

160 ... 80, a dla napięć wyższych - 80 ... 40. Wartość prądu wytrzymałości jednosekundowej dla łączników, odniesiona jest jednoznacznie do wartości prądu szczytowego, odpowiadającego wymaganej wytrzymałości dynamicznej i wynosi 0,6 tej wartości.

Nieco inaczej przedstawia się sprawa stosunku prądów zwarciovych do znamionowych w przypadku przekładników prądowych. W zwykłym wykonaniu przekładnika przyjmuje się zwarciovą wytrzymałość elektrodynamiczną (wartość maksymalna prądu) równą  $240 J_n$  (gdzie  $J_n$  - prąd znamionowy przekładnika wyrażony w wartościach skutecznych). Prąd wytrzymałości zwarcioviej 1 sek. określa się natomiast jako 80-krotną wartość prądu znamionowego. W wykonaniach specjalnych przekładników w przypadku konieczności powiększenia parametrów zwarciovych (szczególnie dla przekładników o małych przekładniach) stosunki powyższe mogą odpowiednio wzrosnąć.

Wszystkie opisane powyżej rodzaje prądów wymagają sprawdzenia doświadczalnego na modelach bądź prototypach konkretnych aparatów. Sprawa ta nabiera szczególnego znaczenia dla łączników, gdyż w tych przypadkach nie ma możliwości wykonania dokładnych obliczeń umożliwiających właściwy dobór styków. Podobnie przedstawia się sprawa zwarcioviej wytrzymałości przekładników prądowych, gdzie istnieje tak duża liczba czynników wpływających na tę wytrzymałość, że jedynie próba jest najwłaściwszą a jednocześnie najprostszą metodą jej wyznaczenia.

Wszystkie te względy powodują, że próby zarówno nagrzewania jak i wytrzymałości zwarcioviej stanowią jedną z ważniejszych grup badań aparatów elektrycznych.

## 1.2. Metody pomiaru temperatury stosowane w badaniach aparatów elektrycznych

### 1.2.1. Przetworniki

Podczas badań aparatów elektrycznych zarówno niskiego jak i wysokiego napięcia występuje konieczność pomiaru i rejestracji przebiegu temperatury w funkcji czasu. Zakres mierzonych temperatur, związany z wartościami temperatur dopuszczalnych nie jest zbyt duży (do ok.  $400^{\circ}\text{C}$  w warunkach zwarciovych - patrz tablica 6) i nie stwarza żadnych trudności technicznych.

Warunkiem znacznie trudniejszym do spełnienia jest wymaganie dotyczące pomiaru temperatur stosunkowo szybkozmiennych. Pociąga to za sobą konieczność stosowania przetwornika o możliwie małej bezwładności cieplnej. W tym przypadku dokładność pomiaru zależna jest w dużej mierze od cieplnej stałej czasowej przetwornika.

Do pomiaru temperatury w zakresie, który występuje przy próbach aparatów elektrycznych stosuje się najczęściej:

- 1) termometry elektryczne,
- 2) termometry termoelektryczne,
- 3) termometry alkoholowe lub rtęciowe.

1. W pierwszej grupie mierników można odróżnić dwa rodzaje przetworników:

- a) termistory tj. oporniki półprzewodnikowe,
- b) termometry oporowe.

a. Do grupy a będą należały termistory tj. materiały półprzewodnikowe (głównie tlenki metali), charakteryzujące się ujemnym współczynnikiem temperaturowym, zmiany oporności rzędu  $(0,03 - 0,04) \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$ , a więc około 10 razy większym niż dla metali. Wartość tego współczynnika zależna jest od temperatury wg wzoru

$$\alpha = -\frac{B}{T^2}, \quad (32)$$

gdzie B - stała zależna od zastosowanego materiału,

T - temperatura termistora w skali bezwzględnej.

Termistory stosowane do pomiaru temperatur produkowane są w zakresie oporności 1 - 300 k  $\Omega$  i w wykonaniu zwykłym nadają się do pomiaru w zakresie do ok. 300°C, a przy zastosowaniu wykonan specjalnych nawet do 1200°C. Podstawową zaletą termistorów w stosunku do innych przetworników jest stosunkowo duża czułość, jak również w przypadku stosowania termistorów miniaturowych bardzo mała bezwładność cieplna, umożliwiającą rejestrację przebiegów temperatury w elementach aparatów przy próbach zwarciowej obciążalności cieplnej.

b. Termometry oporowe pracujące w zakresie do 500°C wykonywane są zwykle z metali czystych, posiadających dodatni

współczynnik temperaturowy oporności o wartości  $(0,3-0,6)10^{-2} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$ . Jako materiały stosowane na termometry stosuje się najczęściej platynę, miedź lub nikiel. Termometry oporowe produkowane są w różnych wykonaniach dla różnych zakresów pomiarowych. Mają one jednak tak dużą bezwładność cieplną, że praktycznie nie nadają się do pomiaru temperatur w stanach nieustalonych. W zwykłych wykonaniach termometrów bezwładność jest rzędu 5-10 min., przy stosowaniu specjalnych środków daje się ją zmniejszyć do 2-3 min. Obie te wartości nie są jednak możliwe do przyjęcia nawet przy pomiarach temperatur w zakresie prób nagrzewania aparatów, gdzie występuje konieczność pomiaru temperatury przy jej narastaniu w stanach nieustalonych. Dlatego też termometry oporowe nie znalazły zastosowania przy próbach aparatów elektrycznych.

2. Termometr termoelektryczny (termopara) składa się z dwóch różnych metali w kształcie drutów połączonych z jednej strony na stałe (zespawanych lub zlutowanych), a po stronie tzw. wolnych końców przyłączonych do przyrządu pomiarowego.

Przy zmianach temperatury miejsca zespawanego (czyli tzw. spoiny pomiarowej) w stosunku do temperatury wolnych końców, w obwodzie powstaje siła termoelektryczna  $E_{Te}$  proporcjonalna do różnicy temperatur pomiędzy spoiną a wolnymi końcami termopary. Pojawienie się  $E_{Te}$  w obwodzie tłumaczy się różnicą pracy wyjścia elektronów dla obu metali, z których składa się termooogniwo. Różne zestawy metali w ogniwie dają przy tej samej różnicy temperatur rozmaite wartości siły termoelektrycznej. Wartości  $E_{Te}$  dla różnych metali względem platyny przy  $\Delta T = 100^{\circ}\text{C}$  zestawiono w tablicy 7.

Tablica 7

Wartości  $E_{Te}$  ogniw termoelektrycznych względem platyny przy temperaturze spoiny pomiarowej  $100^{\circ}\text{C}$ , a wolnych końców  $0^{\circ}\text{C}$ .

Material	$E_{Te}$
	mV
Aluminium	+ 0,4 <sup>ca</sup>
Chromel	+ 3,13
Konstantan	- 3,4
Nikiel	- 1,54
Platynorod	+ 0,64
Srebro	+ 0,72
Żelazo	+ 1,8

Do budowy ogniwa należy dobierać metale, które dają możliwość uzyskania stosunkowo dużych wartości  $E_{Te}$ . Najczęściej spotykanymi zestawami stosowanymi w termoparach są:

Fe - konstantan,

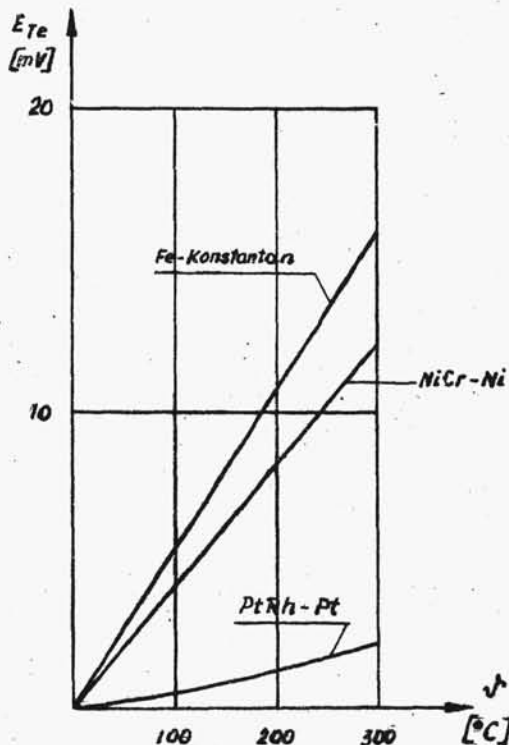
Chromel (90% Ni + 10% Cr) - nikiel,

Platyna - platynorod (90% Pt + 10% Rh).

Charakterystyki zależności  $E_{Te}$  od różnicy temperatury w zakresie do ok.  $100^{\circ}\text{C}$  są zbliżone do liniowych. Charakterystyki  $E_{Te} = f(t)$  dla najczęściej spotykanych termopar przedstawiono przykładowo na rys.63.

Materiałom stosowanym na ogniwa termoelektryczne stawia się również wymagania dotyczące trwałości własności, małej odporności na utlenianie oraz możliwie małej wartości temperaturowego współczynnika oporności.

Dla interesującego nas zakresu temperatur najczęściej używane są termopary Fe-konstantan. Dokładniejsze wyniki pozwalają uzyskać termopary wykonane z metali i stopów szlachetnych, dają one jednakże nieco mniejsze wartości  $E_{Te}$  i dlatego bardziej nadają się do pomiaru wyższych temperatur. Przy dokładności wymaganej przy pomiarach stosowanych w aparatach wystarczają w zupełności termopary Fe - konstantan.



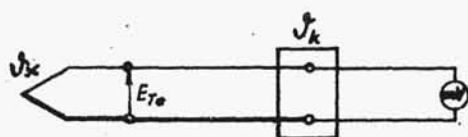
Rys.63. Zależność siły termoelektrycznej w funkcji temperatury  $E_{Te} = f(t)$  dla niektórych termopar

3. Termometry płynowe (rtęciowe bądź alkoholowe) stosowane są jedynie do pomiarów orientacyjnych, przy czym w miejscach o silnym zmiennym polu magnetycznym z powodu dodatkowego na-

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:  $T_x$  - temperatura spoiny pomiarowej,  $T_k$  - 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

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

gdzie

$E_{Te}$  - siła termoelektryczna,

$R_w$  - oporność wewnętrzna miliwoltomierza,

$R_{dop}$  - oporność doprowadzeń,

$R_t$  - oporność termopary,