

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

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. Por wna c otrzymane t  drog  wartości temperatur ustalonych z wartościami pomierzonymi.

C. Wyja ni c przyczyny zaistniałych różnic w wartościach oporności zestykowej pomierzonych w stanie zimnym i nagrzanym.

D. Opisa c metodę kontroli zestyków aparatów w czasie próby wyrobu.

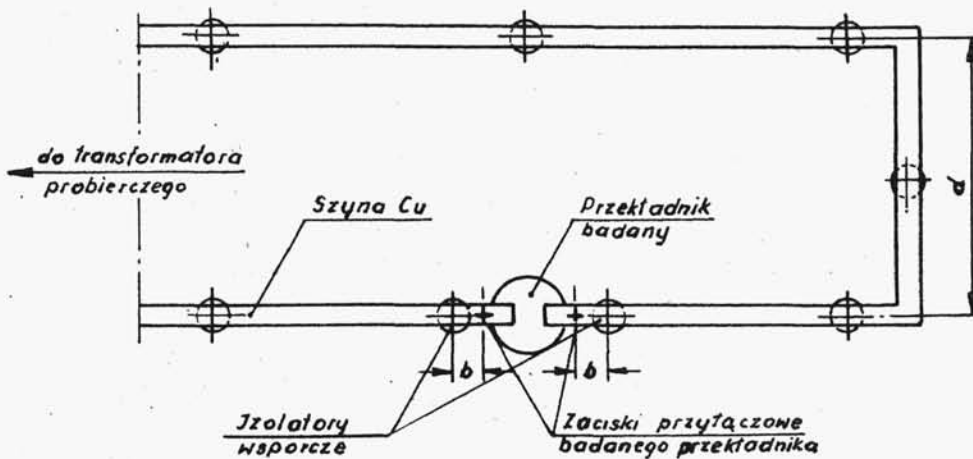
Ćwiczenie 1.2. Badania wytrzyma łości zwarciowej przekład-
ników prądowych

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

Badania wytrzyma łości zwarciowej przekładników prądowych obejmują sprawdzanie wytrzyma łości dynamicznej i cieplnej, przy czym próby rozpoczyna się zwykle od badania wytrzyma łości dy-

dynamicznej. Wytrzymałość zwarciova dynamiczna określona jest wartością prądu szczytowego, którą przekładnik wytrzymuje bez uszkodzeń przy zachowaniu określonych warunków probierczych. Wartości liczbowe wytrzymałości dynamicznej - podawane zwykle jako krotności prądu znamionowego przekładnika - określone są przez normy, bądź też w specjalnych przypadkach przez wytwórcę (przekładniki wzmacnione).

Przy próbach wytrzymałości dynamicznej należy odróżnić wytrzymałość wewnętrzną tj próbę w warunkach, kiedy nie uwzględnia się wpływu doprowadzeń zewnętrznych i szyn powrotnych o-



- a) Próby wytrzymałości wewnętrznej
 - 1. Wymiar d dobrany w taki sposób aby można było pominąć wpływ szyny powrotnej
 - 2. Odległość b najmniejsza możliwa do uzyskania z uwagi na zaciski przyłączone
- b) Próby wytrzymałości zewnętrznej
 - 1. Wymiary b i d dobrane wg. zasady podanej w punkcie 1.2...

Rys.71. Szkic części wielkoprądowej układu probierczego do prób wytrzymałości dynamicznej przekładników prądowych (widok z góry)

raz zewnętrzną z uwzględnieniem wymienionych czynników. Przykład obwodu probierczego dla prób wytrzymałości wewnętrznej i zewnętrznej przedstawiono na rys.71.

W próbie wytrzymałości wewnętrznej występują jedynie siły powstałe w wyniku przepływu prądu przez wewnętrzną część prze-

kładnika. Będą tu występować siły promieniowe występujące wskutek obejmowania uzwojenia wtórnego przez pierwotne: siły osiowe występujące w przypadku niejednakowej długości uzwojeń, siły osiowe wynikające z asymetrii nawinięcia uzwojeń oraz siły od wewnętrznych doprowadzeń przekładnika. Oddziaływanie szyn przyłączowych jest zlikwidowane przez umieszczenie izolatorów wsporczych w bezpośrednim sąsiedztwie zacisków przyłączonych przekładnika.

Wpływu szyny powrotnej unika się natomiast przez odpowiednie oddalenie jej od toru prądowego, w którym umieszczony jest badany przekładnik. Wytrzymałość wewnętrzną wyznacza się zwykle przy próbach konstruktorskich przekładnika, pozwala ona bowiem na wyznaczenie nie zniekształconej wpływami obwodu zewnętrznego wytrzymałości poszczególnych elementów toru prądowego przekładnika. W rzeczywistych warunkach pracy przekładników należy się oczywiście liczyć z wpływami zarówno od doprowadzeń jak i od sąsiednich biegunów. Dlatego też ostatecznym kryterium dla oceny przydatności przekładnika do eksploatacji powinna być próba wytrzymałości dynamicznej zewnętrznej. W tym przypadku poza siłami w wewnętrznym torze prądowym występują siły od obwodu zewnętrznego działające zarówno na wewnętrzny tor prądowy, jak również na śruby mocujące szyny przyłączowe oraz przekładnik do konstrukcji. Ostatnia sprawa nabiera szczególnego znaczenia przy przekładnikach wykonanych z żywic epoksydowych. Wartości sił oddziaływania od obwodu zewnętrznego zależne są od odległości między biegunami, jak również od odległości do najbliższego izolatora wsporczego w torze prądowym przekładnika. Wpływa stąd wniosek, że sprawa wytrzymałości zewnętrznej jest szczególnie ważna dla przekładników niskiego napięcia, gdzie odległości między biegunami są bardzo małe, jak również dla przekładników 6 i 10 kV, gdzie odległości między biegunami są również niewielkie, a wartości prądów szczytowych mogą być znaczne. Powstaje tu zatem zagadnienie doboru odpowiednich wymiarów obwodu probierczego tj. wymiarów b) i d) z rys. 71. W projektowaniu urządzeń rozdzielczych sprawa ta nie jest ujęta ścisłymi przepisami i pozostawia się tu projektantowi swobodę przy doborze wymiarów układu szynowego rozdziel-

ni, pod warunkiem nie przekroczenia dopuszczalnej obciążalności szyn i izolatorów wsporczych. Stwarza to jednak poważne trudności przy jednoznacznym określaniu geometrii obwodu probierczego do prób przekładników. Zwykle doboru dokonuje się wg następujących zasad:

a) odległość między biegunami przyjmuje się równą najmniejszej dopuszczalnej odległości izolacyjnej odpowiednio do napięcia znamionowego przekładnika,

b) odległość do najbliższego izolatora wsporczego określa się z obliczeń wytrzymałościowych przyjmując, że będzie to izolator grupy C.

Obwód probierczy spełniający oba powyższe wymagania odtwarza warunki bliskie najcięższym, jakie mogą wystąpić w eksploatacji przekładnika. Przy próbach rodziny przekładników o stałej liczbie przepływu (amperozwojów wzbudzających) produkowanych w kilku wykonaniach na różne prądy znamionowe, próbom wytrzymałości zewnętrznej powinny być poddane egzemplarze o największej wartości prądu znamionowego, gdyż w tym przypadku prąd probierczy, a zatem i oddziaływanie zewnętrzne będą największe.

Próby wytrzymałości dynamicznej są wykonywane w swych seriach:

- kiedy w układzie występują największe naprężenia mechaniczne,

- kiedy w układzie występują największe naprężenia elektryczne szeregowej izolacji przekładnika.

Pierwszy przypadek będzie zrealizowany w próbie ze zwartym uzwojeniem wtórnym badanego przekładnika. Wówczas dla określonego prądu pierwotnego prąd wtórny będzie miał wartość największą z możliwych, co oznacza, że wystąpią największe wartości sił w przekładniku (siły te są proporcjonalne do iloczynu amperozwojów strony pierwotnej i wtórnej).

W drugim przypadku próba powinna odbywać się przy obciążeniu uzwojenia wtórnego przekładnika mocą największą, jaka może wystąpić w eksploatacji. Prąd wtórny, a więc i siły w przekładniku będą wówczas znacznie mniejsze niż poprzednio. Wzrost obciążenia strony wtórnej powoduje jednakże wzrost prądu magnesującego, a tym samym wzrost napięcia po wtórnej stro-

nie przekładnika. W wyniku nieliniowości krzywej magnesowania, w przebiegu napięcia na uzwojeniach przekładnika występują znaczne odkształcenia od sinusoidy z charakterystycznymi impulsami, występującymi w pobliżu przejścia przez zero prądu magnesującego.

Napięcia maksymalne oraz stromości przebiegów mogą szczególnie dla uzwojeń wtórnych osiągać znaczne wartości, co powoduje niebezpieczny wzrost naprężeń izolacji szeregowej. Wartości maksymalne napięć indukowanych w uzwojeniu zależą od wartości prądu probierczego, obciążenia, a ponadto od liczby amperozwojów badanego przekładnika, jak również od rodzaju użytej blachy transformatorowej. Dlatego też przebiegi te mogą różnić się znacznie dla rozmaitych przekładników i należy wyznaczać je doświadczalnie.

Zwarciowa wytrzymałość cieplna (zwykle jednosekundowa) określona jest wartością dopuszczalnego prądu zwarciowego zastępczego (J_{1s}), który płynąc przez przekładnik w ciągu 1 sek nie spowoduje uszkodzenia przekładnika. Dla przekładników prądowych określana jest zwykle wytrzymałość względna odniesiona do znamionowego prądu pierwotnego przekładnika (dla wykonań normalnych $J_{1sek} = 80 J_n$).

W sprawie kryterium doboru uzwojeń przy wytrzymałości zwarciowej przekładników występują pewne rozbieżności, co znalazło swoje odbicie w normach różnych krajów.

Według normy niemieckiej oraz obowiązującej normy krajowej (PN/E-6500) dobór uzwojenia pierwotnego do prądu J_{1s} następuje na podstawie przyjęcia dopuszczalnej gęstości prądu przy zwarcu ($j_{zw} = 180 \text{ A/mm}^2$). Wartość ta została wyznaczona przy przyjęciu następujących założeń:

- a) uzwojenie jest wykonane z miedzi,
- b) proces nagrzewania jest adiabatyczny,
- c) temperatura dopuszczalna przy zwarcu $\vartheta_{dop} \leq 250^\circ\text{C}$.

Obliczenie wykonuje się jedynie dla uzwojenia pierwotnego, w uzwojeniu wtórnym bowiem z uwagi na nasycenie rdzenia skuteczne wartości prądu będą znacznie mniejsze.

Opierając się o dane z literatury jak również na podstawie niektórych badań można wnioskować, że dobór uzwojenia w opar-

ciu o dopuszczalną gęstość prądu przy zwarceniu może w niektórych przypadkach prowadzić do przyjęcia zbyt małej powierzchni przekroju, co w konsekwencji prowadzi do ujemnego wyniku próby zwarciowej. Trudności jakie napotyka się przy przyjęciu kryterium dopuszczalnej gęstości są następujące:

- nie określona w sposób jednoznaczny temperatura początkowa zwarcia, tj. temperatura ustalona przy pracy normalnej przekładnika,
- trudne do ilościowego określenia straty dodatkowe występujące w uzwojeniu.

W związku z tym niektóre normy (amerykańska i szwedzka) jako kryterium doboru uzwojeń do prądu zwarciowego przyjmują bezpośrednio dopuszczalną temperaturę najgorętszych elementów przekładnika, przy czym wartość dopuszczalnej temperatury przy zwarceniu zależna jest od rodzaju izolacji. Łączy się to jednakże z koniecznością możliwie dokładnego pomiaru zmiennej w czasie temperatury elementów przekładnika. Mimo tych trudności i komplikacji technologii badań, wydaje się, że bezpośredni pomiar temperatury pozwala na bardziej właściwą ocenę stanu przekładnika.

Badania zwarciowej wytrzymałości cieplnej wykonywane są na egzemplarzach przekładników, które przeszły z wynikiem dodatnim próby zwarciowej wytrzymałości dynamicznej, przy czym stosuje się obwód probierczy jak w próbie zewnętrznej wytrzymałości dynamicznej.

Bardzo istotną sprawą przy próbach zwarciowych przekładników są kryteria oceny stanu przekładnika po próbach. Wyniki prób uważa się za dodatnie przy spełnieniu następujących warunków:

- a) w kolejnych próbach w serii badań nie występują uszkodzenia mechaniczne. W przypadku stwierdzenia niewielkich wzajemnych przesunięć elementów przekładnika (np. uzwojeń), mierzy się te przesunięcia, a ostatecznym sprawdzianem jest wówczas pomiar uchybów po próbach. W próbach cieplnych nie powinny występować takie zjawiska jak: zadymienie, wyciekanie oleju lub masy nasycającej itp. W przypadku rejestracji temperatury jej wartość maksymalna nie powinna przekroczyć wartości dopuszczalnej,

b) po próbach przekładnik powinien przejść z wynikiem dodatnim próby napięciowej izolacji głównej uzwojenia pierwotnego i wtórnego oraz próbę na obwód otwarty przy prądzie np. $1,5 J_n$. Pomiar uchybów nie powinien wykazać istotnych różnic w stosunku do wartości przed próbami zwarciovymi.

Wykaz literatury

1. Fischer J.: Zur termischen Sicherheit von Stromwandlerwicklungen, Elektrotechnik und Maschinenbau, 1962, z.4.
2. Jütteman.: Grösse und Auswirkungen von Sekundär - Überströmen bei Stromwandler. ETZA, 1962, z.12.
3. Kryński J.: Elektryczne Aparaty Rozdzielcze (skrypt). PWN, Warszawa 1963.
4. Kurdziel R.: Działanie cieplne i dynamiczne prądów zwarciovych. PWT, Warszawa 1957.
5. Starczakow W.: Przekładniki. PWT, Warszawa 1959.

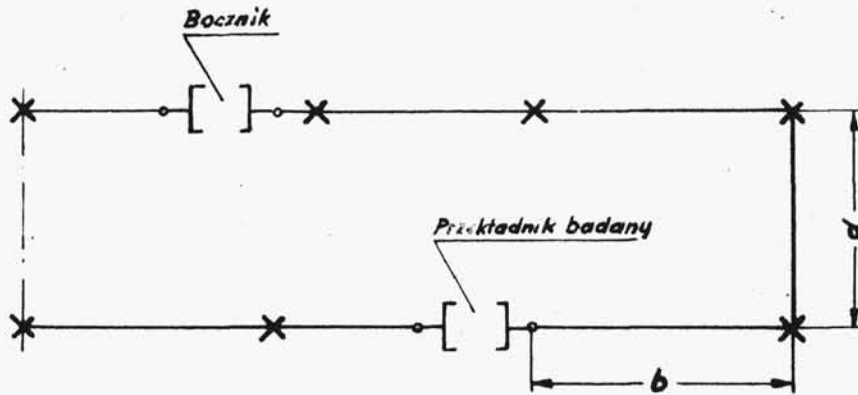
2. P o m i a r y

W ćwiczeniu przeprowadza się badanie zwarciovwej wytrzymałości dynamicznej przekładnika prądowego. Schemat elektryczny układu probierczego przedstawiono na rys.72. Badany przekładnik umieszczony jest w części wielkoprądowej obwodu probierczego w sposób przedstawiony na rys.73. Odległości b) i d) obwodu probierczego należy dobrać wg zasad podanych w punkcie poprzednim, na podstawie znajomości napięcia znamionowego badanego przekładnika. Zgodnie z podanymi uprzednio wymaganiami próby należy wykonać w dwóch seriach:

- z uzwojeniem wtórnym zwartym,
- z uzwojeniem wtórnym, obciążonym największą dopuszczalną mocą przekładnika (jest to zwykle wartość dopuszczalna dla klasy dokładności 3).

Dla każdej z wymienionych badań należy przeprowadzić kilka (4-6) prób, rozpoczynając od stosunkowo małych wartości prądu probierczego i następnie podnosząc tę wartość aż do uzyskania

prądu szczytowego odpowiadającego znamionowej wytrzymałości dynamicznej badanego przekładnika. Dla zwykłego wykonania przekładnika $i_{\text{prob}} = 240 J_n$, gdzie J_n - prąd znamionowy przekładnika. Czas trwania próby powinien wynosić 0,1 - 0,2 sek.



Uwaga: Tor wieloprądowy wykonany szyną Cu
o wymiarach
X - Izolatory wsporcze

Rys.73. Szkic części wieloprądowej obwodu probierczego do prób zwarciovych przekładników prądowych

Wartość prądu szczytowego reguluje się przez zmianę oporności dławika L tzn. składowej okresowej prądu. Faza napięcia w momencie zwarcia obwodu powinna być stała i dobrana w taki sposób, aby w obwodzie osiągnięty był najwyższy możliwy do uzyskania współczynnik uderu.

Podczas prób należy mierzyć i rejestrować za pomocą oscylografu pętlicowego;

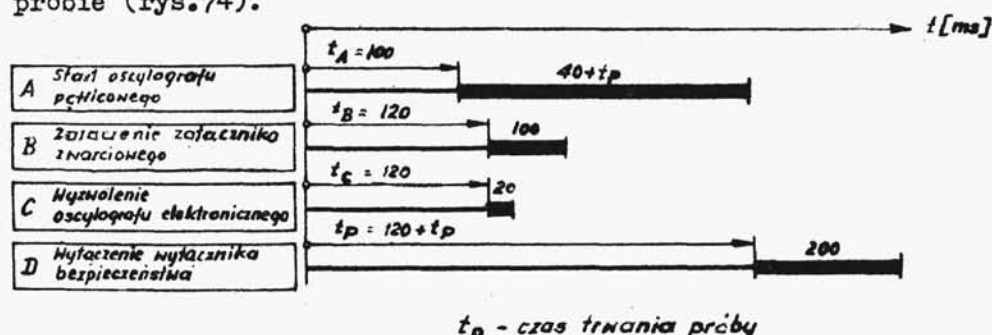
- prąd pierwotny (i_1) - pomiar bocznikiem wieloprądowym,
- prąd wtórny (i_2) - pomiar typowym bocznikiem,
- napięcie pierwotne (u_1) - pomiar bezpośredni.

Ponadto podczas prób z obciążeniem należy rejestrować za pośrednictwem oscylografu elektronicznego z jednokrotnie wyzwalaną podstawą czasu przebieg napięcia na uzwojeniu wtórnym u_2 (pomiar wysokooporowym dzielnikiem). Prędkości zmian napięcia są w tych przypadkach tak duże, że rejestracja oscylografem pętlicowym wywołuje uchyby dochodzące do kilkudziesięciu procent, co powoduje konieczność stosowania oscylografu elektronicznego.

U w a g a 1: Wszystkie układy do pomiaru prądów i napięć powinny być przed próbami wyskalowane wg zasad opisanych w punkcie 2.2.6. Stałe służące do odczytywania wartości mierzonych należy wyznaczyć opierając się na oscylogramach skalowania.

U w a g a 2: Wartość szczytową prądu pierwotnego należy odczytywać z oscylogramu po każdej próbie i opierając się o nią dokonywać dalszego nastawiania, aż do uzyskania prądu odpowiadającego znamionowej wytrzymałości dynamicznej.

Przebieg próby sterowany jest samoczynnie za pomocą nastawnika czasowego (impulsatora), który powoduje uruchomienie wszystkich aparatów rozdzielczych i pomiarowych biorących udział w próbie (rys.74).



Rys.74. Diagram programu próby zwarciowej przekładnika prądowego

Przed przystąpieniem do prób zwarciowych przekładnika należy przeprowadzić pomiary kontrolne obejmujące sprawdzenie wartości uchybów oraz stanu izolacji głównej uzwojenia pierwotnego i wtórnego.

Po próbach badany przekładnik należy poddać próbom kontrolnym analogicznie jak przed próbami. Poza wymienionymi pomiarami kontrolnymi przekładnik powinien przejść ponadto próbę biegu jałowego. W ćwiczeniu próby tej - z uwagi na ograniczenie czasu trwania ćwiczenia - nie przeprowadza się. Z tej samej przyczyny, próby przeprowadza się jedynie na pojedynczym egzemplarzu przekładnika; należy jednakże pamiętać, że atestowe próby typu wymagają przeprowadzenia badań na dwóch egzemplarzach badanego typu aparatu.

U w a g a: Podczas badań przekładników z izolacją papiero-
wo-olejową pomiędzy kolejnymi próbami należy sprawdzać mecha-
niczny stan uzwojeń, a ewentualnie spostrzeżone przesunięcia
notować w protokole pomiarów.

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 $U_{n1} = \dots$ kV $J_n = \dots$ A
 $i_{dyn} = \dots$ $J_n = \dots$ kA $J_{1sek} = \dots$ $J_n = \dots$ kA
 $S_{max} = \dots$ VA.

B. Parametry obwodu probierczego

$b = \dots$ mm $d = \dots$ mm.

Połączenia obwodu wykonane szyną Cu o wymiarach
 $\dots \times \dots$ mm².

C. Parametry elementów układu pomiarowego

a) do rejestracji przebiegów zastosowano oscylograf pę-
tlicowy typu, prędkość rejestracji m/sek,

b) do pomiaru prądu i_1 zastosowano:
bocznik o oporności
pętlicę typu, $i_{max} = \dots$ mA, $f_0 = \dots$ Hz, $R_d = \dots \Omega$,

c) do pomiaru prądu i_2 zastosowano:
bocznik o oporności
pętlicę typu, $i_{max} = \dots$ mA, $f_0 = \dots$ Hz, $R_d = \dots \Omega$,

d) do pomiaru napięcia u_1 zastosowano:
pętlicę typu, $i_{max} = \dots$ mA, $f_0 = \dots$ Hz, $R_d = \dots \Omega$,

e) do pomiaru napięcia u_2 zastosowano:
dzielnik napięcia o oporności całkowitej k Ω i
przekładni, oscylograf elektroniczny typu

D. Tablica wyników badań

Lp.				
Wartość obciążenia S	VA			
Nr oscylogramu	-			
Największa wartość prądu i_{1max}	kA			
Oscylogram skalowania prądu i_1 nr	-			
Czas przepływu prądu t_z	sek			
Największa wartość prądu i_{2max}	A			
Wartość skuteczna J_2	A			
Oscylogram skalowania prądu i_2 nr	-			
Największa wartość napięcia u_{1max}	V			
Oscylogram skalowania napięcia u_1 nr	-			
Największa wartość napięcia u_{2max}	V			
Oscylogram skalowania napięcia u_2 nr	-			
Uwagi	-			

Oscylogram skalowania i_1 nr ... odpowiada wartości prądu...kA

Oscylogram skalowania i_2 nr ... odpowiada wartości prądu ...kA

Oscylogram skalowania u_1 nr ... odpowiada wartości napięcia...V

Oscylogram skalowania u_2 nr ... odpowiada wartości napięcia...V

E. Wyniki prób kontrolnych wykonanych przed i po próbach zwarciovych

1. Zestawienie wyników badań stanu izolacji

Lp.	Rodzaj badań	Warto- ści wy- magane	Warto- ści po- mierzo- ne	Wyniki prób wykona- nych	
				przed próbami zwarcio- wymi	po pró- bach zwar- ciowych
1	Próby wytrzyma- łości elektr. nap. zmiennym 50 Hz Izolacji uzw. pierwotnego względem ziemi i uzwojenia wtórnego	... kV	... kV
2	Izolacji uzwo- jenia wtórnego względem ziemi	... kV	... kV

2. Zestawienie wyników sprawdzenia dokładności przy pracy nor-
malnej ($\cos \varphi = 0,8 \text{ ind}$)

Lp	J ₁ S %VA	1 rdzeń				2 rdzeń			
		Przed pró- bami zwar- ciowymi		Po próbach zwarcio- wych		Przed pró- bami zwar- ciowymi		Po próbach zwarcio- wych	
		Δi	δ_i	Δi	δ_i	Δi	δ_i	Δi	δ_i
-		%		%		%		%	

4. Opracowanie pomiarów i dyskusja
wyników

A. Otrzymane z prób oscylogramy należy odczytać wpisując odpowiednie wartości prądów, napięć i czasów do tabeli wyników pomiarów.

U w a g a: Skuteczne wartości prądu wtórnego wyznacza się na zasadzie wzoru Simpson'a.

B. Opierając się na przebiegu prób oraz na wynikach pomiarów kontrolnych po próbach należy podsumować wyniki całego badania i określić znamionową wytrzymałość dynamiczną badanego przekładnika. Przy ocenie wyników pomiarów kontrolnych szczególną uwagę należy zwrócić na porównanie wartości uchybów przekładnika przed i po próbach zwarciovych.

C. Opierając się na danych tabeli wyników przedstawić wykresnie zależności $i_{2\max} = f(i_{1\max})$ oraz $J_2 = f(i_{1\max})$ dla prób z uzwojeniem wtórnym zwartym oraz obciążonym. Ponadto wykreślić zależność $u_{2\max} = f(i_{1\max})$ dla prób z obciążeniem. Przeanalizować wpływ wartości i_2 i u_2 na warunki pracy zwarciowej elementów prądowych aparatów i przyrządów zasilanych z przekładników (uzwojenia prądowe amperomierzy, watomierzy itp.).

Ćwiczenie 1.3. Badania wytrzymałości zwarciowej odłączników w.n.

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

Badania wytrzymałości zwarciowej odłączników w.n. obejmują sprawdzenie wytrzymałości dynamicznej i cieplnej aparatu. Wytrzymałość dynamiczna określona jest wartością prądu szczytowego, którą odłącznik wytrzymuje bez uszkodzeń. Próba ta jest sprawdzianem wytrzymałości mechanicznej poszczególnych elementów odłącznika (izolatorów, cięgien, części przewodzących), jak również pozwala na zbadanie odporności zestyków na aczepianie.

Wartości liczbowe prądu szczytowego odpowiadającego znamionowej wytrzymałości dynamicznej, zależne są od wartości prądu znamionowego badanego odłącznika i mocy zwarciowej układu w którym odłącznik ma być instalowany, jak również w pewnym stopniu od napięcia znamionowego. Dokładne wartości liczbowe ustalone są przez przepisy (L 4).

Sprawą dość istotną, a jednocześnie wymagającą pewnego wyjaśnienia jest zagadnienie układów probierczych stosowanych do prób zwarciovych odłączników. Odłączniki wysokiego napięcia (szczególnie dla średnich napięć), wykonywane są z reguły jako trójbiegunowe, w związku z czym powinny być badane w trój-