



Politechnika Wroclawska

Ćwiczenie 5

Wydział

Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

**LABORATORIUM
PODSTAW ELEKTROTECHNIKI**

Badanie transformatora jednofazowego

Opracował: Grzegorz Wiśniewski

Zagadnienia do przygotowania

- Rodzaje transformatorów.
- Budowa i zasada działania transformatora.
- Metody badania transformatorów jednofazowych.
- Charakterystyczne parametry transformatorów.
- Podstawowe charakterystyki transformatorów.

Literatura

- [1] B. Karolewski, Z. Okraszewski, A. Szymański „Elektrotechnika Ćwiczenia laboratoryjne dla wydziałów nieelektrycznych. Skrypt PWr
- [2] Bogdan Miedziński „ELEKTROTECHNIKA Podstawy i instalacje elektryczne”
wydawnictwo WNT

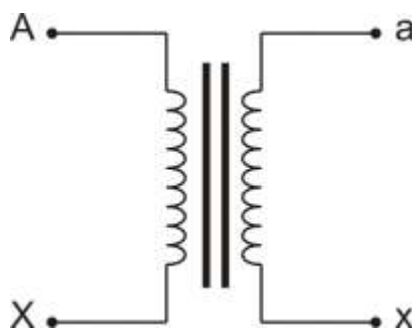
Celem ćwiczenia jest poznanie budowy i zasady działania transformatora oraz pomiarowe wyznaczenie jego podstawowych parametrów i charakterystyk.

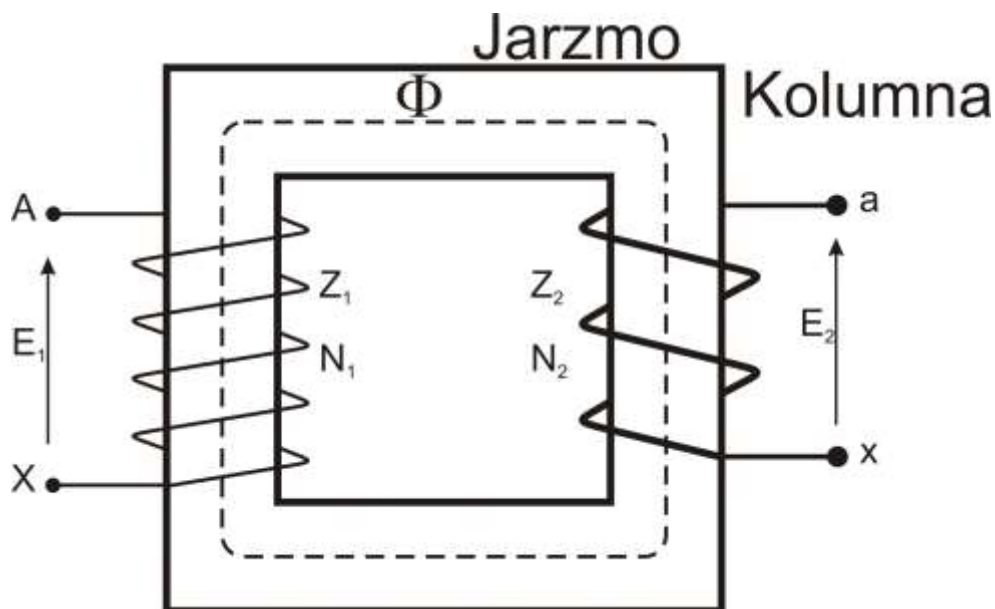
Program ćwiczenia obejmuje:

- a) pomiar parametrów transformatora w stanie jałowym,
- b) pomiar parametrów transformatora w stanie obciążenia,
- c) pomiar parametrów transformatora w stanie zwarcia.

1. Wprowadzenie

Transformator to niewirujące urządzenie elektryczne, którego podstawą działania jest przetwarzanie energii elektrycznej prądu przemiennego. W transformatorze odbywa się to poprzez transformację napięcia. Transformacja napięcia możliwa jest gdy w rdzeniu ferromagnetycznym w skutek zmiennego w czasie strumienia magnetycznego przenoszona jest energia z jednego uzwojenia do drugiego. Zamknięcie drogi magnetycznej odbywa się poprzez połączenie pakietu izolowanych nakrzemionych blach stalowych tworzących kolumny, na których nawinięte są zwoje jarzmem. Materiał ten dobiera się po to, aby zmniejszyć straty na prądy wirowe i histerezę magnetyczną. W transformatorze nie ma połączenia galwanicznego (elektrycznego) między uzwojeniami pierwotnym i wtórnym, dlatego zastosowanie mają nawet transformatory o przekładni 1:1 zwane powszechnie transformatorami separującymi lub bezpieczeństwa. Uzwojenie pierwotne podłącza się do sieci zasilającej i oznacza je jako N_1 , natomiast uzwojenie wtórne podłącza się do odbiornika i oznacza jako N_2 . Schemat połączeń pokazano na rysunku 1.1. Stosunek wartości napięcia pierwotnego do wartości napięcia wtórnego to jeden z charakterystycznych współczynników opisujących transformator i nosi nazwę przekładni.





Rys. 1.1. Schemat połączeń transformatora jednofazowego.

Po podłączeniu uzwojenia pierwotnego do źródła napięcia przemiennego o przebiegu sinusoidalnym, w rdzeniu transformatora pojawia się strumień mający również przebieg sinusoidalny $\Phi = \Phi_m \sin(\omega t)$.

Pod wpływem indukcji elektromagnetycznej w uzwojeniu pierwotnym i wtórny indukują się siły elektromotoryczne: [1]

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} = -N_1 \frac{d(\Phi_m \sin(\omega t))}{dt} = E_{1m} \sin\left(\omega - \frac{\pi}{2}\right),$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -N_2 \frac{d(\Phi_m \sin(\omega t))}{dt} = E_{2m} \sin\left(\omega - \frac{\pi}{2}\right),$$
(1.1)

Gdzie:

$$E_{1m} = N_1 \Phi_m \omega$$

$$E_{2m} = N_2 \Phi_m \omega$$

Wartości skuteczne tych sił wynoszą odpowiednio:

$$E_1 = \frac{E_{1m}}{\sqrt{2}} = \frac{N_1 \Phi_m \omega}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} N_1 \Phi_m f = 4,44 N_1 \Phi_m f,$$

$$E_2 = \frac{E_{2m}}{\sqrt{2}} = \frac{N_2 \Phi_m \omega}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} N_2 \Phi_m f = 4,44 N_2 \Phi_m f.$$
(1.2)

Przekładnia transformatora to stosunek sił elektromotorycznych w postaci:

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (1.3)$$

W transformatorze, występujące straty mocy czynnej można podzielić na:

- straty mocy w rdzeniu ΔP_{Fe} związane ze zjawiskami histerezy i pojawieniem się prądów wirowych, przy stałej częstotliwości zależą one od kwadratu napięcia sieci,
- straty mocy w uzwojeniach ΔP_{Cu} , są stratami Joule'a na rezystancji uzwojeń.

Natomiast stosunek mocy czynnej P_2 , oddawanej do odbiornika, do mocy czynnej P_1 , pobieranej z sieci nazywany jest sprawnością transformatora. [2]

Gdzie:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu}}. \quad (1.4)$$

przy $f = \text{const}$.

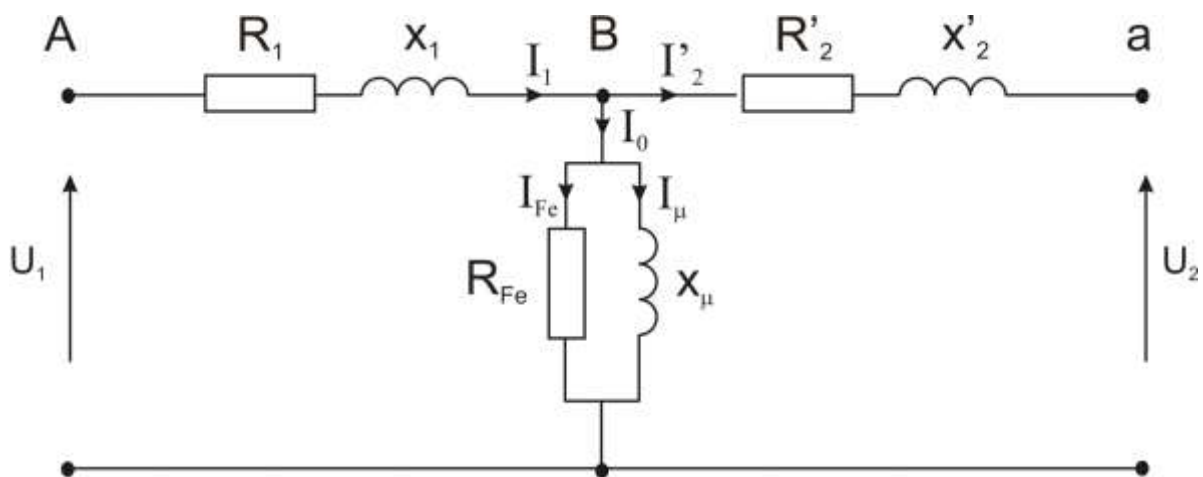
$$\Delta P_{Fe} = kU_1^2, \text{ przy } f = \text{const} \quad (1.5)$$

$$\Delta P_{Cu} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 \quad (1.6)$$

Gdzie: R_1 i R_2 to kolejno rezystancja uzwojenia pierwotnego i wtórnego.

Stosując schemat zastępczy (rys. 1.2) można przeprowadzić analizę pracy transformatora. W schemacie tym wielkości magnetyczne i zjawiska zachodzące w rdzeniu transformatora odwzorowuje się równoważnymi elementami obwodu elektrycznego natomiast sprzężenie magnetyczne zastępuje się połączeniami elektrycznymi. Należy również uwzględniając przekładnię transformatora przeliczyć (sprowadzić) parametry strony wtórnej na stronę pierwotną. Przeliczone parametry zwykle oznacza się „primem” i można je zapisać w postaci:

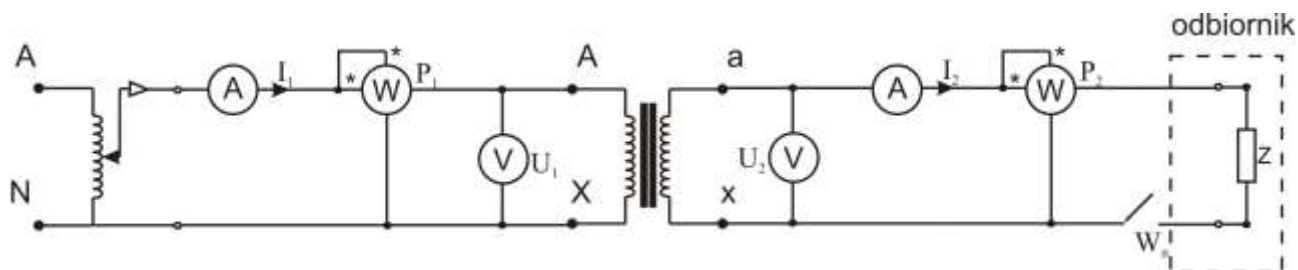
$$E_2' = \mathcal{G} E_2; I_2' = I_2 \mathcal{G}^{-1}; R_2' = R_2 \mathcal{G}^2; X_2' = X_2 \mathcal{G}^2; Z_{obc}' = Z_{obc} \mathcal{G}^2. \quad (1.7)$$



Rys. 1.2. Schemat zastępczy transformatora jednofazowego. [2]

Do opisu parametrów transformatora niezbędne są trzy stany jego pracy:

- bieg jałowy,
- obciążenie (praca normalna),
- zwarcie.



Rys. 1.3. Układ pomiarowy do badania transformatora jednofazowego.

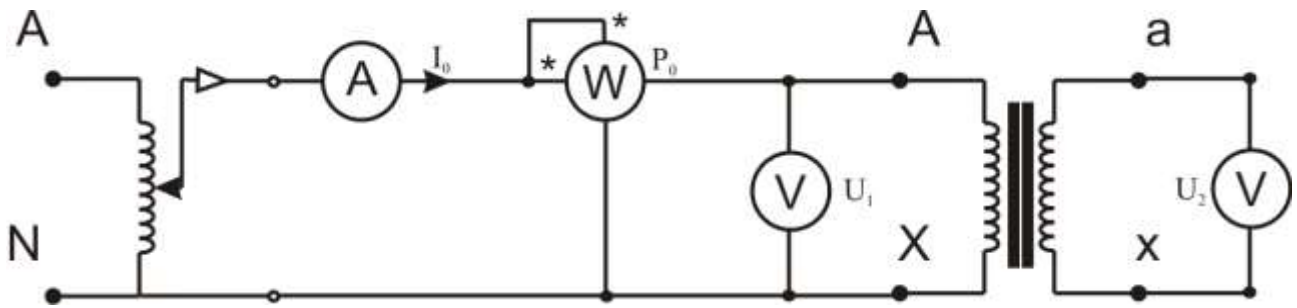
Program ćwiczenia i sposób jego wykonania

1. Pomiar parametrów transformatora w stanie jałowym:

- a) w pierwszej kolejności jeszcze przed podłączeniem układu pomiarowego należy zmierzyć mostkiem Wheatstone'a rezystancje uzwojeń R_1 i R_2 ,

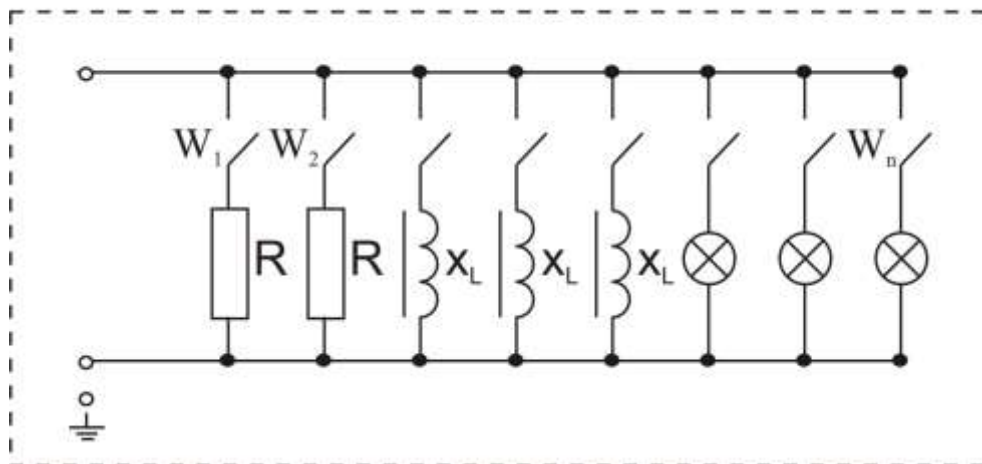
Uzwojenie pierwotne R_1	Uzwojenie wtórne R_2
[Ω]	[Ω]

- b) połączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem pokazanym na rysunku 1.4



Rys. 1.4. Układ połączeń przyrządów analogowych do badania transformatora 1-fazowego.

odbiornik



Rys. 1.5. Przykładowy schemat połączeń odbiornika 1-fazowego.

c) zwiększać autotransformatorem napięcie U_1 , aż do osiągnięcia wartości $1,1 U_n$.

Pomiary należy wykonać zaczynając od prądu biegu jałowego I_0 , następnie napięcia U_2 . Zmierzone wartości są kluczowe do ustawienia zakresu prądowego i napięciowego watomierza. Po wykonaniu tych czynności przystępujemy do pomiaru strat mocy w transformatorze dla różnych wartości napięcia U_1 . W ćwiczeniu wykonać minimum 7 pomiarów.

Wyniki pomiarów i obliczeń zestawić w tab. 1.

Tabela 1

Lp.:	U_1	I_0	U_2	P_0	ΔP_{Fe}	K	I_μ	I_{Fe}	$\cos\varphi_0$	R_{Fe}	X_μ
	[V]	[A]	[V]	[W]	[W]	[-]	[A]	[A]	[-]	[Ω]	[Ω]
1											
2											
3											
...											

Obliczenia wykujemy zgodnie z wzorami:

$$I_{Fe} = \frac{\Delta P_{Fe}}{U_1}; \Delta P_{Fe} = P_0 - I_0^2 R_1; R_{Fe} \cong \frac{U_1}{I_{Fe}}; X_{\mu} \cong \frac{U_1}{I_{\mu}}; I_{\mu} = \sqrt{I_0^2 - I_{Fe}^2}; K = \frac{U_1}{U_2};$$

$$\cos\varphi_0 = \frac{I_{Fe}}{I_0}.$$
(1.8)

2. Pomiar parametrów transformatora w stanie obciążenia:

a) pomiary wykonujemy po podłączeniu układu zgodnie z schematem pokazanym na rys. 1.3., przy włączonym obciążeniu, zwiększamy autotransformatorem (regulowanym źródłem) napięcie U_1 , aż do osiągnięcia wartości U_n . W celu zmiany charakteru obciążenia zamykać kolejno wyłączniki $W_1 \dots W_n$ (rys. 1.5.)

b) następnie wykonać pomiary dla trzech różnych obciążeń:

- rezystancyjnego,
- rezystancyjno-indukcyjnego,
- rezystancyjno-pojemnościowego.

Wyniki pomiarów zestawień w tab. 2,

Tabela 2

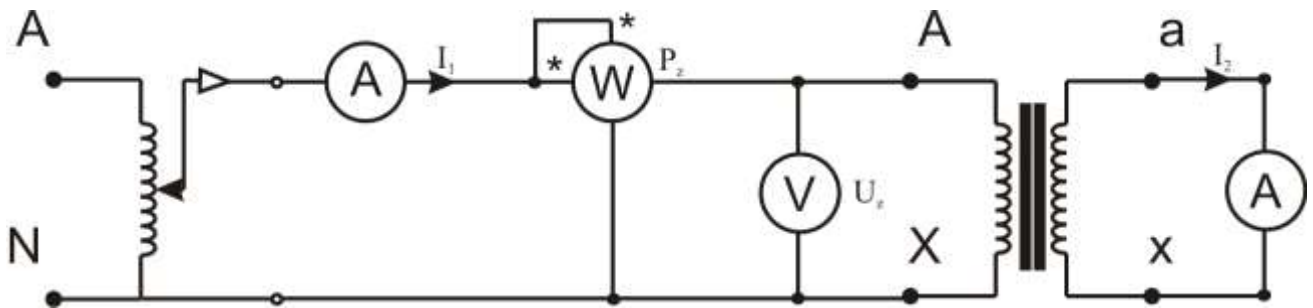
Lp.:	U_1	I_1	P_1	U_2	I_2	P_2	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	η	Rodzaj obciążenia
	[V]	[A]	[W]	[V]	[A]	[W]	[-]	[-]	[-]	[-]
1										np. $3xR_z$
2										
3										
...										

Obliczenia wykonujemy zgodnie z wzorami:

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{U_1 I_1}; \cos\varphi_2 = \frac{P_2}{U_2 I_2}; \eta = \frac{P_2}{P_1}.$$
(1.9)

3. Pomiar parametrów transformatora w stanie zwarcia:

a) pomiary wykonujemy w układzie pokazanym na rys. 1.6.,



Rys. 1.6. Układ połączeń przyrządów analogowych do badania transformatora 1-fazowego w stanie zwarcia.

- b) dobierając odpowiedni amperomierz (musi mieć zakres odpowiadający prądowi znamionowemu I_n), zwieramy nim zaciski wtórne transformatora
- c) w obwodzie pierwotny dopasowujemy zakres pomiarowy woltomierza do pomiaru napięć o wartości do 12% U_n ,
- c) dopasowujemy zakres pomiarowy watomierza do pomiaru napięć o wartości do 12% U_n oraz prądu I_n transformatora,
- d) podczas pomiarów zwiększamy powoli napięcie do wartości, przy której prądy płynące w uzwojeniach osiągną wartości, znamionowe.

W ćwiczeniu wykonać, co najmniej 5 odczytów, wyniki zestawić w tab. 3. niezbędne obliczenia wykonać zgodnie z wzorami:

$$\cos\varphi_z = \frac{P_z}{U_z I_{1n}} \quad Z_z = \frac{U_z}{I_{1n}}; \quad R_z = \frac{P_z}{I_{1n}^2}; \quad K = \frac{I_2}{I_1}; \quad X_z = \sqrt{Z_z^2 - R_z^2};$$

$$e_{z\%} = \frac{U_z}{U_{1n}} 100\% .$$
(3)

Tabela 3

Lp.:	U_z	I_1	I_2	P_z	K	$\cos\varphi_z$	Z_z	R_z	X_z	$e_{z\%}$
	[V]	[A]	[A]	[W]	[-]	[-]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[%]
1										
2										
3										
...										

3. Wykresy wektorowe i zależności funkcyjne.

Na podstawie wykonanych pomiarów i obliczeń wykonać:

a) wykres wektorowy transformatora dla stanu jałowego i wybranego stanu obciążenia,

b) zależności funkcyjne:

$$P_0 = f(U_1); I_0 = f(U_1); \cos \varphi_0 = f(U_1); P_z = f(U_2).$$