t obie strony ostatniego równania, to będzie:

$$N = nt = c_7 It$$

albo

$$It = \frac{nt}{c_7} = cnt = cN \quad 9/$$

Ilość elektryczności, jaka przepłynie przez licznik w pewnym czasie jest więc proporcjonalna do liczby obrotów w tym czasie.

Przez odpowiednie wycechowanie można przy stałym napięciu otrzymać wskazania odrazu w kilowatogodzinach. To samo odnosi się i do liczników poprzedniego typu.

Z równania 8/ wynika, że liczba obrotów licznika jest odwrotnie proporcjonalna do strumienia Φ_m magnesu trwałego.

Eliminując liczbę obrotów n z równań 1/ i 3/ otrzymamy:

$$C = \frac{V}{\frac{c_1 c_2}{c_2} Z^2 + r} = \frac{V}{r'} \quad 10/$$

Równanie 10/ wskazuje, że siła przeciwelektromotoryczna działa tak, jak gdyby opór r twornika wzrósł do wartości r' /opór pozorny/ niezna-

leżnej od obciążenia. Siła przeciwelektromoteryczna nie wpływa na proporcjonalność liczby obrotów n i prądu głównego I , może być zatem stosunkowo duża.

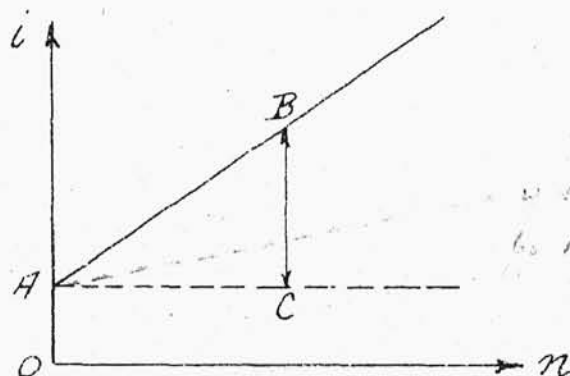
Równanie 1/ po uwzględnieniu momentu tarcowego przedstawi się w następujący sposób:

$$C_1 \Phi_m Z i = C_2 \Phi_m^2 n + M_t$$

skąd

$$i = \frac{C_2 \Phi_m}{C_1 Z} n + \frac{M_t}{C_1 \Phi_m Z}$$

Ostatnie równanie wskazuje, że prąd twornikowy zmienia się w zależności od liczby obrotów według linii prostej, przedstawionej na rys. 78.



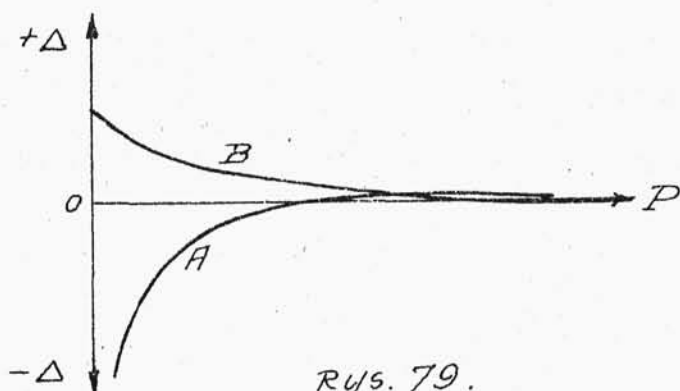
Rys. 78

Odcinek OA , równający się $\frac{M_t}{C_1 \Phi_m Z}$, wyraża dodatkowy prąd, potrzebny dla pokonania momentu tar

ciowego. Rzędne BC wyrażają prąd, potrzebny dla pokonania momentu hamującego.

4/ Wpływy postronne, błędy i regulacja.

a/ Tarcie. - Składa się ono z tarcia osi twornika w łożyskach, mechanizmu zegarowego oraz tarcia o powietrze. Błąd, spowodowany tarcieniem, ma wartość ujemną; krzywa błędu $\Delta = f(P)$ przy małych obciążeniach jest silnie zakrzywiona, jak to uwidoczni rys. 79.

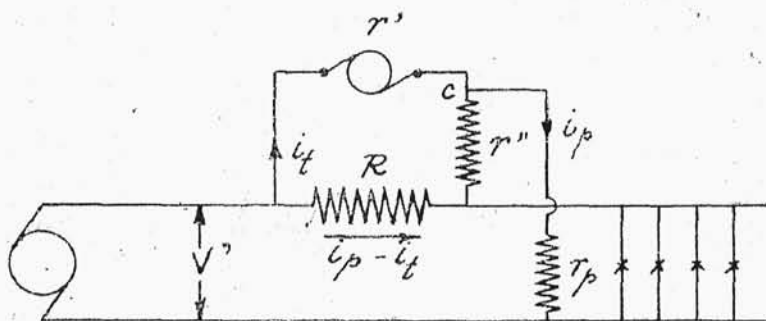


Krzywa A wskazuje nam, że przy dużym obciążeniu tarcie powoduje mały błąd i odwrotnie przy małym obciążeniu - duży. /W liczniku nie posiadającym tarcia, krzywą obciążenia stanowiłyby osie współrzędne/.

W celu skompensowania tarcia przepuszcza się przez twornik pewien dodatkowy, niewielki prąd

i_p , wytwarzający dodatkowy moment kręący, przeciwdziałający momentowi tarcowemu M_t . Przez to otrzymuje się poprawę krzywej błędów z A na B /rys.79/.

Urządzenie pomocnicze, które służy do tego celu, przedstawia rys.80. Prąd i_p , którego wartość jest określona praktycznie tylko przez bardzo duży opór r_p , rozgałęzia się na twornik /prąd i_t / oraz na opór $R + r''$ /prąd $i_p - i_t$ /. Prądy te możemy traktować niezależnie od prądu twornikowego i oraz prądu $I - i$ w boczniku R .



Rys. 80.

Prąd i_p określa się z napięcia sieci V i dopuszczalnej mocy P_p , zużytej w obwodzie r_p , która ta moc nie powinna przekraczać $1W$; zatem:

$$i_p = \frac{P_p}{V'}$$

Znając prąd i_p , możemy określić potrzebny opór r_p z równania:

$$r_p = \frac{V'}{i_p}$$

Opór r'' określa następujące równanie:

$$(i_p - i_t)(R + r'') = i_t r'$$

gdzie r' jest oporem pozornym twornika po uwzględnieniu siły przeciwelektromotorycznej indukcji. Punkt C /rys.80/ jest przesuwany kontaktem, pozwalającym dobierać dodatkowy prąd i_p przez regulację opornika r'' tak, aby wytworzony moment dodatkowy kompensował tarcie stosownie do warunków. Przyjmując większą dopuszczalną moc P_p należy stosować mniejsze wartości oporu r'' .

b/ Temperatura. - Skutkiem przepływu prądu przez licznik ogrzewa się on. Wytworzone ciepło rozprzestrzenia się wewnątrz licznika i wędruje nazewnątrz przez jego osłonę. Po upływie pewnego czasu /1/2 ÷ 1 godz./ następuje równowaga cieplna wszystkich jego części, skutkiem czego

osiągają one pewną prawie ściśle określoną temperaturę. Wówczas dopiero można rozpocząć cechowanie.

Jeżeli teraz temperatura otoczenia podwyższy się np. o 10° , to o tyleż podwyższy się temperatura każdej części licznika. Przewodności tarczy hamującej i obwodu twornikowego staną się o 4 % mniejsze, niż w czasie cechowania, gdyż, jak już zaznaczone, tarcza hamująca jest aluminiowa, zaś obwód twornikowy składa się z miedzi i niklu; te materiały mają prawie jednakowy współczynnik termiczny, równy około 0,004. Stąd wynika, że prąd twornikowy \mathcal{I}_2 , a więc moment kręący \mathcal{M}_s zmieni się w tym samym stosunku, w jakim zmieni się moment hamujący \mathcal{M}_h . Liczba obrotów pozostanie zatem niezmienną.

c/ Regulacja. - Liczbę obrotów regulować można dwoma sposobami, a mianowicie:

α / zmieniając opór bocznika przez zwieranie pewnej ilości zwojów, co też najczęściej znajduje zastosowanie.

β / zmieniając opór magnetyczny magnesu trwałego przez zastosowanie zwory, regulującej

strumień magnetyczny.



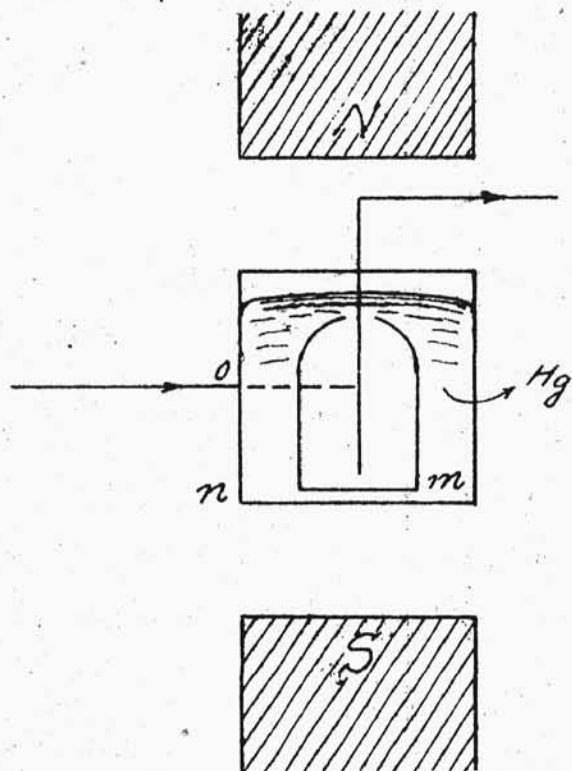
5/ Zastosowanie.

Liczniki magnetomotoryczne są stosowane jako amperogodzinomierze prądu stałego i odznaczają się tanią konstrukcją. Słabą ich stroną jest kolektor o bardzo niskim napięciu /przy rozruchu 0,01 V /, oraz łatwa możliwość zmiany oporu stykowego szczotek i kolektora, spowodowana ich zanieczyszczeniem lub oksydacją. Wadą liczników bez hamowania jest ich duża liczba obrotów wskutek małego momentu tarcowego i związane z nią przedwczesne zużycie łożysk oraz systemu liczydłowego. Skutkiem małego momentu tarcowego wpływ zmiany ^{tarcia} powoduje duże różnice wskazań. Wskutek tego liczniki bez hamowania zostały wyparte przez liczniki z hamowaniem, które wspomnianych wad nie posiadają i odznaczają się przejrzystością konstrukcji.

Liczniki trójprzewodowe. Do układu trójprzewodowego stosuje się licznik zaopatrzony w dwa uzwojenia, bądź na tworniku cylindrycznym, bądź też na tworniku tarczowym. Każde z tych uzwojeń

jest włączone w przewód skrajny za pośrednictwem bocznika. Układ magnesów trwałych jest wspólny. Liczniki te, w przeciwieństwie do liczników dwu-przewodowych, pracują przy zmiennym napięciu.

Liczniki rtęciowe. - Licznik ten składa się z naczynia metalowego 72 /rys. 81/, napełnionego rtęcią i umieszczonego pomiędzy biegunami magnesu trwałego lub elektromagnesu. W rtęci jest za-



Rys. 81.

murzony dzwon metalowy *m* /względnie tarczą/,

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-