

Gerard BARTODZIEJ

Jerzy ŻACZEK

Instytut Elektroenergetyki  
i Sterowania Układów  
Politechniki Śląskiej

## METODA POMIARU STRAT MOCY W ELEMENTACH ZWIĄZANYCH Z TORAMI PRĄDOWYMI

**Streszczenie.** W pracy zaproponowano sposób pomiaru strat mocy w elementach torów prądowych, w przypadku jeżeli pomiar tradycyjnymi metodami jest niemożliwy.

### 1. WPROWADZENIE

Zastosowanie metod elektrycznych do pomiaru strat mocy w torach wielkoprądowych (np. przy użyciu watomierzy, pomiaru prądu i napięcia itp.) jest często niemożliwe z uwagi na niektóre ozynniki, jak:

- zależność składowej spadku napięcia będącej w fazie z prądem w torze od zewnętrznego pola magnetycznego,
- występowanie prądów wirowych, wywołujących straty niemożliwe do pomiarzenia metodami klasycznymi.

Przy zapewnieniu określonych warunków nagrzewania elementów pod wpływem strat mocy uzyskuje się możliwość wyznaczenia tych strat w oparciu o pomiar temperatury ciała.

### 2. ZASADA POMIARU

Zasadę pomiaru strat mocy czynnej w elementach związanych z torami prądowymi przedstawiono na przykładzie pomiaru strat od prądów wirowych w ekranach metalowych. Zasada ta może być wykorzystana dla obiektów dowolnych, przy pomiarze temperatur w odpowiednio dużej liczbie punktów ciała. Proponowana metoda nadaje się również do badania strat w konstrukcjach metalowych, znajdujących się w polu elektromagnetycznym toru.

Wyznaczenie pomiarowe strat mocy w ekranach metalowych 3-fazowego toru prądowego oparto na wykorzystaniu zasady kalorymetru, przy czym w roli obiektu akumulującego ciepło występuje sam obiekt badany. Z podstaw teo-

rii nagrzewania ciała jednorodnego [1] wynika, że dla krótkich czasów nagrzewania  $t_p \ll T$ , przy czym:

- $t_p$  - czas nagrzewania, pomiaru,
- $T$  - ciepłota stała czasowa,

uzyskuje się jednoznaczną i liniową zależność temperatury od czasu oraz wydzielonej mocy.

Przyrost temperatury ciała (ekranu) opisać można zależnością:

$$\Delta \varphi = \frac{\Delta P}{C_w} t_p, \quad (1)$$

gdzie:

$\Delta P$  - straty mocy,

$C_w$  - pojemność cieplna obiektu.

Wykorzystując do pomiaru temperatury termoelementy [2] o liniowej charakterystyce (np. Fe-const), można napisać następujące równanie na SEM termoelementu:

$$E_t = k_z \Delta \varphi, \quad (2)$$

gdzie:

$k_z$  - współczynnik przeliczeniowy,

a po uwzględnieniu zależności (1):

$$E_t = k_z \frac{\Delta P}{C_w} t_p. \quad (3)$$

Poprzez wykorzystanie przyrządów pomiarowych (do pomiaru SEM termoelementów) o wychyleniu ( $\alpha_w$ ) proporcjonalnym do przyłożonego napięcia:

$$\alpha_w = k_m E_t \quad (4)$$

gdzie:

$k_m$  - stała przyrządu.

Uzyskujemy ostatecznie

$$\alpha_w = k_m k_z \frac{\Delta P}{C_w} t_p = k'_z \Delta P t_p, \quad (5)$$

a dla  $t_p = \text{const}$

$$\alpha_w = k''_z \Delta P, \quad (6)$$

gdzie:

$k''_z = k'_z t_p$  - stała określona dla danego obiektu i czasu pomiaru.

Zależność (6) opisuje wychylenie przyrządu pomiarowego proporcjonalnie od wydzielonej mocy w badanym obiekcie.

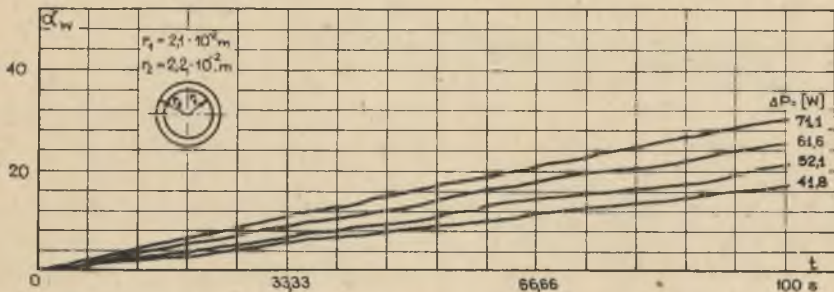
Aczkolwiek możliwe jest analityczne wyznaczenie stałych  $k'_z$  i  $k''_z$ , celowe jest ich wyznaczenie doświadczalne uwzględniające nieliniowość parametrów badanego obiektu względem temperatury a też uchybów systematycznych termoelementów i przyrządów pomiarowych (np. nieliniowości termoelementów, uchybów systematycznych przyrządów rejestrujących itp.).

Z tego też względu przyjęto następujący sposób postępowania:

- W ekranie wydzielono straty mocy  $\Delta P_{\text{e}}$  (przy zasilaniu obiektu prądem stałym) o znanej, zmierzonej wartości w określonym czasie  $t_p$ . Rejestrowano przy tym pomiarze wychylenie przyrządu pomiarowego w zależności od czasu. Z uzyskanego przebiegu:

$$\alpha_w = k'_z \Delta P_{\text{e}} t_p \quad (7)$$

możliwe jest bezpośrednio wyznaczenie stałej  $k'_z$  - wzorcowanie obiektu badanego. Na rys. 1 przedstawiono przykładowo przebiegi wychylenia rejestratora przy wzorcowaniu ekranu aluminiowego toru prądowego o długości pomiarowej 3,9 m. W praktyce może być przydatne nieco odmienne postępowanie niż wyżej opisane, polegające na wyznaczeniu współczynnika  $k'_z$ . Dla obiektu badanego można wykonać pęk charakterystyk wychylenia przyrządu pomiarowego -  $\alpha_w$  w funkcji mocy wydzielonej  $\Delta P_{\text{e}}$  w określonym czasie pomiaru  $t$  (krzywe wzorcowe).



Rys. 1. Przykładowe przebiegi wychylenia rejestratora przy wzorcowaniu ekranu aluminiowego. Straty mocy wyznaczono w oparciu o pomiary prądu i spadku napięcia na obiekcie badanym

- Dla warunków roboczych straty wydzielają się zarówno w żyłę, jak i w ekranie. Dlatego też, aby w zaproponowany sposób można było wyznaczyć straty w ekranie przy zasilaniu żyły prądem przemiennym, należy zapewnić niezależność przebiegu temperatury w ekranie w czasie od ciepła wydzielanego w żyłę. Dla krótkich czasów pomiaru (rzędu kilkudziesięciu s) można wykorzystać przebieg nieustalony temperatury w warstwach znajdujących się między żyłą a powłoką. Należy przy tym każdorazowo dla danego obiektu



określić czas  $t_{kryt}$ , po którym ciepło w żyłce dochodzi do ekranu. Jeżeli czas pomiaru  $t_p$  jest krótszy od  $t_{kryt}$ , można uważać przebieg nagrzewania ekranu za niezależny od nagrzewania żyły.

- Dla układu o wyznaczonym doświadczalnie współczynniku  $k_z^n$  przy  $t_p < t_{kryt}$  można napisać następującą zależność pozwalającą wyznaczyć straty mocy w ekranie przy zasilaniu żyły prądem przemiennym jako:

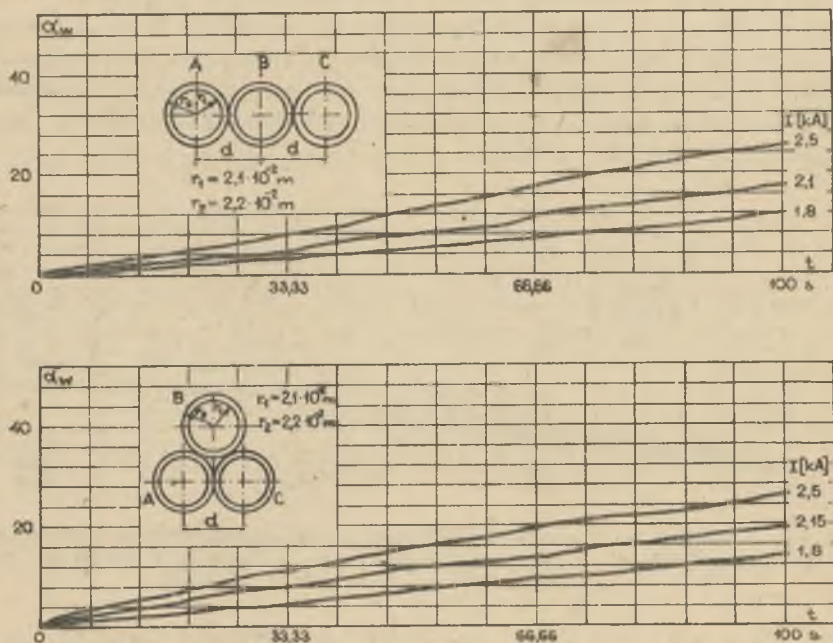
$$\Delta P = \frac{\alpha_w W}{k_z^n}, \quad (8)$$

gdzie:

$\alpha_w$  - wychylenie przyrządu pomiarowego po czasie  $t_p$ , przy zasilaniu żyły prądem przemiennym,

$k_z^n = k_z^o t_p$  - wartość stałej wyznaczona z wzorcowania.

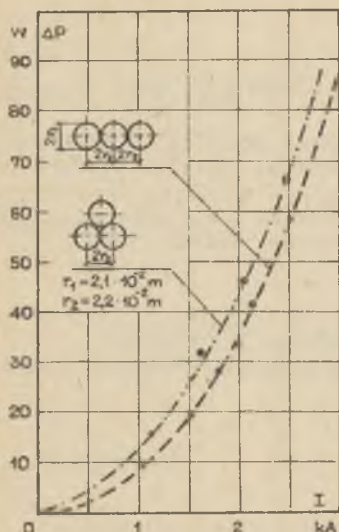
Straty mocy można również wyznaczyć poprzez bezpośrednie porównanie charakterystyki  $\alpha_w = f(P, t)$  uzyskanej przy zasilaniu żyły prądem przemiennym z charakterystykami uzyskanymi przy wzorcowaniu.



Rys. 2. Przykładowe charakterystyki wychylenia rejestratora przy zasilaniu żyły prądem przemiennym (I)

a - układ płaski, b - układ trójkątny symetryczny

Na rys. 2 przedstawiono przykładowe charakterystyki wychylenia rejestratora przy zasilaniu żył toru prądem przemiennym.



Rys. 3. Charakterystyki strat mocy czynnej w ekranie aluminiowym modelu trójfazowego toru prądowego w funkcji prądu obciążenia dla układu płaskiego i trójkątnego na styk

Na rys. 3 przedstawiono charakterystyki strat mocy czynnej od prądów wirowych w ekranie aluminiowym modelu trójfazowego toru prądowego [3].

Dla obiektów metalowych o bardzo małej zmienności temperatury w objętości obiektu wystarczająca jest niewielka liczba termoelementów do pomiaru temperatury. Przy dużej zmienności możliwe są dwa sposoby postępowania:

- zastosowanie dużej liczby termoelementów,
- pomiar temperatury wyrównania, tj. po wyłączeniu źródła zasilania.

Jeżeli obiekt jest liniowy, to możliwe jest badanie strat przy dowolnym natężeniu prądu w torze. Celowe jest też takie dobranie natężenia prądu, aby uzyskać mierzalne (z dopuszczalnym uchybem) przyrosty temperatur dla osazu nagrzewania:

$$t_p \ll T,$$

gdzie:

$T$  - cieplna stała osazu elementu traktowanego jako ciało jednorodne.

Praktyczne znaczenie ma możliwość zwiększenia stałej osazowej za pomocą dodatkowej izolacji termicznej umieszczonej w rozważanym przypadku na ekranie.

Idealna izolacja dodatkowa winna zapewnić nieskończenie duży opór cieplny przy znikomej pojemności cieplnej. W rachubę wchodzi zatem takie materiały izolacyjne, jak np. wata mineralna, wata szklana e nawet kilkuwarstwowa izolacja papierowa.

### 3. PODSUMOWANIE

Proponowana metoda umożliwi pomiar strat w elementach metalowych torów prądowych w warunkach niemożności stosowania metod tradycyjnych.

Trudności w zastosowaniu proponowanej metody wiążą się praktycznie jedynie z doбором odpowiednich przyrządów pomiarowych (dokładne rejestratory z dość szybkim przesuwem taśmy rzędu 5000 mm/h). Dokładność pomiaru zależy od dokładności wzorcowania i uchybów przyrządowych zastosowanego przy-

rzędu pomiarowego rejestrującego. Jest realne osiągnięcie stosunkowo prostymi środkami dokładności pomiaru strat mocy ok. 5%.

#### LITERATURA

- [1] Staniszewski B.: Wymiana ciepła - podstawy teoretyczne. PWN, Warszawa 1963.
- [2] Bartodziej G., Dąbrowska J.: Pomiary temperatur urządzeń elektrycznych - termoelementy, konstrukcje, projektowanie. Biuletyn Elektromontażu, COIB, Warszawa 1976.
- [3] Żaczek J.: Analiza strat mocy czynnej w powłokach metalowych kabli jednożyłowych przy pracy normalnej. Praca doktorska, Gliwice 1980.

Wpłynęło do Redakcji dnia 20.VI.1980 r. Recenzent:

Doc. dr hab. inż. Romuald Włodek

#### МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В ЭЛЕМЕНТАХ, СВЯЗАННЫХ С ТОКОПРОВОДАМИ

#### Р е з ю м е

В работе представлен способ измерения потерь мощности в элементах токопроводов в случае, когда измерение их традиционными методами невозможно.

#### METHOD OF MEASURING POWER LOSSES IN ANY BUS BAR ELEMENTS

#### S u m m a r y

The paper suggests a method of measuring power losses in some bus bar elements in cases where such a measurement made by traditional methods is not possible.