

należy w szereg z tą cewką, która daje większe wychylenie, włączyć odpowiedni opór.

d/ Galwanometr pancerny /Du Bois-Rubens'a/.

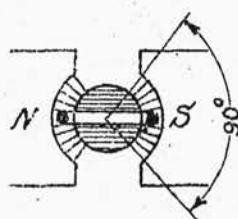
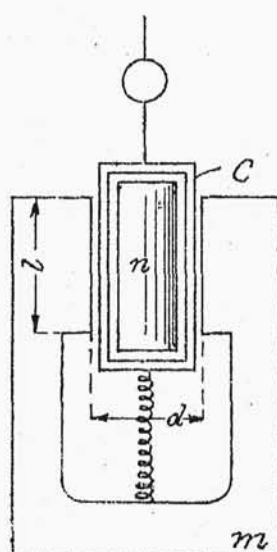
Galwanometr ten posiada potrójną osłonę z żelaza miękkiego w celu wzmocnienia działania elektromagnetycznego cewek na igłę magnetyczną oraz możliwie dokładnego usunięcia wpływu obcych pól. W celu wywołania zupełnej astatyczności znajdują się 2 magnesy kierujące. Tłumienie jest powietrzne.

B/. PRZYRZĄDY GALWANOMETRYCZNE Z RUCHOMĄ  
CEWKĄ.

1. Zasada działania.

Ten rodzaj galwanometrów jest oparty na zasadzie podanej przez Deprez - d'Arsonval'a, uwidocznionej na rys.32.

Część ruchomą przyrządu stanowi cewka  $C$  zaś część nieruchomą — magnes trwały  $m$ , wytwarzający jednostajne pole magnetyczne. Prąd doprowadza się przez nitkę metalową, na



Rys. 32.

której wisi cewka, lub przez osobną niemagnetyczną spiralę, o ile cewka jest podparta.

Siłę zwracającą wytwarza elastyczność nitki lub spirali, zaś moment kręcący powstaje wskutek działania pola magnetycznego na prąd w cewce. Siła, odchylająca cewkę i działająca na jeden bok jej, równa się  $HlnJ$ , gdzie  $H$  jest natężeniem pola magnetycznego,  $l$  długość

cia boku cewki, zawartą w polu magnetycznym,  $n$  jej liczbą zwojów, a  $J$  prądem płynącym w cewce. Moment kręcący, pochodzący od tej siły, działający na ramieniu  $\frac{d}{2}$  i wywierany na oba boki cewki, jest:

$$M_c = 2 H l n J \frac{d}{2} = H n S J = \delta J$$

gdzie  $J$  jest polem cewki, zawartem w polu magnetycznym.

Stąd stała dynamiczna:

$$\delta = H n S.$$

Moment kręcący musi być zrównoważony momentem zwracającym, pochodzącym od elastyczności zawieszenia; zatem:

$$H n S J = D \alpha$$

stąd:

$$J = \frac{D}{H n S} \alpha = c \alpha$$

gdzie  $c = \frac{D}{H n S}$  jest t.zw. stałą galwanometru, za pomocą której można mierzyć prąd stale przez galwanometr przepływający.

Czułość galwanometru jest:

$$C = \frac{1}{\left( \frac{H n S}{D} \right)}$$

Wzór ostatni daje pewne wskazówki konstrukcyjne galwanometrów ze względu na ich czułość, a mianowicie:

a/ natężenie  $H$  pola magnetycznego winno być duże. - Zatem magnes powinien być silny. Ze względu na opór obwodu magnetycznego, szczelina musi być mała, co można osiągnąć, wstawiając cylinderek metalowy  $n$  /rys.32/, skupiający linie siły wewnątrz cewki i powodujący jednostajność pola, w którym porusza się cewka, w granicach  $\pm 45^\circ$  względem położenia zerowego.

b/ Cewka winna posiadać dużą liczbę zwojów. - Ze zwiększaniem liczby zwojów nie należy jednak iść zbyt daleko, gdyż to powoduje zwiększenie momentu bezwładności, i wskutek tego powiększenie grubości nitki metalowej, na której jest zawieszona cewka, co znów powoduje zmniejszenie czułości.

c/ Pole  $J$  cewki, zawarte w polu magnetycznym, winno być duże. - Warunek ten prowadzi do budowania dużych cewek. Kształty kwadratowy lub prostokątny poprzeczny zwiększają moment bezwładności. Zbyt wydłużony kształt cewki wpływa również ujemnie na czułość. Teoretycznie najlepszym

byłby kształt kołowy, gdyż przy tej samej długości przewodnika płaszczyzna cewki byłaby największa.

Najlepszym okazał się kształt prostokątny o stosunku wysokości do szerokości jak 6:5.

d/ Siła zwracająca  $D$  winna być możliwie jaknajmniejsza. Osiąga się to przez zastosowanie długiej nitki zawieszenia. Nitka ta jednak nie powinna być zbyt długa, gdyż to utrudnia budowę przyrządu.

W celu wyprowadzenia najkorzystniejszych warunków czułości wyjdziemy z warunku aperiodyczności ruchu cewki, który, jak wiadomo, wyraża się następującym wzorem:  $a = 6$ ;

$$\kappa + \frac{\delta^2}{\mathcal{R}} = 2\sqrt{\Theta D}$$

Z wzoru na czas wahnienia nietłumionego  $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{\Theta}{D}}$  otrzymujemy:

$$\Theta = \frac{T_0^2 D}{4\pi^2}$$

a zatem:

$$\kappa + \frac{\delta^2}{\mathcal{R}} = 2\sqrt{\frac{T_0^2 D}{4\pi^2} D} = \frac{T_0 D}{\pi}$$

Z powyższego równania otrzymujemy:

$$\delta = \sqrt{\mathcal{R} \left( \frac{T_0 D}{\pi} - \kappa \right)}$$

Stała przyrządu będzie:

$$c = \frac{D}{\delta} = \sqrt{\frac{\pi D}{\mathcal{R} T_0 - \frac{\kappa \pi \mathcal{R}}{D}}}$$

Zatem widzimy, że:

$$c = f_1 \left( \frac{1}{\sqrt{\mathcal{R}}} ; \frac{1}{\sqrt{T_0}} \right)$$

czyli czułość:

$$C = f_2 \left( \sqrt{\mathcal{R}} ; \sqrt{T_0} \right)$$

Jak wiadomo wychylenie cewki  $\alpha = \frac{\mathcal{I}}{c}$  ; prąd  $\mathcal{I}$  jest odwrotnie proporcjonalny do oporu obwodu, t.j.  $\mathcal{I} = f_3 \left( \frac{1}{\mathcal{R}} \right)$  , zaś stała  $c$  jest odwrotnie proporcjonalna do  $\sqrt{\mathcal{R}}$  , zatem wychylenie  $\alpha$  jest:

$$\alpha = f_4 \left( \frac{\sqrt{\mathcal{R}}}{\mathcal{R}} \right) = f_4 \left( \frac{1}{\sqrt{\mathcal{R}}} \right)$$

✓ Ostatnie równanie wskazuje nam, że czułość galvanometru będzie tem większa, im opór obwodu będzie mniejszy. Ponieważ opór ten jest sumą opo-

rów. zewnętrznego  $R_z$  i galwanometru  $R_g$ , to potrzeba aby, przy danym oporze zewnętrznym, opór galwanometru był możliwie małym.

Czułość zwykła w zależności od normalnej wyraża się następującym wzorem:

$$C = C_0 \sqrt{T_0 \frac{R}{10}}$$

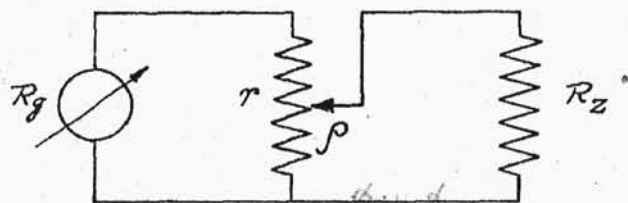
przyчем czułość normalna  $C_0$  dochodzi do 30 działek na 1 mikroamper.

Tłumienie w galwanometrach z ruchomą cewką odbywa się za pomocą prądów wirowych indukowanych w ramce miedzianej lub aluminiowej o grubości 0,2 - 0,5 mm., na której jest nawinięta cewka. Im grubsza ramka, tem tłumienie lepsze. Zwiększenie grubości ramki, zwiększa jednak jej masę i grubość szczeliny, przez to zaś zmniejsza się natężenie pola i zatem tłumienie. Prócz tego tłumienie powoduje prąd indukowany w zwojach cewki w czasie jej ruchu, którego natężenie jest zależne od oporu zewnętrznego, przyłączonego do galwanometru; wogóle jest ono stosunkowo słabe. W celu wywołania tłumienia silniejszego znajdują jeszcze zastosowanie osobne uzwojenia zwarte,

umieszczone na cewce.

Aby możliwie szybko uspokoić cewkę, zwieramy ją t.j. zamykamy bardzo małym oporem.

Bocznik do galwanometru /rys.33/.



Rys. 33.

Bocznik  $r$ , załączony równolegle do galwanometru, umożliwia osiągnięcie ruchu prawie aperiodycznego przez odpowiedni dobór jego wartości oraz wartości oporu  $R_g$  galwanometru. Na części  $S$  tego bocznika odgałęzia się obwód zewnętrzny. Przez załączenie bocznika zmniejsza się czułość galwanometru.

Przyrządy bardzo czułe /laboratoryjne/ mają bardzo małą siłę zwracającą, zatem sztuczne tłumienie nie może być w nich stosowane, gdyż ruch cewki stałby się przetłumionym. Inaczej rzecz się ma natomiast w przyrządach do tablic rozdzielczych, które mają dużą siłę zwracającą; tłumienie sztuczne u nich się stosuje.



Przyrządy galwanometryczne <sup>z ruchomą cewką</sup> posiadają następujące zalety:

a/ bardzo mały wpływ zewnętrznych pól magnetycznych na wskazania przyrządu, wskutek obecności w nim pola magnetycznego o dużym natężeniu /do 1000 ogs/.

b/ proporcjonalność odchyleń, wskutek jednostajności pola magnetycznego,

c/ dobre tłumienie i związana z nim aperjodyczność,

d/ łatwość ustawienia i przenoszenia.

Wadą tych przyrządów jest mniejsza czułość, niż w przyrządach galwanometrycznych z ruchomym magnesem. Czułość ta jednak jest bardzo wysoka.

Przy obliczaniu cewki ruchomej przyrządów wychodzimy ze wzoru na moment kręjący:

$$M_i = \frac{H J l r n}{9810} \text{ gr cm}$$

Natężenie  $H$  pola magnetycznego, które jest określane drogą pomiaru dla przyrządów do tablic rozdzielczych ma wartość  $800 \div 1000$ .

Prąd  $J$  przyjmuje się  $10 \div 20$  mA. Mając ustalone wartości natężenia pola i prądu, można z powyższego wzoru obliczyć liczbę zwojów

z cewki dla danego momentu kręącego, którego wartość wynosi  $1 \div 3$  grem, a w przyrządach precyzyjnych nawet do 0,4 grem.

Jako szerokość szczeliny przyjmuje się  $1,5 \div 2$  mm., z której na właściwą szczelinę powietrzną, zawartą pomiędzy cewką i biegunem, przypada  $0,2 \div 0,3$  mm., reszta zaś musi być podzielona pomiędzy ramkę i uzwojenie.

Dzielać przekrój boku cewki przez liczbę zwojów otrzymujemy przekrój jednego zwoju, z którego można już obliczyć opór cewki. W celu możliwie zupełnego wyzyskania miejsca, jest używany prawie zawsze drut profilowany o przekroju kwadratowym lub prostokątnym.

Dane, odnoszące się do normalnych przyrządów technicznych pewnego typu, są następujące:

Magnes podkowiasty lub wydłużony flaszkowo o długości  $250 \div 350$  mm. i przekroju  $3 - 4$  cm<sup>2</sup> z najlepszej stali, sztucznie starzonej w celu zachowania niezmiennego magnetyzmu.

Szczelinę robi się jaknajmniejszą, gdyż im jest mniejsza, tem większa jest stałość magnetyzmu; większa czułość i mniejsza wrażliwość na obce wpływy. Powierzchnia nasad biegunowych wynosi  $7 \div 12$  cm<sup>2</sup>.

Ramka i cewka powinny być lekkie, najlepiej jest wykonywać je z aluminium.

Średnica cewki 25 mm.

Wysokość cewki 25 ÷ 35 mm.

Ciężar części ruchomej 1 ÷ 3 gr.

Moment kręjący 0,4 ÷ 1 gram.

Liczba amperozwojów przy pełnem odchyleniu wynosi 0,3 ÷ 1.

## 2/ Zastosowanie i typy przyrządów.

Przyrządy tego rodzaju znajdują zastosowanie przy pomiarach laboratoryjnych jako galwanometry oraz przy pomiarach prądu i napięcia stałego jako przyrządy wskazówkowe.

Do prądu zmiennego przyrządy te nie mogą być stosowane, gdyż przy zmiennym kierunku prądu zmienia się również kierunek odchylenia cewki, wskutek czego wykonywa ona ruch drgający w takt zmian prądu. Jeżeli bezwładność cewki jest znaczna, to ruch ten nie nastąpi.

Istnieją natomiast specjalne przyrządy, zwane wibracyjnymi, w których bezwładność układu

ruchomego jest bardzo mała, wskutek czego układ ten może podążać za zmianami prądu i wykonywać ruch drgający. Amplituda /obszer-  
ność/ drgań jest miarą wielkości mierzonej.

a/ Galwanometry lusterkowe.

$\alpha$ / z cylinderkiem /Deprez d'Arsonval/.

Zasada tego przyrządu jest uwidoczniła na rys. 32. Magnes znajduje się w położeniu pionowym, a cewka jest umieszczona luźno między cylinderkiem metalowym a biegunami. Zadanie tego cylindera polega na zmniejszeniu oporu magnetycznego dla strumienia oraz wywołaniu tłumienia. Pole magnetyczne w szczelinie przebiega promieniowo a natężenie jego jest we wszystkich punktach /za wyjątkiem kątów/ prawie jednakowe, wskutek czego odchylenia przyrządu są prawie proporcjonalne do prądu. Czułość wynosi 10 ÷ 30 działek /mm. przy od-  
stępie 1000 mm. od skali/ na 1  $\mu$ A.

$\beta$ / bez cylinderka /Ayrton i Mather/. Magnes znajduje się w położeniu poziomym  $\alpha$  , wsku-

tek braku cylinderka, cewka wypada znacznie węższa, co pociąga za sobą zmniejszenie jej momentu bezwładności. Ten typ posiada większą czułość od poprzedniego.

#### b/ Galwanometry wskazówkowe.

Są to przyrządy, wskazujące bezpośrednio mierzoną wielkość, wprowadzone przez Westona i znane pod nazwą precyzyjnych miliamperomierzy, miliwoltomierzy i t.d. Za pomocą tych przyrządów, starannie wycechowanych, można wykonywać pomiary natężenia prądu, napięcia i t.d. z dokładnością do 0,001 %. Co się tyczy ich budowy, to cewka ruchoma może być wsparta na ostrzach lub zawieszona. W pierwszym przypadku siłę zwracającą wytwarzają sprężyny, wykonane z materiału o niezmienniej elastyczności, w drugim - elastyczność nici zawieszenia. Cewka jest umieszczona luźno na cylinderku metalowym, którego znaczenie było już poprzednio wyjaśnione. Z cewką ruchomą jest połączona lekka wskazówka, poruszająca się nad skalą, zaopatrzoną w podkładkę lustrzaną, celem uniknięcia paralaksy. Tłumienie jest bardzo dobre, tak że wskazówka usta-

wia się prawie zupełnie aperiodycznie. Niektóre przyrządy posiadają specjalne urządzenie dla skompensowania wpływu temperatury, co przy stosowaniu bocznika odgrywa ważną rolę.

c/ Amperomierze techniczne, oparte na zasadzie galwanometrycznej.

Są to przyrządy, służące do pomiaru większych prądów. Sprężyny doprowadzające prąd nie mogą być zbyt przeciążane, z drugiej strony ciężar uzwojenia cewki przy dużym prądzie jest znaczny, tak, że wykonanie jego napotyka na trudności, przeto granicą górną natężenia prądu, do której amperomierze mogą być bezpośrednio stosowane, jest  $\sim 1 \text{ A}$ . Amperomierze dla większych natężeń prądu są zaopatrzone w boczniki, które do pewnej granicy /częstokroć do  $100 \text{ A}$ / są umieszczone wewnątrz przyrządu, zaś powyżej tej granicy znajdują się zewnątrz przyrządu. Korzyści, jakie osiągamy przy stosowaniu boczników w przyrządach z ruchomą cewką są: możność rozszerzenia skali przyrządu oraz mały spadek napięcia na zaciskach przyrządu. Przy dużych prądach boczniki winny posiadać

wystarczająco dużą powierzchnię chłodzenia.

d/ Woltomierze techniczne są przyrządami, w których cewka jest wykonana z dużej liczby zwojów cienkiego drutu, zatem posiada ona duży opór  $/100 \Omega /$ , przez co zużycie prądu wynosi zaledwie mało miliamperów przy pełnem odchyleniu. Rozszerzenie skali uskutecznia się za pomocą oporników dodatkowych, połączonych w szereg z cewką ruchomą, przyczem oporniki te mogą znajdować się w samym przyrządzie lub nazewnątrz niego. Dokładność pomiaru wynosić może 0,03 % na stopień.

## R O Z D Z I A Ł    IV.

### PRZYRZĄDY DYNAMOMETRYCZNE.

#### 1/ Zasada działania.

Przyrządy oparte na zasadzie elektrodynamometru składają się z dwóch cewek, z których jedna jest ruchoma a druga nieruchoma, i przez które przepływa ten sam prąd lub dwa różne prądy. Moment kręjący powstaje wskutek