

7. WYZNACZANIE MAKSYMALNYCH WARTOŚCI PRĄDÓW IZOLOWANYCH PRZEWODÓW ELEKTRYCZNYCH

7.1. Cel ćwiczenia:

- zapoznanie się ze sposobami określania parametrów elektryczno-ciepłnych przewodów elektrycznych,
- zapoznanie się z parametrami wpływającymi na intensywność oddawania ciepła przez izolowane przewody elektryczne,
- wyznaczenie relacji pomiędzy mocą strat ciepłych generowanych w wyprostowanym izolowanym przewodzie elektrycznym pracującym w ułożeniu poziomym w spokojnym powietrzu, a rozkładem temperatury w jego przekroju poprzecznym.

7.2. Wiadomości podstawowe

Każdy pracujący izolowany przewód (kabel) elektryczny – podobnie jak każda pracująca część dowolnego urządzenia elektrycznego – powinien być tak zbilansowany cieplnie, aby, w danych warunkach oddawania mocy cieplnej strat, generowanej w żyłce przewodu przez przepływający prąd przewodzenia, nie została przekroczona temperatura dopuszczalna jego najbardziej cieplnie zagrożonej części. Najbardziej zagrożoną termicznie częścią izolowanego przewodu jest jego zewnętrzna warstwa izolacyjna (a ściślej – powierzchnia warstwy izolacyjnej przylegająca do żyły przewodu), wykonana najczęściej z polichlorku winylu (PCV) o dopuszczalnej temperaturze pracy t_d równej 70°C .

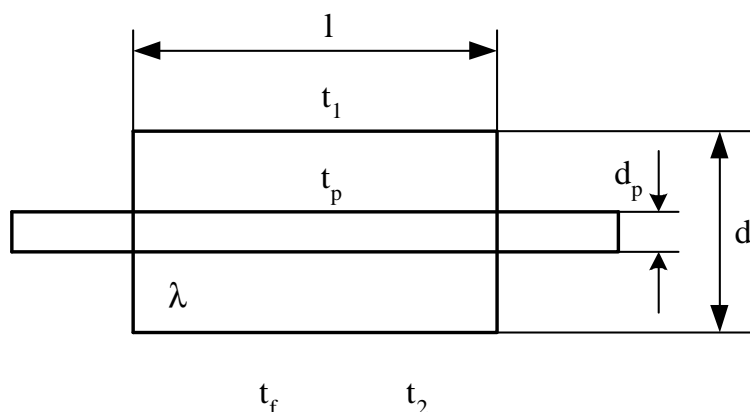
W żyłce miedzianej (lub aluminiowej) wyprostowanego przewodu elektrycznego o długości l (w m) i średnicy d_p równej kilka milimetrów moc elektryczna prądu przemiennego o częstotliwości 50Hz, zamieniana na moc cieplną, jest prawie równa mocy elektrycznej prądu stałego i opisywana wzorem (rys. 7.1):

$$P = U_1 I = I^2 R = U_1^2 / R \quad (1)$$

przy czym:

$$R = \frac{U_1}{I} = \frac{\rho l}{s_p} = \frac{4\rho l}{\pi d_p^2} \quad (2)$$

gdzie: P – moc, w W, I – wartość skuteczna prądu, w A, U_1 – wartość skuteczna spadku napięcia na długości l , w V, R – rezystancja żyły przewodu o długości l , w Ω , s_p – powierzchnia przekroju poprzecznego żyły przewodu, w mm^2 , ρ – rezystywność żyły przewodu, w $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.



Rys. 7.1. Przekrój izolowanego przewodu elektrycznego

Temperaturą zmianę rezystancji R (lub rezystywności ρ) żyły przewodu można opisać zależnością:

$$R_{t_p} = R_{20} [1 + \alpha_{t_p} (t_p - 20)] \quad (3)$$

gdzie: R_{20} – rezystancja żyły przewodu w 20°C , R_{t_p} – rezystancja żyły przewodu w temperaturze t_p , t_p – temperatura żyły przewodu, w $^{\circ}\text{C}$, α_{t_p} – cieplny współczynnik zmiany rezystancji (rezystywności) żyły przewodu, w $1/^{\circ}\text{C}$.



Moc cieplna P wydzielana w żyłce przewodu o temperaturze (powierzchni) równej t_p jest przenoszona na drodze przewodzenia ciepła przez elektryczną warstwę izolacyjną o przewodności cieplnej właściwej λ (w $W/(m \cdot K)$) i o średnicy d i temperaturze zewnętrznej równych odpowiednio d i t_1 , przy czym (zob. rys. 1):

$$P = \frac{2\pi l \lambda (t_p - t_1)}{\ln\left(\frac{d}{d_p}\right)} \quad (4)$$

Moc P , przenoszona na drodze przewodzenia przez warstwę izolacji, jest następnie oddawana do otoczenia przewodu. Jeżeli przestrzeń okalająca izolowany przewód jest ograniczona odległymi powierzchniami o temperaturze T_2 ($T_2=273+t_2$) i wypełniona jest spokojnym (nieruchomym) powietrzem o temperaturze t_f , to moc P , będąca sumą mocy P_k oddawanej z zewnętrznej powierzchni S_1 przewodu do powietrza na drodze konwekcyjnego przejmowania oraz mocy P_r wymienianej na drodze radiacji pomiędzy zewnętrzną powierzchnią S_1 przewodu a otaczającymi ją odległymi powierzchniami, można opisać wzorem (zob. rys. 1):

$$P = P_k + P_r = \alpha_k S_1 (t_1 - t_f) + \varepsilon_1 S_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (5)$$

gdzie: α_k – współczynnik przejmowania ciepła przez konwekcję, w $W/(m^2 \cdot K)$, $S_1 = \pi d l$ – powierzchnia zewnętrzna przewodu, w m^2 , σ – stała Stefana ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$), ε_1 – współczynnik emisyjności powierzchni S_1 ($\varepsilon_1=0,8$), T_1 i T_2 – temperatury, w K , t_1 i t_f – temperatury, albo w $^{\circ}C$ albo w K .

Wartości współczynnika α_k dla przewodu cylindrycznego o średnicy $0,004m < d < 0,006m$, ułożonego poziomo w spokojnym powietrzu można wyliczać z przybliżonego wzoru o postaci:

$$\alpha_k \approx 2 \left(\frac{t_1 - t_f}{d} \right)^{0,25} \quad (6)$$

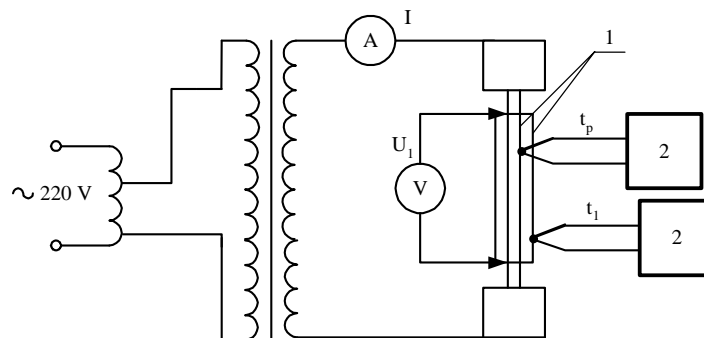
wywodzącego się z równania kryterialnego dla konwekcji swobodnej, tzn. $Nu=f(Gr \cdot Pr)$.

7.3. Program ćwiczenia

W ćwiczeniu należy mierzyć temperatury, napięcia i prądy wyprostowanego izolowanego przewodu elektrycznego miedzianego, nagrzewanego stopniowo do coraz wyższych temperatur. Temperaturę t_1 oraz t_p ($t_{pmax}=80^{\circ}C$) należy mierzyć z wykorzystaniem termoelementów NiCr-NiAl.

7.4. Przebieg ćwiczenia

- pomierzyć wartości średnicy d_p drutu oraz średnicy d przewodu oraz długość l przewodu na której mierzy się spadek napięcia U ,
- połączyć badany wyprostowany przewód elektryczny zgodnie z rysunkiem 7.2 i mierzyć każdorazowo, w stanie cieplnie ustalonym, wartości U , I oraz t_1 dla sześciu nastawionych różnych wartości temperatury t_p z zakresu $20^{\circ}C \ll t_p \ll 80^{\circ}C$,
- potwierdzić wartości zmierzonych temperatur t_p wyliczając je na podstawie zmian rezystancji (rezystywności) przewodu wraz z temperaturą (wzory (3) i (2), w których przyjąć (dla miedzi) wartości: $\rho_{20}=0,0175 \Omega \cdot mm^2/m$ oraz $\alpha_{tp}=0,0039 1/^{\circ}C$).



Rys. 7.2. . Układ pomiarowy: 1 – wyprostowany izolowany przewód elektryczny, 2 – miliwoltomierz o dużej rezystancji wewnętrznej

7.5. Zawartość sprawozdania

- dla wszystkich badanych wartości prądów I oraz odpowiadających im wartości mocy cieplnych P (zob. (1)) wykreślić i porównać wyznaczone eksperymentalnie (NiCr-NiAl) oraz obliczone teoretycznie (wzory: (5) i (6) – rozwiązanie graficzne) dwa przebiegi $P=f(t_1)$,
- dla wszystkich badanych wartości mocy cieplnej P wyliczyć ze wzoru (4) wartości t_p , przy czym przyjmować (dla poliwinilu) wartości $\lambda=0,2$ W/(m·K), a wartości t_1 odczytać z wykreślonego a obliczonego teoretycznie (zob. powyżej) wykresu $P=f(t_1)$,
- wykreślić i porównać wyliczone teoretycznie oraz pomierzone bezpośrednio (NiCr-NiAl) i pośrednio (wzór (3)) trzy przebiegi funkcji: $P=f(t_p)$ oraz $I=f(t_p)$,
- określić (dopuszczalną) długotrwałą obciążalność prądową badanego przewodu miedzianego oraz przewodu aluminiowego ($\rho_{20}=0,029$ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, $\alpha_p=0,0041$ $1/^\circ\text{C}$) o takiej samej izolacji i takich samych wymiarach geometrycznych, pracującego w identycznych warunkach termokinetycznych,
- schemat oraz zwięzły opis badanych układów,
- zestawienie wszystkich pomiarów i obliczeń,
- analiza uzyskanych wyników,
- ocena badanych układów.

7.6. Tablica wyników pomiarów i obliczeń

L.p.	Pomiary				Obliczenia				
	t_p $^\circ\text{C}$	t_1 $^\circ\text{C}$	I A	U V	P W	R_{tp} Ω	t_p (3) $^\circ\text{C}$	t_1 (5),(6) $^\circ\text{C}$	t_p (4) $^\circ\text{C}$
1									
2									
3									
4									
5									
6									

Literatura

1. Hauser J.: Elektrotechnika. Podstawy elektrotermii i techniki świetlnej. Wyd. Pol. Poznańskiej, 2006.
2. Hauser J.: Praca oporowych przewodów grzejnych w wybranych układach termokinetycznych. Wyd. Pol. Poznańskiej, 1998.
3. Hering M.: Podstawy elektrotermii. Cz. 1. WNT, Warszawa 1992.
4. Hering M.: Termokinetyka dla elektryków. Warszawa, WNT 1980.
5. Kalinowski E.: Przekazywanie ciepła i wymienniki. Ofic. Wyd. Pol. Wrocławskiej 1995.