

C. Tablica wyników pomiarów

Ip.	Wartość obciążenia	$\frac{J_1}{J_{1nb}}$	Wartości uchybów			
			wymagane		pomierzone	
			Δi	δi	Δi	δi
-	VA	-	%	'	%	'

4. Opracowanie pomiarów i dyskusja wyników

A. Na podstawie otrzymanych wyników wykreślić zależności $\Delta i = f\left(\frac{J_1}{J_{1nb}}\right)$ oraz $\delta i = f\left(\frac{J_1}{J_{1no}}\right)$ dla poszczególnych wartości obciążenia uzwojenia wtórnego. Porównać (na wykresie) otrzymane wyniki z wartościami wymaganymi przez PN/E-06500 i sprawdzić klasę dokładności badanego przekładnika w stosunku do danych podawanych przez wytwórcę.

B. Przeanalizować układ probierczy i pomiarowy pod kątem ustalenia źródeł błędów pomiaru.

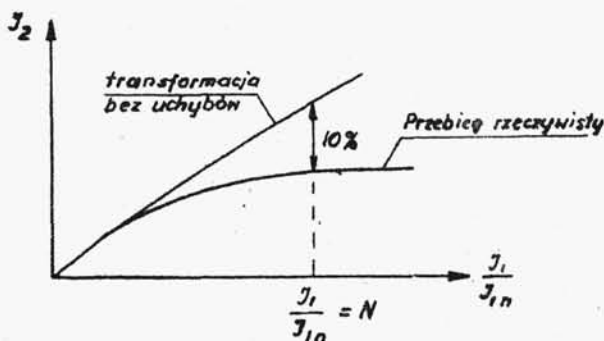
C. Przeanalizować metody kompensacji uchybów przekładników prądowych.

Ćwiczenie 4.2. Wyznaczanie liczby przetężeniowej przekładników prądowych

W p r o w a d z e n i e

W poprzednim ćwiczeniu zajmowaliśmy się wymaganiami stawianymi przekładnikom prądowym w normalnych warunkach pracy układu. Obecnie zajmiemy się bliżej parametrami charakteryzującymi przekładniki przy prądach przekraczających wartości prądu znamionowego. Przy znacznych przetężeniach w wyniku zjawiska nasycania się rdzenia przekładnika prądowego, powstaje znaczny uchyb prądu transformowanego na stronę wtórną, przy czym jednocześnie występuje odkształcenie przebiegu prądu wtórnego od sinusoidy. Cechą charakteryzującą własności przekładnika przy przetężeniach jest liczba przetężeniowa N określana najczęściej jako 10% (N_{10}). Liczba przetężeniowa 10% określona jest

krotnością znamionowego prądu pierwotnego przekładnika, przy której jego uchyb przy określonym obciążeniu uzwojenia wtórne-



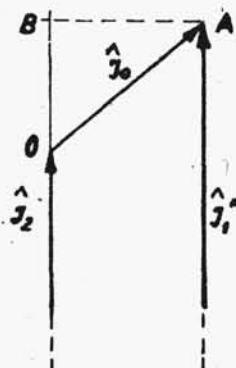
Rys.125. Rysunek wyjaśniający pojęcie liczby przetężeniowej

go osiąga wartość 10% (rys.125). Trzeba tu jednocześnie wyjaśnić, że liczba przetężeniowa określana jest przez przepisy różnych krajów w sposób niejednoznaczny. Wg PN/E-06500 oznacza ona krotność J_{1n} , przy której żądana wartość 10% osiąga uchyb prądowy wskazowy,

podczas gdy przepisy niemieckie VDE oraz czeskie CSN określają liczbę przetężeniową opierając się na uchybie prądowym. Różnicę w określaniu obu tych uchybów wyjaśnia rys.126. Oczywiście jest, że w zależności od przyjętej definicji dla tego samego przekładnika otrzymuje się różnice wartości liczby przetężeniowej, przy czym liczby wyznaczone wg VDE będą większe niż ustalone w oparciu o PN/E.

Na wartość liczby przetężeniowej wpływają takie czynniki jak punkt pracy znamionowej na krzywej magnesowania, rodzaj użytej blachy i wartość indukcji nasycenia. Trzeba jednocześnie podkreślić, że bardzo wyraźny wpływ na wartość liczby przetężeniowej wywiera moc obciążenia przekładnika, przy czym w dużym przybliżeniu jest to zależność odwrotnie proporcjonalna.

Wartości liczby przetężeniowej dobierane są zależnie od przeznaczenia przekładnika. Dla przekładników przeznaczonych do zasilania obwodów zabezpieczeń, a szczególnie dla zabezpieczeń, którym stawiane są specjalnie wysokie wymagania (np. zabezpieczenia odle-



Rys.126. Rysunek wyjaśniający różnicę w pojęciach uchybu prądowego i prądowego wektorowego. Uwaga: OB jest miarą uchybu prądowego; $OA = J_0$ jest miarą uchybu prądowego wektorowego;

$OA > OB$

głościowe) liczba przetężeniowa powinna być możliwie duża (≥ 20).

Zupełnie inne będą wymagania dla przekładników zasilających obwody pomiarowe (amperomierze, uzwojenie prądowe watomierzy i liczników). W tym przypadku przekładnik powinien podczas zwarć w pewnym stopniu zabezpieczać dołączone do jego zacisków wtórnych przyrządy, w związku z czym jego liczba przetężeniowa powinna być możliwie mała (~ 5). Często przekładniki są wykonywane jako 2-rdzeniowe, z jednym rdzeniem do zabezpieczeń (duże wartości liczby przetężeniowej) oraz drugim do pomiaru (N stosunkowo mała).

Wymagana dla danego rodzaju przekładnika wartość liczby przetężeniowej uwzględniana jest przez konstruktora podczas projektowania przekładnika. Ostetycznym jednakże sprawdzianem jest jej pomiar wykonywany w ramach prób typu przekładnika, przy czym odróżniamy tu pomiar metodą bezpośrednią i pośrednią.

Wykaz literatury

1. Kaltofen A.: Das Verhalten der Stromwandler im Überstromgebiet, ETZ-A 1951, z.24.
2. Starczakow W.: Przekładniki, WNT, Warszawa 1960.

I. Pomiar liczby przetężeniowej metodą bezpośrednią

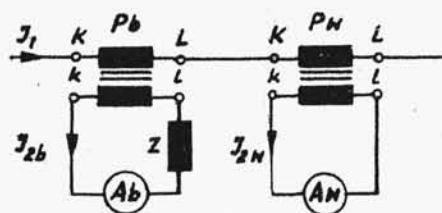
1. O b j a ś n i e n i a w s t ę p n e d o ć w i c z e n i a

W metodzie bezpośredniej pomiar liczby przetężeniowej może być wykonany dwoma sposobami:

- a) przez porównanie wskazań 2 amperomierzy (rys.127),
- b) przez pomiar prądu różnicowego (rys.128).

Przy pomiarze pierwszym sposobem w układ wielkoprądowy włączone są dwa przekładniki: przekładnik badany P_b oraz przekładnik wzorcowy P_w o prądzie znamionowym odpowiednio większym od prądu znamionowego P_b . Prąd pierwotny przekładnika wzorcowego powinien być dobrany w taki sposób, aby przy osiągnięciu licz-

by przetężeniowej przez P_b , prąd w obwodzie nie przekroczył $1,2 J_n$ dla P_w . Przy spełnieniu tego warunku pomijany jest uchyb przekładnika wzorcowego, którego klasa dokładności jest zwykle o rząd wielkości wyższa niż badanego. Prąd pierwotny

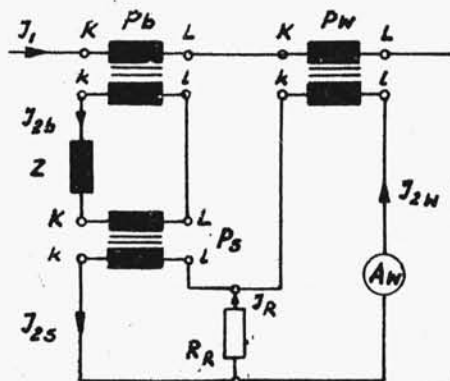


Rys.127. Metoda bezpośrednia określania liczby przetężeniowej przekładników prądowych przez porównanie wskazań 2 amperomierzy: P_b - przekładnik badany, P_w - przekładnik wzorcowy, Z - oporność obciążenia przekładnika badanego, A_b , A_w - amperomierze prądu zmiennego

można określić mnożąc wskazanie amperomierza A_w przez przekładnię przekładnika wzorcowego. 10% liczba przetężeniowa zostanie osiągnięta wówczas, kiedy pomierzony amperomierzem A_b prąd wtórny J_{2b} będzie o 10% mniejszy od prądu obliczonego w oparciu o znajomość wartości J_1 (pomierzonego przekładnikiem wzorcowym) i przekładni przekładnika badanego.

Przy stosowaniu drugiego sposobu (rys.128) wymagania dotyczące przekładnika wzorcowego

pozostają bez zmiany. Występujący w układzie przekładnik pośredniczący P_s powinien być dobrany w taki sposób, aby iloczyn przekładni przekładników P_b i P_s równy był przekładni przekładnika wzorcowego. Jednocześnie P_s powinien być również przekładnikiem wzorcowym o uchybach pomijalnych w stosunku do P_b . W układzie wg rys. 128 przez oporność R płynie prąd różnicowy J_R , będący różnicą geometryczną prądów J_{2w} i J_{2s} . Prąd ten mierzy się zwykle jako spadek napięcia na znanej oporności gałęzi różnicowej R_R . Kiedy prąd różnicowy wyniesie 10% J_{2nb} (tj. 10% znamionowego



Rys.128. Metoda bezpośrednia określania liczby przetężeniowej przez pomiar prądu różnicowego: P_b - przekładnik badany, P_w - przekładnik wzorcowy, P_s - przekładnik pośredniczący, R_R - oporność gałęzi różnicowej, A_w - amperomierz prądu zmiennego

prądu wtórnego przekładnika badanego), osiągnięta zostaje 10% liczba przetężeniowa. Określona tym sposobem wartość liczby przetężeniowej odpowiada definicji PN/E , opiera się bowiem na pomiarze uchybu wskazowego. Chcąc wyznaczyć wartość N wg definicji VDE należałoby zastosować układ, który umożliwi pomiar uchybu prądowego za pomocą mostka kompensacyjnego.

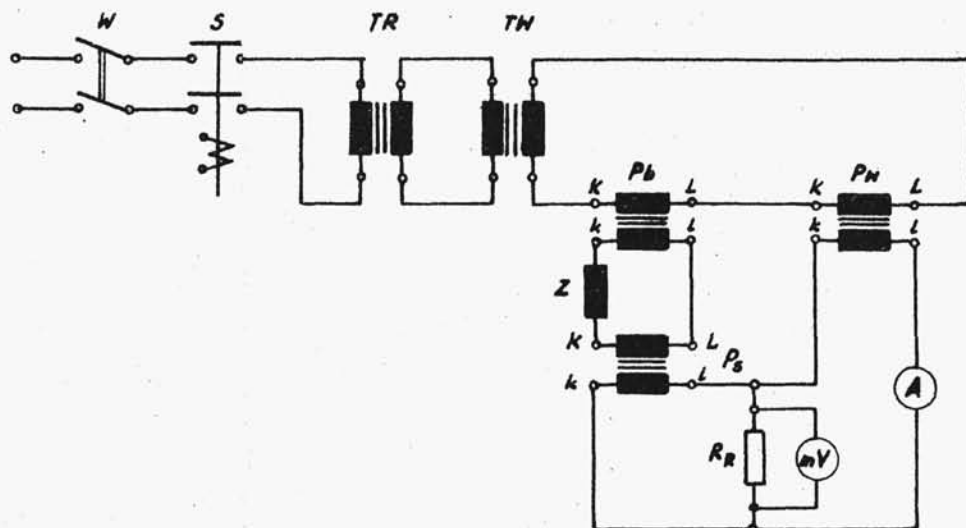
Pomiar liczby przetężeniowej metodą bezpośrednią wymaga stosowania źródeł o odpowiednio dużej mocy, zapewniających uzyskanie znacznych wartości prądów o przebiegu nie odkształconym od sinusoidy. W przypadku przekładników o dużych wartościach prądu znamionowego oraz dużych poborach mocy, spełnienie tych wymagań jest w niektórych przypadkach bardzo trudne. Przy dużych wartościach liczby przetężeniowej, badany przekładnik jest podczas pomiaru znacznie przeciążany prądowo, przy czym czas trwania przetężenia zależy od sprawności pomiaru. Z tego punktu widzenia metoda mostka kompensacyjnego, jako wymagająca dłuższego czasu pomiaru jest mniej dogodna i może prowadzić do uszkodzenia cieplnego badanego przekładnika. Pomimo tych trudności pomiarowych metoda bezpośrednia pomiaru liczby przetężeniowej jest najwłaściwsza i dająca najbardziej pewne wyniki.

2. P o m i a r y

W wykonywanym ćwiczeniu pomiar liczby przetężeniowej przeprowadzany jest drogą pomiaru prądu różnicowego (punkt b) wg definicji zgodnej z PN/E . Schemat elektryczny układu przedstawiono na rys.129. Przekładniki wzorcowe P_w i P_s należy dobrać wg zasad podanych w punkcie poprzednim. Oporność gałęzi różnicowej R_R powinna być dobrana w taki sposób, aby jej wartość mogła być pominięta w stosunku do oporności obciążenia.

Wartość prądu w obwodzie nastawia się za pośrednictwem regulatora indukcyjnego TR . Podczas próby mierzy się wartość prądu pierwotnego (opierając się na przekładniku P_w), oraz wartość prądu różnicowego na podstawie pomiaru spadku napięcia na oporności R_R , dokonanego za pomocą miliwoltomierza lampowego. Pomiar wykonuje się dla kilku wzrastających wartości prądu pierwotnego, podwyższając tę wartość aż do momentu, kie-

dy prąd różnicowy wyniesie $0,1 J_{2nw}$ (dla 10% liczby przetężeńiowej). Czas pomiaru z uwagi na nagrzewanie się uzwojeń przekładnika należy skracać do niezbędnego minimum.



Rys.129. Układ do pomiaru liczby przetężeńiowej metodą bezpośrednią wg definicji PN-E: TR - transformator nastawczy, TW - transformator wielkoprądowy, P_b - przekładnik badany, P_w - przekładnik wzorcowy, P_s - przekładnik pośredniczący, Z - oporność obciążenia przekładnika badanego, R_R - oporność gałęzi różnicowej, A - amperomierz prądu zmiennego, mV - miliwoltomierz prądu zmiennego, W, S - łączniki pomocnicze

Pomiary należy przeprowadzać dla kilku wartości obciążenia przekładnika.

3. P r o t o k ó ł p o m i a r ó w

A. Parametry przekładnika badanego

Typ NF $U_n = \dots$ kV; $J_n = \dots$ A; $S = \dots$ VA w klasie przewidywana wartość $N_{10} = \dots$

B. Parametry obwodu probierczego i pomiarowego

a. Przekładnik wzorcowy P_{w1} typu, mocy VA, dobrana wartość przekładni A/A,

- b. Przekładnik wzorcowy Pw_2 typu, mocy VA,
 dobrana wartość przekładni A/A,
 c. Oporność gałęzi różnicowej $R_r = \dots \Omega$,
 d. Do pomiaru prądu różnicowego zastosowano miliwoltomierz
 elektroniczny typu

C. Tablica wyników pomiarów

I_p	Obciążenie przekładni- ka badanego	Wartość prądu pierwotn.	ΔU_R	$J_R = \Delta i_w$	Wartość 10% liczby prze- tężeńiowej
-	S	J_1	-	-	-
-	VA	A	mV	A	-

4. O p r a c o w a n i e p o m i a r ó w i d y s k u s j a
 w y n i k ó w

A. Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów wykreslic
 zależność $\Delta i_w = f\left(\frac{J_1}{J_{1n} P_b}\right)$ dla różnych wartości obciążeń o-
 oraz określić dla poszczególnych przypadków wartości liczby
 przetężeńiowej. Porównać wyniki otrzymane z pomiarów z warto-
 ściami liczby przetężeńiowej, otrzymanymi z obliczeń przybli-
 żonych.

B. Na podstawie otrzymanych wyników liczby przetężeńiowej
 określić przeznaczenie badanego przekładnika.

C. Przeprowadzić analizę układu probierczego i pomiarowego
 z punktu widzenia oceny dokładności pomiaru.

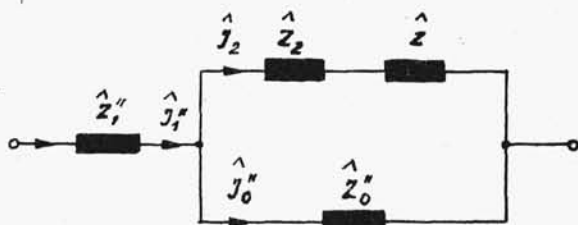
II. Wyznaczanie liczby przetężeńiowej metodą pośrednią

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

Metoda pośrednia określania liczby przetężeńiowej z pomia-
 ru charakterystyki biegu jałowego przekładnika pozwala na o-
 kreślenie N zarówno zgodnie z definicją wg uchybu prądowego
 wektorowego, jak i wg uchybu prądowego. Zasadę pomiaru metodą
 pośrednią wyjaśnia rys.130.

Prąd wtórny przekładnika J_2 będzie mniejszy od sprowadzo-
 nego do obwodu wtórnego prądu pierwotnego J_1'' o wartości prądu

magnesującego J_0'' . Liczba przetężeńiowa (10%) zdefiniowana wg uchybu wektorowego zostanie osiągnięta wówczas, gdy prąd bie-



Rys.130. Rysunek objaśniający zasadę pomiaru liczby przetężeńiowej metodą pośrednią: Z_1'' - oporność uzwojenia pierwotnego sprowadzona do obwodu wtórnego, Z_2 - oporność uzwojenia wtórnego, Z - oporność obciążenia, Z_0'' - oporność gałęzi magnesującej sprowadzona do uzwojenia wtórnego

gu jałowego J_0'' osiągnie 10% wartości prądu J_1'' . Oznacza to, że $J_0'' = 0,1 J_1''$ a ponieważ wówczas $J_1 = N J_{1n}$, a więc $J_1'' = N J_{2n}$ to znaczy $J_0'' = 0,1 N J_{2n}$, gdzie N - 10% liczba przetężeńiowa.

Aby prąd J_1 podzielił się w stosunku 1 : 9, taki sam stosunek powinny spełniać oporności obu gałęzi tzn.

$$Z_0'' = 9 Z_c \quad (41)$$

gdzie

Z_0'' - oporność gałęzi magnesującej (odniesiona do strony wtórnej przekładnika),

Z_c - suma geometryczna oporności obwodu wtórnego Z_2 oraz oporności obciążenia Z .

W przypadku przyjęcia definicji liczby przetężeńiowej wg uchybu prądowego (VDE 1956 r.) obowiązuje dla tego przypadku równość

$$Z_0'' \cong 7 Z_c .$$

W celu wyznaczenia liczby przetężeńiowej należy wyznaczyć wartość J_0'' , dla której zostanie spełniona równość (41). Wartość liczby przetężeńiowej określa się wówczas wg wzoru

$$N = \frac{J_0''}{0,1 J_{2n}} ,$$

a ponieważ zwykle $J_{2n} = 5 \text{ A}$,

x)

W założeniu tej samej wartości kąta oporności Z_0'' i Z_c .

$$N = 2 J_0'', \quad (42)$$

przy czym wartość J_0'' odczytuje się z zależności $Z_0'' = f(J_0'')$ dla wartości $Z_0'' = 9 Z_c$ (wg PN/E) lub dla $Z_0'' = 7 Z_c$ (wg VDE).

Dla wyznaczenia wartości liczby przetężeniowej potrzebna jest zatem znajomość charakterystyki biegu jałowego przekładnika $Z_0'' = \frac{U_0''}{J_0''} = f(J_0'')$ oraz wartość oporności uzwojenia wtórnego \hat{Z}_2 i oporności obciążenia \hat{Z} .

Obie powyższe wielkości wyznacza się doświadczalnie, podczas gdy wartość liczby przetężeniowej odczytuje się z wykresu $Z_0'' = f(J_0'')$. Stąd też metoda ta nazywana jest metodą graficzno-analityczną.

Główną zaletą opisaną powyżej metody jest to, że nie wymaga ona kosztownego układu wielkoprądowego, który jest niezbędny przy pomiarach wykonywanych metodą bezpośrednią, co jest szczególnie ważne dla przekładników o dużych przekładniach. Układ do zdejmowania charakterystyki biegu jałowego dla większości przypadków jest łatwy do realizacji, a ponadto podczas pomiaru przekładnik nie jest przeciążany w takim stopniu jak to ma miejsce w metodzie bezpośredniej.

Wadami metody pośredniej są natomiast trudności w ustaleniu oporności indukcyjnej uzwojenia wtórnego badanego przekładnika oraz zbyt duży błąd pomiaru występujący przy zdejmowaniu charakterystyki biegu jałowego w niektórych konstrukcjach przekładników.

2. P o m i a r y

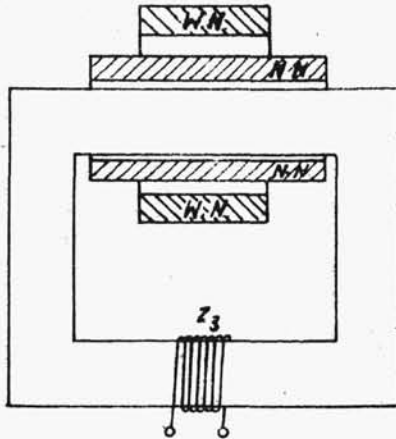
Pomiar oporności czynnej uzwojenia wtórnego (R_2) badanego przekładnika wykonuje się za pomocą mostka Wheatstone'a.

Pomiar oporności rozproszenia uzwojenia wtórnego (X_2) badanego przekładnika wykonuje się metodą Wentz'a. W celu wykonania pomiaru X_2 na rdzeniu przekładnika należy nawinąć uzwojenie dodatkowe zgodnie z rys.131 ($Z_3 = 10-20$ zwojów). Pomiar przeprowadza się w układzie przedstawionym na rys.132. Dla kilku wartości J_1 mierzy się napięcie występujące na uzwojeniu pomocniczym i wyznacza wartość X_2 wg wzoru

$$x_2 = \sqrt{\left(\frac{U_3 \cdot Z_2}{J_2 \cdot Z_3}\right)^2 - R_2^2} \quad (43)$$

gdzie

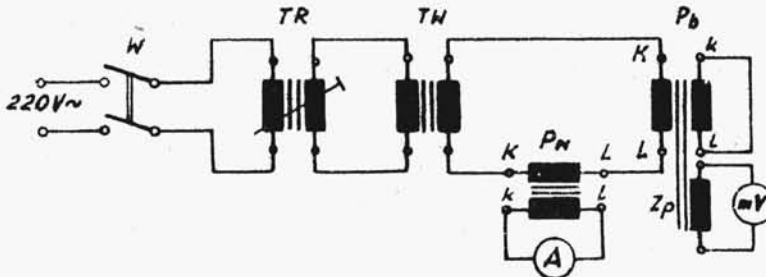
- U_3 - napięcie indukowane w uzwojeniu pomocniczym,
- J_2 - prąd w uzwojeniu wtórnym (przeliczony z prądu J_1),
- Z_2 - liczba zwojów uzwojenia wtórnego,
- Z_3 - liczba zwojów uzwojenia pomocniczego,
- R_2 - oporność czynna uzwojenia wtórnego.



Rys.131. Sposób nawinięcia uzwojenia pomiarowego w metodzie Wentz'a dla pomiaru x_2

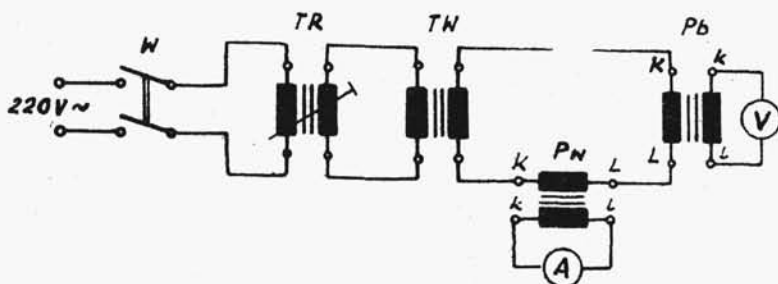
Na podstawie kilku pomiarów x_2 wyznacza się wartość średnią.

Pomiar charakterystyki magnetyzowania przekładnika przeprowadza się w układzie przedstawionym na rys.133. Dla wzrastających wartości prądu J_1 w uzwojeniu pierwotnym, mierzy się napięcie



Rys.132. Układ do pomiaru oporności rozproszenia uzwojenia wtórnego przekładnika prądowego (x_2) metodą Wentz'a: TR - transformator nastawczy, TW - transformator wielkoprądowy, P_b - przekładnik badany, Z_p - uzwojenie pomocnicze przekładnika badanego, P_w - przekładnik wzorcowy, mV - miliwoltomierz prądu zmiennego, A - amperomierz prądu zmiennego, W - łącznik pomocniczy

indukowane w otwartym uzwojeniu wtórnym przekładnika badanego. Pomiary należy przeprowadzać aż do stanu nasycenia rdzenia.



Rys.133. Układ do pomiaru charakterystyki magnesowania przekładnika prądowego: TR - transformator nastawczy, TW - transformator wielkopiędowy, Pb - przekładnik badany, Pw - przekładnik wzorcowy, V - woltomierz prądu zmiennego, A - amperomierz prądu zmiennego

Na podstawie otrzymanych wyników można wyznaczyć oporność ga-

$$\text{łęzi magnesowania } Z''_0 = \frac{U_0}{J_0} = f(J_0).$$

3. P r o t o k ó ł p o m i a r ó w

A. Parametry przekładnika badanego Pb

Typ NF $U_n = \dots$ kV $J_n = \dots$ A $S = \dots$ VA
w klasie

B. Parametry obwodu probierczego i pomiarowego

a) do pomiaru R_2 zastosowano mostek

b) do pomiaru X_2 zastosowano następujące aparaty

(wg rys.132)

TW - transformator wielkopiędowy typu

o mocy , VA przekładnia A/A

TR - dławik nastawczy typu o mocy VA

Pw - przekładnik prądowy wzorcowy typu

o przekładni A/A klasa

Zp - uzwojenie pomocnicze o $z_3 = \dots$ zwojów; do pomiaru napięcia zastosowano miliwoltomierz

do pomiaru prądu zastosowano amperomierz

c) do pomiaru charakterystyki magnesowania (rys.133) zastosowano urządzenia jak w punkcie b oraz woltomierz typu o zakresie

C. Wyniki pomiarów

a) średnia wartość $R_2 = \dots \text{ m}\Omega$

b) tablica wyników pomiarów X_2

I_p	J_1	J_2	z_2	z_3	R_2	U_3	X_2	X_{2sr}
-	A	A	zw	zw	Ω	mV	Ω	Ω

U w a g a: liczbę zwojów uzwojenia wtórnego Z_2 wyznacza się opierając się na liczbie amperozwojów przekładnika badanego.

c) tablica wyników pomiarów charakterystyki magnesowania

I_p	J_o	U_o	J_o''	Z_o''
-	A	V	A	Ω

4. O p r a c o w a n i e p o m i a r ó w i d y s k u s j a w y n i k ó w

A. Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów wyznaczyć wartość $Z_2 = \sqrt{R_{sr}^2 + X_{sr}^2}$ oraz wykreślić charakterystykę $Z_o'' = f(J_o'')$.

B. Wyznaczyć wg metody opisanej w punkcie 1 ćwiczenia 10% liczbę przetężeńiową wg definicji PN/E przy znamionowym obciążeniu przekładnika.

C. Wg tej samej metody wyznaczyć liczbę przetężeńiową dla kilku obciążeń przekładnika różnych od jego mocy znamionowej oraz porównać otrzymane wartości z wynikami uzyskanymi z przeliczenia wg wzoru przybliżonego

$$N' = N \frac{Z' + Z_2}{Z + Z_2},$$

gdzie N - liczba przetężeniowa przy oporności obciążenia Z ,
 N' - liczba przetężeniowa przy oporności obciążenia Z' .

D. Wyznaczyć wartość liczby przetężeniowej zdefiniowanej wg VDE przy znamionowym obciążeniu przekładnika.

E. Przeprowadzić analizę dokładności pomiarów i określać liczbę przetężeniowej metodą pośrednią.

F. Przeprowadzić krytyczną analizę porównawczą obu metod wyznaczania liczby przetężeniowej.

5. Wybrane badania z zakresu techniki łączenia

Ćwiczenie 5.1. Pomiary ciśnień szybkozmiennych

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

Jedną z najważniejszych wielkości nieelektrycznych, której przebieg rejestruje się podczas badań aparatów elektrycznych jest ciśnienie. Z punktu widzenia warunków pomiaru można tu odróżnić następujące grupy pomiarów:

a. Pomiary wykonywane podczas prób zdolności łączenia. Do grupy tej będą należały pomiary ciśnień w wyłącznikach cieczo-
wych (gazujących). W tych przypadkach znajomość przebiegu ciśnienia oraz jego wartości maksymalnej potrzebna jest zarówno do obliczeń wytrzymałościowych komór wyłącznika, jak również do analizy warunków jego pracy. Ponadto do grupy tej można zaliczyć pomiary przebiegów ciśnień w wyłącznikach pneumatycznych podczas prób zdolności łączenia. Pomiary takie pozwalają na ustalenie wpływu łuku występującego w wyłączniku na warunki wpływu czynnika gaszącego.

b. Pomiary ciśnień wykonywane w wyłącznikach pneumatycznych podczas prób bezprądowych. Pomiary takie wchodzi w skład prób wyrobu i wykonywane są na wszystkich egzemplarzach aparatów. Umożliwiają one, drogą pomiaru ciśnień w kilku wybranych punktach, sprawdzenie prawidłowości wykonania oraz współdziałania wszystkich elementów układu ciśnieniowego wyłącznika.

c. Pomiary ciśnień wykonywane w osłoniętych łącznikach n.n. i inne.