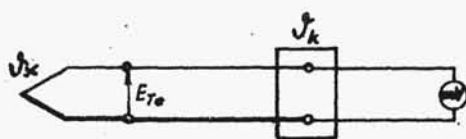


grzewania rtęci prądami wirowymi należy stosować termometry alkoholowe.

### 1.2.2. Układy pomiarowe

1. Układy pomiarowe z termometrami termoelektrycznymi (termoparami). Jak już wyjaśniono w rozdziale poprzednim, przy próbach aparatów najczęściej stosowane są termopary Fe - konstantan, jako dające stosunkowo dużą wartość  $E_{Te}$  i zapewniające wystarczającą dokładność pomiaru. Zwykle używa się termopar wykonanych i wyskalowanych we własnym zakresie. Należy jedynie pamiętać o tym, aby spoina pomiarowa w przypadku pomiaru temperatury elementów przez które przepływa prąd, była od nich



Rys.64. Metoda bezpośrednia pomiaru temperatury za pośrednictwem termopary:  $J_x$  - temperatura spoiny pomiarowej,  $J_k$  - temperatury wolnych końców termopary, mV - miliwoltomierz

odizolowana, przy czym wystarcza tu cienka warstwa lakieru izolacyjnego. Należy również zwrócić uwagę na to, aby materiał izolacyjny miał możliwie dużą przewodność cieplną, co pozwala na ograniczenie bezwładności cieplnej termopar.

Odczyt wartości temperatury może być dokonywany bądź bezpośrednio ze wskazań miliwoltomierza

mierzącego wartość  $U_{Te}$  (rys.64), bądź za pośrednictwem kompensatora prądu stałego (rys.65). Jest rzeczą oczywistą, że pomiar miliwoltomierzem jakkolwiek prostszy i dający bezpośrednio wynik jest mniej dokładny niż metoda kompensacyjna. W przypadku pomiaru bezpośredniego wskazania miliwoltomierza proporcjonalne są do wartości prądu

$$J = \frac{E_{Te}}{R_w + R_{dop} + R_t}, \quad (33)$$

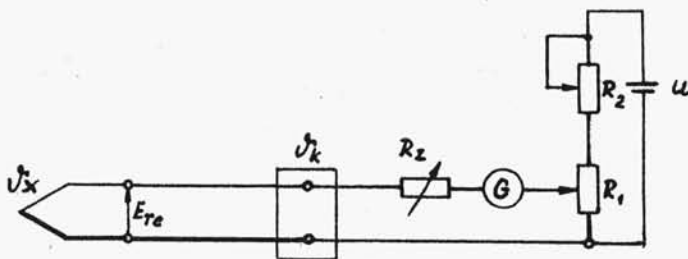
gdzie

- $E_{Te}$  - siła termoelektryczna,
- $R_w$  - oporność wewnętrzna miliwoltomierza,
- $R_{dop}$  - oporność doprowadzeń,
- $R_t$  - oporność termopary,

a napięcia występujące na miliwoltomierzu

$$U_{Te} = J R_w .$$

Tak więc, ponieważ przyrząd pobiera pewną moc zależną od jego oporności wewnętrznej  $R_w$ , mierzy on wartość  $U_{Te}$  mniejszą od  $E_{Te}$ . Wpływ ten daje się jednakże wyeliminować podczas skalowania układu.



Rys.65. Metoda kompensacyjna pomiaru temperatury za pośrednictwem termopary:  $U$  - źródło napięcia stałego w obwodzie kompensatora;  $R_1$ ,  $R_2$  - oporniki w obwodzie kompensatora;  $G$  - galwanometr stosowany jako przyrząd zerowy;  $R_z$  - opornik zabezpieczający galwanometr; pozostałe oznaczenia jak na rys.64

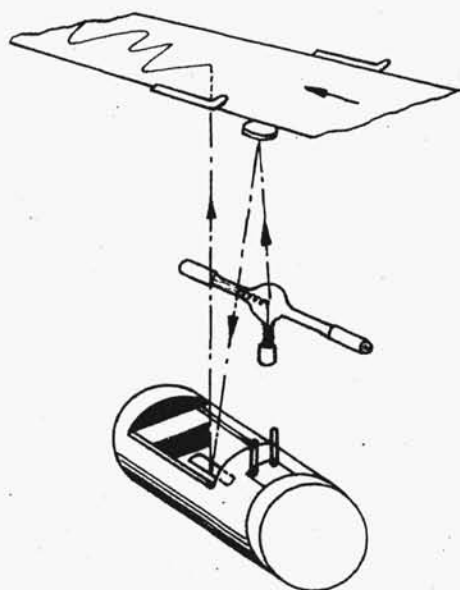
Zmiana temperatury spójny pomiarowej powoduje zmianę  $R_t$ , co nie wywiera jednakże praktycznie żadnego wpływu na wskazania miliwoltomierza, gdyż  $R_t$  stanowi znikomą część całkowitej oporności obwodu. Źródłem błędu pomiaru może być natomiast zmiana temperatury otoczenia, która wpływa na wartość oporności  $R_w$ . Dlatego też w przypadku, gdy liczymy się z pomiarem w zmiennej temperaturze otoczenia, uzwojenie przyrządu powinno być wykonane z materiału o małym temperaturowym współczynniku oporności, bądź też zmianę tę należy uwzględnić przy skalowaniu.

Zastosowany do pomiaru miliwoltomierz powinien ponadto mieć odpowiednią czułość ( $E_{Te}$  - powstająca w termoogniwie przy temperaturze ok.  $150^{\circ}\text{C}$  wynosi ok. 7 mV) oraz dokładność wskazań (klasa  $\leq 0,5$ ). Oba powyższe wymagania są stosunkowo łatwe do spełnienia dla typowych przyrządów prądu stałego.

Metoda pomiaru przy użyciu kompensatora jest stosowana przy pomiarach bardziej dokładnych; eliminuje ona bowiem wpływ oporności obwodu na dokładność pomiaru. W przypadku pomiaru temperatury w stanach nieustalonych np. podczas próby nagrzewania aparatów prądem ciągłym, przy stosowaniu kompensatora

należy pamiętać o skróceniu do minimum czasu potrzebnego do skompensowania przyrządu.

Podczas niektórych prób cieplnych aparatów jak np. próby zwarciowej wytrzymałości cieplnej, zachodzi konieczność rejestracji krótkotrwałych przebiegów zmiennej w czasie temperatury. Dokładność pomiaru zależy przede wszystkim od bezwzględności cieplnej przetwornika tzn. w tym przypadku spoiny pomiarowej termopary. Przy zastosowaniu pewnych środków zmniejszających bezwzględność cieplną normalnie używanych termopar, nadają się one również do rejestracji przebiegów o prędkościach zmian temperatury, jakie występują w próbach zwarciowych aparatów (z wyjątkiem zestyków). Występuje tu jednak poważna trudność pomiarowa, związana z rejestracją przebiegu temperatury. Oscylografy pętlicowe nie posiadają w zwykłym wyposażeniu pętlic o czułości, która pozwalałaby na otrzymanie przy napięciu kilku mV, uzyskiwanych z termopar, obrazu o odpowiedniej wielkości. Możliwość taką zapewniają jedynie wielo-



Rys.66. Zasada działania przyrządu do rejestracji temperatury

zwojowe pętlice stosowane do oscylografów produkowanych przez niektóre firmy. Zastosowanie wzmacniacza prądu stałego dla zakresu napięcia 5-10 mV jest praktycznie bardzo trudne do realizacji, dla zwykłych wykonawców wzmacniaczy podane wartości napięcia leżą poniżej dopuszczalnego poziomu zakłóceń. Dlatego też do rejestracji temperatur stosuje się specjalne przyrządy o dostatecznie czułych elementach pomiarowych, pozwalające na zapisanie przebiegów na papierze światłoczułym.

Schemat budowy jednego z takich urządzeń (produkcji fir-

my Hartmann-Braun) przedstawiono na rys.66. Przyrząd ten pozwala na zapis bardzo niskich napięć bez potrzeby ich wzmac-

niania, zapewniając odpowiednio duże wymiary obrazu. Układ optyczny jest tu analogiczny jak w oscylografie pętlicowym; wiązka strumienia świetlnego wytworzonego przez lampę rtęciową odbija się od lusterka umocowanego na układzie ruchomym przyrządu pomiarowego, a następnie pada na przesuwający się z określoną prędkością papier światłoczuły. Przyrząd taki służy do jednoczesnej rejestracji kilku lub kilkunastu przebiegów.

Mierząc temperaturę za pośrednictwem termopar należy pamiętać, że powstała  $E_{Te}$  jest proporcjonalna do różnicy temperatur między spoiną pomiarową a wolnymi końcami. W przypadku zmiany temperatury wolnych końców należy zastosować środki eliminujące powstający w tym przypadku uchyb pomiaru. Można to osiągnąć przez zastosowanie automatycznej poprawki, lub praktyczniej przez stabilizację temperatury wolnych końców. Najprostszym urządzeniem do stabilizacji może być termostat, w którym utrzymywana jest stała temperatura równa temperaturze skalowania. Można również zanurzyć wolne końce w naczyniu z lodem przy stałej temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$ .

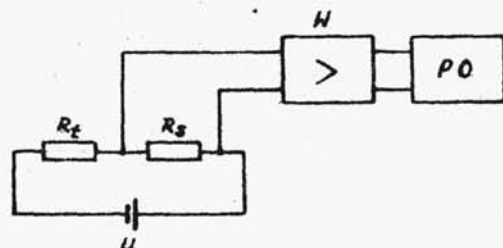
W pomiarach, które zazwyczaj mają miejsce podczas prób aparatów, najczęściej mierzy się temperaturę powierzchni elementów. Należy przy tym zwracać uwagę, aby uchyb spowodowany odprowadzaniem ciepła przez termoelement był możliwie najmniejszy. W tym celu należy go układać na możliwie długim odcinku wzdłuż powierzchni izotermicznej. Duży wpływ na dokładność pomiaru ma również sposób zamocowania spoiny pomiarowej do powierzchni, której temperaturę mierzymy. Spoina powinna być przylutowana bezpośrednio do badanej powierzchni, bądź do płytki ułożonej następnie na badanej powierzchni, przy czym płytka powinna być wykonana z materiału o dużej przewodności cieplnej.

## 2. Układy pomiarowe z termistorami

Do pomiaru temperatur przy użyciu termistorów stosowane są 3 metody:

- a) metoda odchyłowa, bezpośrednia,
- b) metoda mostka zrównoważonego (metoda zerowa),
- c) metoda mostka niezrównoważonego.

Najbardziej dokładną metodą pomiarową jest metoda mostka zrównoważonego. Przy pomiarach i rejestracji temperatur zmiennych stosowane są jednakże obie pozostałe metody, przy czym dokładność metody odchyłowej jest dla techniki pomiarowej stosowanej podczas prób aparatów w pełni wystarczająca.



Rys.67. Ideowy schemat układu do rejestracji temperatury z użyciem termistorów: U - źródło napięcia pomocniczego,  $R_t$  - oporność termistora,  $R_s$  - opornik pomocniczy, W - wzmacniacz prądu stałego, PO - oscylograf pętlicowy

Do pomiaru temperatur zmiennych stosowane są przetworniki miniaturowe o zmniejszonej bezwładności cieplnej. Ideowy schemat układu do pomiaru i rejestracji temperatur zmiennych opracowany w Katedrze Aparatów Elektrycznych Politechniki Warszawskiej przedstawiono na rysunku 67. Napięcie z opornika pomocniczego  $R_s$  podawane jest na wzmacniacz prądu stałego, a następnie z wyjścia prądowego wzmacniacza na pętlę oscylografu. Wartość oporności wypadkowej  $R_w$  obwodu wyraża się wzorem

$$R_w = R_s + R_t = R_s + A e^{\frac{B}{T}}, \quad (34)$$

gdzie A - oporność termistora gdy  $T \rightarrow \infty$ ,  
B - stała zależna od materiału termistora,  
T - temperatura termistora w skali bezwzględnej (Kelvina).

Spadek napięcia na oporności  $R_s$  wyniesie

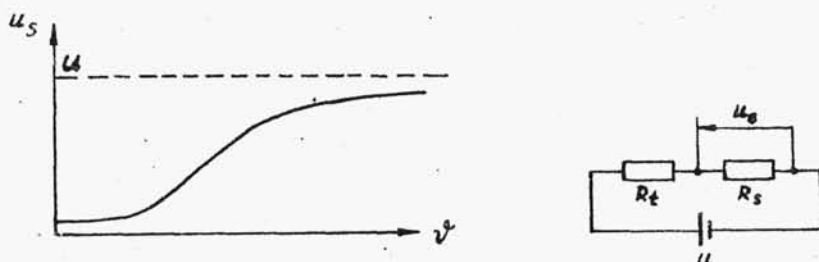
$$U_s = I R_s = \frac{U R_s}{R_s + A e^{\frac{B}{T}}}, \quad (35)$$

gdzie U - wartość napięcia zasilającego obwód pomiarowy.

Przebieg  $U_s$  w funkcji temperatury przedstawiono wykreślnie na rys.68. Charakterystyka  $U_s = f(t)$  (a tym samym i prądu wyj-

ściowego wzmacniacza) jest nieliniowa, co wynika z charakteru zależności  $R_t = f(\vartheta)$ . Z przebiegu  $U_s = f(\vartheta)$  wynika, że istnieje zakres temperatury, w którym zależność ta zbliżona jest do liniowej (obszar w pobliżu punktu przegięcia krzywej).

W przypadku, kiedy z punktu widzenia pomiaru interesujący jest pewien stosunkowo wąski zakres temperatury, istnieje moż-



Rys.68.  $U_s = f(\vartheta)$ . Zależność w układzie do pomiaru temperatur z użyciem termistorów:  $R_t$  - oporność termistora,  $R_s$  - oporność dodatkowa

liwość zapewnienia liniowości przebiegu  $U_s = f(\vartheta)$  w tym właśnie zakresie przez odpowiedni dobór elementów układu.

Przy doborze elementów układu (napiecie zasilające, oporność  $R_s$ ) należy zwracać uwagę na to, aby nie przekroczyć dopuszczalnej dla termistora mocy obciążenia. Należy również pamiętać, że termistor mierzy temperaturę własną, to znaczy przy obciążeniu go pewną mocą, temperaturę nieco wyższą niż temperatura mierzona. W przypadku pomiarów prowadzonych w jednym ośrodku, kiedy pojemność cieplna obiektu badanego jest znacznie większa od pojemności termistora, co zwykle ma miejsce, termistor może być przeciążony (nie przekraczając jednakże obciążalności dopuszczalnej), a powstałe różnice temperatury uwzględnia się przy skalowaniu.

Porównując obie opisane powyżej metody pomiaru można stwierdzić, że są one równoważne w zastosowaniu do pomiaru temperatury ustalonej lub w stanach nieustalonych przy stosunkowo powolnych zmianach temperatury. Do pomiaru temperatur szybkozmiennych lepiej nadają się układy z termistorami ponieważ

- a) termistory miniaturowe mają mniejszą od termopar bezwładność cieplną,

- b) układy pomiarowe z termistorami są w warunkach krajowych łatwiejsze do realizacji.

### 1.2.3. Skalowanie

Oba opisane powyżej układy pomiarowe wymagają przeprowadzenia przed pomiarami specjalnego skalowania pozwalającego na wyznaczenie skali temperatury, zarówno przy pomiarach statycznych jak i przy rejestracji za pomocą oscylografu.

Skalowanie termopar jest z uwagi na zbliżoną do liniowej zależność  $E_{Te} = f(\vartheta)$  znacznie prostsze. Polega ono na umieszczeniu termopary w termostacie i wyznaczeniu dla kilku znanych wartości temperatury odpowiednich wartości  $E_{Te}$  przy pomiarach kompensatorem, bądź na bezpośrednim wyskalowaniu miliwoltomierza w skali temperatur przy pomiarach bezpośrednich. Należy przy tym pamiętać, że termopara mierzy nie bezwzględną wartość temperatury, a jej różnicę pomiędzy spoiną pomiarową a wolnymi końcami. W przypadku kiedy podczas pomiaru temperatura wolnych końców jest inna niż przy skalowaniu, ale różnica nie przekracza kilkunastu  $^{\circ}\text{C}$ , możliwe jest korzystanie z poprzedniego skalowania.

Dla układu z termistorem metoda skalowania pozostaje taka sama (termostat), jedynie z uwagi na większą niż poprzednio nieliniowość zależności  $U_g = f(\vartheta)$ , gęstość punktów skalowania musi być odpowiednio większa. Przy pomiarach statycznych, w zależności od stosowanej metody pomiaru, określony element układu (miernik lub opornik gałęzi mostka zrównoważonego) można wyskalować bezpośrednio w skali temperatur. W przypadku rejestracji z wykorzystaniem oscylografu pętlicowego, należy wykonać odpowiednią liczbą oscylogramów skalowania z określoną pętlą pomiarową, umożliwiającą następnie ustalenie skali temperatury. Przy pomiarach prowadzonych w temperaturze otoczenia różnej od temperatury otoczenia przy skalowaniu, można korzystać ze skalowania po wprowadzeniu odpowiedniej poprawki.