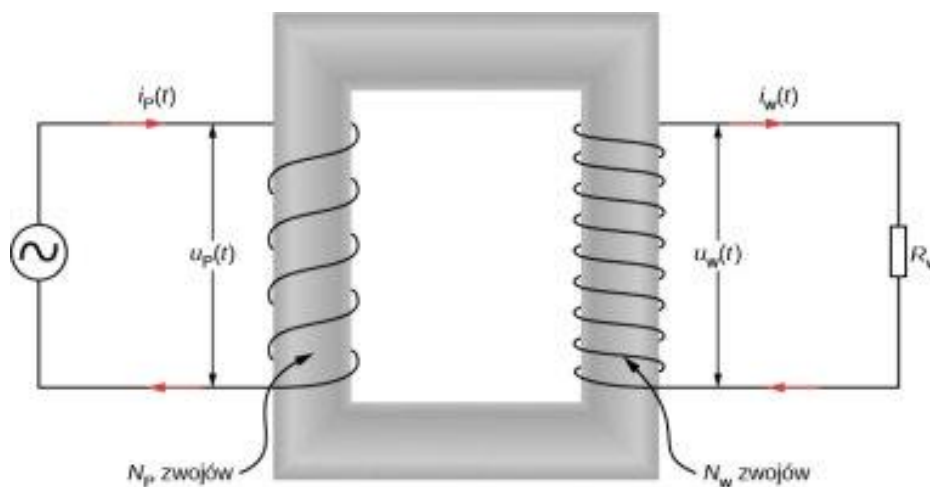


## Ćw. 38. Pomiary parametrów transformatora

### Wprowadzenie

Transformator jest to urządzenie elektryczne służące do zmiany wartości napięcia zmiennego przy zachowaniu tej samej mocy i częstotliwości. Przetwarzanie energii w transformatorze odbywa się na zasadzie indukcji elektromagnetycznej, która zachodzi w wytworzonym przez prąd zmienny polu magnetycznym. Transformatory znajdują zastosowanie przede wszystkim w energetyce (transformatory mocy), gdzie występuje potrzeba zmniejszenia strat wynikających z przesyłania energii na duże odległości. W tym celu aby zmniejszyć natężenie przesyłanego prądu podwyższa się jego napięcie, a przed dostarczeniem do źródeł zasilania odbiorców, obniża je. Transformatory jednofazowe obniżające napięcie są powszechnie stosowane dla potrzeb radiotechniki i automatyki. Oprócz nich, istnieją również transformatory trójfazowe najczęściej dużej mocy, jak również transformatory specjalne tj. pomiarowe, bezpieczeństwa, spawalnicze itp.



Rys. 1. Budowa transformatora.

Jak przedstawiono na Rys. 1, najprostszy transformator składa się z dwóch oddzielnych cewek nawiniętych na wspólny rdzeń ferromagnetyczny, wykonany najczęściej z pakietu cienkich blach. Z materiału ferromagnetycznego. Blachy są odizolowane wzajemnie (np. papierem lub lakierem) w celu zmniejszenia strat mocy czynnej, pochodzących od prądów wirowych i strat na histerezę magnetyczną, a tym samym w celu ograniczenia nadmiernego nagrzewania się rdzenia. Uzwojenie pierwotne posiada  $N_p$  zwojów i podłączone jest do źródła napięcia zmiennego  $U_p(t)$ . Uzwojenie wtórne ma  $N_w$  zwojów i podłączone jest do obciążenia  $R_w$ . Zmienny w czasie strumień pola magnetycznego generuje zmiennie w czasie pole elektryczne, które jest widoczne w postaci zmiennego w czasie napięcia siły elektromotorycznej (SEM). Wykorzystujemy tu prawo indukcji elektromagnetycznej Faradaya. W idealnym przypadku wszystkie linie pola magnetycznego, czyli cały strumień, są zawarte w rdzeniu (ten sam strumień pola magnetycznego przepływa przez każdą z pętli uzwojenia wtórnego i pierwotnego). Pomijamy również straty z powodu histerezy

magnetycznej, związanej z każdorazowym przemagnesowywaniem ferromagnetycznego rdzenia w cyklu, gdy SEM zmienia znak, a także ciepło wydzielane z powodu oporu w uzwojeniach i ciepło wydzielane z powodu prądów wirowych indukowanych w rdzeniu.

Jeśli zaciski uzwojenia pierwotnego zostaną zasilone napięciem sinusoidalnie zmiennym o częstotliwości  $f$ , o sile elektromotorycznej

$$E = E_m \sin \omega t.$$

w uzwojeniu pierwotnym popłynie prąd. Prąd ten wywoła w rdzeniu zmienny strumień magnetyczny  $\Phi$ , dzięki któremu indukują się siły elektromotoryczne w obu uzwojeniach. Strumień ten jest sinusoidalnie zmienny i można go wyrazić wzorem

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t.$$

Jeśli do zacisków uzwojenia wtórnego przyłączymy jakikolwiek odbiornik, to w zamkniętym obwodzie tego uzwojenia popłynie prąd przemienny.

Z prawa Faradaya wynika, że siła elektromotoryczna przypadająca na jeden zwój

$$\varepsilon = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{U_p}{N_p} = \frac{U_w}{N_w}$$

Z powyższego otrzymamy

$$\frac{U_p}{U_w} = \frac{N_p}{N_w} = n \quad (1)$$

Gdzie  $n$  nazywamy przekładnią transformatora.

W transformatorze idealnym moc przekazywana z uzwojenia pierwotnego do uzwojenia wtórnego jest taka sama co można zapisać

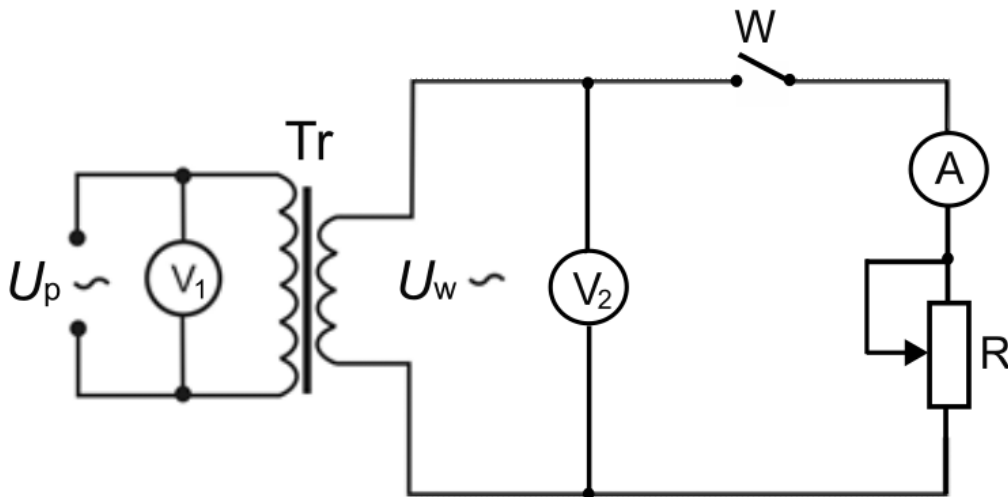
$$U_p I_p = U_w I_w$$

$$\frac{I_w}{I_p} = n \quad (2)$$

Przy stałej wartości napięcia  $U_p$ , napięcie uzwojenia wtórnego  $U_w$  w praktyce zmienia nieco się wraz z jego obciążeniem, a zależność  $U_w = f(I_w)$  nazywa się charakterystyka zewnętrzną transformatora. Spadek napięcia na uzwojeniu wtórnym wraz ze wzrostem prądu obciążenia wynika z tego, iż jak każde źródło siły elektromotorycznej, również transformator, nie jest źródłem idealnym i można mu przypisać pewną oporność wewnętrzną. Straty mocy czynnej transformatora wynikają głównie od prądów wirowych powstających w rdzeniu, strat na histerezę magnetyczną czy też wynikające rezystancji uzwojeń transformatora. Te czynniki powodują to, że transformator nagrzewa się, co powoduje, że stosunek mocy wyjściowej do wejściowej, zwany sprawnością transformatora jest nieco niższy niż 100%.

## Metoda pomiaru

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie przekładni transformatora oraz wykonanie jego charakterystyki zewnętrznej. W celu wykonania zadania należy wykorzystać przyrządy połączone wg. schematu przedstawionego na Rys. 2, gdzie Tr to transformator badany,  $V_1$  – woltomierz mierzący napięcie skuteczne  $U_p$  na uzwojeniu pierwotnym,  $V_2$  – woltomierz mierzący napięcie skuteczne  $U_w$ , na uzwojeniu wtórnym natomiast A to amperomierz mierzący skuteczne natężenie prądu  $I_w$  na uzwojeniu wtórnym. R jest rezystorem nastawnym stanowiącym obciążenie transformatora.



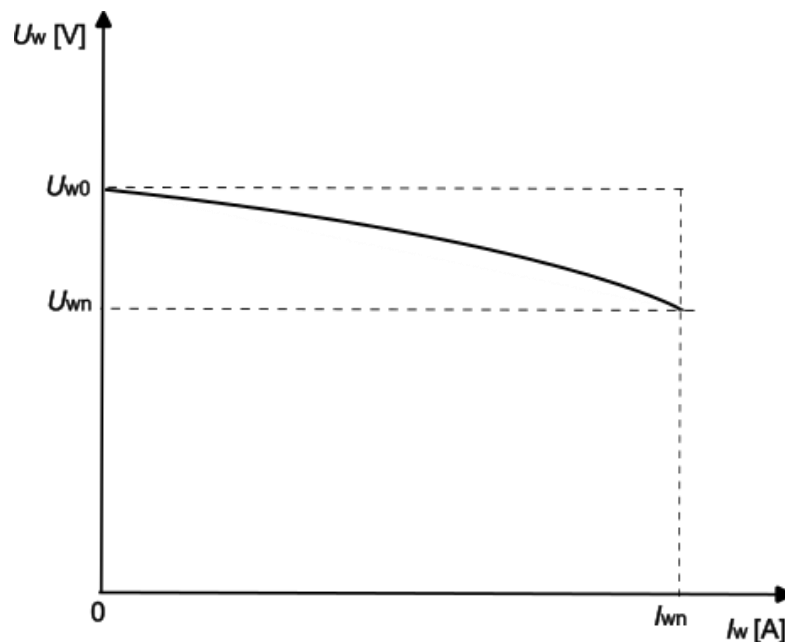
Rys. 2. Schemat układu do pomiaru parametrów transformatora.

Przekładnię transformatora definiujemy

$$p = \frac{U_p}{U_w} \quad (3)$$

gdzie  $U_p$  i  $U_w$  to odpowiednio napięcie na uzwojeniu pierwotnym i wtórnym transformatora Tr w stanie jałowym (otwarty włącznik W). Znając napięcie  $U_p$ , które mierzymy woltmierzem  $V_1$  oraz napięcie  $U_w$  mierzone woltmierzem  $V_2$  można wyznaczyć przekładnię transformatora  $p$  (patrz Rys. 2).

Charakterystyka zewnętrzną transformatora  $U_w = f(I_w)$  wykonujemy w stanie obciążenia transformatora.



Rys. 3 Charakterystyka zewnętrzną transformatora

Współczynnik zmienność napięcia wyjściowego wyliczamy z wzoru:

$$\sigma = \frac{U_{w0} - U_{wn}}{U_{w0}} 100\% , \quad (4)$$


gdzie  $U_{w0}$  to napięcie na uzwojeniu wtórnym w stanie jałowym, a  $U_{wn}$  to napięcie na uzwojeniu wtórnym w stanie obciążenia znamionowego. Należy przypomnieć, że większość mierników napięcia i prądu zmiennego mierzy ich wartości skuteczne, które są równe amplitudzie podzielonej przez  $\sqrt{2}$ .

## Wykonanie zadania

### Zadanie 1. Wyznaczanie przekładni transformatora

1. Przyrządy połączyć wg. schematu przedstawionego na rysunku 2. Uzwojenie pierwotne podłączamy wtyczką do sieci 230 V, a wtórne to zaciski: 0-1, 0-2 lub 0-3. Woltomierza  $V_1$  nie podłączamy do układu.
2. Woltomierzem cyfrowym  $V_1$ , służącym do pomiaru wartości skutecznej napięcia sieciowego, zmierzyc napięcie sieciowe na uzwojeniu pierwotnym transformatora US1 w dowolnym gnieździe zasilania 230 V. W przypadku, gdy to napięcie zmienia wartość, zanotować kilka z nich i obliczyć wartość średnią.
3. Przy otwartym włączniku W, woltomierzem cyfrowym  $V_2$  zmierzyc wartość skuteczną napięcia na uzwojeniu wtórnym transformatora. W przypadku, gdy i to napięcie zmienia wartość, zanotować kilka z nich i obliczyć wartość średnią.
4. Obliczyć przekładnię  $p$  transformatora z równania (3).
5. Określić niepewność pomiaru wielkości  $p$ .

### Zadanie 2. Wyznaczanie charakterystyka zewnętrznej transformatora

1. Przyrządy połączyć wg. schematu przedstawionego na rysunku 2, bez woltomierza  $V_1$ .
2. Rezystor nastawny R (zakres 20 – 330  $\Omega$ ) nastawiamy na maksymalną wartość.
3. Przy otwartym włączniku W, woltomierzem cyfrowym  $V_2$  mierzymy wartość skuteczną napięcia na uzwojeniu wtórnym transformatora w stanie jałowym. **Uwaga** – aby wyłączyć funkcję samoczynnego wyłączania się miernika UT-803 po 10 minutach pracy, należy podczas załączania go wcisnąć i przytrzymać równocześnie przyciski: RANGE i MAX MIN, (wówczas po włączeniu symbol  na wyświetlaczu zniknie).
4. Zamknąć obwód włącznikiem W i odczytać wartość skuteczną napięcia na woltomierzu  $V_2$  oraz wartość skuteczną prądu na amperomierzu A.
5. Pomiaru powyższe wykonać zmniejszając stopniowo wartość rezystancji R, aż do maksymalnego dopuszczalnego obciążenia transformatora (Wartość maksymalnego natężenia prądu  $I_{wn}$  podaje prowadzący). Wykonać minimum 8 pomiarów.
6. Sporządzić charakterystykę zewnętrzną transformatora  $U_w = f(I_w)$  i na jej podstawie obliczyć współczynnik zmienności napięcia wyjściowego  $\sigma$  z równania (4) (patrz Rys. 3).
7. Określić niepewność pomiaru współczynnika  $\sigma$ .

### Obowiązujące zagadnienia teoretyczne

1. Wielkości charakteryzujące prąd przemienny.
2. Budowa i zasada działania transformatora.
3. Parametry transformatora.

### Literatura:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy Fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, Tom III.
2. W. Pietrzyk (red), *Laboratorium z elektrotechniki*, Wydawnictwa Uczelniane PL, 2003.

Opiekun ćwiczenia: dr Jarosław Borc