

23



ELEKTRYK

Eksploatowanie transformatorów



MINISTERSTWO EDUKACJI
NARODOWEJ



Eleonora Muszyńska

**Eksploatawanie transformatorów
724[01].Z3.01**

Poradnik dla ucznia

Wydawca
Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy
Radom 2007

Recenzenci:

mgr inż. Jan Bogdan

mgr inż. Henryk Krystkowiak

Opracowanie redakcyjne:

mgr inż. Barbara Kapruziak

Konsultacja:

mgr inż. Ryszard Dolata

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 724[01].Z3.01 „Eksplataowanie transformatorów”, zawartego w modułowym programie nauczania dla zawodu elektryk 724[01].

Wydawca

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2007

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie	4
2. Wymagania wstępne	6
3. Cele kształcenia	7
4. Materiał nauczania	8
4.1. Budowa i zasada działania transformatora jednofazowego. Podstawowe parametry opisujące transformator	8
4.1.1. Materiał nauczania	8
4.1.2. Pytania sprawdzające	11
4.1.3. Ćwiczenia	11
4.1.4. Sprawdzian postępów	12
4.2. Praca transformatora w stanie jałowym, w stanie obciążenia i w stanie zwarcia. Zwarcie pomiarowe i awaryjne	14
4.2.1. Materiał nauczania	14
4.2.2. Pytania sprawdzające	16
4.2.3. Ćwiczenia	16
4.2.4. Sprawdzian postępów	19
4.3. Budowa transformatorów energetycznych	21
4.3.1. Materiał nauczania	21
4.3.2. Pytania sprawdzające	22
4.3.3. Ćwiczenia	22
4.3.4. Sprawdzian postępów	23
4.4. Transformowanie napięć i prądów w układzie trójfazowym. Układy i grupy połączeń transformatorów trójfazowych	24
4.4.1. Materiał nauczania	24
4.4.2. Pytania sprawdzające	27
4.4.3. Ćwiczenia	27
4.4.4. Sprawdzian postępów	30
4.5. Regulacja napięcia w transformatorze	31
4.5.1. Materiał nauczania	31
4.5.2. Pytania sprawdzające	32
4.5.3. Ćwiczenia	32
4.5.4. Sprawdzian postępów	33
4.6. Straty mocy i sprawność transformatora	34
4.6.1. Materiał nauczania	34
4.6.2. Pytania sprawdzające	35
4.6.3. Ćwiczenia	35
4.6.4. Sprawdzian postępów	37
4.7. Transformatory specjalne: autotransformator, przekładnik prądowy i napięciowy, transformator spawalniczy, transformator trójzwojeniowy, transformator bezpieczeństwa	38
4.7.1. Materiał nauczania	38
4.7.2. Pytania sprawdzające	40
4.7.3. Ćwiczenia	40
4.7.4. Sprawdzian postępów	42

43

4.8. Eksploatacja transformatorów. Najczęściej występujące uszkodzenia transformatorów. Zasady bezpieczeństwa i higieny pracy podczas eksploatacji transformatorów	43
4.8.1. Materiał nauczania	43
4.8.2. Pytania sprawdzające	44
4.8.3. Ćwiczenia	44
4.8.4. Sprawdzian postępów	46
5. Sprawdzian osiągnięć	47
6. Literatura	54

1. WPROWADZENIE

Poradnik, który masz przed sobą, będzie Ci pomocny w kształtowaniu umiejętności z zakresu eksploataowania transformatorów.

W poradniku zamieszczono:

- wymagania wstępne,
- szczegółowe cele kształcenia,
- materiał nauczania,
- pytania sprawdzające,
- propozycje ćwiczeń,
- sprawdziany postępów,
- przykładowy zestaw zadań testowych dla sprawdzenia efektywności kształcenia,
- literaturę

Jednostka modułowa „Eksploataowanie transformatorów” została podzielona na 8 tematów. Każdy z nich zawiera materiał nauczania, zestaw pytań sprawdzających, propozycje ćwiczeń, a także sprawdziany postępów. Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczeń odpowiedz na pytania sprawdzające. Udzielone odpowiedzi pozwolą Ci sprawdzić, czy jesteś dobrze przygotowany do wykonywania zadań.

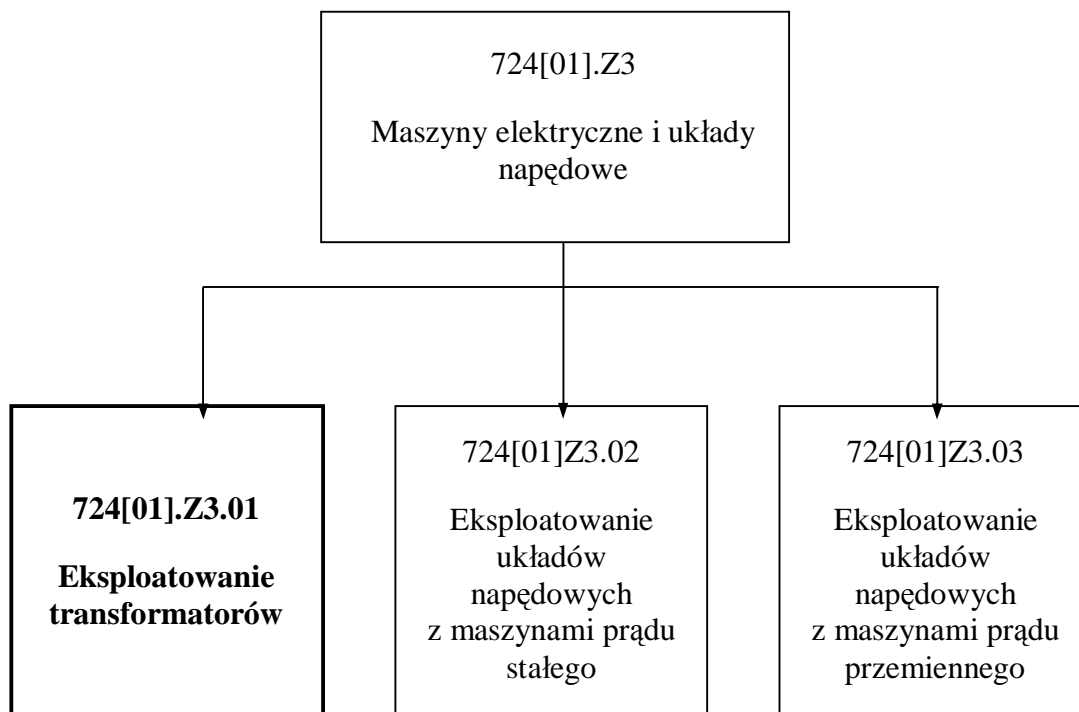
Treść programu jednostki modułowej obejmuje wiadomości i umiejętności z zakresu eksploataowania transformatorów. Szczególną uwagę należy zwrócić na:

- wykonywanie pomiarów podstawowych parametrów transformatora jednofazowego i trójfazowego z zachowaniem zasad bhp,
- opracowywanie wyników uzyskanych podczas prób i pomiarów,
- korzystanie z informacji znajdujących się na tabliczkach znamionowych transformatorów i w katalogach.

Po zakończeniu realizacji programu tej jednostki modułowej, nauczyciel sprawdzi Twoje wiadomości i umiejętności za pomocą testu pisemnego oraz testu praktycznego. Abyś miał możliwość dokonania ewaluacji swoich działań, rozwiąż przykładowy test sumujący zamieszczony na końcu poniższego poradnika.

Bezpieczeństwo i higiena pracy

W czasie pobytu w pracowni musisz przestrzegać regulaminów, przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy oraz instrukcji przeciwpożarowych, wynikających z rodzaju wykonywanych prac. Przepisy te poznasz podczas trwania nauki.



Schemat układu jednostek modułowych

2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Przystępując do realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- rozróżniać podstawowe wielkości elektryczne i ich jednostki,
- stosować ważniejsze wzory z zakresu elektrotechniki,
- charakteryzować zjawisko indukcji elektromagnetycznej,
- charakteryzować zjawiska elektrodynamiczne,
- rozróżniać materiały stosowane do budowy maszyn i urządzeń elektrycznych,
- określać właściwości materiałów przewodzących, magnetycznych, elektroizolacyjnych i konstrukcyjnych,
- czytać proste schematy i na ich podstawie analizować pracę układów elektrycznych,
- wykonywać pomiary różnych wielkości elektrycznych,
- korzystać z literatury technicznej, podręczników, norm, katalogów, przepisów budowy i eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych,
- korzystać z technologii komputerowej i informacyjnej,
- pracować w grupie i indywidualnie,
- oceniać swoje umiejętności,
- uczestniczyć w dyskusji,
- przygotowywać prezentację,
- prezentować siebie i grupę, w której pracujesz,
- stosować różne sposoby przekazywania przygotowanych informacji,
- przestrzegać przepisy bhp, ochrony przeciwpożarowej i ochrony środowiska.

3. CELE KSZTAŁCENIA

W wyniku realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

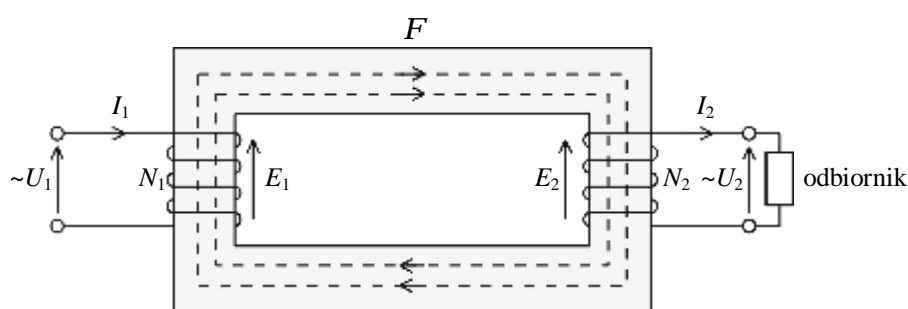
- rozróżnić transformatory ze względu na budowę i zastosowanie,
- rozpoznać elementy różnych transformatorów,
- odczytać parametry transformatorów jednofazowych i trójfazowych umieszczone na tabliczkach znamionowych oraz w katalogach,
- obliczyć podstawowe parametry różnych rodzajów transformatorów wykorzystując dane zawarte na tabliczce znamionowej,
- połączyć układy pomiarowe do badania transformatorów,
- zastosować metody pomiarowe oraz dobrać przyrządy pomiarowe,
- zmierzyć podstawowe parametry transformatora jednofazowego i trójfazowego,
- zinterpretować uzyskane wyniki pomiarów,
- zdiagnozować stan badanych elementów,
- zidentyfikować usterki transformatorów jednofazowych i trójfazowych,
- sprawdzić skuteczność ochrony od porażeń prądem elektrycznym,
- sporządzić protokół pomiarów,
- zastosować program komputerowy do obróbki wyników pomiarów,
- skorzystać z dokumentacji technicznej, katalogów i literatury zawodowej,
- zastosować zasady bezpieczeństwa i higieny pracy, ochrony od porażeń prądem elektrycznym, ochrony przeciwpożarowej oraz ochrony środowiska obowiązujące na stanowisku pracy.

4. MATERIAŁ NAUCZANIA

4.1. Budowa i zasada działania transformatora jednofazowego. Podstawowe parametry opisujące transformator

4.1.1. Materiał nauczania

Transformatory są urządzeniami służącymi do przetwarzania energii elektrycznej prądu przemiennego, o określonych wartościach napięcia i prądu, na energię elektryczną również prądu przemiennego, ale o innych (najczęściej) wartościach napięcia i prądu, przy niezmiętej częstotliwości. Przetwarzanie to odbywa się za pośrednictwem pola magnetycznego (przy wykorzystaniu rdzenia), zgodnie z zasadą indukcji elektromagnetycznej.

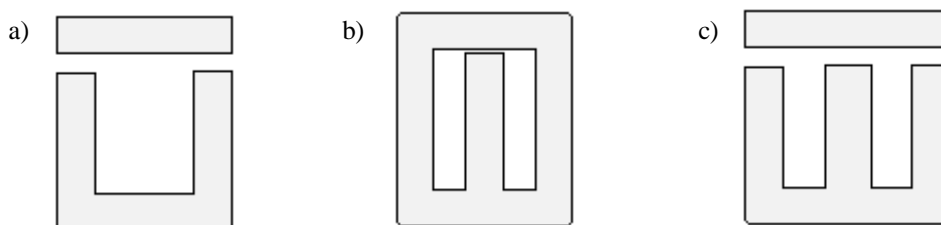


Rys. 1. Zasada budowy i działania transformatora jednofazowego [własne].

N_1 – liczba zwojów uzwojenia pierwotnego, N_2 – liczba zwojów uzwojenia wtórnego,
 U_1 – napięcie pierwotne (zasilające) [V], U_2 – napięcie wtórne [V],
 I_1, I_2 – prąd płynący w uzwojeniu pierwotnym i wtórnym [A],
 Φ – strumień magnetyczny przenikający przez rdzeń [Wb],
 E_1, E_2 – siła elektromotoryczna indukowana w uzwojeniu pierwotnym i wtórnym [V].

Do podstawowych elementów budowy transformatora zaliczamy rdzeń, pełniący rolę obwodu magnetycznego oraz uzwojenia, które stanowią dwa obwody elektryczne (rys. 1).

Rdzenie transformatorów wykonywane są (pakietowane) z blach żelazo-krzemowych o bardzo dobrych właściwościach magnetycznych. Blachy takie mają grubość około 0,3 mm i są dwustronnie izolowane lakierem. Są one pocięte na paski lub specjalne kształtki, z których składa się rdzenie w taki sposób, aby otrzymać odpowiedni kształt (kwadratowy, prostokątny lub owalny) oraz wymagany przekrój (rys. 2).



Rys. 2. Typowe wykreje blach rdzeni transformatorów jednofazowych [1, s.91]:
a) kształtka typu U-I, b) kształtka typu M, c) kształtka typu E-I.

Części rdzenia, na których mogą być nałożone uzwojenia, noszą nazwę kolumn albo inaczej słupów, a części łączące kolumny ze sobą to jarzma.

Transformator, w którym uzwojenia nawinięte są na dwóch różnych kolumnach, to transformator rdzeniowy (np. transformator o rdzeniu przedstawionym na rys. 2. a),

Transformator z uzwojeniami osadzonymi na środkowej kolumnie, w którym rdzeń otacza uzwojenia, to transformator płaszczowy (np. transformator o rdzeniu z rys. 2. b i c).

Rdzenie transformatorów jednofazowych mogą być wykonywane nie tylko z tradycyjnych blach wykrawanych, ale również jako:

- a) zwijane – wykonane z taśmy magnetycznej, którą nawija się na specjalnych szablonach, skleja, a następnie przecina w odpowiednich miejscach i szlifuje; rdzenie takie mają znacznie mniejsze straty niż urządzenia tradycyjne,
- b) okrągłe – ferrytowe, wykonane ze stopów manganowo-cynkowych lub niklowo-cynkowych. Rdzenie takie nie mają szczeliny powietrznej, mają więc również bardzo małe straty.

Uzwojenie, do którego doprowadzone jest napięcie zasilające, nosi nazwę uzwojenia pierwotnego, a uzwojenie do którego podłączony jest odbiornik to uzwojenie wtórne. W przypadku transformatorów obniżających napięcie uzwojenie pierwotne jest uzwojeniem górnego napięcia, a uzwojenie wtórne to uzwojenie dolnego napięcia.

Uzwojenia w transformatorze jednofazowym wykonuje się głównie z drutów miedzianych, izolowanych lakierem, o okrągłym przekroju poprzecznym. Są one nawinięte na specjalnych dielektrycznych karkasach i w ten sposób są odizolowane zarówno od siebie jak i od rdzenia.

W przypadku umieszczania obu uzwojeń na jednej wspólnej kolumnie, stosuje się dwa rozwiązania:

- a) uzwojenia cylindryczne – wykonane współosiowo, jedno na drugim, przy czym bliżej rdzenia znajduje się uzwojenie dolnego napięcia,
- b) uzwojenia krążkowe – cewki uzwojenia dolnego i górnego napięcia układają się na przemian i łączy się szeregowo krążki należące do tego samego uzwojenia (najbliższe jarzma są zwykle cewki dolnego napięcia).

Zasada działania transformatora jednofazowego

Aby transformator mógł działać, należy jego uzwojenie pierwotne zasilić napięciem sinusoidalnie zmiennym, którego wartość chwilowa ma postać:

$$u_1 = U_m \cdot \sin(\omega t + y_u),$$

gdzie: U_m – wartość maksymalna napięcia zasilającego, $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – pulsacja,

f – częstotliwość, y_u – faza początkowa napięcia zasilającego.

Pod wpływem napięcia u_1 w uzwojeniu pierwotnym popłynie zmienny prąd, a dzięki temu wokół uzwojenia pierwotnego pojawi się sinusoidalnie zmienny strumień magnetyczny

$$f = F_m \cdot \sin(\omega t + y_f).$$

Zdecydowana większość tego strumienia przeniknie przez rdzeń i taki strumień nazywa się strumieniem głównym. Niewielka część linii sił pola magnetycznego zamknie się przez powietrze i taki strumień nazywa się strumieniem rozproszenia.

Zmieniający się w czasie strumień magnetyczny, przenikając przez cały rdzeń, zgodnie z zasadą indukcji elektromagnetycznej, spowoduje zaindukowanie w każdym zwoju transformatora (tak po stronie pierwotnej jak i po stronie wtórnej) siły elektromotorycznej (tzw. napięcia indukowanego). Wartość chwilową tej siły elektromotorycznej dla pojedynczego zwoju można opisać uproszczonym wzorem o postaci

$$e = - \frac{\Delta f}{\Delta t}.$$

Z powyższego zapisu wynikają bardzo istotne wnioski:

- tylko zmiana Δf strumienia magnetycznego, zachodząca w czasie Δt , może spowodować zaindukowanie napięcia w każdym zwoju transformatora,
- przy stałym napięciu zasilającym, strumień magnetyczny będzie miał również stałą wartość, a więc $\Delta f = 0$ i żadne napięcie się nie zaindukuje.

Wartość skuteczna napięcia zwojowego (dla jednego zwoju) określona jest wzorem:

$$E = 4,44 \cdot f \cdot \Phi_m \quad [\text{V}],$$

gdzie: F_m – wartość maksymalna strumienia magnetycznego [Wb],

f – częstotliwość [Hz].

Ponieważ po stronie pierwotnej transformatora liczba zwojów wynosi N_1 , a po stronie wtórnej N_2 , więc wartości skuteczne sił elektromotorycznych indukowanych w całym uzwojeniu pierwotnym i wtórnym wynoszą odpowiednio:

$$E_1 = 4,44 \cdot N_1 \cdot f \cdot \Phi_m \quad [\text{V}],$$

$$E_2 = 4,44 \cdot N_2 \cdot f \cdot \Phi_m \quad [\text{V}].$$

Dzieląc przez siebie siły elektromotoryczne E_1 i E_2 otrzymujemy związek:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}.$$

Wyrażenie $\frac{N_1}{N_2}$ określające stosunek liczby zwojów po stronie pierwotnej do liczby zwojów po stronie wtórnej nazywane jest przekładnią zwojową transformatora n_z :

$$n_z = \frac{N_1}{N_2}.$$

Oprócz napięcia oraz prądu pierwotnego (U_1, I_1) i wtórnego (U_2, I_2), sił elektromotorycznych (E_1, E_2), a także przekładni zwojowej n_z , każdy transformator opisuje cały szereg innych parametrów. Parametry te wyznaczone dla znamionowych warunków pracy urządzenia nazywamy parametrami znamionowymi lub charakterystycznymi, a zaliczamy do nich między innymi:

- przekładnię znamionową n_N ,
- częstotliwość znamionową f_N [Hz],
- moc znamionową S_N [VA] lub [kVA],
- napięcie zwarcia $u_{z\%}$,
- straty mocy w rdzeniu ΔP_{Fe} i w uzwojeniach ΔP_{Cu} [W],
- grupę połączeń (w przypadku transformatorów trójfazowych),
- stopień ochrony przed dostępem ciał obcych i wody (IP),
- klasę izolacji,
- rodzaj chłodzenia.

Większość wymienionych wyżej parametrów zostanie opisana w kolejnych rozdziałach tego poradnika.

Wszystkie parametry charakterystyczne, a także dane ogólne (nazwa lub znak wytwórcy, rok produkcji, numer fabryczny, masa itp.) zamieszczone są na tabliczce znamionowej transformatora albo w katalogu. Tabliczka znamionowa powinna być umieszczona na transformatorze w miejscu widocznym i dostępnym, a wszelkie informacje powinny być na niej umieszczone w sposób trwały i łatwy do odczytania.

4.1.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co to jest transformator?
2. Jaką rolę w transformatorze pełni rdzeń?
3. Z jakiego materiału wykonywane są rdzenie transformatorów?
4. Jakie kształty mają rdzenie transformatorów jednofazowych?
5. Jaki element rdzenia nazywamy kolumną, a jaki jarzmem?
6. Jakie uzwojenie transformatora nazywa się pierwotnym, a jakie wtórnym?
7. Z jakiego materiału wykonuje się uzwojenia transformatora?
8. Jaki element budowy transformatora nazywamy karkasem?
9. Jaki transformator nazywa się rdzeniowym, a jaki płaszczywym?
10. Czym charakteryzują się uzwojenia cylindryczne?
11. Kiedy w uzwojeniu indukuje się siła elektromotoryczna?
12. Od czego zależy wartość skuteczna sem zaindukowanej po stronie pierwotnej?
13. Od czego zależy wartość skuteczna sem zaindukowanej po stronie wtórnej?
14. Co to jest przekładnia zwojowa transformatora?
15. Co to jest tabliczka znamionowa i jakie dane zawiera?

4.1.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Mając do dyspozycji rzeczywisty transformator jednofazowy, omów jego budowę, podaj nazwy oraz przeznaczenie poszczególnych elementów.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) wskazać rdzeń, podać jego przeznaczenie, omówić budowę i sposób wykonania rdzenia,
- 2) wskazać uzwojenia, podać ich przeznaczenie, omówić budowę i sposób wykonania,
- 3) rozpoznać i wskazać zaciski strony pierwotnej oraz wtórnej,
- 4) określić typ transformatora (rdzeniowy lub płaszczywym),
- 5) rozpoznać i wskazać podzespoły mechaniczne, podać ich rolę w urządzeniu,
- 6) określić sposób zabezpieczenia człowieka przed porażeniem prądem elektrycznym, w wyniku dotknięcia do części czynnych urządzenia.

Środki dydaktyczne:

- transformator jednofazowy lub model transformatora jednofazowego.

Ćwiczenie 2

Na Twoim stanowisku pracy zgromadzono różne typy transformatorów jednofazowych. Wskaż różnice i podobieństwa w ich budowie.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) dokonać oględzin wszystkich transformatorów zgromadzonych na stanowisku pracy,
- 2) rozpoznać i wskazać transformatory pakietowane z blach wykrawanych, zwijane, okrągłe,
- 3) wskazać podobieństwa oraz różnice w budowie i właściwościach.

Środki dydaktyczne:

- różne rodzaje transformatorów jednofazowych (co najmniej 5 rodzajów).

Ćwiczenie 3

Dany jest transformator o liczbie zwojów strony pierwotnej $N_1=2500$. Oblicz przekładnię zwojową, jeżeli częstotliwość napięcia zasilającego $f=50\text{Hz}$, strumień magnetyczny w rdzeniu $F_m = 0,0004 \text{ Wb}$, a siła elektromotoryczna zaindukowana po stronie wtórnej $E_2=12\text{V}$.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) wyjaśnić co to jest przekładnia zwojowa i zapisać odpowiedni wzór pozwalający obliczyć przekładnię zwojową,
- 2) wyjaśnić co to jest siła elektromotoryczna i podać wzór na wartość skuteczną SEM E_2 ,
- 3) obliczyć liczbę zwojów N_2 ,
- 4) obliczyć przekładnię transformatora.

Środki dydaktyczne:

- poradnik dla ucznia lub podręcznik do maszyn elektrycznych,
- zeszyt do ćwiczeń,
- kalkulator, długopis.

Ćwiczenie 4

Uzwojenie pierwotne transformatora jednofazowego ma liczbę zwojów $N_1 = 500$ zwojów. Ile zwojów powinna mieć strona wtórna, aby przekładnia zwojowa miała wartość $n_z = 25$?

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) zapisać wzór określający przekładnię zwojową transformatora,
- 2) przekształcić wzór, wyznaczając niewiadomą liczbę zwojów wtórnych N_2 ,
- 3) obliczyć N_2 podstawiając dane z treści zadania.

Środki dydaktyczne:

- zeszyt do ćwiczeń,
- długopis.

4.1.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

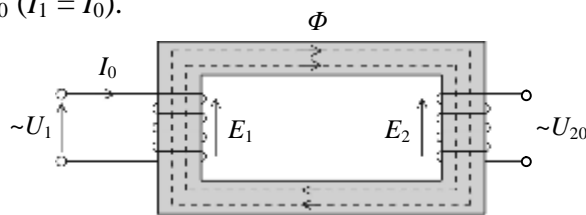
- | | Tak | Nie |
|---|-----|-----|
| 1) wskazać rdzeń w transformatorze i scharakteryzować właściwości materiału do jego budowy? | .. | .. |
| 2) wyjaśnić pojęcia „kolumna” i „jarzmo”? | .. | .. |
| 3) rozróżnić transformator rdzeniowy od płaszczyznowego? | .. | .. |
| 4) rozpoznać i scharakteryzować transformator zwijany i ferrytowy? | .. | .. |
| 5) wskazać uzwojenia, scharakteryzować właściwości materiału do ich budowy, izolację i sposób wyprowadzenia zacisków na zewnątrz obudowy? | .. | .. |

- | | | |
|--|----|----|
| 6) wskazać karkasy i określić ich przeznaczenie? | .. | .. |
| 7) rozróżnić uzwojenia cylindryczne od krążkowych? | .. | .. |
| 8) obliczyć przekładnię zwojową znając liczby zwojów N_1 i N_2 ? | .. | .. |

4.2. Praca transformatora w stanie jałowym, w stanie obciążenia i w stanie zwarcia. Zwarcie pomiarowe i awaryjne

4.2.1. Materiał nauczania

Stan jałowy transformatora jest to taki stan pracy, w którym uzwojenie pierwotne zasilane jest napięciem przemiennym, a do uzwojenia wtórnego nie jest podłączony żaden odbiornik (zaciski strony wtórnej są rozwarte). W tym stanie prąd $I_2 = 0$, a napięcie wtórne $U_{20} = E_2$. Prąd pierwotny transformatora I_1 jest niewielki (wynosi kilka % prądu znamionowego), nazywa się prądem jałowym lub prądem stanu jałowego transformatora i oznacza symbolem I_0 ($I_1 = I_0$).



Rys. 3. Transformator w stanie jałowym [własne]

Moc czynna pobierana przez transformator w stanie jałowym P_{10} zużywana jest na straty w rdzeniu ΔP_{Fe} i w uzwojeniu pierwotnym $R_1 I_0^2$. Ponieważ jednak straty w uzwojeniu pierwotnym są niewielkie (ze względu na niedużą wartość prądu I_0), można je pominąć i przyjąć, że moc czynna stanu jałowego zużywana jest na straty mocy w rdzeniu:

$$\Delta P_{Fe} = P_{10} - R_1 \cdot I_0^2 \approx P_{10} \quad [\text{W}].$$

W przebiegu prądu jałowego I_0 wyróżnić można dwie składowe: czynną I_{Fe} i bierną I_m . Składową czynną prądu jałowego obliczyć można ze wzoru:

$$I_{Fe} = \frac{DP_{Fe}}{E_1} \approx \frac{P_{10}}{U_1},$$

Składową bierną prądu jałowego, czyli tzw. prąd magnesujący obliczyć można ze wzoru:

$$I_m = \sqrt{I_0^2 - I_{Fe}^2}.$$

Przekładnia transformatora n jest to stosunek napięcia górnego U_{g0} (wyższego) do napięcia dolnego U_{d0} (niższego), zmierzonych na zaciskach transformatora w stanie jałowym.

W transformatorze jednofazowym przekładnia napięciowa n jest w przybliżeniu równa przekładni zwojowej:

$$n = \frac{U_{g0}}{U_{d0}} \approx \frac{E_g}{E_d} \approx \frac{N_g}{N_d}.$$

W przypadku transformatorów obniżających napięcie $N_g = N_1$, $N_d = N_2$, a zatem:

$$n = \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{N_1}{N_2}.$$

Stan obciążenia transformatora to taki stan pracy, w którym uzwojenie pierwotne zasilane jest napięciem przemiennym, a do uzwojenia wtórnego podłączony jest odbiornik (rys.1). W tym stanie w obu uzwojeniach płyną prądy. Prąd strony wtórnej zależy od napięcia na zaciskach tej strony oraz od parametrów obciążenia, natomiast prąd strony pierwotnej I_1 tak dopasowuje się do prądu obciążenia, aby sumaryczny przepływ magnesujący rdzeń:

$$\Theta_{\mu}(t) = N_1 \cdot i_1 - N_2 \cdot i_2$$

wywołał strumień magnetyczny indukujący sem e_1 o wartości zbliżonej do napięcia u_1 .

W stanie obciążenia transformatora przepływ magnesujący jest niewielki i wtedy można zapisać zależność:

$$N_1 \cdot I_1 \approx N_2 \cdot I_2$$

lub

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{U_2}{U_1} \approx \frac{N_2}{N_1}.$$

Wyrażenie $\frac{I_1}{I_2}$ nazywa się przekładnią prądową transformatora i oznacza symbolem n_1 .

Wynika stąd wniosek, że przekładnia prądowa jest odwrotnością przekładni napięciowej i zwojowej transformatora:

$$n_1 = \frac{1}{n_U} = \frac{1}{n_z}.$$

Stan zwarcia transformatora jest to taki stan pracy transformatora, w którym jedno z uzwojeń jest zasilane, a zaciski wyjściowe drugiego są zwarte bezpośrednio lub przez bardzo małą impedancję. W tym stanie $U_2 = 0$.

Stan zwarcia występuje w praktyce jako stan awaryjny lub jako stan pomiarowy realizowany w laboratorium, w celu określenia parametrów zwarcia transformatora.

Awaryjny stan zwarcia, który zaistnieje przy zasilaniu transformatora napięciem znamionowym, jest bardzo niebezpieczny ze względu na dynamiczne i cieplne skutki działania bardzo dużego prądu zwarciovego i w czasie eksploatacji należy tego stanu unikać.

Ze względu na bezpieczeństwo próbę zwarcia pomiarowego przeprowadza się przy obniżonym napięciu zasilającym.

Wartość napięcia zasilania, które przy zwartych zaciskach wtórnych wywołuje w uzwojeniach transformatora przepływ prądów znamionowych, nazywa się napięciem zwarcia transformatora U_z .

Napięcie zwarcia podaje się na tabliczkach znamionowych transformatorów jako wartość procentową napięcia znamionowego:

$$u_{z\%} = \frac{U_z}{U_{1N}} \cdot 100\%.$$

Stosunek napięcia zasilania w stanie zwarcia U_z do prądu pobieranego przez uzwojenie zasilane I_N nazywamy impedancją zwarcia transformatora Z_z :

$$Z_z = \frac{U_z}{I_N} \quad [\Omega],$$

Rezystancję zwarciovą R_z wyznaczyć można jako stosunek mocy zwarcia P_z do prądu pobieranego przez uzwojenie zasilane:

$$R_z = \frac{P_z}{I_N^2} \quad (\text{dla } U = U_z),$$

gdzie: P_z – moc zwarcia; jest to moc pokrywająca praktycznie w całości straty mocy w uzwojeniach transformatora.

$$P_z \approx \Delta P_{Cu} \quad [\text{W}].$$

Znając rezystancję R_z oraz impedancję zwarcia Z_z wyznaczyć można reaktancję zwarcia:

$$X_z = \sqrt{Z_z^2 - R_z^2} \quad [\Omega].$$

Reaktancja zwarciovą X_z jest kilka razy większa niż rezystancja zwarciovą R_z .

Parametry Z_z , R_z , X_z odnoszą się do tej strony transformatora, po której wykonywano pomiary.

4.2.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co to jest przekładnia znamionowa transformatora?
2. Jaki jest związek przekładni napięciowej z przekładnią zwojową?
3. Jaki stan pracy nazywamy stanem jałowym?
4. Czym charakteryzuje się stan jałowy?
5. Czym charakteryzuje się stan obciążenia?
6. Jaki jest związek przekładni prądowej z przekładnią zwojową?
7. Dlaczego prąd stanu jałowego jest mniejszy od prądu znamionowego transformatora?
8. Na czym polega zwarcie awaryjne transformatora?
9. Co to jest zwarcie pomiarowe?
10. Co nazywamy napięciem zwarcia?

4.2.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Dany jest transformator jednofazowy 230 V/24 V o mocy znamionowej $S_N = 200 \text{ VA}$ i procentowym napięciu zwarcia $u_{z\%} = 4\%$. Oblicz:

- przekładnię znamionową transformatora,
- znamionowy prąd pierwotny i wtórny,
- napięcie bezpieczne dla tego transformatora (napięcie zwarcia w woltach),
- liczbę zwojów strony pierwotnej, jeżeli liczba zwojów strony wtórnej wynosi 110.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

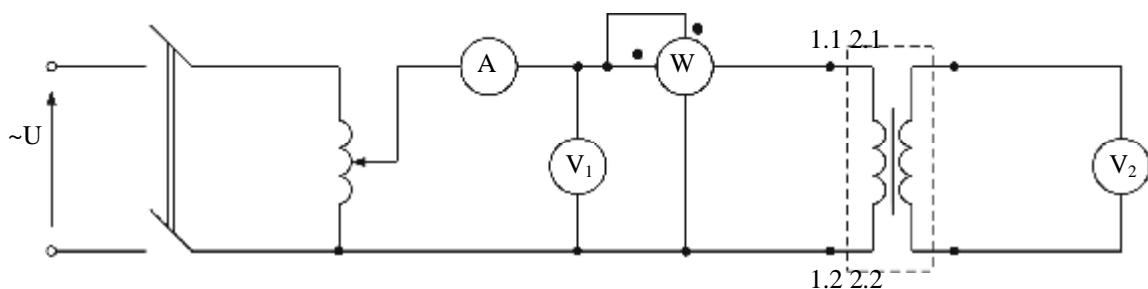
- 1) podać wzory na przekładnię transformatora jednofazowego, moc znamionową oraz napięcie zwarcia,
- 2) wyjaśnić znaczenie wszystkich wielkości występujących w zapisanych wzorach,
- 3) wykorzystując zależności między danymi (zawartymi w treści zadania) parametrami, wykonać niezbędne obliczenia,
- 4) zaprezentować wyniki obliczeń.

Środki dydaktyczne:

- kalkulator,
- zeszyt do ćwiczeń, długopis.

Ćwiczenie 2

Na podstawie schematu przedstawionego na rysunku, przeprowadź próbę stanu jałowego transformatora jednofazowego.



Schemat połączeń do próby stanu jałowego

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) zapoznać się z danymi znamionowymi transformatora wskazanego przez nauczyciela,
- 2) skompletować aparaturę niezbędną do wykonania ćwiczenia, zwracając uwagę na zakresy pomiarowe mierników,
- 3) połączyć układ według załączonego schematu,
- 4) wykonać pomiary dla kilku wartości napięć w granicach napięcia znamionowego,
- 5) wykonać obliczenia następujących parametrów:

– przekładni $n = \frac{U_{1N}}{U_{2N}}$,

– strat mocy w rdzeniu $\Delta P_{Fe} = P_{10} - R_1 I_0^2 \approx P_{10}$,

– współczynnika mocy w stanie jałowym, $\cos j_0 = \frac{P_{10}}{U_1 I_0}$,

- 6) wyniki pomiarów i obliczeń zapisać w tabeli, wykorzystując w tym celu technikę komputerową:

Lp.	U_1 [V]	U_{20} [V]	n	$\cos\varphi$	I_0 [A]	ΔP_{Fe} [W]
1						
2						

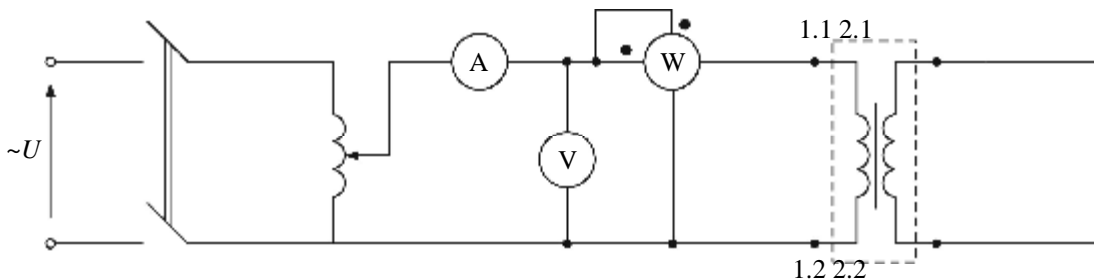
- 7) zastosować zasady bhp podczas montażu układu i wykonywania pomiarów,
- 8) zaprezentować wyniki swojej pracy.

Środki dydaktyczne:

- transformator jednofazowy wskazany przez nauczyciela,
- autotransformator,
- woltomierze,
- amperomierz,
- watomierz,
- przewody łączeniowe,
- stanowisko z dostępem do komputera.

Ćwiczenie 3

Wykorzystując układ do próby zwarcia pomiarowego przedstawiony na rysunku, wyznacz straty mocy w uzwojeniach transformatora.



Schemat połączeń do próby stanu zwarcia

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) zapoznać się z danymi znamionowymi transformatora wskazanego przez nauczyciela,

- 2) określić wartość znamionową prądu pierwotnego i wtórnego rozpatrywanego transformatora,
- 3) skompletować aparaturę niezbędną do wykonania ćwiczenia, zwracając uwagę na zakresy pomiarowe mierników,
- 4) upewnić się o braku napięcia zasilającego i połączyć układ według załączonego schematu,
- 5) po uzyskaniu pozwolenia prowadzącego, ustalić napięcie na zaciskach uzwojenia pierwotnego, za pomocą autotransformatora tak, aby prąd strony pierwotnej był równy prądowi znamionowemu,
- 6) odczytać i zapisać wskazania mierników,
- 7) na podstawie wskazania watomierza, określić wartość strat mocy w uzwojeniach transformatora,
- 8) porównać wynik uzyskany podczas pomiarów z wartością strat mocy podaną na tabliczce znamionowej transformatora,
- 9) zastosować zasady bhp podczas montowania układu i wykonywaniu pomiarów.

Środki dydaktyczne:

- transformator jednofazowy wskazany przez nauczyciela,
- autotransformator,
- woltomierz i amperomierz,
- watomierz,
- przewody łączeniowe.

Ćwiczenie 4

Wykonaj pomiary rezystancji uzwojeń oraz rezystancji izolacji w danym transformatorze jednofazowym.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

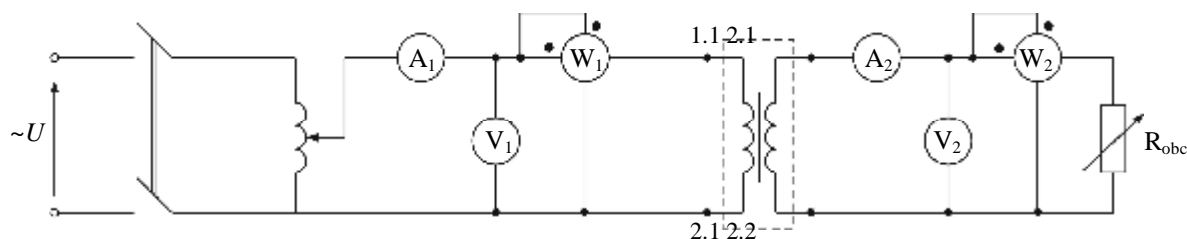
- 1) przypomnieć sobie zasady pomiaru małych rezystancji metodą techniczną i metodą mostkową,
- 2) zaproponować układy pomiarowe,
- 3) zorganizować stanowisko pracy, zgromadzić niezbędne przyrządy pomiarowe,
- 4) pomiary rezystancji uzwojenia GN i DN wykonać po konsultacji z nauczycielem metodą techniczną lub mostkową,
- 5) wyniki pomiarów porównać ze wskazaniami miernika elektronicznego do pomiaru bardzo małych rezystancji,
- 6) pomiar rezystancji izolacji wykonać za pomocą miernika do pomiaru rezystancji izolacji:
 - między zaciskiem strony GN a zwartym i uziemionym uzwojeniem DN,
 - między zaciskiem strony DN a zwartym i uziemionym uzwojeniem GN.
- 7) opracować wyniki pomiarów, wyciągnąć wnioski i zaprezentować efekty swoich badań.

Środki dydaktyczne:

- poradnik dla elektryka,
- woltomierz i amperomierz do metody technicznej,
- mostek Thomsona,
- miernik elektroniczny (uniwersalny),
- miernik do pomiaru rezystancji izolacji.

Ćwiczenie 5

Zbadaj transformator jednofazowy w stanie obciążenia, zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku.



Schemat układu do badania transformatora w stanie obciążenia

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) zapoznać się z danymi znamionowymi transformatora,
- 2) skompletować aparaturę pomiarową, zwracając szczególną uwagę na zakresy pomiarowe mierników,
- 3) połączyć układ pomiarowy według załączonego schematu,
- 4) rezystorem R_{obc} nastawiać wartość prądu I_2 w zakresie $(0,2\dots1) \cdot I_{2N}$, gdzie I_{2N} oznacza prąd znamionowy strony wtórnej,
- 5) wskazania przyrządów przy kilku kolejnych wartościach prądu I_2 zanotować w tabeli:

$U_{1N} = \dots\dots\dots V, U_{2N} = \dots\dots\dots V, I_{2N} = \dots\dots\dots A$				
I_2	U_2	P_1	P_2	η
A	V	W	W	–

- 6) w czasie pomiarów utrzymywać stałą wartość napięcia pierwotnego, równą U_{1N} ,
- 7) na podstawie uzyskanych wyników wykreślić charakterystyki $U_2 = f(I_2)$ i $\eta = f(I_2)$,
- 8) zachować bezpieczeństwo i porządek na stanowisku pracy.

Środki dydaktyczne:

- amperomierze do 1 A,
- woltomierze, watomierze,
- rezystor laboratoryjny – 1 sztuka,
- transformator jednofazowy obniżający napięcie,
- przewody łączeniowe,
- autotransformator.

4.2.4. Sprawdzenie postępów

Czy potrafisz:

- | | Tak | Nie |
|--|-----|-----|
| 1) odczytać parametry transformatorów z ich tabliczek znamionowych? | .. | .. |
| 2) zinterpretować parametry transformatorów umieszczone na tabliczkach znamionowych? | .. | .. |
| 3) obliczyć parametry różnych transformatorów wykorzystując zależności między nimi? | .. | .. |
| 4) zmierzyć straty mocy w rdzeniu transformatora? | .. | .. |

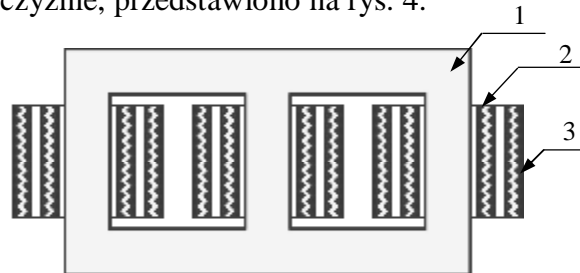
- | | | |
|--|----|----|
| 5) zmierzyć straty mocy w uzwojeniach transformatora? | .. | .. |
| 6) wyznaczyć napięcie zwarcia w transformatorze? | .. | .. |
| 7) zmierzyć rezystancje uzwojeń i rezystancję izolacji w transformatorze? | .. | .. |
| 8) wyznaczyć podstawowe charakterystyki transformatora w stanie jałowym, zwarcia i obciążenia? | .. | .. |

4.3. Budowa transformatorów energetycznych

4.3.1. Materiał nauczania

Początkowo (w drugiej połowie XIX wieku) w układach trójfazowych stosowano zestawy trzech transformatorów jednofazowych. Obecnie transformowanie napięć i prądów trójfazowych realizuje się głównie za pośrednictwem jednego transformatora trójfazowego.

Zasadę budowy typowego transformatora trójfazowego, w którym kolumny rdzenia ułożone są w jednej płaszczyźnie, przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Zasada budowy transformatora trójfazowego z rdzeniem niesymetrycznym [6, s.110].
1 – rdzeń, 2 – uzwojenie dolnego napięcia (DN), 3 – uzwojenie górnego napięcia (GN).

Rdzenie (wykonane z pasków blachy żelazo-krzemowej) układa się na styk lub zakładkę, a szerokość pasków jest tak dobrana, aby przekrój poprzeczny kolumny był zbliżony do koła.

Uzwojenia górnego i dolnego napięcia (GN i DN) każdej z faz transformatora, montuje się na kolumnach rdzenia współśrodkowo i są one odizolowane zarówno od siebie jak i od rdzenia. Najczęściej bliżej rdzenia umieszcza się uzwojenie dolnego napięcia transformatora.

Uzwojenia trzech faz transformatora po stronie pierwotnej i wtórnej łączy się (kojarzy) w różne układy trójfazowe (patrz rozdział 4.4).

Transformatory energetyczne wykonywane są najczęściej jako transformatory olejowe, to znaczy, że całe urządzenie (rdzeń wraz z uzwojeniami) zanurzone jest w kadzi wypełnionej olejem mineralnym, o bardzo dobrych właściwościach dielektrycznych. Kadź zamknięta jest od góry szczelną pokrywą, na której zamontowane są izolatory przepustowe. Przez te izolatory wyprowadzone są na zewnątrz końcówki uzwojeń pierwotnych (1A, 1B, 1C) i wtórnych (2A, 2B, 2C). Litera N oznacza wyprowadzony przewód neutralny.

Elementem budowy transformatorów dużych mocy jest też konserwator – zbiornik połączony z kadzią, mający za zadanie kompensować zmiany objętości oleju i ograniczać styczność oleju z powietrzem.



Rys. 5. Transformator 25 MVA 110/15 kV [producent: Fabryka transformatorów w Żychlinie Sp. z o. o.]

Wiadomo, że podczas pracy transformatorów, w ich rdzeniu i uzwojeniach, wydziela się duża ilość ciepła. Małe transformatory chłodzi otaczające je powietrze i są to tzw. transformatory suche. W dużych transformatorach problem chłodzenia odgrywa znacznie większą rolę i w celu polepszenia warunków chłodzenia, transformatory trójfazowe budowane są jako transformatory olejowe. Rozróżniamy transformatory z chłodzeniem naturalnym (olej nagrzewa się od rdzenia i uzwojeń, a ochładza się od ścianek kadzi, oddając ciepło na zewnątrz) oraz transformatory z chłodzeniem wymuszonym (olej chłodzony jest za pomocą specjalnej chłodnicy).

W celu zapewnienia lepszych warunków odprowadzania ciepła, należy zwiększyć powierzchnię jego oddawania. W tym celu obudowy transformatorów olejowych nie są wykonywane jako gładkie, ale wyposaża się je w system rur lub żeber (tzw. radiatorów) połączonych metalicznie z kadzią.

Obecnie, ze względu na coraz ostrzejsze wymagania dotyczące niezawodności, trwałości i ochrony środowiska, produkuje się transformatory żywiczne (suche). Transformatory takie dzięki zastosowaniu odpowiednich materiałów (żywice epoksydowe, włókna szklane) charakteryzują się bardzo dużą odpornością na siły zwarciovowe i na zawilgocenie izolacji, nie wymagają konserwacji i są ekologiczne.

Moc znamionowa transformatora trójfazowego jest to moc, na którą transformator został zbudowany i oznaczony. Moc ta określona jest wzorem:

$$S_N = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_N = 3 \cdot U_{fN} \cdot I_{fN} \quad [\text{VA}].$$

gdzie: U_N – znamionowe napięcie międzyfazowe, U_{fN} – znamionowe napięcie fazowe,

I_N – znamionowy prąd przewodowy, I_{fN} – znamionowy prąd fazowy.

Uwaga: Informacje na temat sposobów wykonania rdzeni, rodzajów uzwojeń oraz zasad chłodzenia transformatorów odnaleźć można w pozycji 1, 6 i 7 w spisie literatury.

4.3.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń:

1. Jak zbudowany jest rdzeń transformatora energetycznego?
2. Jak montuje się uzwojenia na kolumnie rdzenia transformatora energetycznego?
3. Jakimi symbolami oznacza się końcówki uzwojeń fazowych transformatora po stronie pierwotnej i wtórnej?
4. Jaka rolę pełni olej w transformatorach dużych mocy?
5. Co to jest konserwator i jaką pełni funkcję?
6. Co to są radiatory, jak są wykonane i z jakiego powodu są stosowane?
7. Jak realizuje się chłodzenie w transformatorach dużych mocy?
8. Jaki jest wzór na moc znamionową transformatora trójfazowego?

4.3.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Mając do dyspozycji transformator trójfazowy bez kadzi, omów jego budowę, podaj nazwy oraz przeznaczenie poszczególnych elementów.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) wskazać rdzeń, omówić jego budowę i sposób wykonania,
- 2) wskazać uzwojenia, omówić ich budowę i sposób wykonania,

- 3) rozpoznać i wskazać zaciski górnego i dolnego napięcia,
- 4) rozpoznać i wskazać materiały izolacyjne użyte do budowy transformatora,
- 5) rozpoznać i wskazać izolatory przepustowe.

Środki dydaktyczne:

- transformator trójfazowy bez kadzi lub model transformatora trójfazowego.

Ćwiczenie 2

Mając do dyspozycji rzeczywisty transformator trójfazowy oraz zdjęcia różnych transformatorów energetycznych, wskaż radiatory, omów ich budowę i wyjaśnij jaka jest ich rola w transformatorze.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) dokonać oględzin transformatora oraz zdjęć,
- 2) wskazać kadź i radiatory, wyjaśnić jaka jest ich budowa, z jakiego materiału są wykonane,
- 3) omówić sposób połączenia radiatorów z kadzią a także ich sposób ich rozmieszczenia,
- 4) wyjaśnić, jaki jest cel stosowania radiatorów w transformatorach.

Środki dydaktyczne:

- rzeczywisty transformator trójfazowy lub model transformatora trójfazowego,
- zdjęcia transformatorów energetycznych.

Ćwiczenie 3

Przygotuj krótką prezentację na temat: „Rola oleju w transformatorach trójfazowych”.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) scharakteryzować właściwości dielektryczne oleju transformatorowego,
- 2) scharakteryzować zdolność oleju do dobrego odprowadzania ciepła,
- 3) na podstawie dwóch różnych próbek oleju, postarać się zdiagnozować ich stan techniczny.

Środki dydaktyczne:

- dwie różne próbki oleju transformatorowego (zużyty i nowy).

4.3.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) rozpoznać i wskazać rdzeń w transformatorze trójfazowym?
2) rozpoznać i wskazać uzwojenia dolnego i górnego napięcia?
3) rozpoznać i wskazać izolatory przepustowe?
4) wskazać konserwator i wyjaśnić jego rolę w transformatorze?
5) wskazać radiatory, omówić ich budowę i przeznaczenie?
6) omówić rolę oleju w tradycyjnych transformatorach trójfazowych?

4.4. Transformowanie napięć i prądów w układzie trójfazowym. Układy i grupy połączeń transformatorów trójfazowych

4.4.1. Materiał nauczania

W elektroenergetyce (przy wytwarzaniu, przesyłaniu, transformowaniu i rozdzielaniu energii elektrycznej) wykorzystuje się najczęściej trójfazowe układy napięć i prądów.

Symetryczny układ napięć to zespół trzech napięć o jednakowych amplitudach U_m , przesuniętych wzajemnie o kąt $\frac{2\pi}{3}$ (120°). Napięcia takie mają wartości chwilowe opisane układem równań:

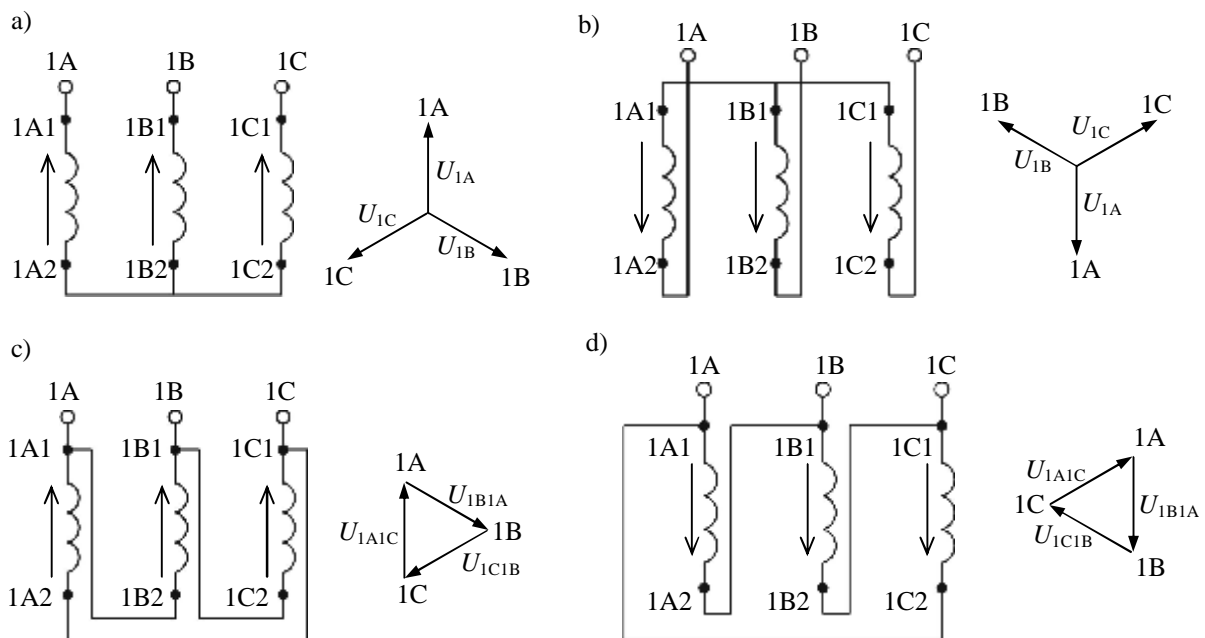
$$\begin{cases} u_{L1} = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_u) \\ u_{L2} = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_u + 120^\circ) \\ u_{L3} = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_u + 240^\circ) \end{cases}$$

gdzie: U_m – wartość maksymalna napięcia [V], ψ_u – faza początkowa napięcia.

W stanie pracy ustalonej transformator trójfazowy, zasilony symetrycznym układem napięć i obciążony symetrycznym odbiornikiem trójfazowym, charakteryzuje się jednakowymi przebiegami prądów i napięć we wszystkich trzech fazach (przebiegi te są przesunięte względem siebie o kąt $\frac{2\pi}{3}$).

W celu zapewnienia prawidłowej transformacji napięć i prądów, niezależnie od liczby, rodzaju i charakteru odbiorników energii elektrycznej, wszystkie uzwojenia transformatorów trójfazowych mają jednakowe kierunki nawinięcia i są skojarzone w różne układy połączeń.

Po stronie pierwotnej transformatora trójfazowego, uzwojenia fazowe można połączyć w gwiazdę (**Y**) albo w trójkąt (**D**).

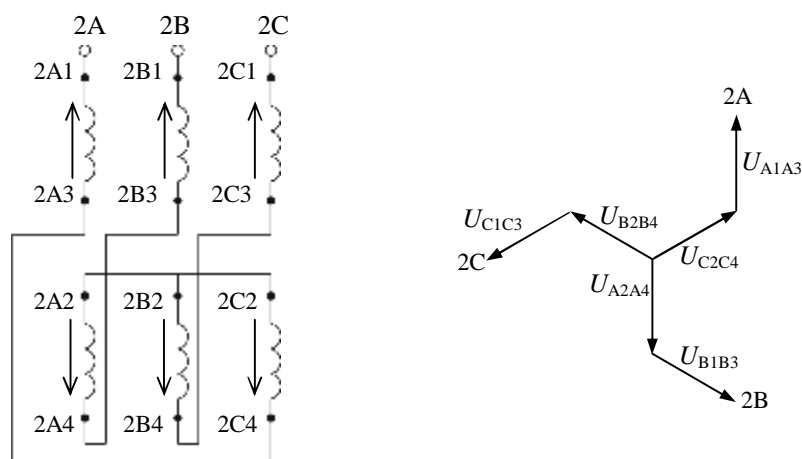


Rys. 6. Sposoby łączenia uzwojeń po stronie pierwotnej [w oparciu o 1, s.126 i 6, s. 113]
a) i b) uzwojenia połączone w gwiazdę, c) i d) uzwojenia połączone w trójkąt

Układ połączeń w gwiazdę realizuje się przez połączenie w jeden wspólny punkt neutralny końców 1A2, 1B2, 1C2 (rys. 6.a) albo końców 1A1, 1B1, 1C1 (rys. 6.b) uzwojeń.

Układ połączeń w trójkąt otrzymujemy przez połączenie końca 1A1 fazy pierwszej z końcem 1B2 fazy drugiej, końca 1B1 fazy drugiej z końcem 1C2 fazy trzeciej, końca 1C1 fazy trzeciej z końcem 1A2 fazy pierwszej (rys. 6.c) lub odwrotnie: końca 1A2 z końcem 1B1, końca 1B2 z końcem 1C1, końca 1C2 z końcem 1A1 (rys. 6.d).

Po stronie wtórnej transformatora trójfazowego uzwojenia każdej fazy można połączyć w gwiazdę (**y**), w trójkąt (**d**) lub w zygzak (**z**).



Rys. 7. Przykładowy układ połączeń w zygzak i zasada rysowania wykresu wektorowego [w oparciu o 7, s. 153]

Ponieważ po stronie pierwotnej uzwojenia transformatora można łączyć w gwiazdę (Y) lub w trójkąt (D), a po stronie wtórnej w gwiazdę (y), trójkąt (d) lub zygzak (z), więc biorąc pod uwagę różne możliwe kombinacje, rozróżnia się następujące układy połączeń transformatora trójfazowego: **Yy, Yd, Dy, Dd, Yz, Dz**.

Grupa połączeń transformatora trójfazowego obejmuje układ połączeń oraz przesunięcie godzinowe.

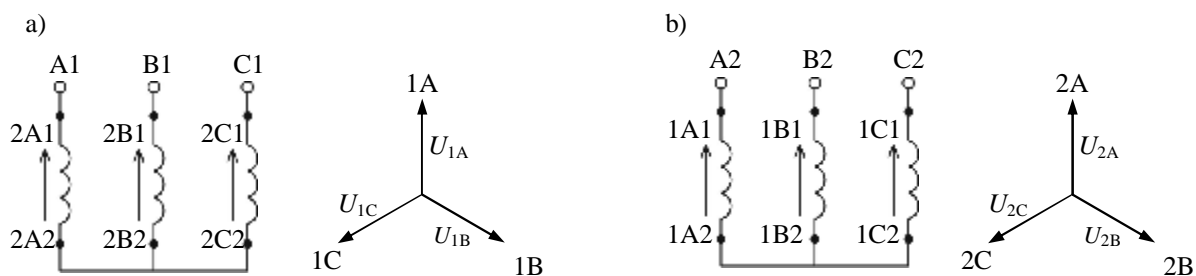
Przesunięcie godzinowe określa kąt przesunięcia między dwoma dowolnymi, ale odpowiednimi napięciami międzyprzewodowymi, strony pierwotnej i wtórnej (licząc zgodnie z ruchem wskazówek zegara od górnego do dolnego napięcia). Przyjmuje się, że jedna godzina $1h = 30^\circ$.

W zależności od zastosowanego układu połączeń, między napięciami międzyfazowymi strony pierwotnej i wtórnej mogą występować różne przesunięcia godzinowe, a więc różne grupy połączeń transformatorów.

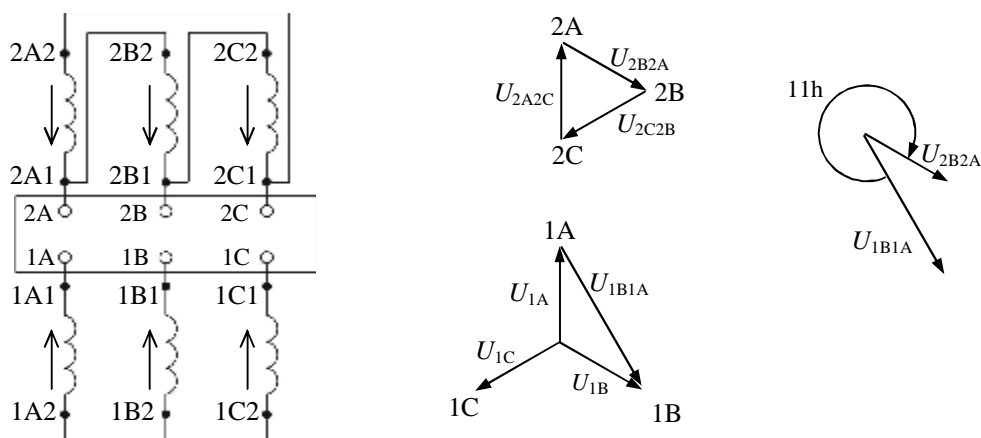
Grupa połączeń jest parametrem znamionowym i jako taka musi być podawana na tabliczkach znamionowych transformatorów trójfazowych.

W praktyce najczęściej spotyka się grupy połączeń o przesunięciach godzinowych:

- 11 (Dy 11, Yz 11, Yd 11),
- 5 (Yd 5, Dy 5),
- 0 (Yy 0).



Rys. 8. Układ grupy połączeń Yy0 transformatora trójfazowego [w oparciu o 7 s. 151]:
 a) układ połączeń po stronie pierwotnej b) układ połączeń po stronie wtórnej.



Rys. 9. Zasada wyznaczania przesunięcia godzinowego w układzie Yd11 [w oparciu o 6, s.113 i 5, s. 291]

Przekładnią znamionową (napięciową) transformatora trójfazowego nazywamy stosunek wartości skutecznych znamionowych napięć międzyfazowych strony górnego i dolnego napięcia transformatora.

$$n_{UN} = \frac{U_{GN}}{U_{DN}}$$

Sposób wyrażenia przekładni znamionowej n_{UN} transformatora trójfazowego za pośrednictwem przekładni zwojowej n_z przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Przekładnia transformatora trójfazowego w różnych układach połączeń [1, s.125]

Lp.	Układ połączeń	Zależność między przekładnią napięciową a zwojową
1	Yy	$n_{UN} = \frac{U_{GN}}{U_{DN}} = \frac{\sqrt{3}U_{GN}}{\sqrt{3}U_{DN}} \approx \frac{N_G}{N_D} = n_z$
2	Yd	$n_{UN} = \frac{U_{GN}}{U_{DN}} = \frac{\sqrt{3}U_{GN}}{U_{DN}} \approx \frac{\sqrt{3}N_G}{N_D} = \sqrt{3}n_z$
3	Dy	$n_{UN} = \frac{U_{GN}}{U_{DN}} = \frac{U_{GN}}{\sqrt{3}U_{DN}} \approx \frac{\sqrt{3}N_G}{3N_D} = \frac{\sqrt{3}}{3}n_z$
4	Dd	$n_{UN} = \frac{U_{GN}}{U_{DN}} = \frac{U_{GN}}{U_{DN}} \approx \frac{N_G}{N_D} = n_z$

5	Yz	$n_{UN} = \frac{U_{GN}}{U_{DN}} = \frac{\sqrt{3}U_{GN}}{\frac{3}{2}U_{DN}} \approx \frac{2\sqrt{3}N_G}{3N_D} = \frac{2\sqrt{3}}{3}n_z$
6	Dz	$n_{UN} = \frac{U_{GN}}{U_{DN}} = \frac{U_{GN}}{\frac{3}{2}U_{DN}} \approx \frac{2N_G}{3N_D} = \frac{2}{3}n_z$

Napięcie po stronie wtórnej transformatora trójfazowego będzie sinusoidalnie zmienne, jeżeli strumień magnetyczny będzie sinusoidalny, a to nastąpi wtedy, gdy w rdzeniu transformatora zachodzić będzie tzw. magnesowanie swobodne (będą wszystkie harmoniczne prądu magnesującego I_μ). Taki przypadek występuje, gdy uzwojenie pierwotne jest połączone w gwiazdę z przewodem neutralnym lub w trójkąt.

Jeśli strumień magnetyczny będzie odkształcony od sinusoidy, to również napięcie będzie odkształcone. Dla prawidłowej transformacji napięć należy więc tak skonfigurować układ połączeń, aby jedno z uzwojeń transformatora było połączone w trójkąt lub gwiazdę z przewodem neutralnym.

W układach trójfazowych, oprócz obciążenia trójfazowego symetrycznego, może wystąpić obciążenie niesymetryczne (jedno- lub dwufazowe). Obciążenie jednofazowe możliwe jest tylko w układach z wyprowadzonym po stronie wtórnej przewodem neutralnym (w celu uzyskania napięć fazowych).

Nie wszystkie układy połączeń nadają się do pracy przy niesymetrycznych obciążeniach, gdyż nie w każdym układzie następuje kompensacja przepływów pierwotnych i wtórnych, co jest warunkiem prawidłowej pracy transformatora. Najbardziej niekorzystna praca przy obciążeniu niesymetrycznym występuje w układzie Yy (choć jest to układ najtańszy), a najbardziej wskazanym układem w takich przypadkach jest układ Dy i Yz.

4.4.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Czym charakteryzuje się symetryczny układ napięć i prądów?
2. W jaki sposób łączy się uzwojenia po stronie pierwotnej transformatora trójfazowego?
3. W jaki sposób można łączyć uzwojenia po stronie wtórnej transformatora trójfazowego?
4. Co oznaczają symbole: Yd, Yz, Dy, Dd, Dz, Yy podawane na tabliczkach znamionowych transformatorów?
5. Co to jest przekładnia znamionowa transformatora trójfazowego?
6. Co rozumiesz przez określenie „przesunięcie godzinowe”?
7. Co to jest „grupa połączeń” transformatora trójfazowego?
8. Jakie „grupy połączeń” transformatorów stosuje się najczęściej?

4.4.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Korzystając z informacji umieszczonych na tabliczce znamionowej transformatora trójfazowego, określ sposób połączenia jego uzwojeń oraz przesunięcie godzinowe.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) dokonać oględzin tabliczki znamionowej transformatora trójfazowego,
- 2) wskazać na tabliczce i odczytać symbol określający grupę połączeń transformatora,

- 3) wyjaśnić, w jaki sposób połączono uzwojenia po stronie pierwotnej, a w jaki po wtórnej,
- 4) określić przesunięcie godzinowe, wyjaśnić sposób określania przesunięcia godzinowego.

Środki dydaktyczne:

- tabliczka znamionowa (lub kilka tabliczek) transformatora trójfazowego.

Ćwiczenie 2

Narysuj schematy przedstawiające cztery różne kombinacje układów Dy transformatora trójfazowego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) wyjaśnić, co oznacza symbol Dy,
- 2) narysować układy połączeń Dy, wykorzystując fakt, że zarówno gwiazda jak i trójkąt mogą być łączone na różne sposoby,
- 3) w każdym przypadku narysować wykresy wektorowe pamiętając o właściwym oznaczaniu wektorów napięć fazowych i międzyfazowych (*),
- 4) określić przesunięcia godzinowe (*),
- 5) wyciągnąć wnioski i przedstawić wyniki swojej pracy.

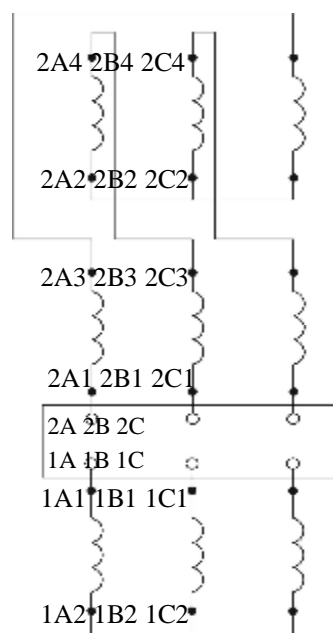
Środki dydaktyczne:

- przybory kreślarskie,
- zeszyt do ćwiczeń.

(*) – jest to trudniejsza część ćwiczenia i jeśli masz kłopoty, poproś o pomoc nauczyciela.

Ćwiczenie 3

Rozpoznaj układ połączeń transformatora przedstawiony na poniższym rysunku.



Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) rozpoznać i wskazać uzwojenia strony pierwotnej transformatora,
- 2) określić sposób połączeń uzwojeń po stronie pierwotnej,
- 3) rozpoznać i wskazać uzwojenia strony wtórnej,
- 4) określić sposób połączeń uzwojeń po stronie wtórnej
- 5) podać symbol literowy układu połączeń przedstawionego na rysunku,
- 6) narysować w zeszycie inne możliwe kombinacje takiego samego układu połączeń.

Środki dydaktyczne:

- zeszyt do ćwiczeń,
- przybory kreślarskie.

Ćwiczenie 4

Liczba zwojów fazowego uzwojenia pierwotnego transformatora trójfazowego wynosi $N_1 = 900$ zwojów, a uzwojenia wtórnego $N_2 = 515$ zwojów. Oblicz przekładnię transformatora dla układów połączeń uzwojeń: Yd, Yz i Dy.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) wyjaśnić, co to jest przekładnia znamionowa transformatora trójfazowego,
- 2) wyprowadzić wzory na przekładnie znamionowe dla podanych układów, w zależności od liczby zwojów uzwojenia GN i DN,
- 3) obliczyć przekładnie i porównać uzyskane wyniki,
- 4) wyciągnąć wnioski i zaprezentować efekty swojej pracy.

Środki dydaktyczne:

- zeszyt do ćwiczeń,
- długopis.

Ćwiczenie 5

Korzystając z katalogu, dobierz transformator trójfazowy do zasilania budynku pieczarkarni o mocy przyłączeniowej $S_{szcz} = 95$ kVA oraz napięciu znamionowym odbiorników symetrycznych $U_N = 400$ V. Do zasilania stacji transformatorowej należy wykorzystać istniejącą linię napowietrzną 15 kV.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) określić przekładnię znamionową szukanego transformatora,
- 2) wyznaczyć moc transformatora przyjmując $S_T \geq S_{szcz}$,
- 3) dobrać transformator z katalogów uwzględniając wartości napięć znamionowych, oraz rodzaj odbiorników,
- 4) zaprezentować wyniki swojej pracy,
- 5) zapisać do zeszytu typ transformatora i wszystkie jego parametry znamionowe.

Środki dydaktyczne:

- katalogi transformatorów trójfazowych,
- zeszyt do ćwiczeń.

4.4.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) skojarzyć uzwojenia transformatora w gwiazdę, trójkąt lub zygzak?
2) narysować schematy połączeń dla różnych kombinacji układów Yd, Dd, Dy, Yz, Dz transformatora?
3) wyznaczyć przekładnię w różnych układach połączeń transformatora?
4) wyznaczyć grupę połączeń transformatora trójfazowego?
5) określić grupę połączeń transformatora na podstawie informacji dostępnych na tabliczce znamionowej?
6) wskazać układy połączeń nadające się do pracy przy obciążeniu niesymetrycznym i symetrycznym?
7) skorzystać z katalogu w celu dobrania odpowiedniego transformatora?

4.5. Regulacja napięcia w transformatorze

4.5.1. Materiał nauczania

Nowoczesne odbiorniki wymagają dostarczania z sieci energii elektrycznej o określonym poziomie jakości, to znaczy o takich parametrach, których wartości zawierają się w dopuszczalnym zakresie. Decydujący wpływ ma poziom napięcia, czyli wartość napięcia występującego długotrwale na zaciskach przyłączeniowych pracujących odbiorników. Odbiory pracują bowiem najlepiej, jeżeli są zasilane napięciem równym napięciu znamionowemu lub niewiele się od niego różniącym.

Ponieważ napięcie w sieciach może w pewnych warunkach zwiększać się lub zmniejszać, więc ujemne skutki takich zmian skłaniają do szukania skutecznych rozwiązań, pozwalających utrzymać napięcie na wymaganym poziomie.

Powszechnie stosowanym sposobem regulacji napięcia w sieciach elektroenergetycznych jest zmiana przekładni transformatorów. W tym celu w transformatorach wykonuje się zaczepty, umożliwiające zmianę przekładni przez dołączenie lub odjęcie określonej liczby zwojów. Każdy transformator energetyczny wyposażony jest w kilka takich zaczeptów, na przykład: „0%”, „+5%”, „-5%” (rys. 10). Zaczepty odpowiadają procentowym zmianom liczby zwojów w stosunku do przekładni znamionowej transformatora.

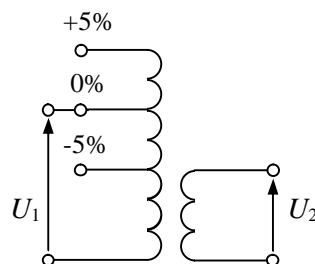
W transformatorach energetycznych zaczepty umieszczone są zwykle po stronie wysokiego napięcia i wtedy, aby utrzymać napięcie wtórne na stałym poziomie należy:

- przy wzroście napięcia pierwotnego w stosunku do znamionowego, zwiększyć liczbę zwojów pierwotnych,
- przy zmniejszeniu się napięcia pierwotnego w stosunku do znamionowego, odpowiednio zmniejszyć liczbę zwojów pierwotnych.

Rozróżnia się dwa rodzaje regulacji napięcia w transformatorach:

- regulację w stanie beznapięciowym,
- regulację pod obciążeniem.

Transformatory z regulacją w stanie beznapięciowym wyposażone są w przełącznik zaczeptów, którym steruje się ręcznie, po odłączeniu transformatora od sieci zasilającej. W przełączniki takie wyposażone są głównie transformatory obniżające napięcie ze średniego na niskie.

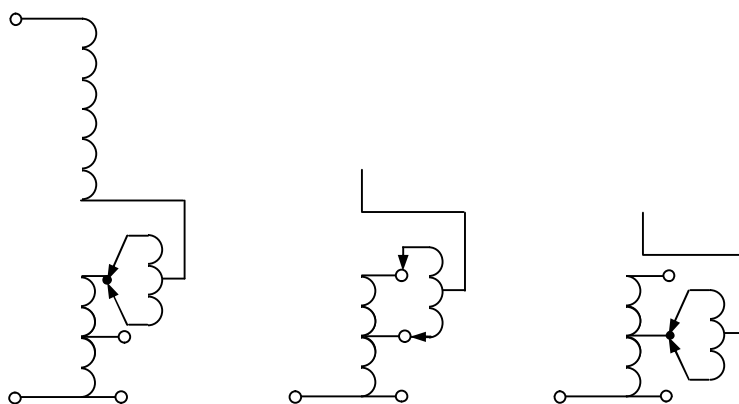


Rys. 10. Zasada zmiany przekładni transformatora [2, s. 263]

Zaczep zerowy „0%” odpowiada wartości znamionowej napięcia. Na zaczepie +5% liczba zwojów jest większa o 5% od liczby zwojów na zaczepie zerowym. Na zaczepie -5% liczba zwojów jest o 5% mniejsza niż na zaczepie zerowym.

Wadą regulacji w stanie beznapięciowym jest konieczność odłączania transformatora od sieci na czas przełączania i dlatego metodą taką stosuje się tylko sezonowo albo w razie konieczności zmiany konfiguracji lub obciążenia szczytowego sieci.

Transformatory z regulacją pod obciążeniem są stosowane na wyższe napięcia, w dużych stacjach węzłowych. Zmiana zacze pu jest automatyczna, zależnie od zmniejszania się lub zwiększania napięcia w sieci. Zmiana napięcia jest płynna, a transformator nie jest wyłączony na czas przełączania spod napięcia (kolejne etapy przełączania zacze pów pokazuje rys. 11).



Rys. 11. Kolejne fazy przełączania zacze pów pod obciążeniem [2, s.263]

4.5.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Z czego wynika konieczność regulacji napięcia w transformatorze?
2. Jakie znasz sposoby regulacji napięcia w transformatorach?
3. Która z metod regulacji napięcia jest bardziej przydatna w praktyce i dlaczego?
4. Jak zmieni się napięcie po stronie wtórnej transformatora, jeżeli zmniejszymy liczbę zwojów po stronie pierwotnej?

4.5.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Transformator trójfazowy ma dane: $S_N = 1000 \text{ kVA}$, $U_{GN} = 10500 \pm 5\% \text{ V}$, $U_{DN} = 400 \text{ V}$ grupa połączeń Dy5. Oblicz wartość napięcia wtórnego, jeżeli napięcie sieci po stronie górnego napięcia wynosi 10300 V , a przełącznik zacze pów ustawiony jest w pozycji „-5%”.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) wyjaśnić, co oznaczają podane parametry znamionowe transformatora,
- 2) obliczyć napięcie $U_{GN(-5\%)} = U_{GN} - 0,05 \cdot U_{GN}$,
- 3) obliczyć przekładnię $U_{GN(-5\%)} / U_{DN}$ po przełączeniu zacze pów w pozycję „-5%”,
- 4) obliczyć napięcie w stanie jałowym po stronie wtórnej, jeśli napięcie sieci wynosi 10300 V ,
- 5) zaprezentować wyniki swoich obliczeń.

Środki dydaktyczne:

- kalkulator,
- zeszyt do ćwiczeń,
- długopis.

Ćwiczenie 2

Dany jest transformator o parametrach: $S_N = 630 \text{ kVA}$, $U_{1N}/U_{2N} = 15750 \pm 5\% / 5200 \text{ V}$, układ Yd11, napięcie zwojowe $E' = 10 \text{ V/zw}$. Oblicz liczby zwojów uzwojenia pierwotnego i wtórnego oraz prądy przewodowe na każdym zaczeple.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) wyjaśnić, co oznaczają podane parametry znamionowe transformatora,
- 2) zapisać wartości napięć pierwotnych U_{1N} na wszystkich zaczeplach: $U_{1N(0\%)} = U_{1N}$, $U_{1N(+5\%)} = U_{1N} + 0,05 \cdot U_{1N} = 1,05 \cdot U_{1N}$ oraz $U_{1N(-5\%)} = U_{1N} - 0,05 \cdot U_{1N} = 0,95 \cdot U_{1N}$,
- 3) podać wzór na moc S_N transformatora i przekształcając go wyznaczyć wzór na prąd znamionowy,
- 4) znając moc i napięcia, obliczyć znamionowe prądy przewodowe na każdym zaczeple,
- 5) obliczyć znamionowe napięcia fazowe transformatora pamiętając, że transformator ma uzwojenia skojarzone w układzie Yd,
- 6) obliczyć liczbę zwojów N_1 i N_2 wykorzystując związek liczby zwojów z napięciem zwojowym: $U_{1f} = E_1 = E' \cdot N_1$ oraz $U_{2f} = E_2 = E' \cdot N_2$.

Środki dydaktyczne:

- kalkulator,
- zeszyt do ćwiczeń,
- długopis.

Ćwiczenie 3

Transformator jednofazowy 230 V/12 V ma uzwojenie pierwotne o liczbie zwojów $N_1 = 3500$ zw. Jaka liczbę zwojów powinny posiadać dwie części uzwojenia wtórnego, aby na wyjściu transformatora uzyskać napięcia 3V, 5V i 8V.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) pracować samodzielnie mając 10 minut na wykonanie zadania,
- 2) narysować schemat budowy transformatora z odczeplami po stronie wtórnej,
- 3) rozwiązując zadanie uzasadnić odpowiednimi wzorami i obliczeniami.

Środki dydaktyczne:

- kalkulator,
- zeszyt do ćwiczeń,
- długopis.

4.5.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) uzasadnić potrzebę regulacji napięcia w transformatorach?
2) omówić metody regulacji napięcia w transformatorach?
3) porównać różne sposoby regulacji pod kątem wad i zalet?
4) dokonać analizy działania transformatora przy różnym ustawieniu przełącznika zaczeplów?
5) obliczyć napięcia i prądy znamionowe przy różnym ustawieniu przełącznika zaczeplów?

4.6. Straty mocy i sprawność transformatora

4.6.1. Materiał nauczania

W transformatorze występują następujące straty mocy:

- straty mocy w rdzeniu ΔP_{Fe} ,
- straty mocy w uzwojeniach ΔP_{Cu} ,
- straty dielektryczne ΔP_{iz} .

Wszystkie straty mocy występujące w transformatorze oznaczamy symbolem $\Sigma \Delta P$ (suma),

$$\Sigma \Delta P = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{cu} + \Delta P_{iz} \quad [\text{W}].$$

Straty mocy w rdzeniu (żelazie) nazywa się również stratami jałowymi.

$$\Delta P_{Fe} \approx \Delta P_o.$$

Wartość tych strat wyznaczyć można podczas próby stanu jałowego (ćwiczenie 2 str.15).

Straty mocy w rdzeniu spowodowane są pętlą histerezy oraz prądami wirowymi, dzielą się więc na straty histerezy (ΔP_h) oraz straty wiropądowe (ΔP_w):

$$\begin{aligned}\Delta P_{Fe} &= \Delta P_h + \Delta P_w, \\ \Delta P_h &= c_h \cdot f \cdot B^2, \\ \Delta P_w &= c_w \cdot f^2 \cdot B^2,\end{aligned}$$

gdzie: f – częstotliwość [Hz], B – indukcja magnetyczna [T],

c_w – stała wiropądowa, c_h – stała histerezyowa.

W celu zmniejszenia strat pochodzących od prądów wirowych rdzenie transformatorów pakietowane są z cienkich blach elektrotechnicznych (im cieńsza blacha, tym mniejsze straty wiropądowe).

Straty histerezyowe są tym mniejsze im smuklejszą pętlą histerezy charakteryzuje się materiał do budowy rdzenia. Aby te straty ograniczyć stosuje się przede wszystkim dodatek krzemu.

Straty mocy w uzwojeniach (pierwotnym i wtórnym) oznacza się symbolem ΔP_{Cu} i nazywa się je również stratami w miedzi. Zależą one do kwadratu natężenia prądu w uzwojeniach, więc określa się je również mianem strat obciążeniowych lub zmiennych.

Przyjmuje się, że znamionowa wartość tych strat jest równa stratom mocy w uzwojeniach przy znamionowym prądzie obciążenia. Wyznacza się je więc podczas próby zwarcia pomiarowego.

$$\Delta P_{CuN} = m \cdot R_z \cdot I_N^2,$$

gdzie: m – liczba faz, R_z – rezystancja zwarciaowa [Ω],

$$\Delta P_{CuN} = \Delta P_{zN}.$$

Straty dielektryczne są to straty w układach izolacyjnych, nie opisuje się ich wzorem, ale można stwierdzić, że wartość tych strat rośnie ze wzrostem napięcia i częstotliwości. W transformatorach niskich i średnich napięć straty te są pomijalnie małe w porównaniu ze stratami w rdzeniu i uzwojeniach.

Sprawność transformatora jest to stosunek mocy czynnej oddanej przez transformator (P) do mocy czynnej pobranej przez transformator (P_{in}):

$$h = \frac{P}{P_{in}} \quad \text{lub} \quad h = \frac{P}{P_{in}} \cdot 100\%$$

$$P < P_{in}$$

$$P = P_{in} - \Sigma \Delta P$$

$$P = m I_2 U_2 \cos \varphi_2,$$

$$P_{in} = m I_2 U_2 \cos \varphi_2 + \Sigma \Delta P,$$

$$h = \frac{mI_2U_2 \cos j_2}{mI_2U_2 \cos j_2 + R_z \frac{1}{n^2} I_2^2 + DP_{Fe}}$$

$$h = \frac{mI_2U_2 \cos j_2}{mI_2U_2 \cos j_2 + \Delta P_{CuN} \cdot \left(\frac{I_2}{I_N}\right)^2 + \Delta P_{Fe}}$$

Z równania wynika, że sprawność zależy od obciążenia.

Dla stałej wartości napięcia wtórnego oraz $\cos \varphi_2 = \text{const.}$ maksymalna wartość sprawności transformatora występuje, gdy: $\Delta P_{Fe} = \Delta P_{Cu}$, czyli przy obciążeniu mocą:

$$S_{2(h \max)} = S_N \sqrt{\frac{DP_{Fe}}{DP_{Cu}}}$$

Transformator zbudowany jest zwykle tak, że maksymalna sprawność występuje przy obciążeniu wynoszącym około 70% obciążenia znamionowego.

4.6.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie są przyczyny powstawania strat mocy w rdzeniu transformatora?
2. W jaki sposób można wpływać na zmniejszenie strat mocy w rdzeniu?
3. Dlaczego straty mocy w żelazie nazywa się też stratami mocy jałowymi?
4. Od czego zależą straty mocy w uzwojeniach transformatora?
5. Podczas jakiej próby wyznacza się straty mocy w uzwojeniach?
6. W jaki sposób doświadczalnie można wyznaczyć straty mocy w rdzeniu transformatora?
7. W jaki sposób można doświadczalnie wyznaczyć straty mocy w uzwojeniach transformatora?
8. Co to jest sprawność transformatora?
9. Dlaczego sprawność nie jest wielkością stałą?
10. Jaki jest przebieg sprawności przy zmianie obciążenia transformatora?

4.6.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Transformator trójfazowy ma dane znamionowe:

$S_N = 200 \text{ kVA}$, $n_N = 10,5/0,4 \text{ kV}$, $f_N = 50 \text{ Hz}$, $\Delta P_{oN} = 380 \text{ W}$, $\Delta P_{zN} = 830 \text{ W}$. Oblicz sprawność tego transformatora, jeżeli jest on obciążony prądem znamionowym przy współczynniku mocy $\cos \varphi = 0,8_{\text{ind}}$.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) wyjaśnić, co oznaczają podane wyżej parametry transformatora,
- 2) obliczyć znamionowy prąd strony wtórnej I_{2N} ,
- 3) obliczyć moc czynną P_{2N} oddaną przez transformator,
- 4) obliczyć moc czynną P_{1N} pobraną przez transformator,
- 5) określić sprawność transformatora η w warunkach pracy znamionowej.

Środki dydaktyczne:

- kalkulator,
- zeszyt do ćwiczeń, długopis.

Ćwiczenie 2

Wykonaj pomiary strat mocy w żelazie i w miedzi oraz wyznacz sprawność transformatora w warunkach pracy znamionowej.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) zapoznać się z danymi znamionowymi badanego transformatora,
- 2) dobrać przyrządy pomiarowe zwracając szczególną uwagę na zakresy pomiarowe,
- 3) zaproponować układy pomiarowe i sposób przeprowadzenia badań (wykorzystać schematy do przeprowadzenia próby biegu jałowego, próby zwarcia i obciążenia),
- 4) po akceptacji prowadzącego połączyć układy pomiarowe,
- 5) wykonać niezbędne pomiary i obliczenia,
- 6) sporządzić zestawienie wyników,
- 7) zaprezentować wyniki swojej pracy,
- 8) przestrzegać zasad bhp podczas montażu układów i pomiarów.

Środki dydaktyczne:

- transformator jednofazowy,
- autotransformator,
- amperomierze,
- woltomierze,
- watomierze,
- kalkulator,
- zeszyt do ćwiczeń.

Uwaga: Minimalny czas na zaprojektowanie i wykonanie oraz zaprezentowanie wyników wynosi 60 minut.

Ćwiczenie 3

Uzasadnij, dlaczego sprawność transformatora nie jest wielkością stałą. Wyjaśnij, jak zmienia się sprawność przy zmianie prądu obciążenia.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) wyjaśnić, co to jest sprawność transformatora i jakim wzorem się ją wyraża,
- 2) na podstawie dostępnej literatury oraz wyników pomiarów uzyskanych podczas ćwiczeń wykonywanych w tej jednostce modułowej wyjaśnić, od czego zależy sprawność transformatora,
- 3) narysować wykres sprawności w funkcji prądu obciążenia i omówić jego przebieg.

Środki dydaktyczne:

- podręcznik z maszyn elektrycznych,
- sprawozdania z przeprowadzonych dotychczas ćwiczeń.
- zeszyt do ćwiczeń,
- przybory kreślarskie.

4.6.4. Sprawdzian postępów

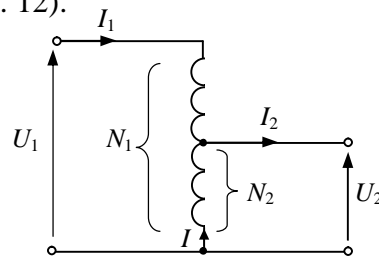
Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) wyjaśnić, co oznaczają symbole ΔP_{Fe} , ΔP_{Cu} oraz ΔP_{iz} ?
2) wyjaśnić przyczyny powstawania strat mocy w rdzeniu?
3) wyjaśnić przyczyny powstawania strat mocy w uzwojeniach?
4) określić sprawność transformatora?
5) narysować i wyjaśnić wykres sprawności transformatora w funkcji prądu obciążenia?
6) wykonać pomiary strat mocy w transformatorze?

4.7. Transformatory specjalne: autotransformator, przekładnik prądowy i napięciowy, transformator spawalniczy, transformator trójzwojeniowy, transformator bezpieczeństwa

4.7.1. Materiał nauczania

Autotransformator, nazywany również transformatorem jednoczwojeniowym, jest taką odmianą konstrukcyjną transformatora, w którym uzwojenie dolnego napięcia stanowi część uzwojenia górnego napięcia (rys. 12).



Rys. 12. Schemat połączeń autotransformatora [własne]
 $I = I_2 - I_1$ – prąd we wspólnej części autotransformatora

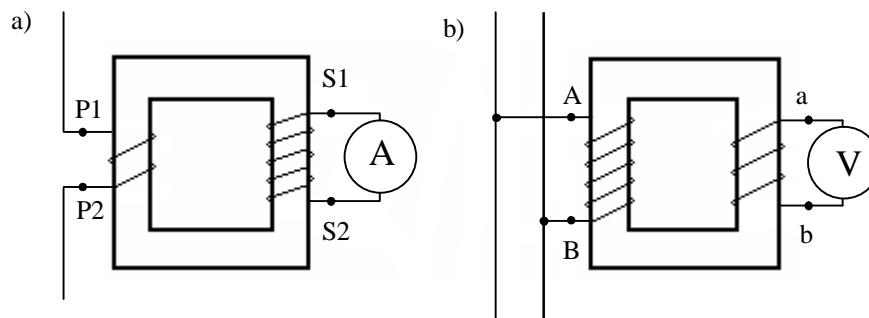
Autotransformatory wykonuje się jako urządzenia o stałej lub zmiennej (za pomocą odciępów lub suwaka) liczbie zwojów uzwojenia wtórnego.

Parametry charakterystyczne autotransformatorów:

- $U_{20} = U_{10} \frac{N_2}{N_1}$ – zależność między napięciami U_1 i U_2 w stanie jałowym,
- $S_p = S_1 = U_1 I_1 \approx S_2 = U_2 I_2$ – moc przechodnia, czyli moc pozorną przekazywaną ze strony pierwotnej na stronę wtórną [VA],
- $S_w = U_2 I$ – moc własna autotransformatora [VA],
- $S_w = U_2 I_2 \frac{n-1}{n} = S_p \frac{n-1}{n}$ – zależność między mocą własną a mocą przechodnią.

Wadą autotransformatora jest to, że z powodu galwanicznego połączenia obu uzwojeń wszelkie zaburzenia mogą przenosić się ze strony pierwotnej na wtórną. Może to stanowić niebezpieczeństwo dla odbiorców i obsługi tego urządzenia.

Przekładniki napięciowe i prądowe – to transformatory specjalne, które zasilają przyrządy zabezpieczające, odizolowują obwody pomiarowe i zabezpieczające od obwodu wysokiego napięcia, zmieniają zakresy pomiarowe mierników prądu przemiennego.



Rys. 13. Schemat przekładnika: a) prądowego, b) napięciowego [własne]

Przekładniki prądowe mają uzwojenia pierwotne zasilane prądem odbiorników, a do uzwojenia wtórnego włączone są szeregowo amperomierze, cewki prądowe watomierzy i liczników lub wyzwalacze i przekaźniki. Znamionowy prąd wtórny wynosi zwykle 5A (czasem 1A). Przekładnik taki pracuje w warunkach zbliżonych do stanu zwarcia pomiarowego transformatora energetycznego i można przyjąć, że:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}.$$

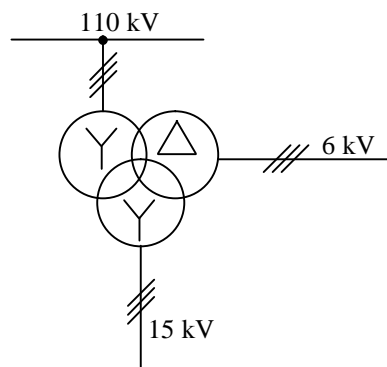
Uzwojenie wtórne przekładnika prądowego powinno być zwarte miernikiem lub – w przypadku odłączenia miernika – przewodem. Jeżeli obwód wtórny pozostaje otwarty, to prąd jałowy jest roboczym prądem pierwotnym, co powoduje nadmierne nagrzewanie rdzenia i niebezpieczny wzrost napięcia wtórnego.

Przekładniki napięciowe mają uzwojenia pierwotne przyłączone do mierzonego napięcia, a do uzwojenia wtórnego przyłączone są równolegle woltomierze, cewki napięciowe watomierzy i liczników. Znamionowe napięcia strony pierwotnej są znormalizowane tak jak w sieci), a znamionowe napięcie strony wtórnej wynosi zwykle 100 V.

Przekładnik napięciowy pracuje w warunkach zbliżonych do stanu jałowego transformatora i można przyjąć, że:

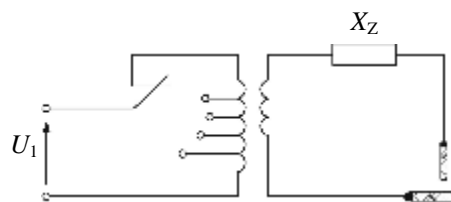
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}.$$

Transformator trójzwojeniowy (rys. 14) to transformator trójfazowy, który dla każdej fazy ma uzwojenie górnego (GN), średniego (SN) i dolnego napięcia (DN). Transformator taki znajduje zastosowanie w elektrowniach, gdzie jedno z uzwojeń wtórnych zasilą sieć potrzeb własnych elektrowni, w dużych zakładach przemysłowych, a przede wszystkim w stacjach sprzęgających sieci o trzech różnych napięciach znamionowych.



Rys. 14. Schemat transformatora trójzwojeniowego w układzie Yyd [1, s. 149]

Transformator spawalniczy musi zapewnić ciągłość palenia się łuku elektrycznego między elektrodą spawalniczą a metalem, uniemożliwić przepływ prądu o dużej wartości w przypadku zwarcia elektrod, a także musi być dostosowany do regulacji wartości prądu spawania. Regulację prądu uzyskuje się albo przez zmianę liczby zwojów uzwojenia (rys. 15), albo przez zmianę długości szczeliny powietrznej rdzenia transformatora.



Rys. 15. Zasada budowy transformatora spawalniczego [6, s. 138]

Transformatory bezpieczeństwa są to transformatory o napięciu strony wtórnej nie większym niż napięcie uznawane za bezpieczne w określonych warunkach środowiskowych (np. transformator o przekładni 230 V/24 V). Wykorzystywane są najczęściej do zasilania odbiorników elektrycznych w miejscach o dużym zagrożeniu porażeniem prądem elektrycznym oraz w miejscach, co do których wymagają tego przepisy. Stosowane są na przykład do zasilania lamp przenośnych i halogenowych oraz do zasilania instalacji oświetleniowej w miejscach mokrych i wilgotnych. Transformatory bezpieczeństwa umieszczone są w trwałej obudowie, oddzielonej od wnętrza podwójną izolacją.

Specjalnymi właściwościami odznaczają się też transformatory stosowane w układach sterowania i sygnalizacji. Są to urządzenia o bardzo małych napięciach zwarcia, przez co przy odciążeniu obwodu odbiorczego, napięcie wyjściowe ulega tylko nieznacznym zmianom. Zastosowanie takich transformatorów zdecydowanie zmniejsza wpływ prądów płynących w obwodach głównych na obwody sterowania i sygnalizacji.

4.7.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie zastosowanie mają transformatory trójzwojeniowe?
2. Do czego służą autotransformatory?
3. Czym różnią się autotransformatory od zwykłych transformatorów dwuzwojennych?
4. Jakie parametry znamionowe charakteryzują autotransformatory?
5. Co to są przekładniki i do czego służą?
6. Jakim wymaganiom muszą sprostać transformatory spawalnicze?
7. Czym różnią się transformatory bezpieczeństwa od zwykłych transformatorów dwuzwojennych?

4.7.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Dobierz transformator do zasilania trzech lamp halogenowych o mocy $P = 35 \text{ W}$ każda lampa i napięciu znamionowym $U_N = 12 \text{ V}$.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

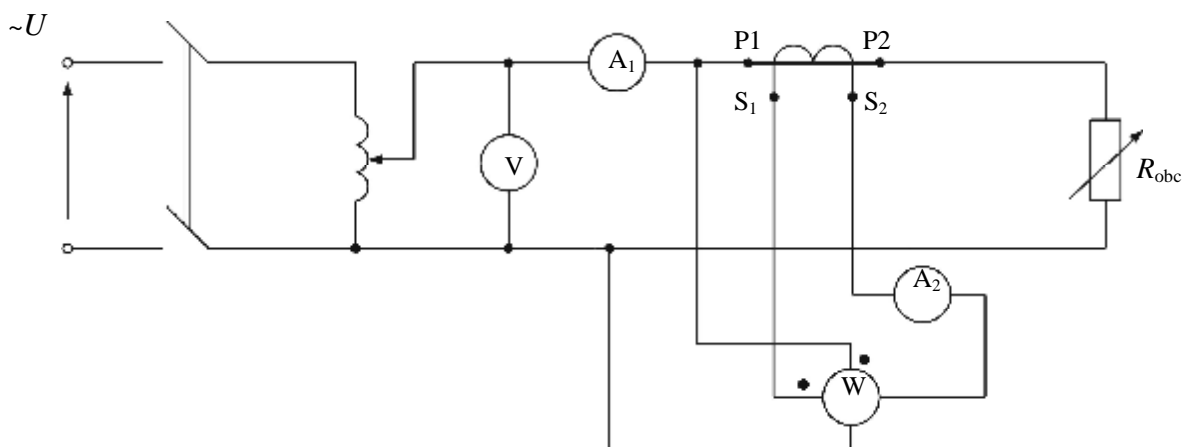
- 1) obliczyć łączną moc pobieraną przez lampy halogenowe,
- 2) dobrać z katalogu odpowiedni transformator,
- 3) zaprezentować wyniki pracy, mając 15 minut na wykonanie zadania.

Środki dydaktyczne:

- katalogi transformatorów halogenowych,
- kalkulator,
- zeszyt do ćwiczeń,
- długopis.

Ćwiczenie 2

Dokonaj pomiaru prądu, napięcia i mocy z wykorzystaniem przekładnika prądowego, zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku.



Schemat układu do pomiarów z użyciem przekładnika prądowego

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) zapoznać się z układem pomiarowym przedstawionym na rysunku,
- 2) pobrać z magazynu mierniki, zwracając uwagę na ich zakresy pomiarowe,
- 3) upewnić się o braku napięcia zasilającego, a następnie zmontować układ pomiarowy,
- 4) po uzyskaniu pozwolenia prowadzącego, załączyć układ i wykonać pomiary mocy czynnej pobieranej przez różne odbiorniki energii elektrycznej przy zasilaniu napięciem znamionowym,
- 5) porównać moc zmierzoną z mocą znamionową odbiorników,
- 6) na podstawie wskazań amperomierzy wyznaczyć przekładnię znamionową przekładnika,
- 7) wyniki porównać z danymi znamionowymi przekładnika,
- 8) zastosować zasady bhp podczas montażu układu i podczas pomiarów.

Środki dydaktyczne:

- 3 odbiorniki wskazane przez nauczyciela,
- przekładnik prądowy laboratoryjny,
- amperomierze,
- watomierz,
- woltomierz,
- przewody łączeniowe.

Ćwiczenie 3

Dany jest transformator o II klasie ochronności. Dobierz do niego odpowiednią lampę, podłącz ją do obwodu wtórnego tego transformatora, podłącz transformator do sieci, a następnie dokonaj pomiarów prądu i napięcia w obwodzie lampy.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) zapoznać się z danymi znamionowymi transformatora,

- 2) spośród dostępnych na stanowisku lamp wybrać właściwą, zwracając szczególną uwagę na moc i napięcie znamionowe,
- 3) zaproponować układ pomiarowy i po akceptacji prowadzącego podłączyć lampę do transformatora,
- 4) wykonać niezbędne pomiary,
- 5) sporządzić zestawienie wyników pomiarów,
- 6) zaprezentować wyniki pracy,
- 7) zachować zasady bhp podczas montażu układu i pomiarów.

Środki dydaktyczne:

- pudełko z różnymi rodzajami lamp,
- transformator bezpieczeństwa,
- katalog transformatorów bezpieczeństwa,
- katalogi źródeł światła,
- amperomierz,
- woltomierz.

4.7.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) wykonać pomiary z wykorzystaniem przekładników prądowych?
2) wykonać pomiary z wykorzystaniem przekładników napięciowych?
3) wykorzystać autotransformator do regulacji napięcia?
4) dobrać transformator bezpieczeństwa do określonego zadania?
5) scharakteryzować działanie transformatora spawalniczego?
6) skorzystać z katalogów przy doborze transformatorów specjalnych?
7) przestrzegać zasad bhp podczas pomiarów z wykorzystaniem przekładników?

4.8. Eksploatacja transformatorów. Najczęściej występujące uszkodzenia transformatorów. Zasady bezpieczeństwa i higieny pracy podczas eksploatacji transformatorów

4.8.1. Materiał nauczania

Eksploatację transformatorów należy prowadzić w oparciu o następujące dokumenty:

- 1) przepisy w sprawie szczegółowych zasad eksploatacji sieci elektroenergetycznych,
- 2) przepisy w sprawie ogólnych zasad eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych,
- 3) warunki techniczne podane przez wytwórcę,
- 4) szczegółową instrukcję eksploatacji.

Przed dopuszczeniem transformatora do eksploatacji należy sprawdzić kompletność dokumentacji, a następnie przeprowadzić próby i pomiary pozwalające na stwierdzenie czy urządzenie odpowiada warunkom technicznym określonym w przepisach.

W trakcie pracy transformatorów służby eksploatacyjne prowadzą ewidencję i zapisy ruchowe (zgodnie instrukcją opracowaną na podstawie obowiązujących przepisów) oraz przeprowadzają oględziny i przeglądy.

Oględziny transformatorów powinny być przeprowadzane w terminach określonych w instrukcji eksploatacji, jednak nie rzadziej niż:

- 1) raz w czasie zmiany w stacjach ze stałą obsługą,
- 2) raz w miesiącu w stacjach bez stałej obsługi o górnym napięciu 110 kV i wyższym,
- 3) nie rzadziej niż raz w roku w stacjach bez stałej obsługi o napięciu górnym niższym niż 110 kV.

Oględziny obejmują między innymi sprawdzenie:

- 1) stanu napisów i oznaczeń informacyjno-ostrzegawczych,
- 2) stanu transformatorów i aparatury pomocniczej,
- 3) poprawności działania przyrządów kontrolno-pomiarowych i rejestrujących,
- 4) poziomu oleju i ewentualne wycieki,
- 5) stanu przejść, ogrodzeń i zamknięć,
- 6) stan urządzeń wentylacyjnych,
- 7) stanu izolatorów.

Przeglądy transformatorów – ich terminy i zakres wynikają z przeprowadzonych oględzin i oceny stanu technicznego transformatorów. Jednak powinny być przeprowadzone nie rzadziej niż co 10 lat dla transformatorów o mocy od 0,1 do 1,6 MVA hermetyzowanych.

Przeglądy transformatorów obejmują głównie:

- 1) oględziny,
- 2) pomiary i próby eksploatacyjne,
- 3) sprawdzenie stanu technicznego transformatorów,
- 4) sprawdzenie działania rezerwy ruchowej,
- 5) konserwacje i naprawy.

Podczas przeglądu transformatora wykonuje się między innymi następujące pomiary i badania:

- 1) pomiar rezystancji izolacji i wskaźników R_{60}/R_{15} ,
gdzie: R_{60} – rezystancja izolacji po upływie 60 s od chwili załączenia napięcia,
 R_{15} – rezystancja izolacji po upływie 15 s od chwili załączenia napięcia
- 2) badanie oleju w zakresie:
 - zawartości wody i ciał stałych,
 - rezystywności,
 - napięcia przebicia.

Przeciętny okres eksploatacji transformatorów trwa kilkadziesiąt lat. Może się jednak zdarzyć wcześniejsze uszkodzenie (np. na skutek błędnego wykonania lub niewłaściwego transportu).

W trakcie użytkowania transformatorów następuje stopniowe starzenie się izolacji a to może być przyczyną wielu poważnych uszkodzeń.

Do najczęstszych objawów uszkodzeń transformatorów energetycznych zaliczyć można: przeciekanie oleju, intensywne nagrzewanie się, przebicie izolacji uzwojeń, trzaski wewnątrz kadzi, zadziałanie przełącznika Buchholza (informacje na ten temat można odnaleźć w pozycji [1] literatury).

W przypadku podejrzenia uszkodzenia transformatora nie wolno utrzymywać go w pracy, lecz należy bezzwłocznie wyjaśnić przyczyny i usunąć objawy.

Wyjaśnienie przyczyn polega na:

- oględzinach zewnętrznych,
- pomiarach rezystancji izolacji,
- stwierdzeniu braku przerw w uzwojeniach,
- sprawdzeniu zabezpieczeń,
- sprawdzeniu działania zaczepek regulacyjnych,
- badaniu oleju,
- pomiarze reaktancji rozproszenia.

4.8.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. W oparciu o jakie dokumenty prowadzona jest eksploatacja transformatorów?
2. Jakie czynności wchodzi w zakres oględzin, a jakie w zakres przeglądów?
3. Na czym polega pomiar rezystancji uzwojeń w transformatorze?
4. Na czym polega pomiar rezystancji izolacji w transformatorze trójfazowym?
5. Jaka powinna być wartość wskaźnika R_{60}/R_{15} ?
6. Jakie przyczyny mogą spowodować przebicie izolacji w transformatorze?
7. O jakim uszkodzeniu mogą świadczyć trzaski wewnątrz transformatora?
8. W jakich przypadkach istnieje konieczność wymiany oleju w transformatorze?

4.8.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

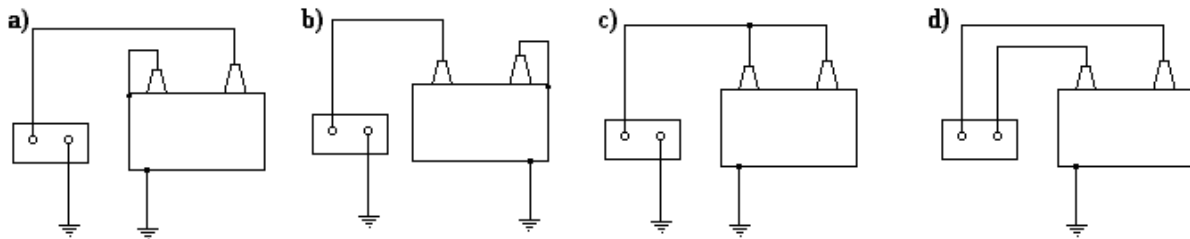
Wykonaj pomiary rezystancji uzwojeń oraz rezystancji izolacji w danym transformatorze trójfazowym.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) wykonać pomiary po wyłączeniu transformatora spod napięcia,
- 2) pomiar rezystancji wykonywać pomiędzy liniowymi zaciskami transformatora:
 - uzwojeń GN – między zaciskami 1A – 1B , 1A – 1C, 1B – 1C (zalecany mostek Wheatstone'a),
 - uzwojeń DN – między zaciskami 2A – N, 2B – N, 2C – N (zalecany mostek Thomsona),
- 3) ze zmierzonych rezystancji uzwojeń transformatora pomiędzy zaciskami liniowymi po stronie GN obliczyć rezystancje faz zależnie od sposobu połączenia uzwojeń,
- 4) dokonać oceny wyników pomiaru,

- 5) pomiar rezystancji izolacji wykonać miernikiem izolacji 2500 V,
- 6) przed przystąpieniem do pomiaru, uziemić badane uzwojenie na czas około 2 minut,
- 7) odczyty wykonywać po upływie 15 s od chwili włączenia napięcia pomiarowego (R_{15}) oraz upływie 60 s (R_{60}),
- 8) w transformatorach dwuuzwojeniowych zmierzyć rezystancję izolacji:
 - uzwojenia GN względem uzwojenia DN i kadzi (rysunek a),
 - uzwojenia DN względem uzwojenia GN i kadzi (rysunek b),
 - uzwojenia GN i DN względem kadzi (rysunek c),
 - uzwojenia GN względem uzwojenia DN (rysunek d),



Schematy do pomiaru rezystancji izolacji w transformatorze trójfazowym

- 9) dokonać oceny wyników pomiarów.

Środki dydaktyczne:

- transformator trójfazowy,
- miernik do pomiaru rezystancji izolacji,
- miernik do pomiaru rezystancji uzwojeń.

Ćwiczenie 2

W danym transformatorze jednofazowym, po zasileniu strony pierwotnej napięciem znamionowym 230 V, napięcie strony wtórnej, w stanie jałowym wynosi 0. Zlokalizuj uszkodzenie w tym transformatorze. Zaprezentuj sposób, w jaki wykryłeś usterkę.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) dokonać szczegółowych oględzin transformatora, pod kątem uszkodzeń mechanicznych,
- 2) w zależności od wyników oględzin oraz objawów uszkodzenia, wykonać niezbędne pomiary,
- 3) przeprowadzić analizę wyników pomiarów,
- 4) zaprezentować wyniki pracy, podając lokalizację uszkodzenia,
- 5) zastosować zasady bhp podczas lokalizacji uszkodzenia.

Środki dydaktyczne:

- niesprawny transformator jednofazowy,
- miernik do pomiaru rezystancji uzwojeń,
- woltomierz.

Ćwiczenie 3

Korzystając z informacji zawartych w podręczniku, poradnikach i różnych innych źródłach, wyjaśnij, jakie przyczyny mogą wywoływać trzaski wewnątrz transformatora lub przebicie izolacji. W jaki sposób można wykryć i usunąć tę usterkę?

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) dokonać analizy możliwych przyczyn wymienionych usterek,
- 2) znaleźć sposób wykrycia i usunięcia usterki,
- 3) zaprezentować wyniki pracy.

Środki dydaktyczne:

- podręcznik – Goźlińska E. „Maszyny elektryczne”,
- poradniki elektryka.

4.8.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) zdefiniować pojęcie eksploatacji?
2) wymienić czynności wchodzące w zakres oględzin?
3) wymienić czynności wchodzące w zakres przeglądów?
4) przeprowadzić pomiar rezystancji uzwojeń?
5) przeprowadzić pomiary rezystancji izolacji?
6) ocenić wyniki pomiarów?
7) zlokalizować proste usterki transformatorów jednofazowych?
8) zlokalizować proste usterki transformatorów trójfazowych?

5. SPRAWDZIAN OSIĄGNIĘĆ

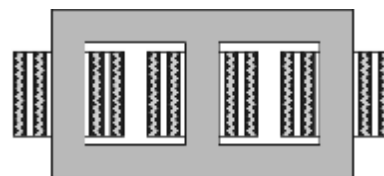
INSTRUKCJA DLA UCZNIĄ

1. Przeczytaj uważnie instrukcję, masz na to około 5 minut.
2. Podpisz imieniem i nazwiskiem kartę odpowiedzi.
3. Zapoznaj się z zestawem zadań testowych.
4. Test składa się z 20 zadań dotyczących eksploataowania transformatorów.
5. Na rozwiązanie wszystkich zadań masz 40 minut.
6. Odpowiedzi udzielaj wyłącznie na załączonej karcie odpowiedzi.
7. Wszystkie zadania to zadania wielokrotnego wyboru. Zawierają cztery możliwe odpowiedzi, z których tylko jedna jest poprawna. Zaznacz poprawną odpowiedź, zaczerpniając właściwe pole w karcie odpowiedzi. Jeśli się pomyliłeś, to otocz błędną odpowiedź kółkiem i zaznacz nową odpowiedź.
8. Zadania: 11, 12 i 18 są z poziomu ponadpodstawowego, pozostałe są z poziomu podstawowego. Rozwiązuj najpierw zadania z poziomu podstawowego.
9. W niektórych zadaniach udzielenie prawidłowej odpowiedzi wymaga wykonania pomocniczych obliczeń (możesz wykorzystać kalkulator).
10. Możesz uzyskać maksymalnie 20 punktów.
11. Pamiętaj, że pracujesz samodzielnie.
12. Po zakończeniu rozwiązywania testu podnieś rękę i zaczekaj, aż nauczyciel odbierze od Ciebie pracę.

Powodzenia!

ZESTAW ZADAŃ TESTOWYCH

1. Urządzenie przedstawione na rysunku to transformator
 - a) jednofazowy rdzeniowy.
 - b) jednofazowy płaszczykowy.
 - c) trójfazowy dwuuzwojeniowy.
 - d) trójfazowy trójuzwojeniowy.
2. Moc znamionowa transformatora jednofazowego, której wartość jest podawana na tabliczce znamionowej, określona jest zależnością
 - a) $P_N = U_N \cdot I_N \cdot \cos j$.
 - b) $P_N = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_N \cdot \cos j$.
 - c) $S_N = U_N \cdot I_N$.
 - d) $S_N = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_N$.
3. Część rdzenia transformatora, na której umieszcza się uzwojenia nosi nazwę
 - a) jarzmo.
 - b) stojan.
 - c) zwora.
 - d) kolumna.
4. Transformator jednofazowy ma dane znamionowe: $U_{GN} = 230 \text{ V}$, $U_{DN} = 24 \text{ V}$. Przekładnia tego transformatora przy wzroście napięcia U_{GN} o 10%
 - a) wzrośnie o 10%.

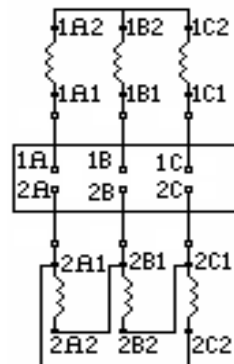



- b) zmaleje o 10%.
 - c) wzrośnie o 5%.
 - d) nie zmieni się.
5. Straty mocy w rdzeniu transformatora spowodowane są
- a) prądami wirowymi oraz pętlą histerezy.
 - b) prądami wirowymi oraz źle dobranym obciążeniem.
 - c) pętlą histerezy oraz źle dobranym obciążeniem.
 - d) pętlą histerezy oraz zakłóceniami radioelektrycznymi.
6. W transformatorze jednofazowym o napięciach $U_1/U_2=230\text{ V}/24\text{ V}$, znamionowy prąd wtórny wynosi 0,9 A. Znamionowy prąd pierwotny tego transformatora ma wartość około
- a) 8,6 A.
 - b) 0,1 A.
 - c) 1,2 A.
 - d) 4,5 A.
7. Na podstawie próby zwarcia pomiarowego transformatora można ustalić
- a) straty mocy w rdzeniu.
 - b) sprawność transformatora.
 - c) przekładnię znamionową.
 - d) straty mocy w uzwojeniach.
8. W transformatorze jednofazowym o danych $N_1 = 3000$ zwojów, $U_1 = 230\text{ V}$, $U_2 = 12\text{ V}$, liczba zwojów uzwojenia wtórnego wynosi
- a) 58.
 - b) 157.
 - c) 300.
 - d) 7500.
9. W przekładniku prądowym o danych: $I_1 = 500\text{ A}$, $I_2 = 5\text{ A}$, $N_1 = 2$, liczba zwojów uzwojenia wtórnego wynosi
- a) 2.
 - b) 20.
 - c) 200.
 - d) 2000.
10. Zmierzona moc czynna oddana przez transformator wynosi $P = 4000\text{ W}$, a moc czynna pobrana z sieci $P_{\text{in}} = 5\text{ kW}$. Sprawność tego transformatora ma wartość
- a) 80 %.
 - b) 45 %.
 - c) 12,5 %.
 - d) 0,8 %.
11. W układzie połączeń Yz transformatora trójfazowego przekładnia określona jest wzorem
- a) $\frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$.
 - b) $\frac{\sqrt{3}N_1}{N_2}$.

- c) $\frac{2N_1}{3N_2}$.
- d) $\frac{2\sqrt{3}N_1}{3N_2}$.

12. Wyznaczone podczas próby zwarcia pomiarowe napięcie zwarcia wynosi $U_z = 1800$ V. Jeżeli znamionowe napięcie pierwotne tego transformatora wynosi 30 kV, to procentowe napięcie zwarcia wynosi
- a) 4%.
b) 5%.
c) 6%.
d) 7%.
13. Pomiar rezystancji izolacji w transformatorze wykonuje się
- a) mostkiem Thomsona.
b) mostkiem Wheatstone'a.
c) miernikiem uniwersalnym (elektronicznym).
d) miernikiem indukcyjnym o napięciu 2500 V.
14. Jeżeli napięcie znamionowe strony pierwotnej transformatora trójfazowego wynosi 15750 V, uzwojenia są skojarzone w gwiazdę, to znamionowe napięcie fazowe strony pierwotnej wynosi około
- a) 15750 V.
b) 9093 V.
c) 10500 V.
d) 5250 V.
15. Podany na tabliczce znamionowej transformatora symbol IP 44 oznacza
- a) stopień ochrony przed przeciążeniem.
b) stopień ochrony przed przepięciami.
c) stopień ochrony przed dostępem ciał obcych i wody.
d) stopień ochrony przed dostępem oleju do konserwatora.
16. O zastosowaniu określonej grupy połączeń transformatora decyduje między innymi
- a) wartość mocy zapotrzebowanej przez odbiorcę.
b) niesymetria obciążenia i koszt budowy.
c) wartość napięcia strony pierwotnej i wtórnej.
d) wartość współczynnika mocy.

17. Rysunek przedstawia schemat połączeń uzwojeń transformatora trójfazowego w układzie
- a) Yd.
b) Dy.
c) Yz.
d) Dz.



18. Moc własna autotransformatora o przekładni 230/110 V i prądzie obciążenia 6 A wynosi
- a) 660 VA.
 - b) 1380 VA.
 - c) 344 VA.
 - d) 200 VA.
19. Symbol graficzny przedstawiony na rysunku, umieszczony na obudowie urządzenia oznacza, że jest to
- a) przekładnik prądowy.
 - b) przekładnik napięciowy.
 - c) autotransformator.
 - d) transformator o II klasie ochronności.
- 
20. W wyniku pomiarów wykonanych w stanie jałowym transformatora jednofazowego 230/24 V, otrzymano wyniki: $U_1 = 230 \text{ V}$, $I_1 = 0 \text{ A}$, $U_2 = 0 \text{ V}$. Na tej podstawie można stwierdzić, że w transformatorze jest
- a) zwarcie w uzwojeniu wtórnym.
 - b) przerwa w uzwojeniu pierwotnym.
 - c) przerwa w uzwojeniu wtórnym.
 - d) zwarcie w uzwojeniu pierwotnym.

KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko

Eksplotowanie transformatorów

Zaznacz poprawną odpowiedź

Nr zadania	Odpowiedź				Punkty
1	a	b	c	d	
2	a	b	c	d	
3	a	b	c	d	
4	a	b	c	d	
5	a	b	c	d	
6	a	b	c	d	
7	a	b	c	d	
8	a	b	c	d	
9	a	b	c	d	
10	a	b	c	d	
11	a	b	c	d	
12	a	b	c	d	
13	a	b	c	d	
14	a	b	c	d	
15	a	b	c	d	
16	a	b	c	d	
17	a	b	c	d	
18	a	b	c	d	
19	a	b	c	d	
20	a	b	c	d	
Razem:					

6. LITERATURA

1. Goźlińska E.: Maszyny elektryczne. WSiP. Warszawa 2005
2. Kotlarski W.: Sieci elektroenergetyczne. WSiP. Warszawa 2002
3. Laskowski J.: Poradnik elektroenergetyka przemysłowego. COSiW SEP. Warszawa 2005
4. Pilawski M.: Pracownia elektryczna. WSiP. Warszawa 2005
5. Praca zbiorowa: Poradnik elektryka. WSiP. Warszawa 1998
6. Stein Z.: Maszyny i napęd elektryczny. WSiP. Warszawa 2000
7. Stein Z.: Maszyny elektryczne. WSiP. Warszawa 2004
8. Zakrzewski K., Byczkowska L.: Transformatory i przetworniki elektromechaniczne prądu stałego. Politechnika Łódzka, Łódź 1993