

transformatorkami ściślemi, których ustrój zapewnia większą dokładność, niż wyżej podana.

Tak np. ściśle transformatorki prądowe\*) z wieloraką przekładnią mają błąd przekładni w granicach najwyżej  $\pm 0,5\%$  przy prądzie od  $20\%$  do  $100\%$  natężenia nominalnego. W tych samych warunkach dopuszczalne jest uchybienie w kącie różnicy faz najwyżej w granicach do  $\pm 40'$ . Przy obciążeniach od  $10\%$  do  $20\%$  natężenia nominalnego, błąd w przekładni wynosi  $\pm 1\%$ , a uchybienie w kącie różnicy faz  $\pm 60'$ .

## 17. Galwanoskopy.

Przyrządy, za pomocą których spostrzegamy tylko obecność prądu, nazywamy galwanoskopami.

Zasada ustroju najprostszych i najtańszych galwanoskopów polega na zastosowaniu dwóch nieruchomych cewek, pomiędzy którymi znajduje się krótki magnes stalowy, oparty na ostrzu lub zawieszony na cienkiej nitce. Do tego magnesu przymocowana jest wskazówka, której położenie wyznacza się na skali.

Pole magnetyczne prądu odchyła magnes wbrew siłom magnetycznym, wywołanym pionową składową ziemskiego magnetyzmu i sile ciężkości, gdy oś obrotu układu ruchomego jest pozioma i umieszczona wyżej od jego środka ciężkości, lub też wbrew momentowi obrotowemu wywołanemu poziomą składową magnetyzmu ziemskiego, gdy oś obrotu jest pionowa.

Galwanoskopy tego rodzaju teraz wychodzą z użycia i są zastępowane dogodniejszymi galwanometrami z ruchomą cewką.

## 18. Galwanometr z ruchomą cewką i nieruchomym magnesem.

Najczęściej stosowane są obecnie galwanometry, urządzone według pomysłu Deprez i d'Arsonval'a (rys. 21) z nieruchomym magnesem i ruchomą cewką. Taki galwanometr składa się z nieruchomego, silnego, stalowego magnesu  $N S$ , nieruchomego cylindra żelaznego  $C$  i ruchomej cewki  $K$ , zawieszanej na cienkiej wstążeczce metalowej. U góry do pręcika, umieszczonego na cewce, przymocowane jest lusterko  $L$ .

Prąd do cewki doprowadzamy z góry przez wstążeczkę metalową, a z dołu przez lekko zwiniętą sprężynkę.

Bieg prądu jest uwidoczniiony na rys. 22.

---

\*) Patrz niemieckie przepisy.

Przewodniki z prądem ulegają działaniu pola magnetycznego, które stara się je przesunąć prostopadle do kierunku prądu i kierunku linii magnetycznych według reguły lewej ręki. Powstaje więc moment obrotowy, skręcający cewkę w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegarka (patrz rzut poziomy na rys. 21).

Temu momentowi przeciwstawia się moment zatrzymujący, skręcający się wstążeczki.

Na rys. 22-a widzimy taki galwanometr w wykonaniu Siemens'a.

Oznaczmy przez  $M$  moment obrotowy, powstający skutkiem działania pola magnetycznego na cewkę z prądem  $J$ , przez  $K$  współczynnik stały, zależny od wymiarów cewki i liczby zwojów, a przez  $B$  indukcję magnetyczną w szczelinie pomiędzy biegunami magnesu a cylindrem  $C$ , wtedy według praw elektromagnetyzmu:

$$M = K. J. B.$$

Przez  $M'$  oznaczmy moment sił sprężystych, wywołanych skręceniem wstążeczki, przy niezbyt wielkich kątach skręcenia moment ten jest proporcjonalny do kąta skręcenia  $\alpha$ , więc jeżeli nowy stały współczynnik oznaczmy przez  $K'$ , to:

$$M' = K'. \alpha.$$

W równowadze:

$$M = M'$$

$$K. J. B = K'. \alpha$$

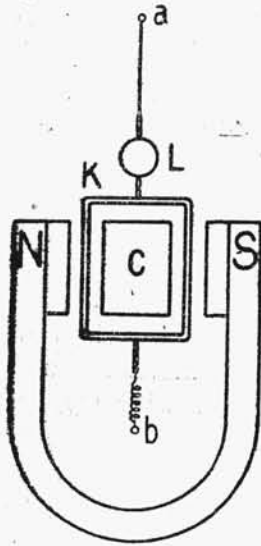
Stąd:

$$J = K''. \alpha$$

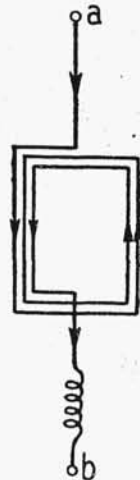
tu

$$K'' = \frac{K'}{K. B}$$

Jeżeli szczelina pomiędzy biegunami magnesu a żelaznym cylindrem w środku jest dość wąska, to gęstość linii magnetycznych  $B$  w różnych miejscach szczeliny jest prawie jednakowa i współczynnik  $K''$  prawie niezależny od  $\alpha$ . Wtedy w przybliżeniu przyjąć można, że natężenie prądu jest proporcjonalne do kąta wychylenia cewki.



Rys. 21. Galwanometr z ruchomą cewką i nieruchomym magnesem.



Rys. 22. Przepływ prądu w ruchomej cewce.

Jeżeli galwanometr jest przeznaczony dla bardzo słabych prądów i odchylenie cewki obserwujemy za pomocą promienia świetlnego, odbitego od lusterka, to wychylenie, wynoszące 1 mm na skali, oddległej od lusterka o 1 metr, otrzymujemy naprz. w galwanometrach Siemens'a pod wpływem  $8 \cdot 10^{-10}$  ampera.

Dla zmiany czułości w bardzo szerokich granicach, stosuje się boczniki. Boczniki te, zamykając obwód cewki ruchomej, wywołują zarazem tłumienie wahań tej cewki, skutkiem powstających w tym obwodzie prądów indukowanych.

Galwanometry tego rodzaju mniej czułe zaopatruje się często we wskazówkę i skalę, wtedy na jedną działkę skali przypada np.:  $1,5 \cdot 10^{-7}$  ampera, w innych  $10^{-6}$  ampera.

Mniej delikatne i dogodniejsze w użyciu są galwanometry wskazówkowe, w których cewka za pomocą dwóch ostrzy jest oparta na twardych kamieniach, oprawionych w śrubkach (rys. 23.)

Moment zatrzymujący wywołują tu odpowiednio umocowane sprężynki spiralne, wykonane z niemagnesującego się materiału. Przez te sprężynki do uzwojenia cewki doprowadza się prąd. Cały mechanizm z poziomo ustawionym stalowym magnesem umieszcza się w drewnianej skrzynce z okienkiem (rys. 24), w którym widać małą skalę i koniec wskazówki. Zwykle taki galwanometr ma zastosowanie jako przyrząd zerowy t. j. służący dla stwierdzenia braku prądu w pewnej gałęzi obwodu rozgałęzionego w szczególnych warunkach.

Czułość tych przyrządów zazwyczaj dosięga  $10^{-6}$  ampera na jedną działkę. Taka czułość jest przeważnie wystarczająca.

W przyrządach powyżej rozważanego ustroju, dla stłumienia wahań wskazówki, stosuje się w ruchomej cewce ramkę aluminiową, w której przy ruchu powstają prądy wirowe indukowane polem magnetycznym, a w myśl prawa Lenza powstają tu siły hamujące ruch ramki z cewką.

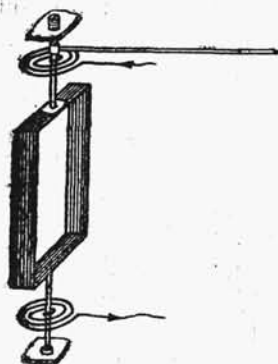
Rys. 23. Ruchoma cewka galwanometru wskazówkowego.

Wszystkie omawiane galwanometry mają zastosowanie tylko przy prądzie stałym. Jeżeli prąd jest zmienny, to cewka nie obróci się, a będzie tylko drgać, ponieważ przy zmianie kierunku prądu, zmienia się również zwrot momentu obracającego cewkę.

Dla prądu zmiennego urządza się galwanometry wibracyjne, w których pętliczka, zrobiona z cienkiego drutu, umieszczona jest w polu magnetycznym silnego magnesu.



Rys. 22-a. Galwanometr z ruchomą cewką w wykonaniu fir. S. & H.



Pod wpływem przebiegającego po niej prądu pętliczka drga. Za pomocą małego lusterka, przymocowanego do pętliczki można mierzyć amplitudę drgań, wielkość której zależy od natężenia prądu.



Rys. 24. Galwanometr wskazówkowy fir. Weston z ruchomą cewką i nieruchomym stałym magnesem.

Pozatem do mierzenia prądu zmiennego można zastosować zwykłe galwanometry z ruchomą cewką, łącząc z takim galwanometrem termoożniwo, rozgrzewane prądem zmiennym.

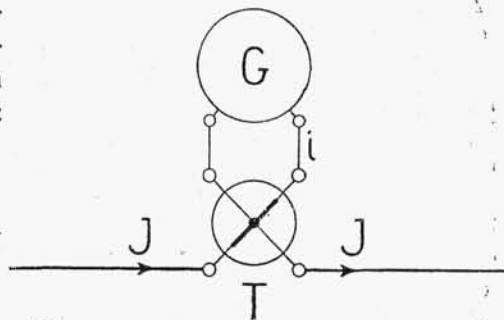
Przeważnie stosujemy ożniwo termoelektryczne-krzyżowe w próżni (rys. 25).

W szklanej bańce opróżnionej umieszczone są dwa druciki, spojone w miejscu skrzyżowania, jeden drucik np. manganinowy, a drugi konstantanowy \*); prąd zmienny  $J$  (rys. 25) przepływa przez miejsce spójnienia i ogrzewa go, skutkiem tego powstaje stały prąd termoelektryczny  $i$ , odchylający galwanometr.

Przyrządy tego rodzaju zazwyczaj znajdują zastosowanie do pomiaru prądów od 1 do 100 mA.

Inny rodzaj przyrządów tego rodzaju polega na zastosowaniu oddzielnego drucika grzejnego, który ogrzewa spójnienie dwóch metali, stanowiących zakończenie pętliczki z drutu, zawieszzonej w silnym polu magnetycznym. Są to galwanometry Duddell'a, które w zależności od oporności grzejnika mają następującą czułość:  $i$  — prąd zmienny wywołujący odchylenie 10 mm na skali odległej o 1 m. od lusterka:

Oporność grzejnika	Natężenie prądu w grzejniku w amperach
1000 $\Omega$	$22 \cdot 10^{-6}$
100 $\Omega$	$70 \cdot 10^{-6}$
10 $\Omega$	$220 \cdot 10^{-6}$



Rys. 25. Galwanometr z ożniwem termoelektrycznym.

Takie galwanometry z termoożniwami znajdują zastosowanie głównie przy pomiarze prądów szybkozmiennych.

\*) Manganin-stop  $\text{Cu} - \text{Mn} - \text{Ni}$ , konstantan-stop  $\text{Cu} - \text{Ni}$ .