

## ROZDZIAŁ VI.

### MIERZENIE PRACY PRĄDU.

#### 54. Mierzenie pracy prądu przez pomiar natężenia prądu, napięcia i czasu, lub też mocy i czasu.

Gdy chodzi o zmierzenie pracy prądu w ciągu krótkiego czasu, posługujemy się zazwyczaj: przy prądzie stałym—amperomierzem, woltomierzem i zegarkiem, a przy prądzie zmiennym—watomierzem i zegarkiem.

Wskazania, odczytane na amperomierzu i woltomierzu, lub na watomierzu, zapisujemy co pewien czas i następnie obliczamy średnią wartość prądu, napięcia lub mocy.

Oznaczając przez  $V$ ,  $J$ ,  $P$  średnie wartości wskazań woltomierza, amperomierza i watomierza, a przez  $t$  czas, w ciągu którego płynął prąd i do którego stosują się powyższe wskazania, obliczamy pracę prądu  $A$  ze wzorów:

$$A = VJ \cdot t,$$

albo:

$$A = P \cdot t.$$

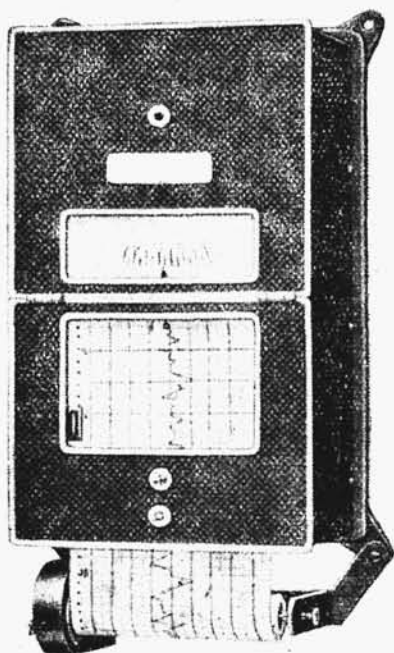
Jeżeli napięcie i prąd zmieniają się znacznie, to można otrzymać wyniki dokładniejsze za pomocą przyrządów samopiszących.

Zasada ustroju tych przyrządów polega na tem, że wskazówka zaopatrzona jest w pióro, które kreśli linię na papierze, przesuwanym za pomocą mechanizmu zegarowego; linja w ten sposób otrzymana wyraża w odpowiednich spórzędnych zależność napięcia, natężenia, lub mocy prądu od czasu.

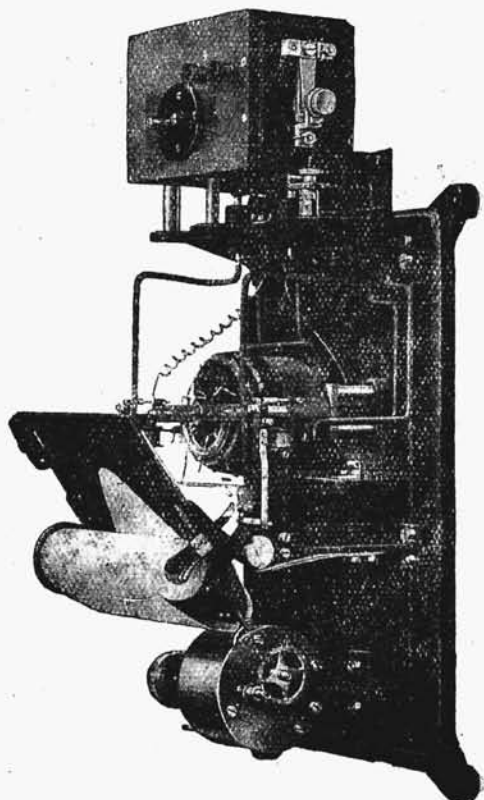
Przykład ustroju takich przyrządów podaje rys. 110. Na rysunku tym widzimy przyrząd samopiszący z podłużnym ruchem wstążki papierowej z góry na dół i z ruchem piórka wzdłuż prostej linii poziomej. Taki ruch osiąga się za pomocą odpowiedniego mechanizmu drążkowego, przekształcającego obrotowy ruch cewki amperomierza na prostolinijny ruch piórka.

Linję krzywą, wyrażającą zmienność napięcia lub prądu w czasie, otrzymuje się w bardzo dogodnych współrzędnych prostokątnych.

Szczegóły ustroju przyrządów samopiszących różnią się od zwykłych przede wszystkim zastosowaniem układów, wytwarzających momenty obrotowe większe, niż w przyrządach zwykłych, chodzi tu bowiem o pokonanie oporów przy tarcu pióra o papier, jako też o uniknięcie wpływu ciężaru atramentu, którego ilość w piórze jest zmienna



Rys. 110. Przyrząd mierniczy samopiszący w wykonaniu fir. S. & H.



Rys. 111. Przyrząd mierniczy samopiszący iskrowy bez przykrywki w wykonaniu fir. S. & H.

W celu uniknięcia tarcia pióra o papier stosowane są niekiedy przyrządy samopiszące, w których koniec wskazówki zaopatrzony jest w sztyfcik, nie dotykający stale do papieru, lecz tylko przyciskany co pewien czas do niego przez odpowiedni pałączek, za pomocą mechanizmu zegarowego. Pod papierem znajduje się taśma, nasyciona farbą, w celu odznaczenia tego miejsca, w którym sztyfcik był przyciśnięty. Pałączek przyciska wskazówkę zwykle co 20 do 60 sek.

Pozatem są jeszcze inne przyrządy, w których znajduje zastosowanie iskra elektryczna. Bieguny małej cewki Rhumkorffa połączone są ze wska-

zówką i płytką metalową pod papierem. Iskierki, wypadające ze wskazówki do płytki, przepalają papier i w ten sposób kreślą linje na papierze.

Na rys. 111 widzimy ustrój przyrządu samopiszącego iskrowego. U góry induktor iskrowy, w środku mechanizm zegarowy, wprawiający w ruch taśmę papieru.

Bateria czterowoltowa zasila induktor, który daje około 20 iskier na sekundę.

Tego rodzaju przyrządy są najodpowiedniejsze w tych przypadkach, gdy zapisywana wielkość zmienia się bardzo szybko i wskazówka z piórem nie byłaby w stanie, z powodu bezwładności, podążać za temi zmianami.

Mając wykres, otrzymany za pomocą przyrządu samopiszącego, łatwo wyznaczyć przez planimetrowanie pól średnią moc prądu, a więc i pracę, posilując się wzorami:

$$A = \int_0^t V \cdot i \cdot dt,$$

$$A = \int_0^t P \cdot dt.$$

## 55. Liczniki.

We wszystkich przypadkach, kiedy chodzi o wyznaczenie pracy prądu, wykonanej w czasie dłuższym, stosowane są mierniki pracy, czyli liczniki elektryczne.

Za pomocą tych przyrządów, na podstawie różnicy wskazań, odczytanych w dwóch chwilach  $t_1$  i  $t_2$ , znajdujemy pracę, wykonaną przez prąd w ciągu czasu  $t_2 - t_1$ .

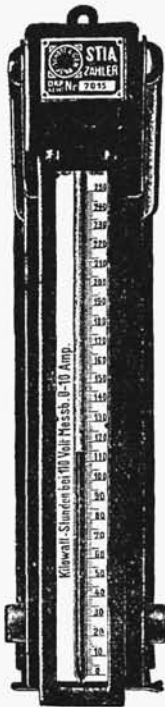
Jeżeli można przyjąć, że napięcie prądu jest zawsze stałe, to wystarcza licznik, któryby wskazywał tylko ilość elektryczności, przepływającą w ciągu określonego czasu. Mnożąc wskazania takiego licznika przez napięcie stałe, otrzymamy pracę prądu. Oczywiście mechanizm liczbowy licznika może być z łatwością urządzony w taki sposób, aby wskazywał odrazu pracę prądu.

Są dwa najważniejsze ustroje liczników, najczęściej stosowane w praktyce: liczniki elektrolityczne i motorowe.

## 56. Licznik elektrolityczny.

Przy prądzie stałym znajdują czasem zastosowanie liczniki elektrolityczne, oparte na zjawisku elektrolizy roztworu wodnego soli rtęci. Ilość, wydzielonej przy elektrolizie, rtęci jest proporcjonalna do ilości elektry-

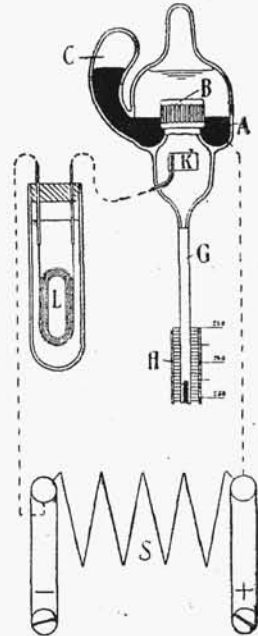
czności, która przepływa w pewnym czasie przez przyrząd, a więc przy stałym napięciu prądu, również jest proporcjonalna do pracy prądu.



Rys. 112. Widok licznika elektrolitycznego.

Jako przykład podajemy ustrój licznika pomysłu Wright'a \*) (rys. 112 i 113). W szczelnie zatopionem szklanem naczyniu znajduje się roztwór soli rtęci i rtęć, stanowiąca elektrodę dodatnią, ujemną elektrodą jest węglowy stożek *K*. Prąd płynie od *A* do *K* i wydziela na węglu kropelki rtęci, które spadają do szklanej rurki *G*, znajdującej się pod tym stożkiem. Obok rurki mamy skalę *H*, za pomocą której, według podniesienia się poziomu rtęci w rurce, wyznaczamy pracę prądu.

Prąd potrzebny do elektrolizy ma niewielkie natężenie, więc odgałęziamy go od prądu całkowitego, stosując bocznik *S* i opornik *L*. Gdy rurka *G* cała napełni się rtęcią, obracamy ją razem z górnym naczyniem o 180° i w ten sposób przelewamy rtęć z rurki do górnego naczynia. Gdy potem zwrócimy rurkę do poprzedniego położenia, przyrząd będzie gotowy do dalszego prowadzenia pomiaru.



Rys. 113. Ustrój licznika elektrolitycznego.

## 57. Liczniki motorowe na prąd stały.

Ze względu na prostotę budowy i wystarczającą dokładność wskazań, za najbardziej praktyczne uznane być mogą powszechnie teraz używane liczniki motorowe. W ustroju ich znajdują zastosowanie dwie zupełnie różne zasady.

a) Według patentu O'Keenan'a, licznik stanowi silnik elektryczny, obracający się bez żadnego obciążenia; opór tarcia w łożyskach i opór powietrza są możliwie zmniejszone.

Jeżeli napięcie w sieci jest stałe, to poprzestać można na liczeniu ilości elektryczności; licznik składa się wtedy ze stałego magnesu i kilku

\*) W wykonaniu firmy Schott & Gen. w Jenie.

osadzonych na jednej osi zwojnic, do których doprowadza się prąd przez nieruchome szczotki, dotykające metalowych blaszek, połączonych z powyższymi zwojnicami.

Włączenie takiego licznika w obwód wskazane jest na rys. 114. Prąd główny  $J$  przebiega przez opór stały  $R$  i wytwarza na jego końcach napięcie  $V_{mn}$ . Od tego napięcia odgałęzia się prąd  $i$  do licznika  $K$ .

Oznaczmy przez  $r$  oporność licznika i przez  $E$  — siłę przeciwelektromotoryczną, powstającą w zwojach w czasie ich ruchu; wtedy na zasadzie prawa Ohma:

$$i = \frac{V_{mn} - E}{r}.$$

Ponieważ praca, wykonywana przez taki silnik, jest nadzwyczaj mała, więc prędkość ruchu zwojnic zwiększa się do tego stopnia, iż  $E$  staje się prawie równym  $V_{mn}$ ; prąd  $i$  jest zaś bardzo mały, można więc przyjąć, że:

$$V_{mn} = E.$$

Według prawa Ohma:

$$V_{mn} = J \cdot R,$$

a  $E$  jest proporcjonalne do prędkości obrotu zwojnic. Jeżeli więc przez  $n$  oznaczmy liczbę obrotów zwojnic w ciągu jednostki czasu, a przez  $C$  wielkość stałą, zależną od indukcji magnetycznej pola, a także od szczegółów stroju zwojnic i magnesu, to:

$$E = C \cdot n.$$

Z powyższych trzech równań wynika, że:

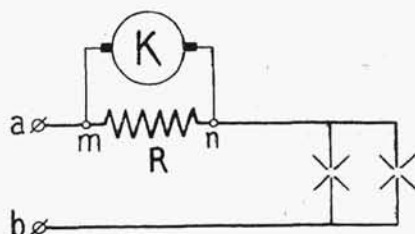
$$J \cdot R = C \cdot n,$$

a więc:

$$J = \frac{C}{R} \cdot n.$$

Jeżeli czas, w ciągu którego płynął prąd stały  $J$ , oznaczmy przez  $t$  i pomnożymy powyższe równanie przez ten czas, to:

$$J \cdot t = \frac{C}{R} \cdot n \cdot t,$$



Rys. 114. Włączenie w obwód lamp licznika amperogodzin.



Z tego równania wynika, że praca prądu  $J$  może być mierzona liczbą obrotów licznika, wtedy gdy wyraz:

$$V_{ab} (C_1 - C_2 \cdot V_{ab})$$

będzie wielkością stałą przy zmiennem napięciu  $V_{ab}$ .

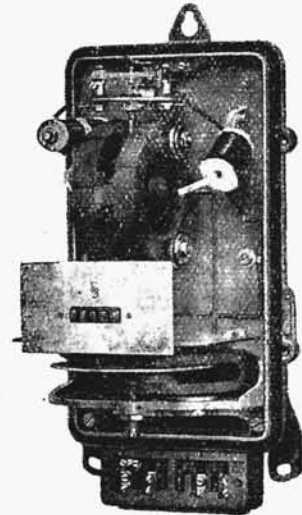
Wyraz ten ma maximum (przy: \*):

$$C_1 = 2 \cdot C_2 \cdot V_{ab} \dots \dots (d)$$

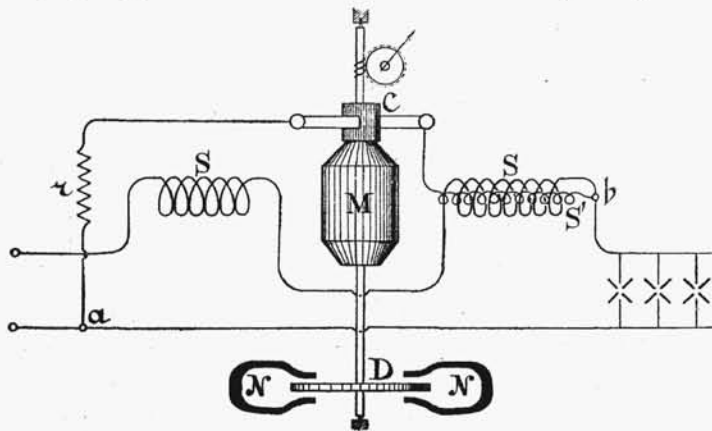
W pobliżu tego maximum wartość powyższego wyrazu zmienia się mało przy zmianie napięcia  $V_{ab}$ , co łatwo zrozumiemy, jeżeli wykreślimy linię krzywą, wyrażającą zmienność wyrazu  $V_{ab} (C_1 - C_2 \cdot V_{ab})$  w zależności od napięcia  $V_{ab}$ .

Ze wzorów (b), (c) i (d) wynika, że dla osiągnięcia maximum wartości rozważanego wzoru należy tak urządzić dodatkowy elektromagnes, aby siła elektromotoryczna, wzniecona przez magnes stały, była dwa razy większa od siły elektromotorycznej, wznieconej przez elektromagnes.

b) Ustrój liczników motorowych elektrodynamicznych, obmyślonych przez Hummela i Elihu Thomsona, polega na zastosowaniu silnika elektrycznego obciążonego (rys 115).



Rys. 115. Licznik elektrodynamiczny bez pokrywki w wykonaniu fir. S. & H.



Rys. 115-a. Zasada ustroju i układ połączeń elektrodynamicznego licznika.

Układ części zasadniczych w liczniku Thomsona i połączenie ich z siecią, wskazane jest na rys. 115-a. Prąd główny przepływa przez zwoj-

\*) Wzór ten otrzymamy, znajdując pochodną powyższego wyrazu, według  $V_{ab}$  i zakładając, że pochodna ta równa się zeru.

nice nieruchome  $SS$ , prąd zaś, odgałęziony od punktów  $a$  i  $b$ , płynie przez opór duży  $r$ , ruchomy układ zwojnic  $M$  i dodatkową nieruchomą zwojnicę  $S'$ . Zwojnice ruchome zwinięte są w ten sposób, że tworzą okrągły bęben  $M$  płaszczyzny poszczególnych zwojów są pionowe. Prąd doprowadza się do tych zwojów przez pędzelki, zwane szczotkami, które przylegają do walca, utworzonego z szeregu izolowanych od siebie płytek metalowych, połączonych ze zwojami, czyli komutatora.

Zwoje nieruchome wytwarzają pole magnetyczne, którego linie biegną poziomo. Pole to wywiera działanie mechaniczne na pionowe druty z prądem w zwojnicach ruchomych. Skutkiem tego działania, bęben  $M$  i wałek, na którym jest on umocowany, obracają się.

Moment obrotowy  $M$  jest proporcjonalny do prądu  $J$ , płynącego w zwojnicach nieruchomych  $S$  i  $S'$  i do prądu  $i$  w zwojnicach ruchomych. Jeżeli przez  $C_1$  oznaczmy wielkość stałą, to:

$$M = C_1 \cdot i \cdot J.$$

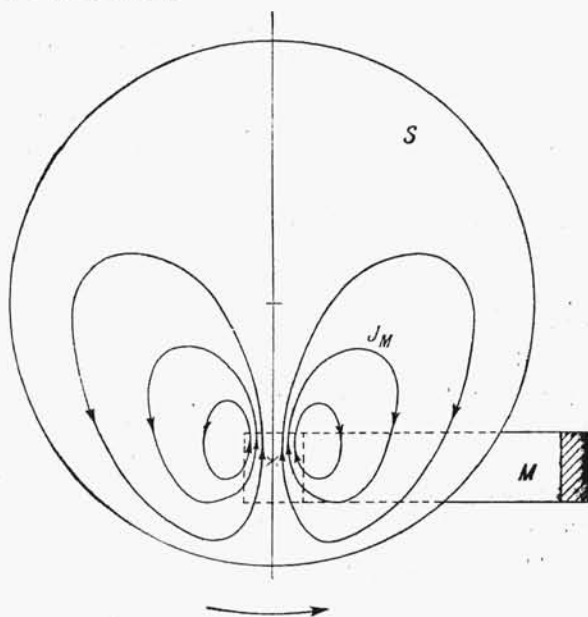
Prąd  $i$  możemy wyrazić według prawa Ohma przez napięcie  $V$  pomiędzy  $a$  i  $b$  i opór  $R$  obwodu odgałęzionego:

$$i = \frac{V}{R}.$$

Stosując ten wzór, przyjmujemy, że siła elektromotoryczna indukcji, powstająca w zwojach ruchomych, jest bardzo mała, ponieważ prędkość obrotu zwojnic ruchomych jest zazwyczaj niewielka, a pole, wywołane w powietrzu przez zwojnice  $S, S'$  — dość słabe. Zaznaczyć też należy, że opór  $r$ , włączony w obwód zwojnic ruchomych, jest znaczny, napięcie przeto pomiędzy szczotkami jest małe.

Na podstawie tych uwag opuściliśmy we wzorze prawa Ohma siłę elektromotoryczną indukcji i z powyższych dwóch wzorów otrzymujemy:

$$M = \frac{C_1}{R} \cdot V J.$$



Rys. 115-b. Prądy wirowe w tarczy, obracającej się w pobliżu biegunów nieruchomego stałego magnesu.

Na wałku licznika umocowana jest u dołu okrągła tarcza miedziana  $D$  (rys. 115-a), obracająca się w polu stałych magnesów stalowych  $N, N$ . Podczas ruchu, w tarczy powstają prądy wirowe (rys. 115-b), na które pole magnetyczne magnesów stałych oddziaływa w ten sposób, że hamuje ruch tarczy.

Natężenie prądów wirowych jest proporcjonalne do siły elektromotorycznej indukcji, powstającej w tarczy, a siła ta jest, jak wiadomo, proporcjonalną do prędkości ruchu tarczy. Jeżeli więc oznaczymy przez  $J_M$  natężenie prądów wirowych, przez  $n$  — liczbę obrotów tarczy w ciągu jednostki czasu, a przez  $C_2$  — wielkość stałą, zależną od wymiarów tarczy, od przewodnictwa elektrycznego tarczy i od indukcji magnetycznej pola magnesów stałych, to możemy napisać:

$$J_M = C_2 \cdot n.$$

Moment hamujący magnesów stałych proporcjonalny jest do natężenia prądów wirowych i do indukcji magnetycznej w polu tych magnesów; oznaczając więc ten moment przez  $M'$ , a wielkość stałą przez  $C_3$ , otrzymamy:

$$M' = C_3 \cdot J_M,$$

albo:

$$M' = C_2 \cdot C_3 \cdot n.$$

Skoro zaś prędkość biegu licznika ustali się i  $n$  będzie stałe, to momenty, obracający i hamujący, równoważą się, czyli:

$$M = M',$$

$$\frac{C_1}{R} \cdot V J = C_2 \cdot C_3 \cdot n.$$

Oznaczmy przez  $t$  czas, w ciągu którego prąd stały  $J$  płynie pod napięciem  $V$ , i pomnożmy przez ten czas powyższe równanie; wtedy:

$$\frac{C_1}{R} \cdot V J \cdot t = C_2 \cdot C_3 \cdot n \cdot t.$$

Wprowadzając zaś oznaczenia:

$$\frac{C_2 \cdot C_3 \cdot R}{C_1} = C$$

$$n \cdot t = N,$$

otrzymamy:

$$V J \cdot t = C \cdot N.$$

Wzór ten wskazuje, że praca prądu  $J$  jest proporcjonalna do liczby obrotów wałka w liczniku, może być więc mierzona tą liczbą.

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.