

Wykaz literatury

1. Bujłow A.: Aparaty Elektryczne. PWT, W-wa 1951.
2. Łapiński M.: Czujniki pomiarowe. Budowa i zastosowanie. PWT, W-wa 1957.
3. Turiczin A.M.: Pomiarы elektryczne wielkości nieelektrycznych, PWT, W-wa 1957.
4. Elektrische und Wärmetechnische Messungen. Wyd. firmowe Hartmann-Braun AG, Frankfurt/M 1959.

Ćwiczenie 1.1. Badanie nagrzewania aparatów elektrycznych przy długotrwałym przepływie prądu

1. O b j a ś n i e n i a w s t ę p n e d o ć w i c z e n i a

Próby nagrzewania prądem ciągłym polegają na sprawdzeniu, czy w warunkach przepływu znamionowego prądu ciągłego przyrosty temperatur poszczególnych elementów badanego aparatu nie przekroczą wartości dopuszczalnych określonych przez normy (tablica 6).

Przy próbach nagrzewania operujemy pojęciem przyrostów temperatury ponad temperaturę otoczenia, a nie jej bezwzględnymi wartościami. Konieczność ta wynika z faktu, że próby mogą być wykonywane przy różnych wartościach temperatury otoczenia, podczas gdy znamionowy prąd ciągły, jako cecha znamionowa aparatu określona jest w warunkach znormalizowanej temperatury otoczenia, która dla naszego klimatu wynosi $t_0 = 40^{\circ}\text{C}$. Dlatego też jedynie przyrosty temperatury pomierzone podczas prób i porównane z wartościami przyrostów dopuszczalnych, pozwalają na właściwą ocenę prądu ciągłego aparatu.

Elementami aparatu, na które należy zwracać największą uwagę przy próbach nagrzewania są zestyki. Podczas eksploatacji aparatu styki łącznika ulegają utlenianiu, przy czym tlenki stosowanych na styki materiałów poza srebrem mają bardzo złe własności przewodzące. Powoduje to wzrost oporności przejścia, a tym samym wzrost temperatury powierzchni styeczności. Wzrost temperatury powoduje z kolei zwiększenie utleniania styków, a więc dalszy wzrost oporności itd. Powstaje tu więc

pewnego rodzaju proces łańcuchowy, który grozi znacznym podwyższeniem temperatury styków. Proces taki może wystąpić w przypadku, jeżeli temperatura styków przekroczy pewną graniczną wartość powyżej której utlenianie powierzchni styczości gwałtownie wzrasta. Temperatura graniczna dla zestyków niesrebrzonych wynosi 75° , a dopuszczalny przyrost temperatury odpowiednio 35°C ($\bar{t} = 40^{\circ}\text{C}$).

Dla styków z nakładkami srebrnymi, w których zjawisko utleniania nie prowadzi do wzrostu oporności zestykowej, dopuszczalne przyrosty temperatur są odpowiednio większe.

Próby nagrzewania są bardzo pracochłonne w związku z czym wchodzą jedynie w zakres prób typu. Niemniej jednak istnieje konieczność sprawdzenia zdolności przewodzenia toru prądowego, a szczególnie zestyków dla każdego wyprodukowanego aparatu. Dla zestyków kontrolę taką umożliwia pomiar oporności zestykowej, przy czym wartości pomierzone porównuje się z wartościami dopuszczalnymi, ustalonymi w oparciu o wyniki uzyskane na aparatach, które przeszły próbę nagrzewania z wynikiem dodatnim. Oporność zestykową wyznacza się zwykle metodą techniczną tzn. mierząc spadek napięcia na zestyku przy przepływie prądu o określonej wartości. Pomiar oporności należy wykonywać przy użyciu prądu stałego, gdyż przy stosowaniu prądu zmiennego, szczególnie w przypadku kiedy mierzymy oporność całego bieguna, dodają się znaczne indukcyjne spadki napięcia, które zniekształcają pomiar (zamiast R mierzymy Z).

Stosowane powszechnie metody pomiaru oporności zestyków przewidują pomiar przy stosunkowo dużych ($\geq 100\text{ A}$) wartościach prądu stałego. Uzyskanie tak znacznych wartości prądów stałych w warunkach eksploatacji nie zawsze ma miejsce. Dlatego też w Katedrze Aparatów Elektrycznych Politechniki Warszawskiej zbadano możliwości zastosowania do tego celu prądów wyprostowanych o wartościach $5\text{--}15\text{ A}$, które można uzyskać z prostych i tanich zasilaczy (L 3).

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że niewielkie prądy wyprostowane mogą być stosowane do pomiaru oporności zestyków na średnie i wielkie prądy przy spełnieniu pewnych dodatkowych warunków (L 3).

Należy tu jednocześnie podkreślić, że kryterium oporności zestykowej dotyczy jedynie warunków normalnej pracy aparatu i nie należy go rozciągać na warunki zwarciove.

Próby nagrzewania wykonywane są często w jednofazowych układach probierczych przy zastosowaniu specjalnie do tego celu przeznaczonych transformatorów grzejnych (patrz punkt 1.3).

Sprawa ta nie nasuwa istotnych zastrzeżeń z wyjątkiem łączników trójbiegunowych na bardzo duże prądy znamionowe, jak również w łącznikach trójbiegunowych, w których w próbie jednofazowej powstają inne niż w próbie trójfazowej wartości strumienia magnetycznego w stalowych częściach łącznika. W pierwszym przypadku w wyniku oddziaływania magnetycznego między biegunami łącznika, powstają różnice w rozkładzie gęstości prądu, przy czym próba trójfazowa jest ostrzejsza niż jednofazowa. Odwrotna sytuacja występuje w łącznikach posiadających zbiorniki z pokrywami, gdzie nagrzewanie pokrywy przy próbie jednofazowej jest większe niż przy trójfazowej. Dla obu tych przypadków próbę nagrzewania należy wykonywać w układzie trójfazowym.

Podczas próby nagrzewania mierzy się przyrosty temperatury wszystkich tych elementów aparatu, w których przewiduje się występowanie największych temperatur (będą to najczęściej zestyki). Do pomiaru temperatury stosuje się najczęściej termopary lub termistory.

Próbę nagrzewania należy wykonywać aż do ustalenia się temperatury poszczególnych elementów, przy czym wg określenia normy temperaturę uważa się za ustaloną - jeżeli nie przyrasta ona więcej niż np. 1°C w ciągu godziny. Praktycznie ustalenie się temperatury występuje po czasie odpowiadającym ok. 5 stałym czasowym nagrzewania badanego aparatu. Wartości stałych czasowych wahają się w dość szerokich granicach w zależności od rodzaju aparatu, w każdym razie całkowity czas próby nagrzewania może być w niektórych przypadkach bardzo długi. Przy bardzo długich czasach trwania próby do ustalenia się temperatury, istnieje możliwość skrócenia czasu próby. Można to osiągnąć w dwojaki sposób:

a) przez przepuszczanie w pierwszym okresie prądu większego od prądu probierczego, a następnie kiedy temperatury zacz-

ną zbliżyć się do wartości dopuszczalnych, zmniejszenie prądu do wartości wymaganej,

b) wyznaczenie temperatury ustalonej na podstawie próby częściowej. W tym przypadku z pomiarów wyznacza się przebieg części krzywej nagrzewania, a następnie wykreślnie wyznacza się temperaturę ustaloną. Metodę tę zaleca m.in. norma radziecka.

Równanie krzywej nagrzewania ma postać następującą

$$\Delta \vartheta = \Delta \vartheta_{ust} (1 - e^{-t/T}), \quad (36)$$

gdzie $\Delta \vartheta_{ust}$ - ustalony przyrost temperatury,

T - stała czasowa nagrzewania.

Po zróżniczkowaniu wyrażenia (36) względem czasu otrzymujemy

$$\frac{d(\Delta \vartheta)}{dt} = \frac{\Delta \vartheta_{ust}}{T} e^{-t/T},$$

a ponieważ

$$e^{-t/T} = 1 - \frac{\Delta \vartheta}{\Delta \vartheta_{ust}},$$

$$\frac{d(\Delta \vartheta)}{dt} = \frac{\Delta \vartheta_{ust} - \Delta \vartheta}{T},$$

stąd

$$\Delta \vartheta = \Delta \vartheta_{ust} - T \frac{d(\Delta \vartheta)}{dt}. \quad (37)$$

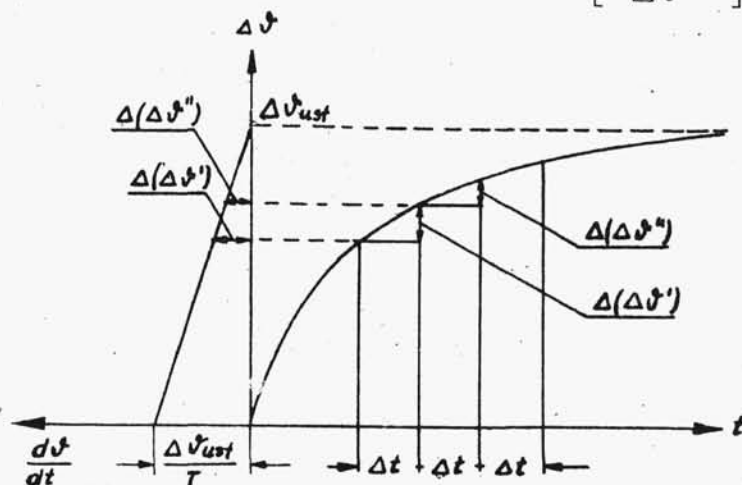
Otrzymaliśmy więc przyrost temperatury jako funkcję liniową $\frac{d(\Delta \vartheta)}{dt}$. Prosta ta na osi odciętych ($\Delta \vartheta = 0$) wyznacza odcinek $\frac{\Delta \vartheta_{ust}}{T}$, na osi rzędnych zaś ($\frac{d(\Delta \vartheta)}{dt} = 0$) odcinek $\Delta \vartheta_{ust}$, który jest właśnie szukanym przyrostem temperatury ^{x)}.

Mając wyznaczoną doświadczalnie część krzywej nagrzewania (rys.69) przeprowadzamy w jednakowych odstępach czasu Δt kilka rzędnych i określamy przyrosty temperatury $\Delta(\Delta \vartheta)$; $\Delta(\Delta \vartheta)''$ itd. Jeżeli odcinki czasu są dostatecznie małe możemy uważać że

^{x)} Rozważanie to odpowiada przypadkowi $T = \text{const.}$

$$\left[\frac{d(\Delta \dot{v})}{dt} \right]_1 = \frac{\Delta(\Delta \dot{v})}{\Delta t} ; \quad \left[\frac{d(\Delta \dot{v})}{dt} \right]_2 = \frac{\Delta(\Delta \dot{v})}{\Delta t} \text{ itd.}$$

Mianowniki prawych części powyższych równań są jednakowe. Do zbudowania zatem odcinka prostej $\Delta \dot{v} = f \left[\frac{\Delta(\Delta \dot{v})}{\Delta t} \right]$ wy-



Rys.69. Metoda wyznaczania ustalonego przyrostu temperatury na podstawie wyników próby częściowej

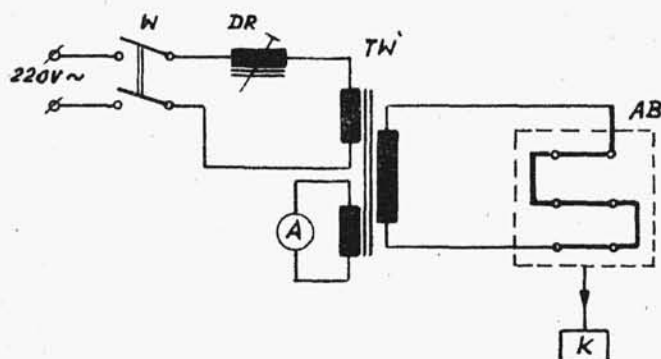
starczy na lewo od osi rzędnych odkładać bezpośrednio odcinki $\Delta(\Delta \dot{v})$, $\Delta(\Delta \dot{v})$ itd. (rys.68). Wyznamy w ten sposób prostą, której przecięcie z osią rzędnych wyznacza wartość ustalonego przyrostu temperatury $\Delta \dot{v}_{ust}$.

Wykaz literatury

1. Bader J. i in.: Próby wysokonapięciowych przyrządów rozdzielczych. PWT. W-wa 1954.
2. Kryński J.: Elektryczne Aparaty Rozdzielcze (Skrypt). PWN, W-wa 1963.
3. Maksymiuk J.: Możliwości pomiaru oporności zestykowej przy zastosowaniu małych prądów wyprostowanych. Przegląd Elektrotechniczny 1961, z.10.
4. PN/E-06100 "Łączniki w.n." Przepisy ogólne.

2. P o m i a r y

W ćwiczeniu prowadzić będziemy próbę nagrzewania odłącznika w.n. Próba będzie wykonana w układzie jednofazowym przy szeregowym połączeniu wszystkich biegunów odłącznika (rys.70).



Rys.70. Schemat układu do próby nagrzania odłącznika. Oznaczenia: DR - dławik nastawczy, TW - transformator wielkoprądowy, AB - odłącznik badany, K - kompensator prądu stałego do pomiaru temperatur, A - amperomierz prądu zmiennego, W - wyłącznik

Przy wyborze przewodów doprowadzających w obwodzie prądowym należy zwracać uwagę na to, aby ich przekrój był odpowiedni. Nie mogą one bowiem w czasie próby podgrzewać dodatkowo aparatu badanego, ani też przejmować od niego ciepła. Temperatura ich w najchłodniejszym miejscu powinna być

najwyżej o ok. 10°C niższa od temperatury zacisków aparatu badanego. Podczas próby będziemy mierzyć za pomocą termopar wartość przyrostów temperatur w pobliżu styków zestyków rozłącznych i nierozłącznych; termopary należy umieścić w specjalnie do tego celu przeznaczonych otworach. Temperaturę otoczenia mierzymy przy użyciu termometru płynowego. Przed rozpoczęciem próby należy wyskalować zastosowane do pomiarów termopary, przy czym z uwagi na liniowość charakterystyki $E_{Te} = f(I)$ w interesującym nas zakresie temperatur wystarczy wyznaczyć jeden punkt skali (np. punkt wrzenia wody). Pomiary temperatur należy prowadzić w określonych odstępach czasu - na początku próby częściej, w końcowej fazie rzadziej, aż do czasu ustalenia się temperatury. Na początku i na końcu próby nagrzewania należy dokonać pomiaru oporności zestykowej przez pomiar spadku napięcia za pomocą elektronicznego miliwoltomierza prądu zmiennego.

E. Tablica wyników pomiarów oporności zestykowej

Pomiary wykonano przy prądzie zmiennym 50 c/sek o wartości						
Pomiar w stanie	Oporność zestykowa					
	Biegun 1		Biegun 2		Biegun 3	
	zestyk rozł.	zestyk nierozł.	zestyk rozł.	zestyk nierozł.	zestyk rozł.	zestyk nierozł.
	$\mu\Omega$	$\mu\Omega$	$\mu\Omega$	$\mu\Omega$	$\mu\Omega$	$\mu\Omega$
Zimnym						
Nagrza- nym						

4. Opracowanie pomiarów i dyskusja wyników

A. Na podstawie otrzymanych wyników wykreślić zależności $\Delta\vartheta = f(t)$ dla wszystkich punktów pomiarowych temperatury. W oparciu o wartości dopuszczalnych temperatur podawanych przez normy ocenić wynik przeprowadzonej próby nagrzewania.

B. Wyznaczyć temperaturę ustaloną dla poszczególnych punktów pomiarowych na podstawie próby częściowej wykorzystując pomiary do chwili $t = 20$ min. Porównać otrzymane tą drogą wartości temperatur ustalonych z wartościami pomierzonymi.

C. Wyjaśnić przyczyny zaistniałych różnic w wartościach oporności zestykowej pomierzonych w stanie zimnym i nagrzanym.

D. Opisać metodę kontroli zestyków aparatów w czasie próby wyrobu.

Ćwiczenie 1.2. Badania wytrzymałości zwarciowej przekładników prądowych

1. Objasnienia wstępne do ćwiczenia

Badania wytrzymałości zwarciowej przekładników prądowych obejmują sprawdzenie wytrzymałości dynamicznej i cieplnej, przy czym próby rozpoczyna się zwykle od badania wytrzymałości dy-