



MINISTERSTWO EDUKACJI
i NAUKI



Teresa Birecka

Obliczanie i badanie obwodów prądu trójfazowego 311[08].O1.05

Poradnik dla nauczyciela

Wydawca

**Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy
Radom 2005**

Recenzenci:

mgr Arkadiusz Sadowski

mgr inż. Anna Tapolska

Opracowanie redakcyjne:

mgr inż. Katarzyna Maćkowska

Konsultacja:

dr Bożena Zając

Korekta:

mgr inż. Jarosław Sitek

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 311[08].O1.05 „Obliczanie i badanie obwodów prądu trójfazowego” zawartego w modułowym programie nauczania dla zawodu technik elektryk.

Wydawca

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2005

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie	3
2. Wymagania wstępne	4
3. Cele kształcenia	5
4. Scenariusze zajęć	6
5. Ćwiczenia	9
5.1. Wytwarzanie napięć przemiennych trójfazowych. Podstawowe wielkości w układach trójfazowych	9
5.1.1. Ćwiczenia	9
5.2. Połączenie odbiorników trójfazowych	10
5.2.1. Ćwiczenia	10
5.3. Moc w układach trójfazowych. Poprawa współczynnika mocy	15
5.3.1. Ćwiczenia	15
5.4. Pomiar energii elektrycznej w układach trójfazowych	23
5.4.1. Ćwiczenia	23
6. Ewaluacja osiągnięć ucznia	25
7. Literatura	39

1. WPROWADZENIE

Przekazujemy Państwu Poradnik dla nauczyciela, który będzie pomocny w prowadzeniu zajęć dydaktycznych w szkole kształcącej w zawodzie technik elektryk 311[08].

Program tej jednostki modułowej obejmuje podstawowe wiadomości i umiejętności dotyczące obliczania i badania obwodów trójfazowych. Do obliczania obwodów trójfazowych zaproponowano posługiwanie się rachunkiem na wektorach i modułach prądów i napięć, impedancji. W poradniku dla ucznia dla tej jednostki modułowej zamieszczono materiał nauczania zawierający niezbędne treści dla osiągnięcia założonych celów kształcenia oraz wykaz literatury, obejmujący pełne objaśnienia, a także inne metody obliczania obwodów. Należy uświadomić uczniom konieczność korzystania z literatury, katalogów oraz czasopism branżowych w celu poszerzania wiedzy.

W poradniku zamieszczono:

- wymagania wstępne,
- cele kształcenia,
- przykładowe scenariusze zajęć,
- ćwiczenia,
- sprawdzian postępów,
- ewaluację osiągnięć ucznia,
- wykaz literatury.

Szczególnie ważne jest opanowanie przez uczniów umiejętności korzystania z dokumentacji technicznej podczas montażu obwodów trójfazowych i pomiaru ich parametrów. Należy zwrócić uwagę na ukształtowanie umiejętności diagnozowania pracy obwodów na podstawie uzyskanych wyników pomiarów i obliczeń.

Należy zwrócić uwagę uczniów na konieczność wykonania z należytą starannością ćwiczeń dotyczących obliczeń i wykonywania wykresów wektorowych. W ten sposób potwierdzą słuszność i utrwalać poznane wcześniej zależności.

Przed przystąpieniem do ćwiczeń praktycznych konieczne jest zapoznanie uczniów z zasadami bhp obowiązującymi na danym stanowisku.

W trakcie realizacji jednostki modułowej uczniowie powinni wykorzystywać programy komputerowe do wykonywania obliczeń i wykresów przy opracowywaniu wyników. Wskazane jest wykorzystywanie techniki komputerowej do symulacji zjawisk zachodzących w układach trójfazowych.

Proponowane metody sprawdzania i oceny osiągnięć edukacyjnych:

- ustne i pisemne sprawdziany diagnozujące przed przystąpieniem do ćwiczeń laboratoryjnych,
- ukierunkowana obserwacja pracy ucznia podczas wykonywania ćwiczeń,
- pisemne sprawdziany,
- testy osiągnięć szkolnych.

Wskazane jest, aby zajęcia dydaktyczne prowadzone były różnymi metodami ze szczególnym uwzględnieniem: pokazu z objaśnieniem, ćwiczeń obliczeniowych, ćwiczeń pomiarowych.

W trakcie realizacji jednostki modułowej będzie dominować praca jednolita indywidualna, praca w grupach frontalna i zróżnicowana.

2. WYMAGANIA WSTĘPNE

- Przystępując do realizacji programu jednostki modułowej uczeń powinien umieć:
- charakteryzować zjawisko indukcji elektromagnetycznej,
 - rozróżniać podstawowe parametry przebiegu sinusoidalnego,
 - rozróżniać podstawowe wielkości elektryczne prądu przemiennego i ich jednostki,
 - stosować działania na wektorach,
 - konstruować i interpretować wykresy wektorowe dla obwodów zawierających R, L i C,
 - rysować trójkąty impedancji i admitancji oraz obliczać moduły impedancji i admitancji,
 - obliczać prądy, napięcia i moce w obwodach prądu sinusoidalnego,
 - łączyć obwody elektryczne prądu przemiennego na podstawie ich schematów,
 - dobierać przyrządy pomiarowe do wykonywania pomiarów w obwodach prądu przemiennego,
 - mierzyć podstawowe wielkości elektryczne w obwodach prądu przemiennego,
 - lokalizować i usuwać proste usterki w obwodach prądu przemiennego,
 - stosować zasady bhp i ochrony ppoż. podczas pomiarów oraz pokazów zjawisk fizycznych.

3. CELE KSZTAŁCENIA

W wyniku realizacji jednostki modułowej uczeń powinien umieć:

- wyjaśnić zjawisko powstawania napięć w prądnicy trójfazowej,
- wymienić parametry sił elektromotorycznych fazowych wytwarzanych w prądnicy trójfazowej i podać zależności między nimi,
- rozróżnić połączenie odbiornika trójfazowego w gwiazdę i w trójkąt,
- rozróżnić napięcia fazowe i międzyfazowe oraz prądy fazowe i przewodowe w układach połączonych w gwiazdę i w trójkąt,
- zinterpretować wykresy wektorowe układów trójfazowych,
- obliczyć prądy, napięcia i moce dla odbiornika symetrycznego i niesymetrycznego,
- dobrać przyrządy pomiarowe do wykonania pomiarów w obwodach prądu przemiennego trójfazowego,
- połączyć obwody trójfazowe na podstawie ich schematów,
- zmierzyć prądy, napięcia i moce w obwodach trójfazowych,
- zmierzyć energię dostarczaną do odbiornika trójfazowego,
- zanalizować pracę obwodów trójfazowych na podstawie wyników obliczeń lub pomiarów,
- wskazać przykłady wykorzystania układów trójfazowych,
- zlokalizować i usunąć usterki w układach elektrycznych trójfazowych,
- opracować wyniki pomiarów z wykorzystaniem programów komputerowych,
- zastosować zasady bhp i ochrony ppoż. obowiązujące na stanowisku pomiarowym.

4. SCENARIUSZE ZAJĘĆ

Scenariusz 1

Osoba prowadząca:.....

Modułowy program nauczania: Technik elektryk 311[08]

Moduł: Podstawy elektrotechniki i elektroniki 311[08].O1

Jednostka modułowa: Obliczanie i badanie obwodów prądu trójfazowego 311[08].O1.05

Temat: Wytwarzanie napięć przemiennych trójfazowych. Podstawowe wielkości w układach trójfazowych.

Cel ogólny: kształtowanie umiejętności określania parametrów napięć wytwarzanych przez prądnice trójfazowe.

Po zakończeniu zajęć edukacyjnych uczeń potrafi:

- wyjaśnić zjawisko powstawania napięć w prądnicy trójfazowej,
- wymienić parametry sił elektromotorycznych fazowych wytwarzanych w prądnicy trójfazowej i podać zależności między nimi,
- rozróżnić połączenia uzwojeń fazowych w gwiazdę i w trójkąt,
- rozróżnić napięcia fazowe i międzyfazowe w układach połączonych w gwiazdę i w trójkąt,
- zinterpretować wykresy wektorowe układów trójfazowych,
- określić zależności między napięciami fazowymi i międzyfazowymi,
- określić skutki nieprawidłowego połączenia uzwojeń prądnicy.

Czas trwania-135 min.

Dominujące metody nauczania–uczenia się

- pogadanka problemowa,
- pokaz z objaśnieniem,
- ćwiczenia rysunkowe i obliczeniowe.

Formy organizacyjne pracy uczniów

- zbiorowa jednolita,
- indywidualna.

Środki dydaktyczne

- model prądnicy,
- foliogramy lub plansze dotyczące wytwarzania prądu trójfazowego,
- foliogramy lub plansze dotyczące przebiegów trójfazowych i ich parametrów,
- podręczniki.

Przebieg zajęć

1. Czynności organizacyjne.
2. Wprowadzenie :
 - uświadomienie celów zajęć,
 - przedstawienie propozycji przebiegu zajęć.

3. Realizacja tematu:

- przypomnienie wiadomości dotyczących wytwarzania napięcia sinusoidalnego i jego parametrów, ukierunkowanie dyskusji na możliwość wykorzystania zjawiska indukcji elektromagnetycznej do wytwarzania napięć trójfazowych, zdefiniowanie pojęć symetrii i asymetrii układu,
- pokaz z objaśnieniem:
 - modelu prądnicy trójfazowej z wyjaśnieniem roli poszczególnych elementów i omówieniem sposobów oznaczania i łączenia uzwojeń fazowych,
 - foliogramów lub plansz dotyczących wytwarzania prądu trójfazowego,
 - foliogramów ilustrujących przebiegi sił elektromotorycznych w uzwojeniach trójfazowej prądnicy,
- sformułowanie zależności na wartości chwilowe sił elektromotorycznych i zapisanie ich oraz przedstawienie w postaci wektorowej,
- wprowadzenie pojęć wielkości fazowych i międzyfazowych, określenie zależności między napięciami fazowymi i międzyfazowymi,
- analiza skutków błędnego połączenia uzwojeń prądnicy,
- wspólne sformułowanie wniosków z pokazu i dyskusji i zapisanie do zeszytów,
- wykonanie ćwiczenia 1.

4. Podsumowanie:

- analiza wykonania ćwiczenia,
- zalecenia dotyczące samokształcenia.

5. Zadanie i omówienie pracy domowej – wykonanie ćwiczenia 2.

Sposób uzyskania informacji zwrotnej od ucznia po zakończonych zajęciach:

- anonimowe ankiety ewaluacyjne dotyczące sposobu prowadzenia zajęć i zdobytych umiejętności.

Scenariusz 2

Osoba prowadząca:.....

Modułowy program nauczania: Technik elektryk 311[08]

Moduł: Podstawy elektrotechniki i elektroniki 311[08].O1

Jednostka modułowa: Obliczanie i badanie obwodów prądu trójfazowego 311[08].O1.05

Temat: Pomiar energii elektrycznej w układach trójfazowych

Cel ogólny: kształtowanie umiejętności pomiaru energii elektrycznej w układach trójfazowych.

Po zakończeniu zajęć edukacyjnych uczeń potrafi:

- dobrać przyrządy pomiarowe do wykonania pomiarów w obwodach prądu przemiennego trójfazowego,
- połączyć obwody trójfazowe na podstawie ich schematów,
- zmierzyć energię dostarczaną do odbiornika trójfazowego,
- zastosować zasady bhp i ochrony ppoż. na stanowisku pomiarowym.

Czas trwania-135 min.

Dominujące metody nauczania – uczenia się

- pogadanka problemowa,
- pokaz z objaśnieniem,
- ćwiczenie pomiarowe.

Formy organizacyjne pracy uczniów

- jednolita zbiorowa,
- w grupach jednolita i zróżnicowana.

Środki dydaktyczne

- plansze przedstawiające budowę i schematy różnych typów liczników,
- foliogramy ilustrujące włączanie licznika do linii trójprzewodowej i czteroprzewodowej,
- liczniki energii elektrycznej,
- odbiorniki trójfazowe indukcyjne,
- karty katalogowe liczników,
- instrukcje producenta dotyczące montażu liczników,
- instrukcja do ćwiczenia.

Przebieg zajęć:

1. Czynności organizacyjne.
2. Wprowadzenie (5 minut):
 - uświadomienie celów zajęć,
 - przedstawienie propozycji przebiegu zajęć.
3. Realizacja tematu:
 - przypomnienie pojęcia energii elektrycznej:
 - co to jest ja energia elektryczna?
 - jaka zależność zachodzi pomiędzy mocą a energią?
 - jak mierzymy moc w układach trójfazowych?
 - jak zbudowany jest licznik do pomiaru energii elektrycznej w obwodach jednofazowych?
 - jak można zmierzyć energię elektryczną w obwodach trójfazowych?
 - pokaz z objaśnieniem:
 - plansz przedstawiających budowę i schematy różnych typów liczników,
 - foliogramów ilustrujących włączanie licznika do linii trójprzewodowej i czteroprzewodowej,
 - różnych typów liczników trójfazowych energii elektrycznej,
 - wspólne sformułowanie wniosków z pokazu i dyskusji i zapisanie do zeszytów,
 - wykonanie ćwiczenia 1.
4. Podsumowanie:
 - analiza wykonania ćwiczenia,
 - ocena pracy uczniów na podstawie ukierunkowanej obserwacji podczas wykonywania ćwiczenia,
 - zalecenia dotyczące samokształcenia.

Sposób uzyskania informacji zwrotnej od ucznia po zakończonych zajęciach:

- anonimowe ankiety ewaluacyjne (opracowane przez nauczyciela) dotyczące sposobu prowadzenia zajęć i zdobytych umiejętności.

5. ĆWICZENIA

5.1. Wytwarzanie napięć przemiennych trójfazowych. Podstawowe wielkości w układach trójfazowych

5.1.1. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Określ wykreślnie wartość modułu napięcia międzyfazowego na zaciskach prądnicy trójfazowej symetrycznej skojarzonej w gwiazdę, jeżeli moduł napięcia fazowego wynosi 400 V.

Wskazówki do realizacji

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia nauczyciel powinien omówić sposób wykonania ćwiczenia z uwzględnieniem wymaganej dokładności wykonania wykresów i obliczeń.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) narysować schemat uzwojeń prądnicy,
- 2) oznaczyć początki i końce uzwojeń fazowych,
- 3) oznaczyć napięcia fazowe i międzyfazowe,
- 4) stosując II prawo Kirchhoffa napisać równania określające wektory napięć międzyfazowych,
- 5) narysować w przyjętej skali wykres napięć fazowych,
- 6) wykreślić napięcia międzyfazowe wykonując działania na wektorach według równań zapisanych w punkcie 4,
- 7) zmierzyć długości wektorów napięć międzyfazowych i podać wartość modułu napięcia międzyfazowego,
- 8) porównać uzyskany wynik z wartością obliczoną na podstawie zależności między napięciem fazowym i międzyfazowym, występującą w symetrycznym układzie gwiazdowym,

Zalecane metody nauczania–uczenia się:

- ćwiczenia wykonywane indywidualnie.

Środki dydaktyczne:

- linijka,
- kątomierz,
- kalkulator.

Ćwiczenie 2

Oblicz wartości napięć między zaciskami prądnicy, której uzwojenia skojarzono w trójkąt, ale w fazie pierwszej zamieniono początek z końcem uzwojenia. Moduł napięcia jednej fazy wynosi 400 V.

Wskazówki do realizacji

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia nauczyciel powinien omówić sposób wykonania ćwiczenia z uwzględnieniem wymaganej dokładności wykonania wykresów.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) narysować schemat uzwojeń prądnicy,
- 2) oznaczyć początki i końce uzwojeń fazowych,
- 3) oznaczyć napięcia uwzględniając ich zwroty,
- 4) napisać II prawo Kirchhoffa w postaci wektorowej dla obwodu trójkąta,
- 5) narysować na podstawie równania z punktu 4 (w przyjętej skali) wykres napięć,
- 6) zmierzyć długości wektorów napięć międzyfazowych i podać wartość modułów poszczególnych napięć międzyfazowych.

Zalecane metody nauczania–uczenia się:

- ćwiczenia wykonywane indywidualnie.

Środki dydaktyczne:

- linijka,
- kątomierz,
- kalkulator.

5.2. Połączenie odbiorników trójfazowych

5.2.1. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Określ zależności między napięciami fazowymi i międzyfazowymi oraz prądami fazowymi i przewodowymi dla odbiornika trójfazowego symetrycznego połączonego w gwiazdę przyłączonego do trójfazowej czteroprzewodowej sieci zasilającej.

Wskazówki do realizacji

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia nauczyciel powinien omówić sposób wykonania ćwiczenia, zwracając uwagę uczniów na stosowanie na wykresach oznaczeń napięć i prądów przyjętych w narysowanym układzie.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) narysować odbiornik połączony w gwiazdę, przyłączony do zacisków sieci,
- 2) oznaczyć napięcia fazowe i międzyfazowe oraz prądy fazowe odbiornika,
- 3) stosując oznaczenia przyjęte w narysowanym schemacie podaj zależności między napięciami fazowymi i międzyfazowymi oraz prądami fazowymi i przewodowymi odbiornika,
- 4) narysować wykres wektorowy dla tego układu, przy założeniu, że odbiornik ma charakter pojemnościowy.

- Zalecane metody nauczania–uczenia się:
- ćwiczenia wykonywane indywidualnie.

- Środki dydaktyczne:
- linijka,
 - kątomierz (lub cyrkiel).

Ćwiczenie 2

Określ zależności między napięciami fazowymi i międzyfazowymi oraz prądami fazowymi i przewodowymi dla odbiornika trójfazowego symetrycznego połączonego w trójkąt przyłączonego do trójfazowej trójprzewodowej sieci zasilającej.

Wskazówki do realizacji

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia nauczyciel powinien omówić sposób wykonania ćwiczenia zwracając uwagę uczniów na stosowanie na wykresach oznaczeń napięć i prądów przyjętych w narysowanym układzie.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) narysować odbiornik połączony w trójkąt przyłączony do zacisków sieci,
- 2) oznaczyć napięcia oraz prądy fazowe i przewodowe odbiornika,
- 3) stosując oznaczenia przyjęte w narysowanym schemacie podać zależności między napięciami fazowymi i międzyfazowymi oraz prądami fazowymi i przewodowymi odbiornika,
- 4) narysować wykres wektorowy dla tego układu, przy założeniu, że odbiornik ma charakter indukcyjny.

- Zalecane metody nauczania–uczenia się:
- ćwiczenia wykonywane indywidualnie.

- Środki dydaktyczne:
- linijka,
 - kątomierz (lub cyrkiel).

Ćwiczenie 3

Oblicz wartość prądów płynących w linii czteroprzewodowej (z dostępnym punktem neutralnym transformatora) zasilającej odbiornik połączony w gwiazdę. Napięcie międzyfazowe układu zasilającego wynosi 400 V. Każda faza odbiornika ma rezystancję $R = 46 \Omega$.

Wskazówki do realizacji

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia nauczyciel powinien omówić sposób wykonania ćwiczenia z uwzględnieniem wymaganej dokładności wykonania wykresów i obliczeń.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) narysować odbiornik przyłączony do zacisków sieci,
- 2) obliczyć napięcie fazowe,
- 3) obliczyć prąd,
- 4) podać wartość prądu w przewodzie neutralnym i uzasadnić odpowiedź,
- 5) narysować wykres wektorowy, przyjmując skalę: $1\text{ cm} \rightarrow 50\text{ V}$, $1\text{ cm} \rightarrow 0,5\text{ A}$.

Zalecane metody nauczania–uczenia się:

- ćwiczenia obliczeniowe.

Środki dydaktyczne:

- linijka,
- kątomierz (lub cyrkiel),
- kalkulator.

Ćwiczenie 4

Oblicz wartość prądów przewodowych płynących w linii sieci trójfazowej trójprzewodowej doprowadzonej do odbiornika połączonych w trójkąt. Napięcie międzyfazowe wynosi 400 V . Każda faza odbiornika ma rezystancję $R = 46\ \Omega$.

Wskazówki do realizacji

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia nauczyciel powinien omówić sposób wykonania ćwiczenia z uwzględnieniem wymaganej dokładności wykonania wykresów i obliczeń.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) narysować odbiornik przyłączony do zacisków sieci,
- 2) obliczyć prądy fazowe,
- 3) obliczyć prądy przewodowe,
- 4) narysować wykres wektorowy, przyjmując skalę: $1\text{ cm} \rightarrow 50\text{ V}$, $1\text{ cm} \rightarrow 0,5\text{ A}$,
- 5) porównać prąd przewodowy tego odbiornika i odbiornika z ćwiczenia poprzedniego (parametry odbiornika i sieci zasilającej te same, inny sposób skojarzenia odbiornika), porównania dokonać na podstawie obliczeń i wykresów,
- 6) sformułować wnioski.

Zalecane metody nauczania–uczenia się:

- ćwiczenia obliczeniowe.

Środki dydaktyczne:

- linijka,
- kątomierz (lub cyrkiel),
- kalkulator.

Ćwiczenie 5

Oblicz wartość prądów fazowych i prąd płynący w przewodzie neutralnym odbiornika połączonego w gwiazdę, który jest przyłączony do sieci trójfazowej o napięciu międzyfazowym 400 V, jeżeli został przerwany jeden przewód fazowy. Każda faza odbiornika ma rezystancję $R = 46 \, \Omega$.

Wskazówki do realizacji

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia nauczyciel powinien omówić sposób wykonania ćwiczenia z uwzględnieniem wymaganej dokładności wykonania wykresów i obliczeń.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) narysować odbiornik przyłączony do zacisków sieci,
- 2) oznaczyć na schemacie i obliczyć napięcia fazowe,
- 3) oznaczyć na schemacie i obliczyć prądy przewodowe,
- 4) narysować wykres wektorowy, przyjmując skalę: $1 \text{ cm} \rightarrow 50 \text{ V}$, $1 \text{ cm} \rightarrow 0,5 \text{ A}$,
- 5) podać wartość prądu w przewodzie neutralnym.

Zalecane metody nauczania–uczenia się:

- ćwiczenia obliczeniowe.

Środki dydaktyczne:

- linijka,
- kątomierz (lub cyrkiel),
- kalkulator.

Ćwiczenie 6

Odbiornik trójfazowy połączony w gwiazdę jest przyłączony do sieci trójfazowej czteroprzewodowej. Sprawdź za pomocą pomiarów, jaki wpływ na wartość prądów i napięć fazowych i międzyfazowych spowoduje brak symetrii odbiornika wywołany dodatkową rezystancją R_d w jednej fazie oraz brak symetrii zasilania (przerwa w jednej fazie).

Wskazówki do realizacji

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia nauczyciel powinien omówić zakres i technikę wykonania ćwiczenia oraz przepisy bhp na stanowisku pracy. Uczniowie opracowują schemat układu pomiarowego przed przystąpieniem do ćwiczeń (w ramach pracy domowej).

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) połączyć układ jak na rysunku (opracowanym w ramach pracy domowej i zatwierdzonym przez nauczyciela):
 - oszacować wartości prądów i napięć,
 - dobrać mierniki odpowiedniego rodzaju i o właściwych zakresach,
 - przed przyłączeniem układu do sieci zasilającej sprawdzić w bezpieczny sposób brak napięcia na zaciskach fazowych,
- 2) przygotować tabelę do zapisania wyników pomiarów,
- 3) zgłosić nauczycielowi gotowość wykonywania pomiarów,

- 4) wykonać pomiary i zapisać wyniki dla odbiornika przyłączonego do linii czteroprzewodowej dla przypadków:
 - odbiornik symetryczny ($R_d = 0$),
 - odbiornik niesymetryczny ($R_d > 0$),
 - odbiornik niesymetryczny – przerwa w przewodzie fazowym ($R_d = \infty$),
- 5) powtórzyć pomiary dla tych przypadków, gdy odbiornik jest przyłączony do linii trójprzewodowej (przerwa w przewodzie neutralnym),
- 6) zanalizować wyniki pomiarów,
- 7) sformułować i zapisać wnioski dotyczące wpływu asymetrii na wartości prądów i napięć.

Zalecane metody nauczania–uczenia się:

- ćwiczenia pomiarowe.

Środki dydaktyczne:

- schemat połączeń opracowany przez ucznia,
- odbiornik trójfazowy symetryczny z możliwością połączenia w gwiazdę,
- amperomierze,
- woltomierz i przełącznik woltomierzowy lub odpowiednia ilość woltomierzy,
- rezystor laboratoryjny,
- wyłączniki jednofazowe, wyłącznik trójfazowy.

Ćwiczenie 7

Odbiornik trójfazowy symetryczny połączony w trójkąt jest przyłączony do sieci trójfazowej trójprzewodowej. Sprawdź za pomocą pomiarów, jaki wpływ na wartość napięć i prądów fazowych oraz przewodowych spowoduje brak symetrii odbiornika wywołany dodatkową rezystancją R_d w jednej fazie odbiornika oraz brak symetrii zasilania (przerwa w jednej fazie linii zasilającej).

Wskazówki do realizacji

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia nauczyciel powinien omówić zakres i technikę wykonania ćwiczenia oraz przepisy bhp na stanowisku pracy. Uczniowie opracowują schemat układu pomiarowego przed przystąpieniem do ćwiczeń (w ramach pracy domowej).

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) połączyć układ jak na rysunku (opracowanym w ramach pracy domowej i zatwierdzonym przez nauczyciela):
 - oszacować wartości prądów i napięć,
 - dobrać mierniki odpowiedniego rodzaju i o właściwych zakresach,
 - przed przyłączeniem układu do sieci zasilającej sprawdzić w bezpieczny sposób brak napięcia na zaciskach fazowych,
- 2) przygotować tabelę do zapisania wyników pomiarów,
- 3) zgłosić nauczycielowi gotowość wykonywania pomiarów,
- 4) wykonać pomiary napięć i prądów i zapisać wyniki dla odbiornika przy symetrycznym zasilaniu dla przypadków:
 - odbiornik symetryczny ($R_d = 0$),
 - odbiornik niesymetryczny ($R_d > 0$),
 - odbiornik niesymetryczny – przerwa w przewodzie fazowym ($R_d = \infty$),

- 5) powtórzyć pomiary dla tych przypadków przy asymetrii zasilania (przerwa w przewodzie zasilającym – symulacja wyłącznikiem),
- 6) zanalizować wyniki pomiarów,
- 7) sformułować i zapisać wnioski dotyczące wpływu asymetrii na wartości prądów i napięć.

Zalecane metody nauczania–uczenia się:

- ćwiczenia pomiarowe.

Środki dydaktyczne:

- schemat połączeń (opracowany w ramach pracy domowej i zatwierdzony przez nauczyciela),
- odbiornik trójfazowy symetryczny z możliwością połączenia w trójkąt,
- amperomierze,
- woltomierz i przełącznik woltomierzowy lub odpowiednia ilość woltomierzy,
- rezystor laboratoryjny,
- wyłączniki jednofazowe, wyłącznik trójfazowy.

5.3. Moc w układach trójfazowych. Poprawa współczynnika mocy

5.3.1. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Oblicz moc czynną, bierną i pozorną odbiornika trójfazowego symetrycznego indukcyjnego połączanego w gwiazdę, zasilanego z sieci trójfazowej o napięciu międzyfazowym $U_p = 400 \text{ V}$. Moduł impedancji fazowej wynosi $Z_f = 100 \Omega$, a rezystancja fazowa $R_f = 50 \Omega$.

Wskazówki do realizacji

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia nauczyciel powinien omówić sposób wykonania ćwiczenia z uwzględnieniem wymaganej dokładności wykonania obliczeń

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) obliczyć współczynnik mocy,
- 2) obliczyć napięcie fazowe,
- 3) obliczyć prąd,
- 4) napisać zależność na moc czynną i obliczyć tę moc,
- 5) obliczyć reaktancję fazową oraz $\sin \varphi$,
- 6) napisać zależność na moc bierną odbiornika i obliczyć ją,
- 7) napisać zależność na moc pozorną i obliczyć ją.

Zalecane metody nauczania–uczenia się:

- ćwiczenia obliczeniowe.

Środki dydaktyczne:

- długopis,
- kalkulator,
- tablice trygonometryczne (w przypadku kalkulatora bez funkcji trygonometrycznych).

Ćwiczenie 2

Oblicz moc czynną, bierną i pozorną odbiornika trójfazowego symetrycznego indukcyjnego połączonego w trójkąt, zasilanego z sieci trójfazowej o napięciu międzyfazowym $U_p = 400 \text{ V}$. Moduł impedancji fazowej wynosi $Z_f = 100 \Omega$, a rezystancja fazowa $R_f = 50 \Omega$.

Wskazówki do realizacji

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia nauczyciel powinien omówić sposób wykonania ćwiczenia z uwzględnieniem wymaganej dokładności wykonania obliczeń.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) obliczyć prąd każdej fazy odbiornika,
- 2) obliczyć współczynnik mocy,
- 3) napisać zależność na moc czynną i obliczyć tę moc,
- 4) obliczyć reaktancję fazową oraz $\sin\phi$,
- 5) napisać zależność na moc bierną odbiornika i obliczyć ją,
- 6) napisać zależność na moc pozorną i obliczyć ją.

Zalecane metody nauczania –uczenia się:

- ćwiczenia obliczeniowe.

Środki dydaktyczne:

- długopis,
- kalkulator,
- tablice trygonometryczne (w przypadku kalkulatora bez funkcji trygonometrycznych).

Ćwiczenie 3

Sprawdź poprzez obliczenia jak zmieni się moc czynna pobierana przez odbiornik trójfazowy rezystancyjny symetryczny połączony w trójkąt po przełączeniu go w gwiazdę. W obu przypadkach odbiornik jest zasilany z sieci trójfazowej o napięciu międzyfazowym $U_p = 400 \text{ V}$, a rezystancja fazowa $R_f = 100 \Omega$.

Wskazówki do realizacji

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia nauczyciel powinien omówić sposób wykonania ćwiczenia z uwzględnieniem wymaganej dokładności wykonania obliczeń.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) obliczyć prąd fazowy odbiornika połączony w trójkąt,
- 2) obliczyć prąd przewodowy odbiornika połączony w trójkąt,
- 3) obliczyć moc czynną tego odbiornika połączony w trójkąt,

- 4) obliczyć napięcie fazowe odbiornika połączonego w gwiazdę,
- 5) obliczyć prąd przewodowy odbiornika połączonego w gwiazdę,
- 6) obliczyć moc czynną odbiornika połączonego w gwiazdę,
- 7) porównać moc pobraną przez odbiornik połączony w trójkąt z mocą tego odbiornika połączonego w gwiazdę (obliczyć stosunek $\frac{P_{\Delta}}{P_Y}$),
- 8) porównać prąd przewodowy odbiornika połączonego w trójkąt z prądem przewodowym tego odbiornika połączonego w gwiazdę (obliczyć stosunek $\frac{I_{p\Delta}}{I_{pY}}$) i sformułować wnioski.

Zalecane metody nauczania–uczenia się:

- ćwiczenia obliczeniowe.

Środki dydaktyczne:

- długopis,
- kalkulator.

Uwaga do ćwiczenia:

Obliczenia mocy wykonać z dokładnością do jednego wata, obliczenia prądów z dokładnością do jednej dziesiątej ampera.

Ćwiczenie 4

Dokonaj pomiarów mocy czynnej oraz prądów i napięć koniecznych do określenia mocy biernej, pozornej i $\cos\phi$ odbiornika trójfazowego impedancyjnego połączonego w gwiazdę. Sprawdź za pomocą pomiarów, jaki wpływ na wartość mierzonych i obliczanych wielkości ma brak symetrii odbiornika oraz symetrii zasilania w przypadku linii czteroprzewodowej i trójprzewodowej.

Wskazówki do realizacji

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia nauczyciel powinien omówić zakres i technikę wykonania ćwiczenia oraz przepisy bhp na stanowisku pracy.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) zapoznać się z danymi znamionowymi odbiornika i sieci zasilającej oraz schematem połączeń (rysunek do ćwiczenia 4),
- 2) przerysować schemat do zeszytu,
- 3) połączyć układ jak na rysunku:
 - oszacować wartości prądów i napięć,
 - dobrać mierniki odpowiedniego rodzaju i o właściwych zakresach,
 - przed przyłączeniem układu do sieci zasilającej sprawdzić w bezpieczny sposób brak napięcia na zaciskach fazowych,
- 4) sporządzić wykaz przyrządów i sprzętu pomiarowego z opisem ich danych eksploatacyjnych,
- 5) przygotować tabelę do zapisania wyników pomiarów: $I_1, I_2, I_3, I_N, U_{12}, U_{23}, U_{31}, U_1, U_2, U_3, P_1, P_2, P_3$ oraz obliczeń: $\sum P$ (suma wskazań watomierzy), $S, \cos\phi, Q$ dla następujących przypadków:
 - odbiornik symetryczny z przewodem neutralnym,

- odbiornik niesymetryczny z przewodem neutralnym,
- odbiornik symetryczny z przewodem neutralnym z przerwą jednej fazy,
- 6) zgłosić nauczycielowi gotowość wykonywania pomiarów,
- 7) wykonać pomiary dla wymienionych przypadków, zapisać wyniki w przygotowanej tabeli,
- 8) wykonać obliczenia,
- 9) zanalizować wyniki pomiarów i obliczeń,
- 10) sformułować i zapisać wnioski dotyczące wpływu asymetrii na wartości mocy i pozostałych wielkości.

Uwagi do wykonania ćwiczenia:

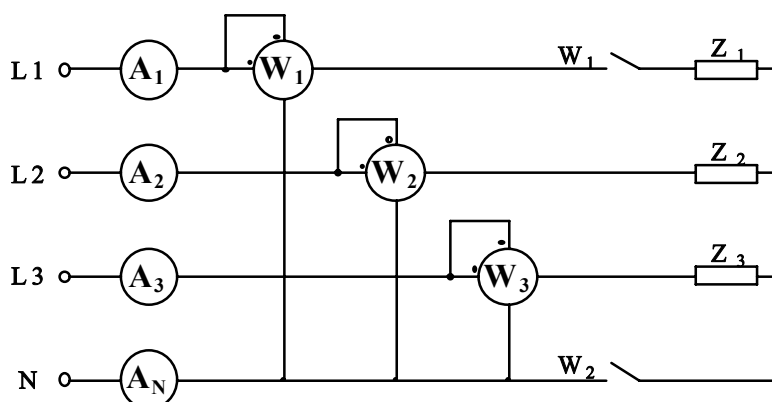
- pomiary napięć można wykonać jednym woltomierzem za pośrednictwem przełącznika woltomierzowego lub za pomocą przewodów zakończonych odpowiednio długimi końcówkami i dotykania nimi do odpowiednich punktów układu, zachowując ostrożność,
- moc pozorną dla układu symetrycznego obliczyć z zależności: $S = \sqrt{3}UI$, gdzie U, I – średnie wartości wskazań woltomierzy i amperomierzy; dla układu niesymetrycznego moc pozorną obliczyć jako sumę iloczynów napięć i prądów w poszczególnych fazach: $S = U_1I_1 + U_2I_2 + U_3I_3$,
- moc bierną dla każdego przypadku obliczyć z zależności: $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$.

Zalecane metody nauczania – uczenia się:

- ćwiczenia obliczeniowe i pomiarowe.

Środki dydaktyczne:

- schemat połączeń (rys. do ćwiczenia 4),
- odbiornik trójfazowy symetryczny impedancyjny,
- amperomierze,
- watomierze,
- woltomierz i przełącznik woltomierzowy lub odpowiednia ilość woltomierzy,
- rezystor laboratoryjny,
- wyłączniki jednofazowe, wyłącznik trójfazowy.



Rysunek do ćwiczenia 4 [źródło własne]

Ćwiczenie 5

Dokonaj pomiarów mocy czynnej oraz prądów i napięć koniecznych do określenia mocy biernej, pozornej i $\cos\varphi$ odbiornika trójfazowego impedancyjnego połączonego w trójkąt. Sprawdź za pomocą pomiarów, jaki wpływ na wartość mierzonych i obliczanych wielkości ma brak symetrii odbiornika oraz symetrii zasilania.

Wskazówki do realizacji

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia nauczyciel powinien omówić zakres i technikę wykonania ćwiczenia oraz przepisy bhp na stanowisku pracy.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

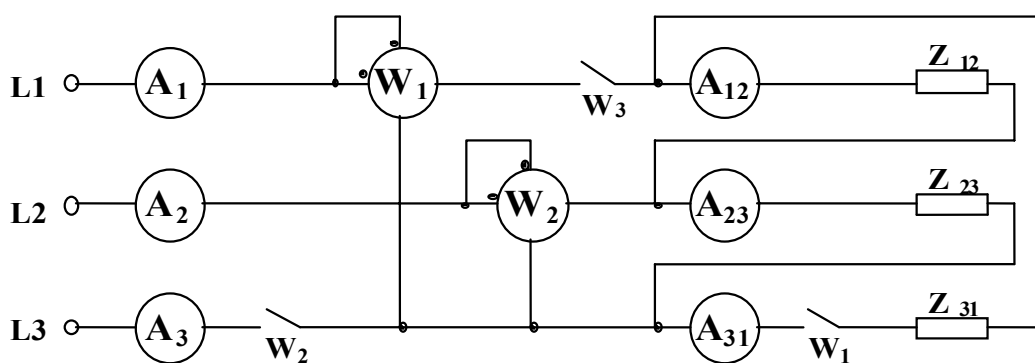
- 1) zapoznać się z danymi znamionowymi odbiornika i sieci zasilającej oraz schematem połączeń (rysunek do ćwiczenia 5),
- 2) przerysować schemat do zeszytu,
- 3) połączyć układ jak na rysunku,
- 4) oszacować wartości prądów i napięć,
- 5) dobrać mierniki odpowiedniego rodzaju i o właściwych zakresach,
- 6) przed przyłączeniem układu do sieci zasilającej sprawdzić w bezpieczny sposób brak napięcia na zaciskach fazowych,
- 7) sporządzić wykaz przyrządów i sprzętu pomiarowego z opisem ich danych eksploatacyjnych,
- 8) przygotować tabelę do zapisania wyników pomiarów: $I_1, I_2, I_3, I_{12}, I_{23}, I_{31}, U_{12}, U_{23}, U_{31}, P_1, P_2$, oraz obliczeń: $\sum P$ (suma wskazań watomierzy), $S, \cos\varphi, Q$ dla następujących przypadków:
 - odbiornik symetryczny,
 - odbiornik symetryczny z przerwą w fazie L13,
 - odbiornik symetryczny z przerwą przewodu L3,
 - odbiornik symetryczny z przerwą przewodu L1,
 - odbiornik niesymetryczny (dodatkowa rezystancja w jednej fazie),
- 9) zgłosić nauczycielowi gotowość wykonywania pomiarów,
- 10) wykonać pomiary dla wymienionych przypadków zapisać wyniki w przygotowanej tabeli.
- 11) wykonać obliczenia,
- 12) zanalizować wyniki pomiarów i obliczeń,
- 13) sformułować i zapisać wnioski dotyczące wpływu asymetrii na wartości mocy i pozostałych wielkości.

Zalecane metody nauczania–uczenia się:

- ćwiczenia pomiarowe.

Środki dydaktyczne:

- schemat połączeń (rysunek do ćwiczenia 5),
- odbiornik trójfazowy symetryczny impedancyjny,
- amperomierze,
- watomierze,
- woltomierz i przełącznik woltomierzowy lub odpowiednia ilość woltomierzy,
- rezystor laboratoryjny,
- wyłączniki jednofazowe, wyłącznik trójfazowy.



Rysunek do ćwiczenia 5 [w oparciu o 3]

Uwagi do wykonania ćwiczenia:

- pomiary napięć można wykonać jednym woltomierzem za pośrednictwem przełącznika woltomierzowego lub za pomocą przewodów zakończonych odpowiednio długimi końcówkami i dotykania nimi do odpowiednich punktów układu, zachowując ostrożność,
- moc pozorną dla układu symetrycznego obliczyć z zależności: $S = \sqrt{3}UI$, gdzie U, I – średnie wartości wskazań woltomierzy i amperomierzy; dla układu niesymetrycznego moc pozorną obliczyć jako sumę iloczynów napięć i prądów w poszczególnych fazach: $S = U_1 I_1 + U_2 I_2 + U_3 I_3$.
- moc bierną dla każdego przypadku obliczyć z zależności: $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$,
- w przypadku, gdy jeden z watomierzy odchyła się w niewłaściwą stronę, należy zamienić miejscami przyłączenie początku z końcem cewki prądowej lub napięciowej tego watomierza, a jego wskazania do obliczenia mocy przyjąć jako ujemne.

Ćwiczenie 6

Zmierz moc bierną odbiornika trójfazowego symetrycznego dwoma i trzema watomierzami. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów oblicz współczynnik mocy.

Wskazówki do realizacji

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia nauczyciel powinien omówić zakres i technikę wykonania ćwiczenia oraz przepisy bhp na stanowisku pracy.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) zapoznać się z danymi znamionowymi odbiornika i sieci zasilającej oraz schematami połączeń (rysunki 1 i 2 do ćwiczenia 6),
- 2) przerysować schemat 1 do zeszytu,
- 3) połączyć układ jak na rysunku,
- 4) oszacować wartości prądów i napięć,
- 5) dobrać mierniki odpowiedniego rodzaju i o właściwych zakresach,
- 6) przed przyłączeniem układu do sieci zasilającej sprawdzić w bezpieczny sposób brak napięcia na zaciskach fazowych,
- 7) sporządzić wykaz przyrządów i sprzętu pomiarowego z opisem ich danych eksploatacyjnych,

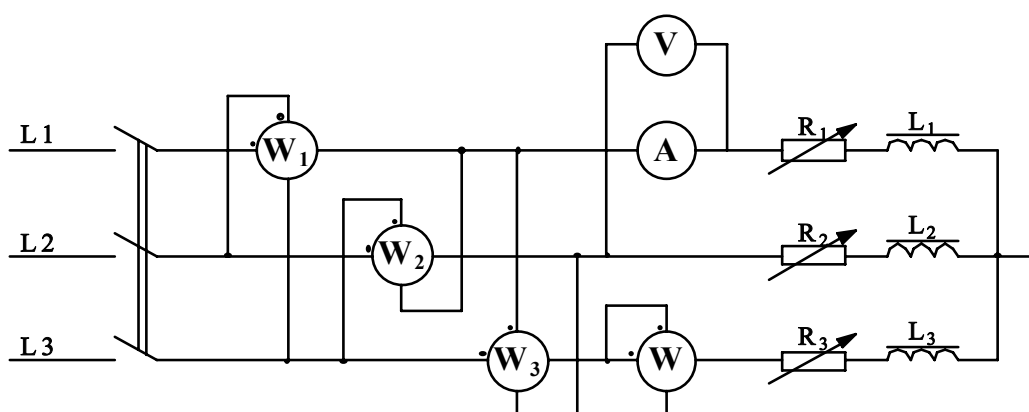
- 8) przygotować tabelę do zapisania wyników pomiarów: Q_1, Q_2, Q_3, P_f, I, U oraz obliczeń;
- 9) zgłosić nauczycielowi gotowość wykonywania pomiarów,
- 10) wykonać pomiary i zapisać wyniki w przygotowanej tabeli,
- 11) powtórzyć czynności 2– 10 dla układu według rysunku 2,
- 12) wykonać obliczenia,
- 13) porównać wyniki pomiarów i obliczeń uzyskane dwiema metodami.

Zalecane metody nauczania–uczenia się:

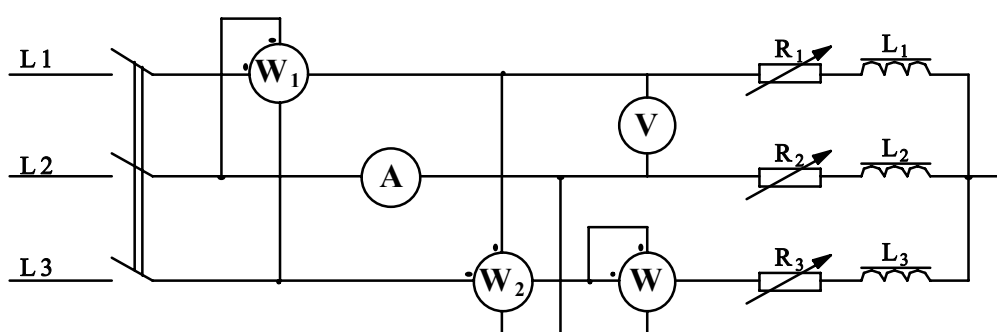
- ćwiczenia pomiarowe.

Środki dydaktyczne:

- schematy połączeń (rys. 1 i 2 do ćwiczenia 6),
- odbiornik trójfazowy symetryczny impedancyjny (jako odbiornik trójfazowy można wykorzystać uzwojenie pierwotne transformatora trójfazowego połączone ewentualnie z rezystorami suwakowymi),
- amperomierz,
- watomierze,
- woltomierz,
- wyłącznik trójfazowy.



Rysunek 1 do ćwiczenia 6 - pomiar mocy biernej trzema watomierzami [3]



Rysunek 2 do ćwiczenia 6 - pomiar mocy biernej dwoma watomierzami [3]

Uwaga do wykonania ćwiczenia:

Dla obu metod przygotować wspólną tabelę – w metodzie dwóch watomierzy do pomiaru mocy bierniej jedna rubryka pozostanie pusta.

Ćwiczenie 7

Dobierz pojemność jednej fazy kondensatora trójfazowego połączonego w gwiazdę, który należy dołączyć do silnika indukcyjnego trójfazowego o mocy 2,6 W, aby współczynnik mocy układu po dołączeniu kondensatora wynosił 0,9. Silnik zasilany jest z sieci trójfazowej o napięciu międzyfazowym $U = 400\text{V}$, $f = 50\text{ Hz}$ i przed dołączeniem kondensatora w każdym przewodzie zasilającym płynął prąd $I = 5\text{ A}$.

Wskazówki do realizacji

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia nauczyciel powinien omówić sposób wykonania ćwiczenia z uwzględnieniem wymaganej dokładności wykonania obliczeń.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) narysować odbiornik trójfazowy indukcyjny (silnik) podłączony do sieci trójfazowej trójprzewodowej z dołączonym trójfazowym kondensatorem,
- 2) obliczyć moc pozorną przed poprawą współczynnika mocy,
- 3) obliczyć współczynnik mocy przed jego poprawą,
- 4) obliczyć moc bierną przed kompensacją,
- 5) obliczyć moc pozorną i bierną po kompensacji,
- 6) obliczyć potrzebną do kompensacji moc bierną kondensatora trójfazowego oraz jednej fazy kondensatora,
- 7) obliczyć pojemność kondensatora,
- 8) określić zmianę prądu w przewodach linii zasilającej,
- 9) sformułować wnioski dotyczące znaczenia współczynnika mocy.

Zalecane metody nauczania–uczenia się:

- ćwiczenia obliczeniowe.

Środki dydaktyczne:

- długopis,
- kalkulator.

5.4. Pomiar energii elektrycznej w układach trójfazowych

5.4.1. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Dokonaj pomiaru energii pobranej przez odbiornik trójfazowy w ciągu 5 minut licznikiem trójfazowym. Na podstawie wskazań licznika określ moc tego odbiornika.

Wskazówki do realizacji

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia nauczyciel powinien omówić zakres i technikę wykonania ćwiczenia oraz przepisy bhp na stanowisku pracy. Wskazane jest dokonanie przez nauczyciela pokazu sprawdzenia kolejności faz w sieci zasilającej wskaźnikiem kolejności faz.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) zapoznać się z danymi znamionowymi odbiornika,
- 2) zapoznać się z kartami katalogowymi liczników i dokonać wyboru właściwego licznika,
- 3) zapoznać się z instrukcją producenta,
- 4) zapoznać się z danymi licznika umieszczonymi na tarczy podziałkowej,
- 5) dokonać oględzin stanu technicznego licznika,
- 6) narysować układ pomiarowy (schemat licznika przerysować z instrukcji producenta),
- 7) sprawdzić brak napięcia w sieci zasilającej,
- 8) podłączyć do sieci zasilającej licznik i odbiornik zgodnie ze schematem, zachowując zasady bezpieczeństwa,
- 9) wykonać pomiary i zapisać wyniki,
- 10) wykonać obliczenie mocy,
- 11) uzasadnić wybór licznika.

Zalecane metody nauczania–uczenia się:

- ćwiczenia pomiarowe.

Środki dydaktyczne:

- karty katalogowe liczników,
- licznik trójfazowy do pomiaru energii czynnej,
- odbiornik trójfazowy (na przykład silnik indukcyjny zwarty),
- woltomierz,
- zegarek.

Ćwiczenie 2

Układ pomiarowy z ćwiczenia 1 odłączono od zasilania. Po ponownym załączeniu układu do napięcia tarcza licznika nie obraca się. Zlokalizuj i usuń usterkę w układzie.

Wskazówki do realizacji

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia nauczyciel powinien omówić zakres i technikę wykonania ćwiczenia oraz przepisy bhp na stanowisku pracy. Symulację awarii istniejącego układu, poprzez spowodowanie przerwy w obwodzie prądowym, wprowadza nauczyciel.

Sposób wykonania ćwiczenia

Uczeń powinien:

- 1) sprawdzić istnienie napięcia zasilającego (za zgodą i w obecności nauczyciela),
- 2) odłączyć układ od napięcia zasilającego, sprawdzić brak istnienia napięcia,
- 3) dokonać oględzin układu,
- 4) zmierzyć rezystancje połączeń, przewodów, cewek licznika i uzwojeń silnika, zapisać wyniki pomiarów,
- 5) dokonać analizy wyników pomiarów i sformułować wnioski,
- 6) wskazać przyczynę niewłaściwej pracy układu pomiarowego,
- 7) usunąć usterkę,
- 8) sprawdzić działanie układu,
- 9) ocenić jakość wykonanej pracy.

Zalecane metody nauczania–uczenia się:

- ćwiczenia praktyczne.

Środki dydaktyczne:

- licznik trójfazowy do pomiaru energii czynnej,
- odbiornik trójfazowy (na przykład silnik indukcyjny zwarty),
- miernik uniwersalny AC/DC z funkcją pomiaru napięcia i rezystancji.

6. EWALUACJA OSIĄGNIĘĆ UCZNIA

Przykłady narzędzi pomiaru dydaktycznego

Test pisemny wielokrotnego wyboru do badań sumujących z zakresu obliczania i badania odwodów prądu trójfazowego

Test składa się z szesnastu zadań wielokrotnego wyboru: 10 z poziomu podstawowego (p) i 6 z ponadpodstawowego (pp). Kategoria zadania jest podana w planie testu.

Punktacja zadań: 0 lub 1 punkt

Za każdą poprawną odpowiedź uczeń otrzymuje 1 punkt, za błędną lub brak odpowiedzi uczeń otrzymuje 0 punktów.

Proponuje się następujące normy wymagań – uczeń otrzyma następujące oceny szkolne:

- dopuszczający – za rozwiązanie minimum 8 zadań,
- dostateczny – za rozwiązanie minimum 11 zadań
- dobry – za rozwiązanie minimum 13 zadań,
- bardzo dobry – za rozwiązanie za rozwiązanie minimum 15 zadań,
- celujący – test nie zawiera zadań na ocenę celującą.

Klucz odpowiedzi:

1.b, 2.a, 3.d, 4.c, 5.a, 6.c, 7.b, 8.c, 9.d, 10.c, 11.b, 12.c, 13.a, 14.d, 15.a, 16.d

Plan testu

Nr zadania	Cel operacyjny (mierzone osiągnięcia uczniów)	Kategoria celu	Poziom wymagań	Poprawna odpowiedź
1	Wyjaśnić zjawisko powstawania sił elektromotorycznych w prądnic	B	P	b
2	Identyfikować połączenia odbiornika trójfazowego w gwiazdę i w trójkąt	A	P	a
3	Rozróżnić napięcia fazowe i międzyfazowe oraz prądy fazowe przewodowe dla odbiorników połączonych w gwiazdę	B	P	d
4	Rozróżnić napięcia fazowe i międzyfazowe oraz prądy fazowe o przewodowe dla odbiorników połączonych w trójkąt	B	P	c
5	Rozpoznać charakter odbiornika trójfazowego i sposób połączenia na podstawie wykresu	A	PP	a

	wektorowego			
6	Dobrać przyrządy pomiarowe do wykonywania pomiarów w obwodach prądu trójfazowego	C	P	c
7	Dobrać przyrządy pomiarowe do wykonywania pomiarów w obwodach prądu trójfazowego	C	P	b
8	Wskazać przyczynę niewłaściwego działania układu trójfazowego na podstawie skutków	D	PP	c
9	Zanalizować pracę obwodów trójfazowych na podstawie wyników pomiarów	D	PP	d
10	Zanalizować pracę obwodów trójfazowych na podstawie wyników pomiarów	D	PP	c
11	Obliczyć moc odbiornika trójfazowego symetrycznego	C	P	b
12	Podać wzór na moc odbiornika niesymetrycznego	A	P	c
13	Zastosować właściwą zależność do pomiaru mocy czynnej odbiornika przy wykorzystaniu układu Arona	C	P	a
14	Wykorzystać układ do pomiaru mocy czynnej do określenia mocy biernej odbiornika trójfazowego	D	PP	d
15	Wskazać zastosowanie układów trójfazowych	A	P	a
16	Zmierzyć energię w układach trójfazowych	C	PP	d

Przebieg testowania

Instrukcja dla nauczyciela

1. Uczeń rozwiązuje 16 zadań testowych wielokrotnego wyboru.
2. W każdym zadaniu jest tylko jedna poprawna odpowiedź.
3. Uczeń zaznacza poprawną odpowiedź wstawiając znak X we właściwe pole w karcie odpowiedzi.
4. W przypadku pomyłki bierze błędną odpowiedź w kółko i zaznacza właściwą.
5. W trakcie rozwiązywania testu uczeń może korzystać z kalkulatora.
6. Na rozwiązanie testu uczeń ma 24 minuty oraz 5 minut na zapoznanie się z instrukcją.
7. Po zakończeniu testu uczeń podnosi rękę i czeka aż nauczyciel odbierze od niego pracę.

Instrukcja dla ucznia

1. Przeczytaj uważnie instrukcję – masz na tę czynność 5 minut, jeżeli są wątpliwości zapytaj nauczyciela.
2. Podpisz imieniem i nazwiskiem kartę odpowiedzi.
3. Zapoznaj się z zestawem pytań testowych.
4. Test zawiera 16 pytań. Do każdego pytania dołączone są 4 możliwości odpowiedzi. Tylko jedna jest prawidłowa.

5. Za każdą poprawną odpowiedź otrzymasz 1 punkt, za błędną, lub brak odpowiedzi 0 punktów.
6. W czasie rozwiązywania zadań możesz korzystać z kalkulatora.
7. Udzielaj odpowiedzi tylko na załączonej karcie odpowiedzi; zaznacz poprawną odpowiedź wstawiając znak X w odpowiednie pole w karcie odpowiedzi.
8. W przypadku pomyłki weź błędną odpowiedź w kółko, a następnie zaznacz odpowiedź prawidłową.
9. Pracuj samodzielnie, bo tylko wtedy będziesz miał satysfakcję z wykonanego zadania.
10. Kiedy udzielenie odpowiedzi na kolejne pytanie będzie Ci sprawiało trudność, odłóż jego rozwiązanie na później i wróć do niego, gdy zostanie Ci wolny czas.
11. Na rozwiązanie testu masz 24 minuty.
12. Po zakończeniu testu podnieś rękę i zaczekaj, aż nauczyciel odbierze od Ciebie pracę.

Powodzenia!

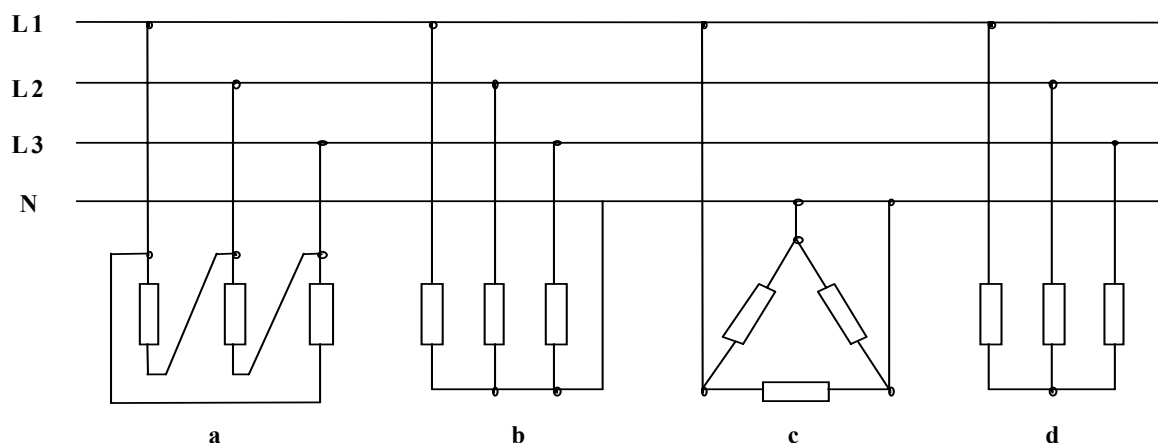
Materiały dla ucznia:

- instrukcja,
- zestaw zadań testowych,
- karta odpowiedzi.

Zestaw zadań testowych

- 1) W uzwojeniach fazowych prądnicy trójfazowej indukują się siły elektromotoryczne o jednakowej amplitudzie, ponieważ:
 - a) prądnica posiada jedną magnesnicę,
 - b) uzwojenia wszystkich faz są identyczne,
 - c) uzwojenia wszystkich faz są przesunięte co 120° ,
 - d) prądnica posiada jedną parę biegunów.

- 2) Który z odbiorników połączono w trójkąt i przyłączono do sieci trójfazowej?

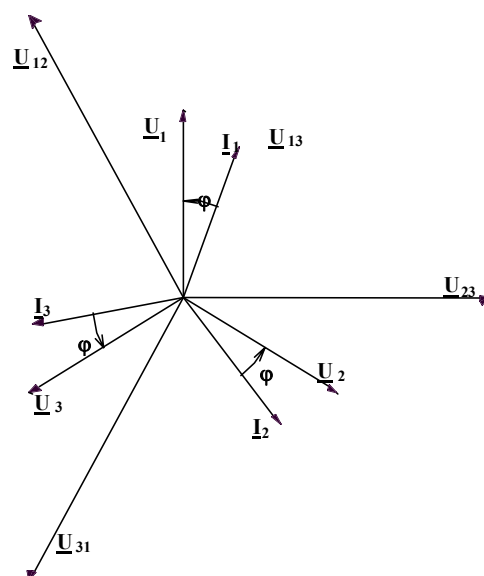


- 3) Dla odbiornika trójfazowego symetrycznego skojarzonego w gwiazdę słuszne są zależności:
 - a) $U_f = U_p$ oraz $I_f = I_p$,
 - b) $U_f = \sqrt{3}U_p$ oraz $I_f = I_p$,
 - c) $U_p = \frac{U_f}{\sqrt{3}}$ oraz $I_p = \frac{I_f}{\sqrt{3}}$,
 - d) $U_f = \frac{U_p}{\sqrt{3}}$ oraz $I_f = I_p$.

- 4) Dla odbiornika trójfazowego symetrycznego skojarzonego w trójkąt słuszne są zależności:
 - a) $U_f = U_p$ oraz $I_f = I_p$,
 - b) $U_f = \sqrt{3}U_p$ oraz $I_f = I_p$,
 - c) $U_p = U_f$ oraz $I_p = \sqrt{3}I_f$,
 - d) $U_f = \frac{U_p}{\sqrt{3}}$ oraz $I_f = I_p$.

5) Rysunek przedstawia wykres wektorowy dla odbiornika trójfazowego symetrycznego:

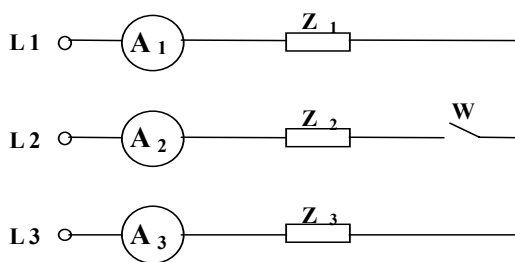
- a) indukcyjnego połączonego w gwiazdę,
- b) pojemnościowego połączonego w gwiazdę,
- c) indukcyjnego połączonego w trójkąt,
- d) pojemnościowego połączonego w trójkąt.



- 6) Do poprawnego pomiaru prądu przewodowego pobieranego przez silnik indukcyjny trójfazowy połączony w gwiazdę o impedancji jednej fazy $Z = 50 \, \Omega$, zasilany z sieci trójfazowej o napięciu międzyfazowym $U = 400V$ należy użyć amperomierza o zakresie:
- a) 25 A,
 - b) 15 A,
 - c) 5 A,
 - d) 1 A.
- 7) Do poprawnego pomiaru prądu przewodowego pobieranego przez silnik indukcyjny trójfazowy połączony w trójkąt o impedancji jednej fazy $Z = 50 \, \Omega$, zasilany z sieci o napięciu międzyfazowym $U = 400V$ należy użyć amperomierza o zakresie:
- a) 25 A,
 - b) 15 A,
 - c) 5 A,
 - d) 1 A.
- 8) Po dołączeniu zasilania z sieci trójfazowej do silnika indukcyjnego trójfazowego wirnik wiruje w kierunku przeciwnym do oczekiwanego. Jest to spowodowane:
- a) przerwą w przewodzie zasilającym,
 - b) zwarcie dwóch faz,
 - c) zamianą kolejności faz napięć zasilających,
 - d) przerwą w uzwojeniu jednej fazy silnika.

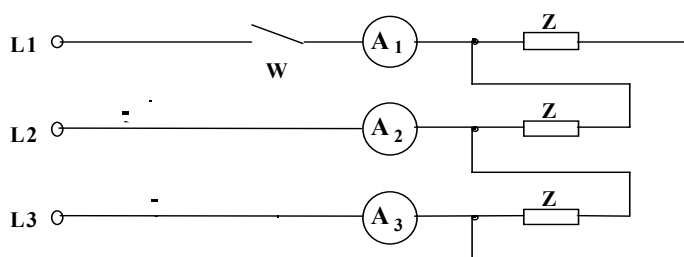
Przy zamkniętym wyłączniku W amperomierze wskazują prądy: $I_1 = I_2 = I_3$. Po otwarciu wyłącznika:

- a) I_1 wzrośnie, a I_3 zmaleje,
- b) I_1 i I_3 nie ulegną zmianie,
- c) I_1 i I_3 wzrosną,
- d) I_1 i I_3 zmaleją.



9) Przy zamkniętym wyłączniku W amperomierze wskazują prądy: $I_1 = I_2 = I_3$. Po otwarciu wyłącznika:

- a) I_2 wzrośnie, a I_3 zmaleje,
- b) I_2 i I_3 nie ulegną zmianie,
- c) I_2 i I_3 zmaleją,
- d) I_2 i I_3 wzrosną.



10) Symetryczny odbiornik trójfazowy rezystancyjny połączony w gwiazdę przyłączono do sieci trójfazowej o napięciu $U=400V$. W każdej fazie płynie prąd równy 5A. Jaka jest moc czynna tego odbiornika?

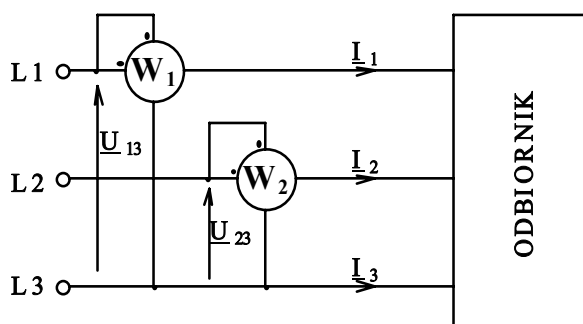
- a) $P = 1,15 \text{ kW}$
- b) $P = 3,45 \text{ kW}$
- c) $P = 6 \text{ kW}$
- d) $P = 18 \text{ kW}$.

11) Moc czynną odbiornika trójfazowego niesymetrycznego obliczamy z zależności:

- a) $P = \sqrt{3}U_f I_f \cos \varphi$,
- b) $P = 3UI \cos \varphi$,
- c) $P = U_{f1} I_{f1} \cos \varphi_1 + U_{f2} I_{f2} \cos \varphi_2 + U_{f3} I_{f3} \cos \varphi_3$,
- d) $P = U_{p1} I_{p1} \cos \varphi_1 + U_{p2} I_{p2} \cos \varphi_2 + U_{p3} I_{p3} \cos \varphi_3$.

12) Przy pomiarze mocy czynnej odbiornika trójfazowego (w układzie jak na rysunku) do określenia mocy tego odbiornika należy posłużyć się zależnościami (P_1 , P_2 – wskazania watomierzy):

- a) $P = P_1 + P_2$,
- b) $P = (P_1 + P_2) \cos \varphi$,
- c) $P = \sqrt{3}(P_1 + P_2)$,
- d) $P = 3(P_1 + P_2)$.



13) Moc bierną odbiornika z zadania 13 można określić na podstawie wskazań tak włączonych watomierzy z zależności: $Q = \sqrt{3}(P_1 - P_2)$, gdy odbiornik trójfazowy jest:

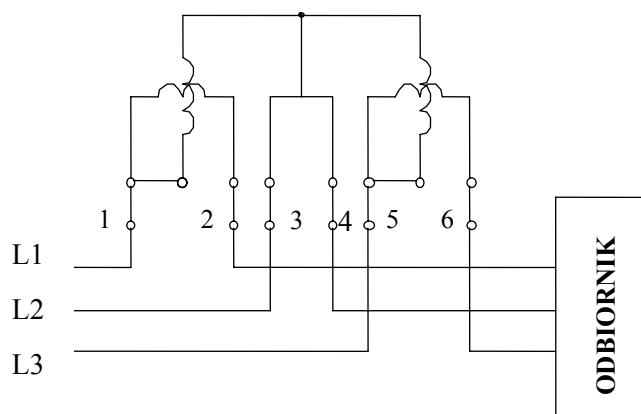
- a) niesymetryczny skojarzony w gwiazdę,
- b) symetryczny skojarzony wyłącznie w gwiazdę,
- c) niesymetryczny skojarzony w trójkąt,
- d) symetryczny skojarzony w gwiazdę lub w trójkąt.

15) Układy trójfazowe **nie mają** zastosowania w:

- a) domowych urządzeniach małej mocy,
- b) silnikach dużej mocy,
- c) transformatorach energetycznych,
- d) prądnicach w elektrowniach.

16) Rysunek przedstawia:

- a) sposób włączenia licznika mierzącego energię pobieraną przez dwie fazy odbiornika trójfazowego,
- b) sposób włączenia licznika mierzącego energię czynną pobieraną przez jedną fazę odbiornika trójfazowego w systemie dwutaryfowym,
- c) sposób włączenia licznika mierzącego energię bierną odbiornika,
- d) sposób włączenia licznika dwuustrojowego do pomiaru energii czynnej odbiornika trójfazowego.



KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko

Obliczanie i badanie obwodów prądu trójfazowego

Zaznacz poprawną odpowiedź

Numer zadania	Odpowiedź				Punkty
	a	b	c	d	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
Razem					

TEST PRAKTYCZNY

Test zawiera jedno zadanie praktyczne nisko symulowane do badań sumujących z zakresu obliczania i badania obwodów trójfazowych.

Plan testu

L.p.	Cel operacyjny badany testem	Kategoria taksonomiczna	Poziom wymagań
1.	Identyfikować parametry sieci trójfazowej	A	p
2.	Określać parametry odbiorników trójfazowych	B	p
3.	Rysować schematy połączeń układów trójfazowych	C	p
4.	Ustalić zakres pomiarów w układach trójfazowych	C	p
5.	Dobierać mierniki do pomiaru prądu, napięcia i mocy w układach trójfazowych	C	p
6.	Łączyć układy trójfazowe	C	p
7.	Przeprowadzić pomiary w układach trójfazowych symetrycznych	C	p
8.	Przeprowadzić pomiary w układach asymetrycznych	C	p
9.	Przeprowadzić obliczenia w układach trójfazowych	C	p
10.	Ocenić wpływ asymetrii na parametry układu trójfazowego	D	pp

Przebieg testowania

Przykład arkusza do obserwacji wybranych umiejętności:

L.p.	Nazwa czynności	Liczba punktów	Kryteria oceny Uczeń:	Uczeń 1	Uczeń 2	Uczeń 3
1	Określenie parametrów układów trójfazowych	1	Opisał dane znamionowe odbiornika			
		1	Zidentyfikował parametry sieci zasilającej			
2	Narysowanie schematu układu połączeń	3	Narysował poprawnie schemat układu pomiarowego, mierniki włączone prawidłowo			
		2	Zaplanował wprowadzenie asymetrii poprzez zastosowanie wyłącznika			

4	Dobór rodzajów i zakresów mierników	2	Dobrał właściwy rodzaj mierników			
		3	Właściwie dobrał zakresy mierników			
5	Połączenie układu	3	Połączył układ zgodnie ze schematem			
		2	Połączył układ estetycznie (np. zastosował przewody o odpowiedniej długości, układ jest przejrzysty)			
6	Uruchomienie układu, przeprowadzenie pomiarów	2	Poprawnie wykonał pomiary dla układu symetrycznego			
		2	Poprawnie wykonał pomiary dla układu asymetrycznego			
		3	Zastosował zasady bhp przy uruchamianiu układu i pomiarach			
7	Wykonanie niezbędnych obliczeń	2	Poprawnie zapisał wzory niezbędne do wykonania obliczeń			
		1	Obliczył współczynnik mocy dla układu			
8	Analiza wyników pomiarów i obliczeń	2	Dokonał analizy wyników pomiarów i obliczeń			
		2	Sformułował wnioski dotyczące wpływu asymetrii na parametry układu			
9	Ocena wykonania ćwiczenia	1	Ocecił i uzasadnił sposób wykonania zadania			

Uwaga: liczba punktów uwzględnia wagę, nie należy jej dzielić.

Instrukcja dla nauczyciela:

- 1). Sprawdzian należy przeprowadzić w sali przygotowanej wcześniej i wyposażonej zgodnie ze specyfikacją.
- 2). Przed rozpoczęciem testu należy zapoznać uczniów z kryteriami punktowania i normą wymagań na poszczególne oceny szkolne.
- 3). Po zajęciu miejsc przez uczniów należy rozdać instrukcje testowania, a następnie arkusze zadań testowych oraz arkusze odpowiedzi. Na arkuszach uczniowie powinni wpisać imię, nazwisko. Należy zapoznać uczniów z kryteriami oceniania.
- 4). Uczniowie pracują indywidualnie nie korzystając z żadnych pomocy za wyjątkiem przyborów do pisanie i rysowania oraz kalkulatorów.
- 5). Po narysowaniu schematu połączeń (na kartce z wykorzystaniem przyborów kreślarskich lub komputera) oraz zaplanowaniu niezbędnych mierników następuje ich ocena przez prowadzącego według kryteriów podanych w arkuszu oceny.
- 6). W przypadku złego rozwiązania dotyczącego schematu prowadzący przekazuje

poprawny schemat uczniom.

- 7). Uczniowie po narysowaniu schematu samodzielnie pobierają elementy potrzebne do połączenia układu ze zbioru elementów.
- 8). Po dobraniu elementów uczniowie łączą i uruchamiają układ. Ocena tej części odbywa się na podstawie obserwacji efektów prac uczniów. Ocena poprawności działania układu odbywa się na podstawie opisu ustnego lub pisemnego udzielonego przez ucznia.
- 9). Na rozwiązanie zadania uczniowie mają maksymalnie 90 minut (czas jest mierzony tylko w czasie pracy uczniów).
- 10). Uczniowie mogą zgłosić fakt zakończenia zadania tylko wtedy, gdy dokonali pomiarów i ocenili uzyskane wyniki.

Proponuje się następujące normy wymagań – uczeń otrzyma następujące oceny szkolne:

- 0 - 15 pkt - ocena niedostateczna,
- 16 - 19 pkt - ocena dopuszczająca,
- 20 - 24 pkt - ocena dostateczna,
- 25 - 28 pkt - ocena dobra,
- 29 - 32 pkt - ocena bardzo dobra.

Nie przewiduje się oceny celującej.

Materiały dla ucznia:

- instrukcja,
- arkusz zadania praktycznego,
- karta odpowiedzi,
- odbiornik trójfazowy impedancyjny,
- amperomierze, woltomierze , watomierze
- wyłączniki
- przewody łączeniowe
- przełącznik woltomierzowy
- kalkulator, przybory do pisania i rysowania (komputer).

Arkusz zadania praktycznego

Opis zadania:

Dokonaj pomiarów mocy czynnej oraz prądów i napięć niezbędnych do obliczenia współczynnika mocy symetrycznego odbiornika trójfazowego impedancyjnego połączonego w trójkąt. Dokonaj symulacji przerwy w jednej fazie odbiornika i oceń wpływ asymetrii na moc odbiornika.

Polecenia:

1. Określ dane znamionowe odbiornika i sieci zasilającej. Zapisz te dane.
2. Ustal wielkości, które musisz zmierzyć.
3. Narysuj schemat układu połączeń.
4. Określ liczbę i rodzaj oraz zakresy mierników.
5. Ustal wielkości, które musisz obliczyć.
6. Podaj niezbędne zależności z których skorzystasz przy obliczeniach.
7. Opracuj tabelę do zapisania wyników pomiarów i obliczeń.
8. Pobierz właściwe elementy z magazynu przygotowanego przez nauczyciela.
9. Połącz układ i przeprowadź pomiary dla odbiornika symetrycznego.
10. Wykonaj pomiary po spowodowaniu przerwy w jednej fazie odbiornika.
11. Wykonaj obliczenia.
12. Sformułuj i zapisz wnioski.
13. Uzasadnij sposób wykonania zadania.

Instrukcja dla ucznia:

1. Przeanalizuj dokładnie treść zadania. Za wykonanie zadania możesz otrzymać 32 punkty.
2. Ocenę wystawi nauczyciel według kryteriów punktowania i przeliczenie punktów na ocenę przedstawionych na wstępie.
3. Zapoznaj się z danymi znamionowymi odbiornika oraz parametrami sieci zasilającej.
4. Rozwiązanie zadania polega na zaplanowaniu oraz wykonaniu pomiarów dla odbiornika symetrycznego i niesymetrycznego, zgodnie z podanymi poleceniami.
5. Schemat możesz narysować korzystając z przyborów kreślarskich lub komputera.
6. Obliczenia możesz wykonywać korzystając z kalkulatora lub komputera.
7. Po narysowaniu schematu połączeń i zaplanowaniu niezbędnej aparatury zgłoś ten fakt nauczycielowi. Układ możesz uruchomić po uzyskaniu zgody nauczyciela.
8. Przy wykonywaniu zadania utrzymuj ład na stanowisku pracy, stosuj zasady bhp.
9. Kolejność rozwiązywania zadania jest ustalona w poleceniach,
10. W trakcie rozwiązywania zadania nie możesz korzystać z żadnych pomocy.
11. Na rozwiązanie całego zadania masz łącznie 135 minut.

Powodzenia!

KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko

Obliczanie i badanie obwodów prądu trójfazowego.

1. Parametry trójfazowej sieci zasilającej:

--

2. Dane znamionowe odbiornika trójfazowego:

--

3. Schemat połączeń:

--

4. Wykaz wielkości mierzonych.

--

5. Wykaz i opis aparatury pomiarowej:

--

6. Wykaz elementów łączeniowych.

--

7. Wykaz wielkości obliczanych.

--

8. Tabela pomiarowa:

--

9. Wzory i obliczenia:

--

10. Wnioski z pomiarów:

--

11. Uzasadnienie sposobu wykonania zadania.

--

7. LITERATURA

1. Bolkowski S.: Elektrotechnika. WSiP, Warszawa 2004
2. Kurdziel R.: Podstawy elektrotechniki dla szkoły zasadniczej. WSiP, Warszawa 1997
3. Woźniak J.: Pracownia elektryczna t.1. Pomiary elektryczne. Instytut Technologii Eksploatacji, Radom 1997