

Drut aa jest żelazny lub miedziany, drut bb - konstantanowy. W punkcie c oba te druty są zlutowane. Jeżeli przez gałąź I przepuścimy mierzony prąd J , to w gałęzi II powstanie prąd termoelektryczny ϵ , który może być zmierzony np. galwanometrem G . Odchylenia galwanometru G są więc proporcjonalne do natężenia prądu J . Przyrządy te służą do pomiarów bardzo słabych prądów.

R O Z D Z I A Ł VIII.

PRZYRZĄDY ELEKTROSTATYCZNE.

1/ Zasada działania.

Działanie tego rodzaju przyrządów może być oparte na przyciąganiu lub odpychaniu naładowanych elektrod lub na przeskoku iskry między nimi. W przyrządach pierwszej kategorii jedna elektroda jest umieszczona ^{NIERUCHOMO}, druga zaś może się poruszać, pod wpływem sił występujących skutkiem ładunków; są to t.zw. elektrometry. W przyrządach drugiej kategorii elektrody przesuwają się względem siebie, aż nastąpi wyładowanie między

niemi; długość iskry jest miarą wielkości mierzonej; są to t.zw. iskierniki pomiarowe.

Przyrządy elektrostatyczne są stosowane tylko do pomiarów napięć i to tak przy prądzie stałym, jak i zmiennym, głównie jednak znajdują zastosowanie przy prądzie zmiennym, a zwłaszcza przy wysokich napięciach jako woltomierze techniczne; jako elektrometry są używane w laboratoriach.

Ze względu na wchodzące w grę ładunki elektryczne, które nie powinny ulegać zmianie /w szczególności, gdy się ma do czynienia z małymi ładunkami/, izolacja części niosących ładunki względem reszty przyrządu musi być bardzo staranna. Najlepszym izolatorem jest bursztyn, używany do przyrządów precyzyjnych, dobrymi izolatorami są lak i szkło niealkaliczne.

Czułość i dokładność elektrometrów jest mniejsza niż galwanometrów. W celu zabezpieczenia tych przyrządów od wpływu zewnętrznych pól elektrycznych, należy je osłaniać metalicznie.

O ile ładunki mierzone są bardzo małe, należy również wziąć pod uwagę pojemność przyrządu i doprowadzeń.

2/ Elektrometr absolutny.

Zasada tego elektrometru jest oparta na działaniu kondensatora naładowanego, w którym mierzy się siłę przyciągania okładziny. Składa on się z okładziny nieruchomej A /rys:55/, ruchomej B i pierścienia ochronnego C , odsuwającego zakrzywione linje sił m pola elektrycznego od okładziny B , wskutek czego pole elektryczne, zawarte pomiędzy okładzinami A i B może być uważane za jednostajne. Okładzina B o powierzchni S i pierścień ochronny C są połączone z ziemią; okładzinę A ładuje się do pewnego potencjału V . Wytworzone w ten sposób jednostajne pole elektryczne posiada natężenie równe

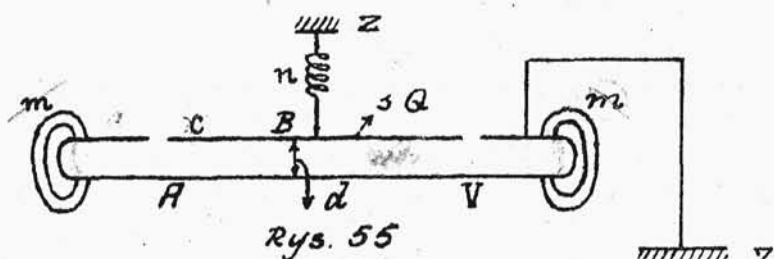
$$H = \frac{V}{d} = 4\pi G$$

gdzie d jest odległością między okładzinami, a G - gęstością ładunku Q okładziny B . Skąd

$$G = \frac{V}{4\pi d}$$

Siła przyciągania okładziny ruchomej przez nieruchomą będzie zatem:

$$F = 2\pi G Q = 2\pi G^2 S = \frac{2\pi V^2 S}{16\pi^2 d^2} = \frac{V^2 S}{8\pi d^2}$$



Rys. 55

Mierzona różnica potencjałów będzie więc:

$$V = d \sqrt{\frac{8\pi F}{3}}$$

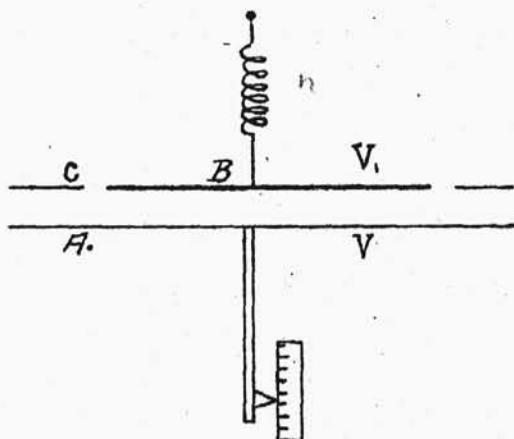
Jeżeli siła F jest wyrażona w dynach, a odległość d w cm, oraz powierzchnia S w cm^2 , to różnica potencjałów V wyrazi się w (C.G.S.).

W elektrometrze Thomsona /typ sprężynowy/ okładzina ruchoma jest zawieszona na sprężynie n /rys.55/ i obciążona ciężarkami, które umożliwiają nastawienie kondensatora na zero w stanie nienaładczanym. Po udzieleniu ładunku tej okładzinie, spowodują one jej powrót do zera przez zdjęcie takiej ilości ciężarków, która równa się sile przyciągania okładzin.

Otrzymaną w ten sposób siłę F , wyrażoną w gr., mnożymy przez 981 w celu wyrażenia jej w dynach.

Pomiar bardzo małej odległości d przedstawia znaczną trudność, którą można jednak ominąć, stosując sposób Thomsona. W tym celu okładzina

A jest umieszczona ruchomo, tak, że można zmieniać jej odległość od okładziny B /rys. 56/. Postępowanie jest następujące:



Rys. 56.

okładzinę B i pierścień ochronny C ładuje się stałym pomocniczym potencjałem V_1 , uziemiacząc okładzinę A , i określa się siłę F przez zdejmowanie ciężarków z B i sprowadzenie elektrometru na zero. Wówczas jest:

$$V_1 = d \sqrt{\frac{8\pi F}{\delta}}$$

Następnie ładuje się okładzinę A potencjałem mierzonym V i przesuwa ją przy tej samej siłę F tak długo, aż elektrometr zostanie sprowadzony na zero. Jeżeli to przesunięcie, odczytane na skali, jest równe $\pm l$, wówczas jest:

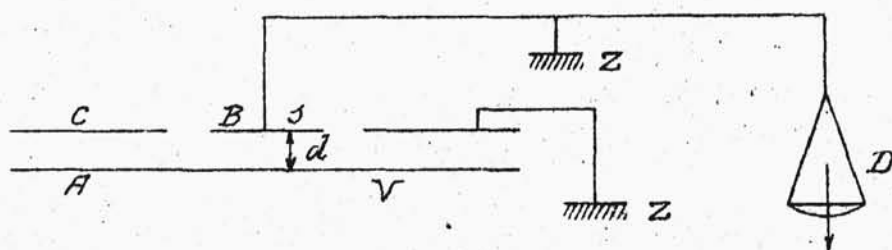
$$V \pm V_1 = (d \pm l) \sqrt{\frac{8\pi F}{3}}$$

Z otrzymanych dwóch równań wynika, że:

$$V = l \sqrt{\frac{8\pi F}{3}}$$

Sposób ten wymaga zatem podwójnego odczytywania, w celu wyznaczenia siły F i przesunięcia l .

Dokładny pomiar tego przesunięcia jest trudny; dogodniejszym typem elektrometru absolutnego jest typ wagowy, przedstawiony na rys. 57, w którym okładzina ruchoma B jest połą-



Rys. 57.

czona z dźwignią dwuramienną, obciążoną na końcu ciężarkami, leżącymi na szalce D . Po naładowaniu okładziny A potencjałem V , płytka B , która w położeniu zerowym znajdo-

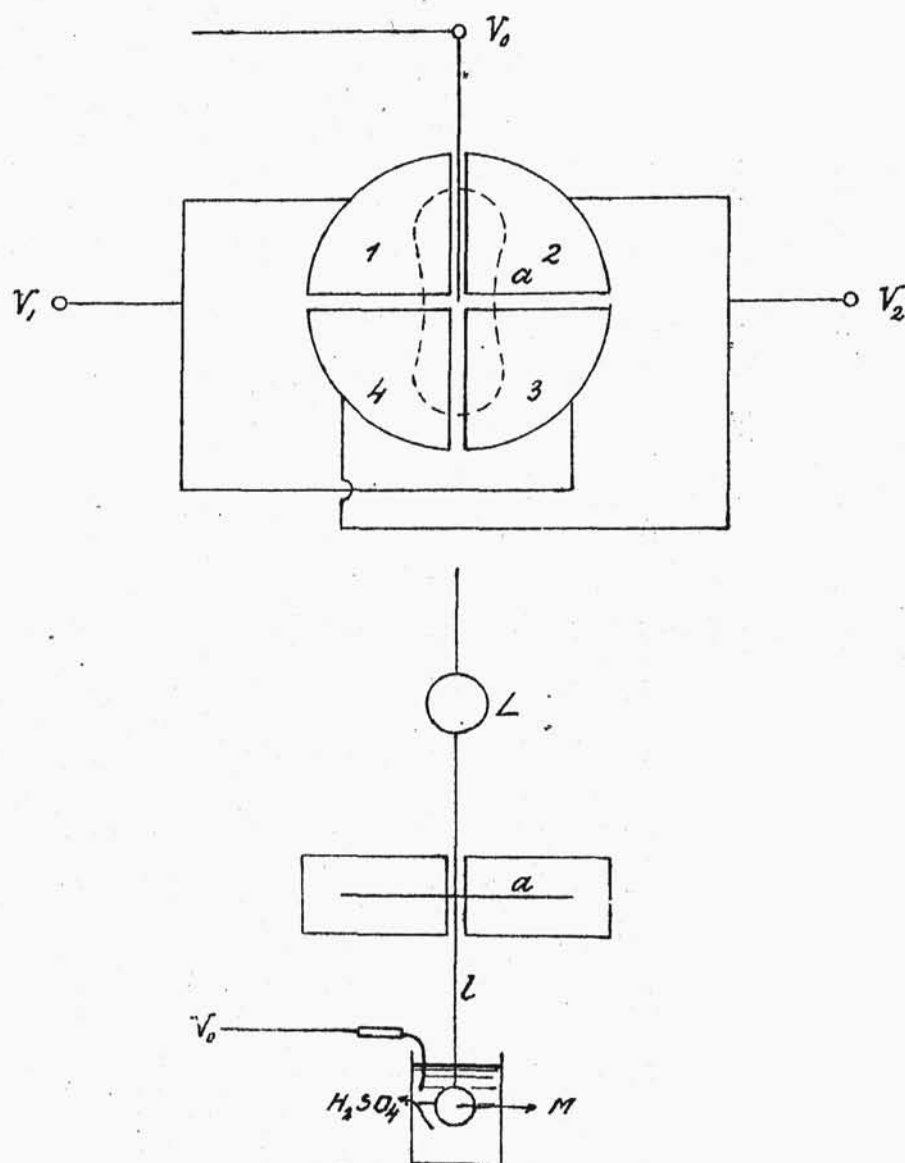
wała się w płaszczyźnie pierścienia ochronnego C , zostanie przyciągnięta. Przez położenie na szalce D pewnej ilości ciężarków, sprowadzamy elektrometr napowrót do położenia zerowego, określając w ten sposób siłę F . Mierzona różnicę potencjałów obliczymy ze wzoru:

$$V = d \sqrt{\frac{8\pi F}{3}}$$

Elektrometr absolutny nadaje się do pomiaru dużych potencjałów /1000 V i wyżej/. - Niektóre przyrządy techniczne posiadają podobne urządzenie. Przyrządy te mają jednak więcej znaczenie historyczne niż praktyczne. Obecnie stosuje się elektrometry kwadrantowe.

3/ Elektrometr kwadrantowy.

Przyrząd ten, podany przez Thomsona, jest utworzony z puszki miedzianej, podzielonej na 4 kwadranty 1, 2, 3, 4 /rys.58/ dwoma cięciami do siebie prostopadłymi. Z tych kwadrantów po dwa przeciwległe są połączone ze sobą za pomocą drutów, tworząc w ten sposób dwie pary kwadrantów /1 i 3 oraz 2 i 4/.



Rys. 58.

Wewnątrz kwadrantów jest zawieszona igła aluminiowa, posiadająca kształt lemniskaty /zwana również bisekoptem/. Powyżej igły znajduje się lustro \angle , przymocowane do nitki; pod igłą w jej środku jest przymocowany drucik

platynowy \angle , posiadający na końcu płytkę \nearrow zanurzoną w kwasie siarczanym. Naczynko, zawierające kwas, jest wyłożone z zewnątrz staniolem, tworząc w ten sposób kondensator względem tegoż kwasu. Wskutek takiego urządzenia osiąga się następujące korzyści:

- Kwas siarczany powoduje absorpcję wilgoci,
- Płytkę \nearrow , poruszającą się w kwasie siarczanym, zapewnia dobre tłumienie.

- W celu naładowania igły wystarczy doprowadzenie potencjału V_0 do kwasu, jak to wskazuje rys. 58.

- Igła traci swój ładunek nie tak szybko, gdyż jest połączona z kondensatorem. Można również doprowadzić ładunek do igły od góry za pomocą nitki metalowej.

Jeżeli potencjał igły jest V_0 , jednej pary kwadrantów V_1 , drugiej V_2 , to staramy się aby było:

$$V_0 > V_1 > V_2.$$

Igła wraz z poszczególnymi parami kwadrantów tworzy dwa kondensatory, których pojemności staramy się uczynić równymi, ustawiając igłę

pośrodku kwadrantów w ten sposób, aby oś jej leżała w jednej z płaszczyzn, rozcinających puszkę kwadrantową. Kwadranty muszą być przytem zupełnie identyczne. Jeżeli C jest pojemnością każdego tak utworzonego kondensatora, to ładunki poszczególnych kondensatorów będą:

$$Q_1 = C(V_0 - V_1)$$

$$Q_2 = C(V_0 - V_2)$$

Skutkiem tych ładunków powstaną dwa momenty kręjące, z których każdy, według prawa Coulomba, jest proporcjonalny do kwadratu odpowiedniej różnicy potencjałów.

Wyrażą się więc następująco:

$$M_1 = f_1 (V_0 - V_1)^2$$

$$M_2 = f_2 (V_0 - V_2)^2$$

Ponieważ momenty te są skierowane przeciwnie, zatem moment wypadkowy będzie:

$$M = f_1 (V_0 - V_1)^2 - f_2 (V_0 - V_2)^2 = Dd$$

przyczem nastąpi odchylenie igły w stronę kwadrantów o potencjale niższym, gdyż tam będzie największa różnica potencjałów, a więc najsil-

niejsze działanie sił elektrycznych. Temu odchyleniu przeciwdziała moment zwracający, pochodzący od sprężystości nitki. Według Maxwella, odchylenie igły elektrometru wyraża się następującym wzorem:

$$c\alpha = (V_1 - V_2) \left[V_0 - \frac{1}{2}(V_1 + V_2) \right]$$

gdzie w stałej c jest zawarta pojemność i siła zwracająca. Według tego wzoru, znając dwa potencjały, możemy określić trzeci, odpowiadający danemu odchyleniu.

Czułość i dokładność elektrometru kwadrantowego jest mniejsza niż galwanometrów /dochodzi np. do 230 mm. odchylenia przy odstępie 2000 mm. od skali dla 1V /, wskutek czego ^{ELEKTROMETR} nadaje się do mierzenia raczej większych potencjałów. Czułość ta jest wprost proporcjonalna do długości igły i odwrotnie proporcjonalna do odstepu kwadrantów.

Zaletą elektrometru kwadrantowego jest jego niezależność od rodzaju prądu, kształtu krzywej i częstotliwości, niezużywanie energii, oraz nieczułość na wpływy magnetyczne. Wadą zaś jego jest czułość na wpływy elektryczne.

Przed przystąpieniem do pomiaru należy elek-

trometr odpowiednio ustawić. Ustawienie to polega na spełnieniu następujących warunków:

a/ igła ma znajdować się w środku puszeki kwadrantowej,

b/ płaszczyzna igły ma być prostopadła do osi zawieszenia,

c/ położenie igły ma być symetryczne względem obu par kwadrantów.

W konsekwencji tego należy mieć na względzie: Powierzchnia igły posiada nierówności, których wpływ jest tem mniejszy, im większa jest odległość igły od kwadrantów. Wobec tego najlepiej jest umieścić ją w środku pomiędzy kwadrantami. Ponieważ kwadranty są ustawione poziomo, a oś zawieszenia - pionowo, to igła musi być jednakowo odległa od wszystkich kwadrantów. Kwadranty winny być zupełnie identyczne.

W celu sprawdzenia czy elektrometr został prawidłowo ustawiony, sprowadza się igłę i kwadranty do potencjału zerowego /rozładowuje się/ a następnie igłę ładuje się do wysokiego potencjału; jeżeli elektrometr jest prawidłowo ustawiony, igła pozostanie w spoczynku. Można również kwadranty połączyć ze sobą i naładować do

pownego potencjału ($V_1 = V_2$) a igłę do tego samego lub innego; wtedy także nie powinno być odchylenia igły. Odpowiednie ustawienie elektrometru osiąga się przez skrećanie nitki zawieszenia, względnie przesuwanie igły w dół lub w górę.

W wypadku użycia elektrometru jako przyrządu zerowego, kwestja dokładnego jego ustawienia nie odgrywa większej roli.

Elektrometry kwadrantowe znajdują zastosowanie przy pomiarach laboratoryjnych, w technice zaś zamiast nich są używane wolto-
mierze elektrostatyczne.

Istnieją trzy najważniejsze sposoby połączeń igły i kwadrantów, a mianowicie:

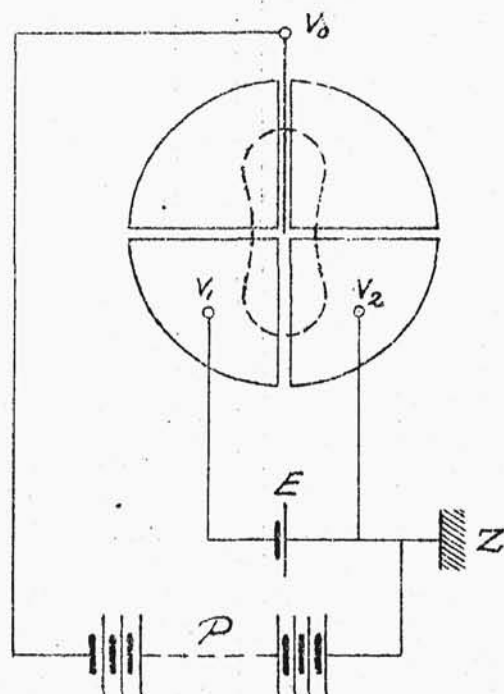
α) połączenie kwadrantowe,

β) " igłowe.

γ) " kwadrantowo-igłowe /idiostaty-
czne/, zależnie od sposobu przyłączenia do elektrometru napięcia mierzonego.

\mathcal{L}) Połączenie kwadrantowe uwidocznia rys.

59. Napięcie mierzone \mathcal{E} jest załączone pomiędzy obie pary kwadrantów, zaś igła jest naładowana za pomocą baterji pomocniczej /suchy



Rys. 59.

stos Zamboniego/ do wysokiego potencjału

$P(P \gg E)$. W danym wypadku jest:

$$V_1 = E$$

$$V_2 = 0$$

$$V_0 = P$$

Wprowadzając te wartości potencjałów we wzór Maxwella dla odchylenia igły, otrzymamy:

$$CL = E \left(P - \frac{E}{2} \right)$$

A zatem odchylenie igły elektrometru nie jest całkiem proporcjonalne do napięcia mierzonego. Jeżeli jednak potencjał P igły jest tak duży, że wyraz $\frac{E}{2}$ może być wobec niego pominięty, to wówczas jest:

$$C\alpha = EP$$

lub:

$$E = C\alpha$$

Ten sposób połączenia nadaje się najlepiej do pomiarów mocyprądu zmiennego; wówczas P jest napięciem prądu zmiennego, zaś E - różnicą potencjałów na boczniku amperomierza wzgl. watomierza.

β / Połączenie igłowe uwidocznia rys. 60. Napięcie mierzone E jest załączone pomiędzy igłę i środek pomocniczej baterji. Kwadranty mają potencjały równe i znaków odwrotnych t. j.

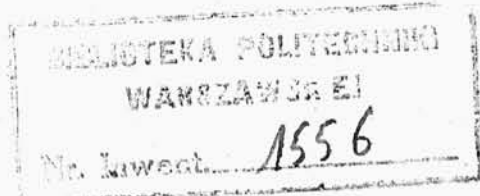
$$V_1 = -V_2$$

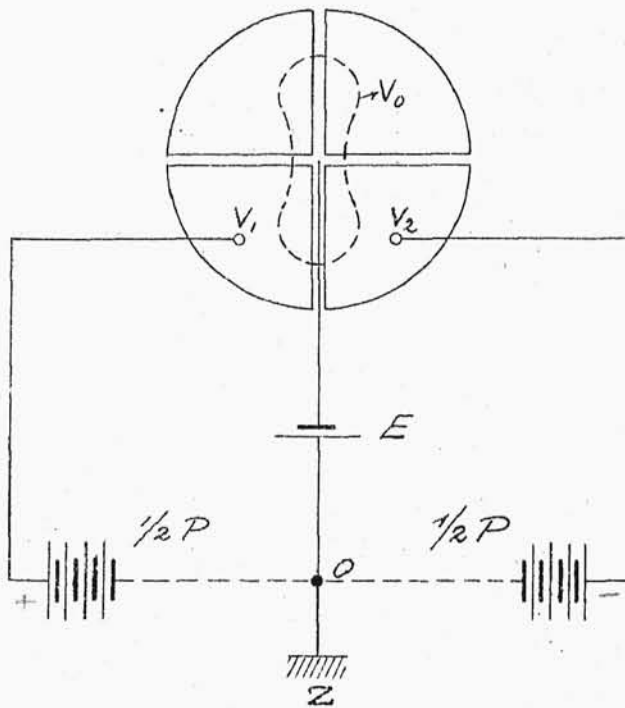
W danym wypadku jest:

$$V_1 = \frac{1}{2} P$$

$$V_2 = -\frac{1}{2} P$$

$$V_0 = E$$





Rys. 60.

Ze wzoru Maxwella otrzymujemy:

$$C\mathcal{L} = EP$$

lub

$$E = C'\mathcal{L}$$

Ten sposób połączenia stosujemy wówczas, kiedy mamy pewny punkt zerowy /równość potencjałów V_1 i V_2 /; w przeciwnym razie bywa stosowany sposób połączenia kwadrantowego pojedynczego.

γ) Połączenie kwadrantowo-igłowe, zwane idiostatycznym, uwidocznia rys. 61. Napięcie mierzone E jest założone do kwadrantów

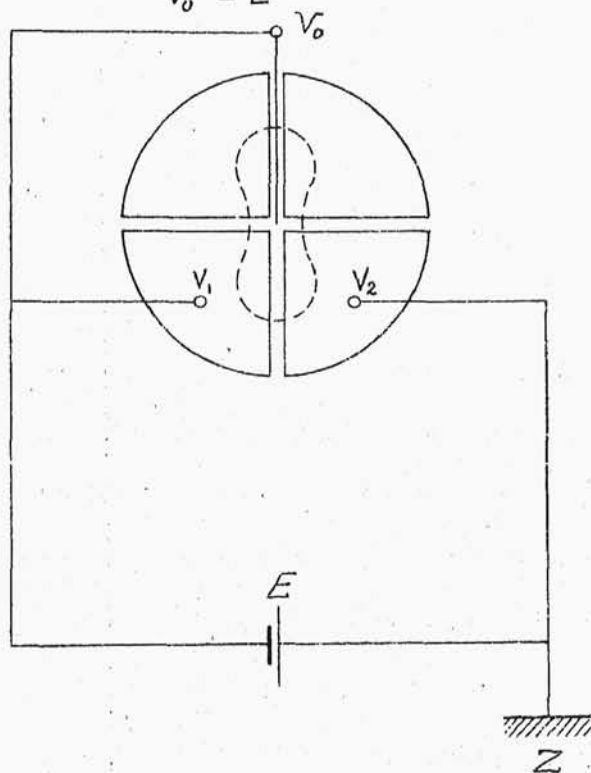
i do igły rys.61.

W danym przypadku mamy:

$$V_1 = E$$

$$V_2 = 0$$

$$V_0 = E$$



Rys. 61.

Ze wzoru Maxwella otrzymujemy:

$$C\mathcal{L} = \frac{1}{2} E^2$$

lub:

$$E = c' \sqrt{\mathcal{L}}$$

Ten sposób połączenia bywa stosowany przy pomiarach prądu i napięcia zmiennego /ampero-

mierze i woltomierze/.

Stałą elektrometru wyznacza się z odchy-
leń spowodowanych znanymi potencjałami np.
ogniwem normalnem.

4/ Woltomierze techniczne.

Z pomiędzy rozmaitych typów woltomierzy,
stosowanych w praktyce, zasługuje na uwagę
t.zw. woltomierz wielokomórkowy, przystosowany
do mierzenia napięć od kilkudziesięciu do stu-
kilkudziesięciu woltów. Jest on utworzony z
dwóch rzędów płytek nieruchomych, ustawionych
poziomo i stanowiących jedną okładzinę konden-
satora, oraz szeregu płytek ruchomych, przymo-
cowanych do pręta, zawieszonego na cienkiej
wstążeczce metalowej. Pod wpływem sił przycią-
gania elektrostatycznego, płytki ruchome są
wciągane pomiędzy płytki nieruchome; przeciw-
działa temu siła sprężystości powyższej wstą-
żeczki.

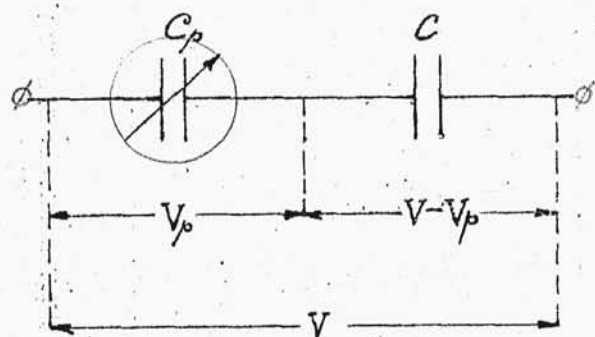
Drugim ważniejszym typem jest woltomierz
elektrostatyczny wysokiego napięcia, przysto-
sowany do mierzenia napięć od kilkuset do kil-
kudziesięciu tysięcy woltów. Składa on się

z /czterech/ nieruchomych płytek mosiężnych i listka glinowego między niemi, obracającego się około osi poziomej. Wskutek obecności różnicy potencjałów listek ten jest wciągany pomiędzy płytki nieruchome.

Zwiększenie zakresu wskazań tak elektrometrów jak i woltomierzy technicznych, uskutecznia się za pomocą kondensatorów; przyczem bywają stosowane następujące dwa sposoby:

- a/ za pomocą kondensatora szeregowego,
- b/ za pomocą dzielnika kondensatorowego.

a/ Sposób kondensatora szeregowego przedstawia rys.62. Do przyrządu o pojemności C_p przy-



Rys. 62.

łącza się szeregowo kondensator o pojemności C . Jeżeli maksymalne napięcie, wskazane przez przyrząd, jest równe V_p , to pojemność C , od-

powiadającą mierzonemu napięciu V , wyznaczymy ze wzoru:

$$\frac{V_p}{V - V_p} = \frac{C}{C_p}$$

skąd:

$$C = \frac{V_p}{V - V_p} C_p$$

przyczem przyrząd otrzymuje dwie skale, odpowiadające napięciom V_p i V .

Jeżeli np. $C_p = 10$ cm., $V_p = 1000$ V
i $V = 10000$ V, to wówczas:

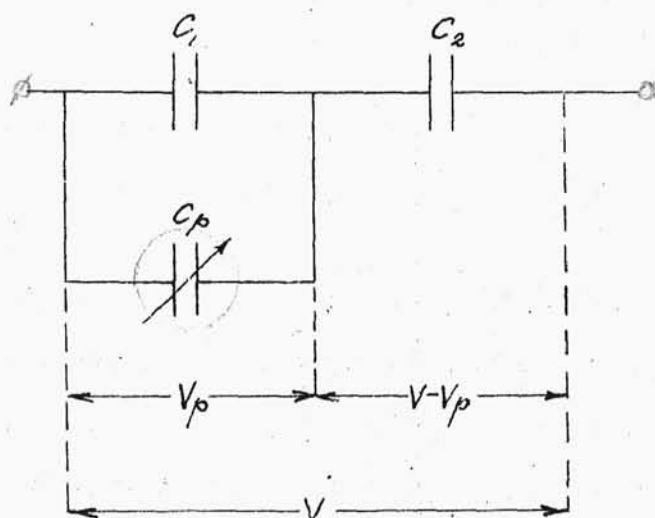
$$C = \frac{1000}{10000 - 1000} \cdot 10 = 1.1 \text{ cm.}$$

Z tego przykładu wynika, że przy wyższych napięciach pojemność kondensatora dodatkowego wypada bardzo mała. Tak małe pojemności, wykonane jako kondensatory powietrzne, są bardzo czułe na wpływy postronne; np. zbliżenie przedmiotu metalowego wpływa znacznie na wskazania przyrządu. Prócz tego dają się odczuwać w znacznym stopniu błędy izolacji kondensatorów.

Lepszem jest stosowanie dzielnika kondensatorowego.

b/ Dzielnik kondensatorowy przedstawia rys.

63. Przyrząd C_p jest przyłączony równolegle



Rys. 63

do jednego z kondensatorów. Napięcie V_p na przyrządzie określa równanie:

$$\frac{V_p}{V - V_p} = \frac{C_2}{C_1 + C_p}$$

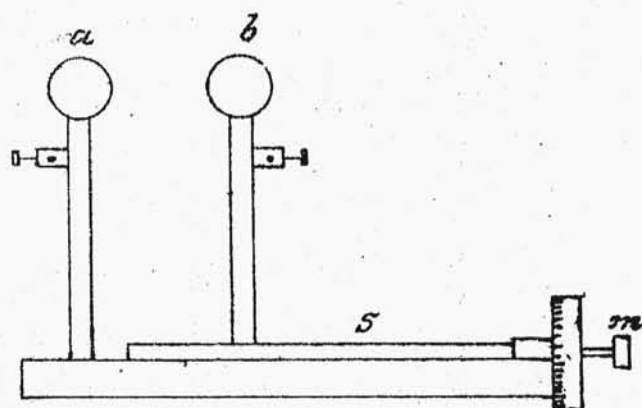
skąd łatwo obliczyć C_1 i C_2 tak dobrane, aby ich pojemność nie wypadła za mała.

Ten sposób pozwala stosować kondensatory o większej pojemności przy wysokich napięciach. Jeżeli pojemność przyrządu jest mała, zaś opór jego izolacji - duży, to przy jednakowych pojemnościach, tworzących dzielnik kondensatoro-

wy, równomierna zmiana ich wartości nie wpływa na wskazania przyrządu. Również zmiana oporu izolacji tychże pojemności wywiera mniejszy wpływ niż przy kondensatorach szeregowych.

5/ Iskierniki pomiarowe.

Do przybliżonego pomiaru bardzo wysokich napięć można również zastosować wyładowanie pomiędzy dwiema naładowanymi elektrodami. Jeden z takich przyrządów, służących do tego celu, przedstawia rys. 64. Składa on się z nieru-



rys. 64.

chomej kuli a i z ruchomej b, poruszanej za pomocą sani S. Odstęp pomiędzy kulami odczytuje się na śrubie mikrometrycznej m.

Iskierniki pomiarowe należą do Techniki wysokich napięć, gdzie są obszernie traktowane.

R O Z D Z I A Ł I X .

PRZYRZĄDY WIBRACYJNE.

1/ Zasada działania.

Przyrządy dotychczas rozpatrywane podawały bezpośrednio mierzoną wielkość; pozatem istnieje szereg przyrządów, w których układ ruchomy pod wpływem prądu nie przyjmuje określonego położenia, lecz wykonywa drgania około punktu zerowego w takt prądu zmiennego. Przyrządy te znajdują zastosowanie jako przyrządy zerowe przy pomiarach prądami zmiennymi. Najważniejszymi są:

a/ telefon pomiarowy,

b/ galwanometr vibracyjny.