

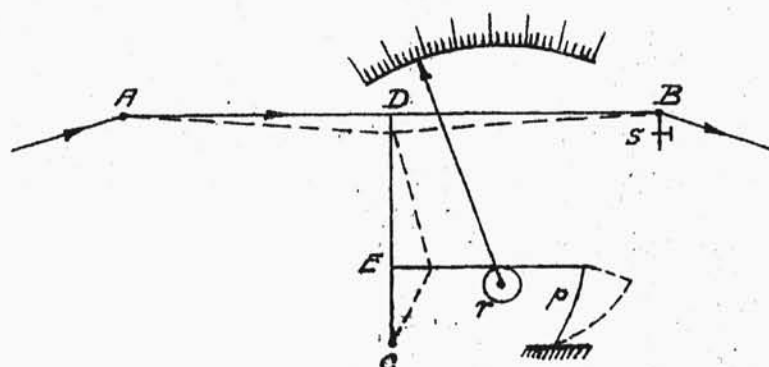
R O Z D Z I A Ł VII.PRZYRZĄDY ELEKTROKALORYCZNE.1/ Zasada działania.

Czynnikami działającymi w tych przyrządach mogą być:

a/ rozszerzalność metalu pod wpływem prądu /przyrządy cieplne/,

b/ zmiana oporu pod wpływem ciepła /bolo-metry/,

c/ zjawiska termoelektryczne /przyrządy termoelektryczne/.

2/ Zasada przyrządów cieplnych.

Rys. 48.

Zasadę tych przyrządów uwidocznił rys. 48.

Drucik cieplny, rozpięty pomiędzy punktami A i B , jest zamocowany na stałe w punkcie A , w punkcie B jest połączony ze śrubką S , umożliwiającą przesuwanie tego punktu w celu nastawienia wskazówki przyrządu na zero skali. Z punktu D , stanowiącego w przybliżeniu środek drutu cieplnego, odgałęzia się t.zw. drucik mostkowy DC , którego koniec C jest przymocowany na stałe do płyty montażowej. Z punktu E drucika mostkowego odgałęzia się nić kokonowa, owinięta koło krążka r i przymocowana drugim końcem do stalowej sprężyny ρ . Gdy prąd przepływa przez drut AB , ten ogrzewa się i wydłuża. Pod wpływem sprężyny ρ układ drucików po wydłużeniu drutu AB będzie taki, jak wskazują na rys.48 linje przerywane. Krążek r przekręci się przytem, a wraz z nim przesunie się wskazówka, przymocowana do niego.

Wydłużenie drucika cieplnego wynosi 0,2 - 0,3 mm., przeniesienie na drucik mostkowy jest 8 ÷ 9 krotnie, na krążek - 20 ÷ 30-krotnie, a na wskazówkę - 500 ÷ 1500 krotnie.

Tłumienie w przyrządach cieplnych odbywa

się za pomocą płytki aluminiowej, osadzonej na osi krążka r i poruszającej się w szczelinie pomiędzy biegunami magnesu trwałego.

Zależność odchylenia wskazówki przyrządu cieplnego od natężenia prądu można wyznaczyć w przybliżeniu w następujący sposób: Niechaj opór drutu cieplnego przy temperaturze t_0 będzie R_0 , jego długość - l_0 ; wówczas dla jakiejś temperatury t otrzymamy:

$$R_t = R_0 [1 + \alpha(t - t_0)]$$

$$l_t = l_0 [1 + \beta(t - t_0)]$$

skąd

$$t - t_0 = \frac{l_t - l_0}{\beta l_0} = \frac{\Delta l}{\beta l_0}$$

Jeżeli przez J oznaczmy natężenie prądu, płynącego w drucie cieplnym, to ilość ciepła, wytworzona w nim w jednostce czasu jest

$R_t J^2$, a ilość ciepła od niego odprowadzona wynosi $Q(t - t_0)$. Ponieważ przy równowadze cieplnej te dwie ilości są sobie równe, a zatem:

$$R_t J^2 = Q(t - t_0)$$

lub

$$R_0 J^2 \left[1 + \frac{\alpha \cdot \Delta l}{\beta l_0} \right] = \frac{Q \cdot \Delta l}{\beta l_0}$$

skąd

$$J^2 = \frac{Q \Delta l}{R_0 (\beta l_0 + \alpha \Delta l)}$$

Wyraz $\alpha \cdot \Delta l$, jako iloczyn dwóch małych wielkości, jest znikomo mały i wobec βl_0 może być pominięty, zatem:

$$J^2 = \frac{Q \cdot \Delta l}{R_0 \beta l_0} = f_1(\Delta l)$$

Lecz z drugiej strony kąt obrotu jest:

$$\alpha = f_2(\Delta l)$$

Stąd wynika, że:

$$J^2 = K \alpha$$

lub

$$J = c \sqrt{\alpha}$$

skala posiada zatem charakter kwadratowy; jednak wskutek działania przekładni już powyżej 1/5 skali ma miejsce prawie zupełna proporcjonalność.

Drucik cieplny nie może być zbyt mocno naprężany, gdyż wytrzymałość jego na rozciąganie jest niewielka. Wobec tego układ ruchomy musi być lekki; waży on kilka dziesiątych

grama. Materiał drucika cieplnego winien posiadać duży współczynnik rozszerzalności, wysoki punkt topliwości oraz dużą wytrzymałość mechaniczną. Niestety taki materiał, któryby posiadał w wysokim stopniu wspomniane własności, nie istnieje. Najbardziej używanym materiałem jest stop platyny i srebra, zawierający 10 - 30 % platyny, przyczem skład, odpowiadający 30 % platyny, posiada większą wytrzymałość, lecz zato wykazuje większy opór elektryczny. Stosuje się także druty cieplne, wykonane ze stopu platyny i irydium. Dane, odnoszące się do wspomnianych stopów, są następujące:

Stop	Skład	Współcz. wydłużenia	przy mA	Ogrze- wa się do:
Platyna - srebro	10-30 % Pt	0,000015	100-250	100°-150°
Platyna - - irydium	10-30 % Pt	0,000015	150-200	80°-100°

Najmniejsza grubość drucika cieplnego wynosi 0,03 ÷ 0,05 mm., przyczem rośnie ona wraz z natężeniem prądu. Ze wzrostem grubości zwiększa się również pojemność cieplna drutu, wsku-

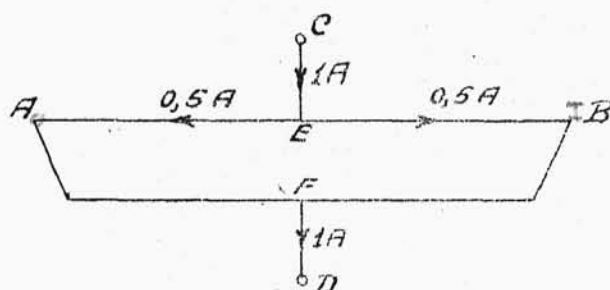
tek czego potrzebny jest dłuższy czas do ustalenia się równowagi cieplnej, podczas gdy równowaga ta powinna następować możliwie szybko. Ta okoliczność powoduje, że drutów cieplnych o średnicy powyżej 0,35 mm. nie stosuje się. Już przy grubości 0,2 mm., której odpowiada natężenie prądu $0,5 \div 1$ A, równowaga cieplna następuje bardzo powoli i ruch wskazówki jest mocno przetłumiony.

Przy prądzie 0,5 A stosuje się pojedynczy drut cieplny, przy większych zaś prądach drut ten dzieli się na kilka gałęzi równoległych tak, aby prąd w poszczególnych gałęziach nie przekraczał 0,5 A. W ten sposób otrzymuje się przyrząd o małym spadku napięcia, który lepiej nadaje się do stosowania *BOCZNIKOW* niż przyrząd z pojedynczym drutem. Rys.49 uwidocznia układ połączeń drutu cieplnego w przyrządzie, zbudowanym dla prądu 1A.

Drut *CIERNY AB* jest zasilany prądem nie na końcach, lecz w środku za pomocą wstęgi *CE*.

Prąd o natężeniu 1A dzieli się na połowę, płynie ku punktom *A* i *B*, a następnie

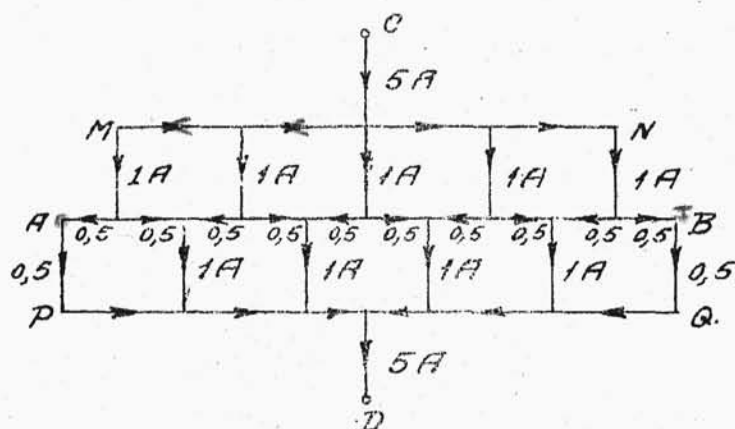
odpływa przez punkt F . Spadek napięcia jest



Rys. 49.

przez to 4 razy mniejszy niż przy drucie pojedynczym.

Przyrządy dla prądów większych od $1A$ otrzymują dwie małe szyny zbiorcze MN i PQ , jak to uwidocznia rys. 50.



Rys. 50

Prąd o natężeniu $5A$ dopływa do szyny MN i rozkłada się w sposób wskazany na rysunku tak, że w drucie cieplnym AB natężenie jego wynosi

0,5 A , a następnie przez szynę PQ odpływa z powrotem.

Przy prądach większych od 5 A bywają stosowane boczniki. Przyrządy do pomiarów bez boczników są budowane nie wyżej niż do 10 A , gdyż wówczas liczba gałęzi równoległych drutu cieplnego wypada dość duża.

Druciki mostkowe, które nie przewodzą żadnego prądu, mają grubość 0,02 - 0,05 mm.

Zaletą przyrządów cieplnych jest ich nieczułość na wpływy obcych pól magnetycznych, oraz używalność do prądu stałego i zmiennego. Wadami ich są: powolność reagowania na zmiany prądu, duże stosunkowo zużycie energii, spadek napięcia na amperomierzach /ok. 0,25 V /, zużycie prądu w woltomierzach /ok. 0,25 A /, oraz mała precyzyjność. Wskutek tych wad przyrządy te nie mogą być stosowane, jako ścisłe , lecz jako dokładne przyrządy techniczne.

3/ Wpływ temperatury.

Kompensacja.

Wydłużenie drutu cieplnego powstaje nie tylko pod wpływem prądu, lecz również pod wpływem pod

niesienia się temperatury otoczenia. Jeżeli drucik cieplny jest obliczony np. na 100°C . zwyżki temperatury przy maksymalnym prądzie, to zmiana temperatury otoczenia o 20°C . wywołuje ruch wskazówki, wynoszący około $1/5$ długości skali. W celu usunięcia tej wady, zaopatruje się przyrządy cieplne w urządzenia, kompensujące wpływ zmian temperatury zewnętrznej. Istnieją różne rodzaje tych urządzeń, z których najczęściej spotykane są: płyty i druty kompensacyjne.

Na rys. 51 jest przedstawione urządzenie płyty kompensacyjnej. Końce *A* i *B* drutu ciepl-

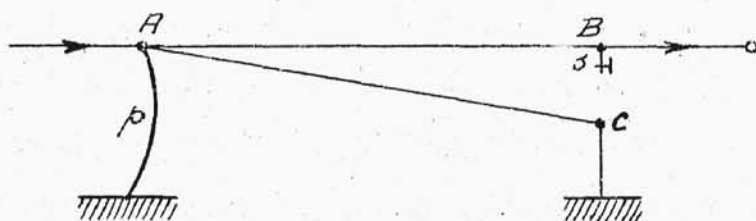


Rys. 51.

nego są przymocowane do płyty *P*, posiadającej taką samą rozszerzalność jak drut cieplny. Przy podwyższeniu się temperatury otoczenia rozszerzy się naprzód drut cieplny, gdyż jego pojemność

cieplna jest bardzo mała, a po upływie pewnego czasu również i płyta, wskutek czego wskazówka przyrządu powróci na swoje pierwotne miejsce. Czas kompensacji jest tem większy, im większa jest masa płyty. W celu przyspieszenia tej kompensacji starano się zastąpić płytę kompensacyjną płytą z materiału nierozszerzalnego /marmur, łupek, inwar/. Wówczas rozszerza się tylko drucik cieplny, zaś wskazówka nastawia się odrębnie na zero skali. Ten sposób kompensacji jest gorszy od poprzedniego, lecz zato praktyczniejszy.

Rys. 52 przedstawia schemat drutu kompensacyjnego.



Rys. 52.

Drut cieplny AB jest przymocowany w punkcie A do sprężyny ρ , a w punkcie B do śrubki nastawczej σ . Sprężyna ρ jest napięta za pomocą drutu kompensacyjnego AC , przez który prąd nie przepływa. Przy podwyższe

niu się temperatury otoczenia wydłuża się tak drut cieplny jak również drut kompensacyjny, wskutek czego napięcie sprężyny ↓ zmniejsza się, która skutkiem tego napina z powrotem drut cieplny. Zauważyć należy, że pojemności cieplne obydwóch drutów muszą być jednakowe, aby jednakowo podążały za zmianami temperatury zewnętrznej.

Przeciążalność. - Aby zmniejszyć do możliwych granic wpływ wahań temperatury zewnętrznej, należy dobierać drut cieplny dla możliwie wysokiej temperatury, odpowiadającej maksymalnemu prądowi. Z drugiej strony ta temperatura rośnie wraz z kwadratem prądu, zbliżając drut cieplny do granicy topliwości. Stąd wynika, że ten przyrząd będzie najlepszym, który, oprócz dobrej kompensacji, będzie posiadał dużą przeciążalność. Druty cieplne platyno-irydowe, posiadające bardzo wysoki punkt topliwości /2300°, pracują zwykle przy temperaturze 300° ponad normalną i znoszą 2 ½-krotne przeciążenie. Drut platynowo-srebrowy jest łatwiej topliwy, pracuje przy temperaturze 80° ponad normalną i znosi 3-krotne przeciążenie. W celu zabezpieczenia przyrządu od przepalenia

daje się bezpieczniki topikowe, które jednakże nie zawsze zabezpieczają drut cieplny.

W starszych przyrządach cieplnych wpływ czasu trwania obciążenia był dość znaczny. Pocho-
dził on z powodu niezupełnej kompensacji oraz
znacznego zużycia własnego, które powodowało
ogrzewanie się wnętrza przyrządu. Wpływ ten
był widoczny szczególnie po wyłączeniu prądu,
gdyż wówczas wskazówka nie powracała odrazu do
zera skali. Dobre nowoczesne przyrządy, przy
stałym załączeniu prądu, wykazują błąd najwy-
żej 1 % .

4/ Zastosowanie.

Przyrządy cieplne budowane są jako ampero-
mierze i woltomierze. Jak już zaznaczono, w
amperomierzach, służących do pomiarów prądów
większych od $5A$, są stosowane boczniki;
przy czym najczęściej bywają wówczas stosowane
przyrządy do $5A$, wykazujące mały spadek
napięcia $0,20 - 0,25 V$. Spadek napięcia w
bocznikach tych przyrządów wynosi $200 - 250mV$.
Do $100 A$ boczniki znajdują się w samym ampero

mierzu, przy większych prądach są używane oddzielnie. Podczas przepływu prądu opór bocznika nie zmienia się, podczas gdy opór drutu cieplnego pod wpływem zmian temperatury ulega zmianie; wskutek tego zmienia się stosunek prądów w przyrządzie i boczniku. Zatem amperomierz cieplny musi być wycechowany dla każdego bocznika oddzielnie. Przy prądzie zmiennym powiększenie zakresu skali można uskuteczyć również za pomocą transformatorów mierniczych.

Zużycie prądu w woltomierzach wynosi $0,25 A$. Rozszerzenie zakresu skali woltomierzy odbywa się za pomocą oporników dodatkowych. Do $400 V$ /przy większych typach do $200 V$ / oporniki te znajdują się w samym woltomierzu, powyżej zaś są używane oddzielnie. Podczas przepływu prądu wartość oporu dodatkowego nie ulega zmianie, gdyż opornik jest wykonany z materiału o małym współczynniku termicznym oporu, podczas gdy opór drutu cieplnego zmienia się; wskutek tego zmienia się stosunek napięć na przyrządzie i oporze dodatkowym. Woltomierz cieplny musi być zatem wycechowany dla każdego oporu dodatkowego oddzielnie. Przy prądzie zmiennym opory

te mogą być zastąpione transformatorami mierniczymi. Zaznaczyć trzeba, że budowane są również ciepłe watomierze.

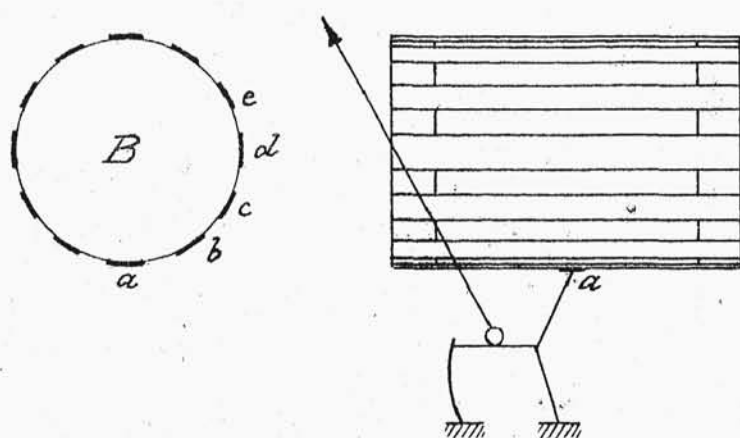
5/ Przyrządy do pomiarów przy wielkiej częstotliwości.

Przyrządy ciepłe z drutem pojedynczym posiadają tę zaletę, że wskazania ich są

niezależne od częstotliwości w granicach jej wartości normalnej. Skoro jednak przyrząd posiada bocznik lub jego drut ciepły jest rozdzielony na kilka gałęzi równoległych, jak to ma miejsce w amperomierzach dla prądu większego od $0,5\text{ A}$, wówczas przy częstotliwościach większych od 1000 na sek., wskutek różnicy indukcyjności poszczególnych dróg prądu, wskazania przyrządu zmieniają się wraz z częstotliwością.

W celu usunięcia tego wpływu przyrządy dla większych natężeń prądów i wyższych częstotliwości buduje się symetrycznie. Amperomierze tego typu są budowane do 300 A i polegają na takiej samej zasadzie, jak zwykłe amperomierze ciepłe. Rys. 53 uwidoczni budowę ampe-

romierza dla dużych częstotliwości.



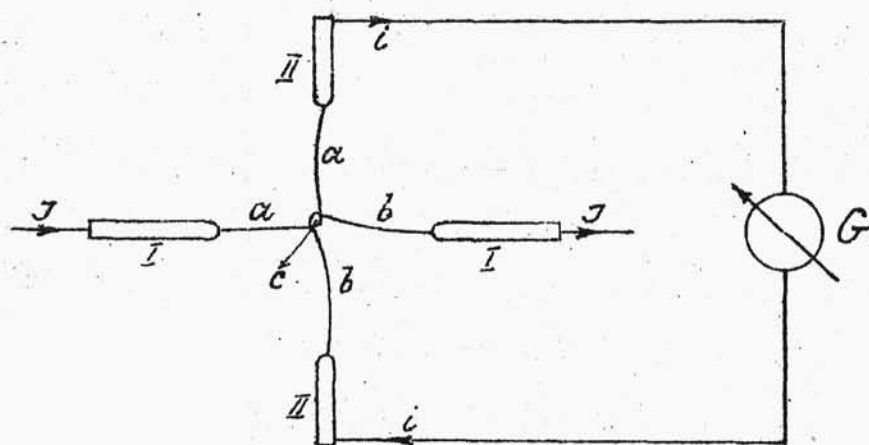
Rys. 53.

Na powyższym rysunku a, b, c, d, \dots są jednakowymi wstążkami cieplnymi, przymocowanymi do dwóch metalowych pierścieni, z których jedna /wstążka a / jest użyta do utworzenia zwykłego systemu pomiarowego. Prąd rozkłada się równomiernie na wszystkie wstążki, a wskutek symetrycznej budowy wszystkie indukcyjności wzajemnie się znoszą. Wskazania tych amperomierzy są prawie zupełnie niezależne od częstotliwości. Wskazania woltomierzy cieplnych są niezależne od częstotliwości, gdyż posiadają one pojedynczy drut cieplny, a ich opór dodatkowy jest bezindukcyjny.

6/ Bolometry i przyrządy termoelektryczne.

Działanie bolometru polega na zjawisku zmiany oporu przewodnika, przez który przepływa prąd. Zmiana ta może być pomierzona mostkiem Wheatstone'a, lub inną metodą i służy jako miara zmiany prądu. Przyrządy bolometryczne są czułe i znajdują zastosowanie przy pomiarach bardzo słabych prądów oraz energii naświetlenia.

W przyrządach termoelektrycznych miarą wielkości mierzonej jest siła termoelektromotoryczna, powstająca na spojeniu dwóch różnych metali, skutkiem przepływającego przez nie prądu. Przyrząd taki uwidocznia rys. 54.



Rys. 54.

Drut aa jest żelazny lub miedziany, drut bb - konstantanowy. W punkcie c oba te druty są zlutowane. Jeżeli przez gałąź I/I przepuścimy mierzony prąd J , to w gałęzi II/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