

1. Cel ćwiczenia

Poznanie metody sprawdzania dokładności indukcyjnych przekładników prądowych. Wyznaczenie wartości błędów prądowego i kąтового przy różnych wartościach skutecznych prądu pierwotnego i obciążenia oraz współczynnika oraz obciążenia obwodu wtórnego (moc pozorna i współczynnik mocy). Wyjaśnienie przyczyn zmian wartości błędów. na podstawie schematu zastępczego i wykresu wskazowego. Określenie klasy dokładności badanego indukcyjnego przekładnika prądowego. zgodnie z normą PN-EN 61869-2.

2. Podstawy teoretyczne

Przekładnik prądowy jest to jednofazowy transformator małej mocy pracujący w warunkach zbliżonych do stanu zwarcia, w którym prąd wtórny w normalnych warunkach pracy jest praktycznie proporcjonalny do prądu pierwotnego, a jego faza różni się od fazy prądu pierwotnego o kąt, który jest bliski zeru. Przekładnik umożliwia z zadaną klasą dokładności transformację prądów o wysokich wartościach na prądy o wartościach dostosowanych do obwodów pomiarowych lub zabezpieczeniowych niskiego napięcia przyłączonych do jego strony wtórnej (5 A, 1 A). Przekładnik prądowy zapewnia również separację galwaniczną przyłączonych urządzeń pomiarowych \ zabezpieczeniowych od sieci elektroenergetycznej. Indukcyjny przekładnik pomiarowy w wyniku nasycenia obwodu magnetycznego zabezpiecza w stanach awaryjnych aparaturę przyłączoną do obwodu wtórnego przed uszkodzeniem w wyniku przepływu prądu o zbyt dużej wartości. Współczynnik bezpieczeństwa przyrządu (FS5 lub FS10) określa stosunek znamionowego prądu pierwotnego bezpiecznego przyrządu do znamionowego prądu pierwotnego. Współczynnik ten podaje jaką krotność wartości skutecznej znamionowego prądu pierwotnego stanowi wartość skuteczna minimalnego prądu pierwotnego, przy którym błąd całkowity przekładnika prądowego do pomiarów jest równy lub większy niż 10% (przy obciążeniu znamionowym). Przekładnik do zabezpieczeń jest natomiast charakteryzowany przez znamionowy graniczny prąd pierwotny, który określa wartość skuteczną prądu pierwotnego, do której przekładnik spełnia wymagania normy PN-EN 61869-2 w zakresie wartości błędu całkowitego, tzn. jest on mniejszy lub równy 5% (10%). Współczynnik graniczny dokładności ALF (dawniej liczba przetężeniowa), określa stosunek znamionowego granicznego prądu pierwotnego do prądu znamionowego. Znormalizowanymi współczynnikami granicznymi dokładności są: 5, 10, 15, 20 i 30.

2.1. Wielkości charakteryzujące przekładniki prądowe

Podstawowe wielkości charakteryzujące przekładniki prądowe są ustalone przez normę PN-EN 61869-2. Według tej normy są to przede wszystkim: prąd znamionowy pierwotny i wtórny, moc znamionowa, wartości graniczne błędów i klasa dokładności oraz wytrzymałość elektryczna izolacji i dopuszczalne przyrosty temperatur uzwojeń. Znamionowy poziom izolacji przekładnika określany jest jako kombinacja trzech znormalizowanych napięć (najwyższego dopuszczalnego napięcia, probierczego udarowego łączeniowego i probierczego udarowego piorunowego), charakteryzujących izolację przekładnika pod względem jej wytrzymałości dielektrycznej. Najwyższe napięcie robocze U_m , określa największą wartość skuteczną napięcia międzyprzewodowego, które może występować w normalnych warunkach pracy i dla którego została zaprojektowana izolacja przekładnika. Wartości napięć probierczych są określone w normie PN-EN 61869-1 dla najwyższego napięcia roboczego. Przykładowo, jeżeli napięcie znamionowe przekładnika wynosi 220 kV

to jego znamionowy poziom izolacji wynosi 245 kV / 460 kV / 1050 kV. Moc znamionowa określana jest natomiast jako wartość graniczna obciążenia, przy którym przekładnik prądowy pracujący w warunkach znamionowych (prąd, częstotliwość) zachowuje swoje właściwości metrologiczne wynikające z klasy dokładności.

Ponadto, w normie PN-EN 61869-2 zdefiniowana jest także znamionowa przekładnia K_{In} określająca stosunek znamionowego prądu pierwotnego I_{1n} do znamionowego prądu wtórnego I_{2n} :

$$K_{In} = \frac{I_{1n}}{I_{2n}} \quad (1)$$

Rzeczywistą przekładnię K_I wyznacza stosunek rzeczywistej wartości skutecznej prądu pierwotnego I_1 do rzeczywistej wartości skutecznej prądu wtórnego I_2 :

$$K_I = \frac{I_1}{I_2} \quad (2)$$

Klasa dokładności przekładnika prądowego warunkuje, dopuszczalne według normy, graniczne wartości błędów prądowego ΔI (ozn. w normie ε) i kąтового δ_I (ozn. w normie $\Delta\varphi$). Błąd prądowy wynika z różnicy między przekładnią znamionową, a przekładnią rzeczywistą przekładnika prądowego. Obliczany jest na podstawie zależności (3), jako procentowa różnica wartości skutecznych prądu wtórnego, pomnożonego przez znamionową przekładnię przekładnika prądowego, i prądu pierwotnego, odniesiona do prądu pierwotnego.

$$(\varepsilon) \Delta I = \frac{K_{In} I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100\% \quad (3)$$

Błąd kątowy jest to kąt między wektorem prądu pierwotnego o przesunięciu fazowym φ_1 względem początku układu współrzędnych i odwróconym o 180° wektorem prądu wtórnego o przesunięciu fazowym φ_2 , wyrażony w minutach lub centyradianach. Błąd kątowy jest dodatni, jeśli odwrócony o 180° wektor prądu wtórnego wyprzedza wektor prądu pierwotnego.

$$(\Delta\varphi) \delta_I = \varphi_2 - \varphi_1 \quad (4)$$

Znormalizowanymi klasami dokładności przekładników do pomiarów są klasy: 0,1 – 0,2 – 0,5 – 1,0 - 3,0 oraz klasy specjalne 0,2s i 0,5s.

Tabela 1: Klasy dokładności indukcyjnych przekładników prądowych pomiarowych według normy PN-EN 61869-2

Kl. dok.	Błąd prądowy [%]				Błąd kątowy [min]			
	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	±0,4	±0,2	±0,1	±0,1	±15	±8	±5	±5
0,2	±0,75	±0,35	±0,2	±0,2	±30	±15	±10	±10
0,5	±1,5	±0,75	±0,5	±0,5	±90	±45	±30	±30
1	±3,0	±1,5	±1,0	±1,0	±180	±90	±60	±60

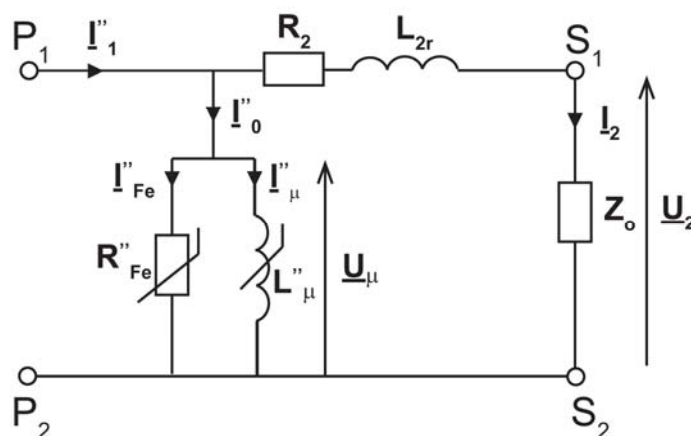
Tabela 2: Specjalne klasy dokładności indukcyjnych przekładników prądowych według normy PN-EN 61869-2

Kl. dok.	Błąd prądowy [%]					Błąd kątowy [min]				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0,2s	±0,75	±0,35	±0,2	±0,2	±0,35	±30	±15	±10	±10	±10
0,5s	±1,5	±0,75	±0,5	±0,5	±0,75	±90	±45	±30	±30	±30

Badania dokładności wykonuje się dla obciążenia znamionowego przekładnika oraz dla obciążenia o wartości 25% obciążenia znamionowego przy 5%, 20%, 100% i 120% znamionowego prądu pierwotnego oraz przy 150% lub 200% znamionowego prądu pierwotnego w przypadku rozszerzonego zakresu prądowego.

2.2. Schemat zastępczy i jego parametry

Schemat zastępczy przekładnika prądowego przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat zastępczy przekładnika prądowego

Na schemacie tym zastosowano następujące oznaczenia (symbole z dwiema kreskami (bis) oznaczają wielkości sprowadzone do obwodu wtórnego): I''_1 – prąd pierwotny przeliczony na stronę wtórną, I_2 – prąd wtórny, I''_0 – prąd stanu jałowego przeliczony na stronę wtórną, I''_μ – prąd magnesujący przeliczony na stronę wtórną, I''_{Fe} – prąd odwzorowujący straty w rdzeniu przeliczony na stronę wtórną, R''_{Fe} – rezystancja odwzorowująca straty w rdzeniu przeliczona na stronę wtórną, L''_μ - indukcyjność główna rdzenia przekładnika przeliczona na stronę wtórną, R_2 – rezystancja uzwojenia wtórnego, L_{2r} - indukcyjność rozproszenia uzwojenia wtórnego, U_μ – napięcie na rdzeniu, U_2 – napięcie wtórne, Z_0 – impedancja obciążenia.

Dla schematu zastępczego z rysunku 1 prąd wtórny przekładnika prądowego może zostać wyznaczony na podstawie zależności:

$$I_2 = I''_1 - I''_0 \quad (5)$$

Charakterystyki magnesowania i strat mocy czynnej w rdzeniu umożliwiają wyznaczenie wartości skutecznych prądów I_{Fe} i I_{μ} oraz obliczenie prądu jałowego I_0 :

$$I_{Fe}'' = \frac{P_{Fe}}{U_2} \quad (6)$$

$$I_{\mu}'' = \frac{H_m l_{Fe}}{\sqrt{2} z_1} \quad (7)$$

$$I_0'' = \sqrt{I_{\mu}''^2 + I_{Fe}''^2} \quad (8)$$

$$\alpha = \arctg \frac{I_{Fe}''}{I_{\mu}''} \quad (9)$$

P_{Fe} – straty mocy czynnej w rdzeniu, H_m – amplituda natężenia pola magnetycznego w rdzeniu, l_{Fe} – średnia długość drogi strumienia w rdzeniu przekładnika prądowego.

Kąt ψ określa charakter obciążenia przekładnika:

$$\psi = \arccos \frac{R_0}{Z_0} \quad (10)$$

R_0 – rezystancja obciążenia Z_0 ,

W przypadku obciążenia o wartości mocy pozornej od 5 VA współczynnik mocy wynosi 0,8 ind. W przypadku obciążenia o mniejszej wartości współczynnik mocy wynosi 1.

Kąt φ charakteryzuje stosunek reaktancji uzwojenia wtórnego i jego obciążenia do ich rezystancji:

$$\varphi = \arctg \frac{X_{2r} + X_0}{R_2 + R_0} \quad (11)$$








X_0 – reaktancja obciążenia Z_0 .

Reaktancja rozproszenia uzwojenia wtórnego indukcyjnego przekładnika prądowego o rdzeniu pierścieniowym i ramkowym może zostać wyznaczona na podstawie współczynnika $\text{tg}\varphi_2$ określającego stosunek jej wartości do rezystancji uzwojenia wtórnego.

$$\text{tg}\varphi_2 = \frac{X_{2r}}{R_2} \quad (12)$$

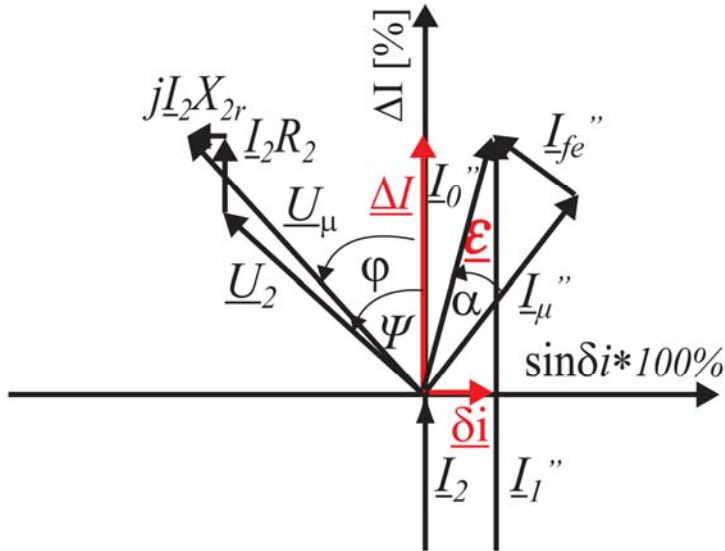
W tabeli 1 przedstawiono określone doświadczalnie wartości współczynnika $\text{tg}\varphi_2$ dla wybranych konfiguracji rozmieszczenia uzwojenia wtórnego na rdzeniu przekładnika prądowego.

Tab. 1. Określone doświadczalnie wartości współczynnika $\text{tg}\varphi_2$ dla wybranych konfiguracji rozmieszczenia uzwojenia wtórnego na rdzeniu przekładnika prądowego

Rdzeń	Układ uzwojenia wtórnego	Wartość $\text{tg}\varphi_2$
Pierścieniowy	a) 	1,75
	b) 	0,90
	c) 	0,35
	d) 	0,10
Ramkowy	e) 	1,85
	f) 	0,88
	g) 	0,39

2.3. Wykres wskazowy

Na rysunku 2, zgodnie z równaniem (5), przedstawiono wykres wskazowy indukcyjnego przekładnika prądowego dla znamionowego prądu pierwotnego i obciążenia uzwojenia wtórnego mocą 5 VA i $\cos\psi = 0,8$.



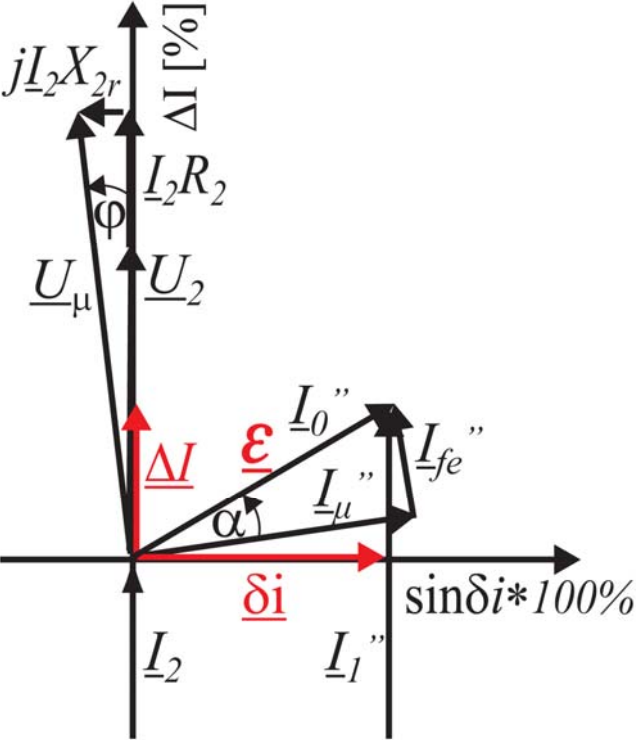
Rys. 2. Wykres wskazowy przykładowego przekładnika prądowego dla znamionowego prądu pierwotnego i obciążenia uzwojenia wtórnego mocą znamionową 5 VA i $\cos\psi = 0,8$

Wykres wskazowy z rysunku 2 umożliwia wyprowadzenie zależności określających składowe błędów prądowego i kąтового przekładnika prądowego:

$$(\varepsilon) \Delta I = -\frac{I_0'' \sin(\varphi + \alpha)}{I_1''} \cdot 100\% \tag{13}$$

$$(\Delta\varphi) \delta_i = \arctg \frac{I_0'' \cos(\varphi + \alpha)}{I_1''} \tag{14}$$

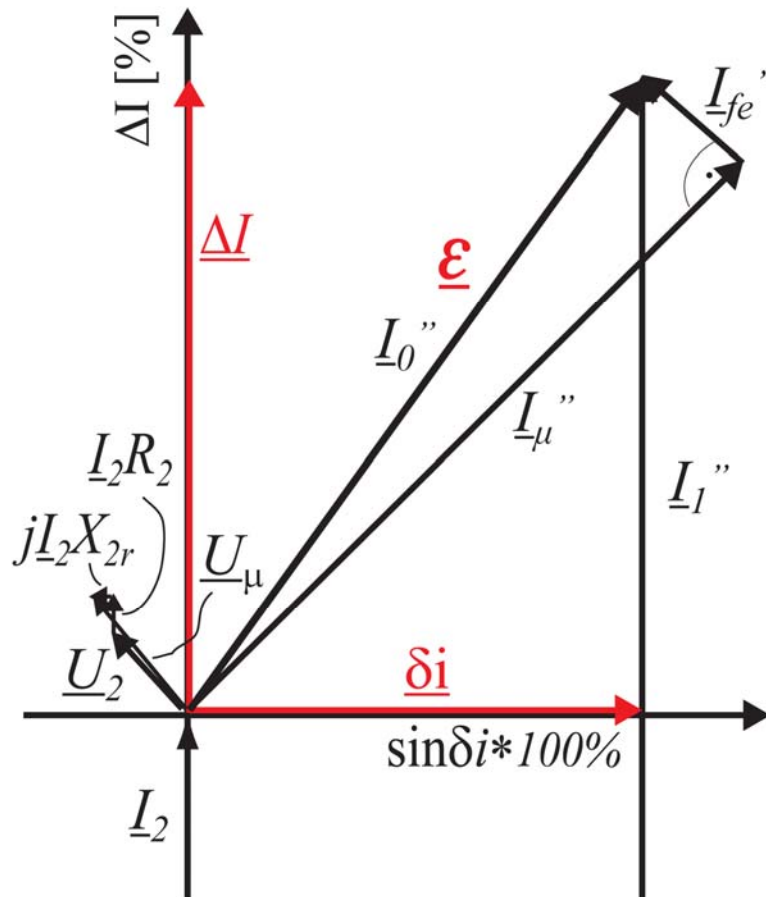
Na rysunku 3 przedstawiono wykres wskazowy tego przekładnika prądowego dla znamionowego prądu pierwotnego i obciążenia uzwojenia wtórnego mocą 5 W ($\cos\psi = 1$).



Rys. 3. Wykres wskazowy przykładowego przekładnika prądowego dla znamionowego prądu pierwotnego i obciążenia uzwojenia wtórnego mocą 5 W ($\cos\psi = 1$)

Zmiana charakteru obciążenia uzwojenia wtórnego badanego przekładnika prądowego ze względu na zmniejszenie kąta φ spowodowała wzrost wartości błędu kąтового i obniżenie wartości błędu prądowego.

Na rysunku 4 przedstawiono wykres wskazowy tego przekładnika prądowego dla prądu pierwotnego o wartości 5% znamionowego prądu pierwotnego i obciążenia uzwojenia wtórnego mocą 5 VA i $\cos\psi = 0,8$.



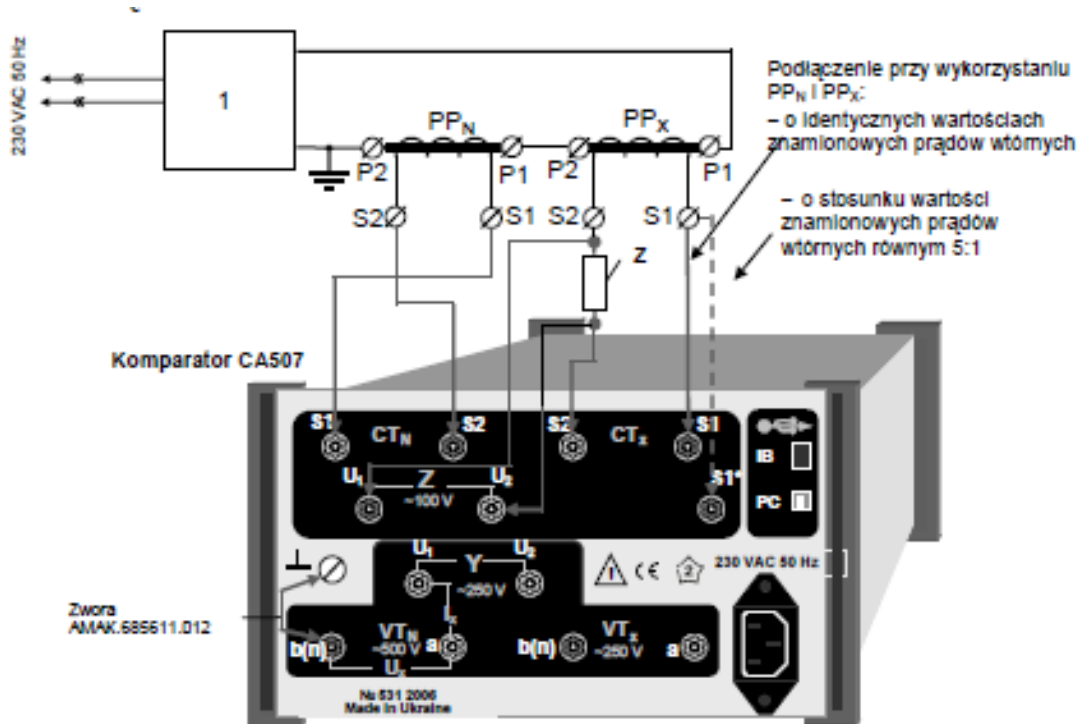
Rys. 4. Wykres wskazowy przekładnika prądowego dla prądu pierwotnego o wartości 5% znamionowego prądu pierwotnego i obciążenia uzwojenia wtórnego mocą 5 VA i $\cos\psi = 0,8$

Zmniejszenie wartości prądu pierwotnego spowodowało wzrost wartości błędu kąтового i wzrost wartości błędu prądowego analizowanego indukcyjnego przekładnika prądowego ze względu na wzrost wartości skutecznej prądu magnesującego I''_μ w stosunku do wartości skutecznej prądu pierwotnego. Zjawisko to jest spowodowane wynikającym z charakterystyki magnesowania rdzenia przekładnika prądowego obniżeniem przenikalności magnetycznej ze zmniejszeniem indukcji magnetycznej.

3. Badania laboratoryjne

3.1. Układ pomiarowy

Schematu połączeń mostka typu CA507 przygotowanego do sprawdzania dokładności przekładników prądowych.



1 - źródło prądu, składające się z regulatora napięcia i transformatora;
 PP_N - przekładnik wzorcowy, PP_X - przekładnik badany, Z - obciążenie uzwojenia wtórnego badanego przekładnika.

3.2. Badane indukcyjne przekładniki prądowe

Zapisać dane znamionowe badanych przekładników i przekładnika wzorcowego.

3.3. Wyniki badań

Wyznaczyć błąd prądowy i kątowy badanych indukcyjnych przekładników prądowych dla przewidzianych według normy wartości prądu pierwotnego, wartości obciążenia i współczynnika mocy w obwodzie wtórnym. Wyniki zamieścić w tabelach.

Przekładnik						Data:
MOC	BŁĘDY	I ₁ /I _{1n}				
cosψ		5%	20%	100%	120%	
	ΔI [%]					
	δI [min]					
	ΔI [%]					
	δI [min]					

Przekładnik						Data:
MOC	BŁĘDY	I ₁ /I _{1n}				
cosψ		5%	20%	100%	120%	
	ΔI [%]					
	δI [min]					
	ΔI [%]					
	δI [min]					

Przekładnik						Data:
MOC	BŁĘDY	I ₁ /I _{1n}				
cosψ		5%	20%	100%	120%	
	ΔI [%]					
	δI [min]					
	ΔI [%]					
	δI [min]					

Przekładnik						Data:
MOC	BŁĘDY	I ₁ /I _{1n}				
cosψ		5%	20%	100%	120%	
	ΔI [%]					
	δI [min]					
	ΔI [%]					
	δI [min]					

Przekładnik						Data:
MOC	BŁĘDY	I ₁ /I _{1n}				
cosψ		5%	20%	100%	120%	
	ΔI [%]					
	δI [min]					
	ΔI [%]					
	δI [min]					

4. Opracowanie wyników pomiarowych

Na podstawie wykonanych pomiarów wykonać wykresy zmian błędów prądowego i kąтового badanego indukcyjnego przekładnika prądowego w funkcji procentowej wartości pierwotnego prądu znamionowego i obciążenia uzwojenia wtórnego. Na podstawie schematu zastępczego i wykresu wskazowego wyjaśnić przyczyny zmian wartości błędów. Zgodnie z normą PN-EN 61869-2 określić klasy dokładności badanych przekładników.