



MINISTERSTWO EDUKACJI  
NARODOWEJ



**Piotr Ziembicki**

## **Obliczanie i pomiary parametrów obwodów prądu przemiennego 724[02].O1.10**

**Poradnik dla ucznia**

**Wydawca**

**Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy  
Radom 2007**

Recenzenci:

mgr inż. Dariusz Duralski

mgr inż. Tomasz Mazan

Opracowanie redakcyjne:

mgr inż. Piotr Ziembicki

Konsultacja:

mgr inż. Jolanta Skoczyła

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 724[02].O1.10 „Obliczanie i pomiary parametrów obwodów prądu przemiennego”, zawartego w modułowym programie nauczania dla zawodu elektromechanik pojazdów samochodowych.

Wydawca

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2007

# SPIS TREŚCI

<b>1. Wprowadzenie</b>	3
<b>2. Wymagania wstępne</b>	5
<b>3. Cele kształcenia</b>	6
<b>4. Materiał nauczania</b>	7
<b>4.1. Zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Napięcie indukcji własnej i wzajemnej. Napięcie indukowane w przewodzie poruszającym się w polu magnetycznym</b>	7
4.1.1. Materiał nauczania	7
4.1.2. Pytania sprawdzające	12
4.1.3. Ćwiczenia	12
4.1.4. Sprawdzian postępów	14
<b>4.2. Wytwarzanie napięć przemiennych. Podstawowe wielkości prądu przemiennego</b>	15
4.2.1. Materiał nauczania	15
4.2.2. Pytania sprawdzające	17
4.2.3. Ćwiczenia	17
4.2.4. Sprawdzian postępów	23
<b>4.3. Elementy R, L, C w obwodach prądu sinusoidalnego. Połączenia szeregowe i równoległe elementów R, L, C. Przedstawianie przebiegów sinusoidalnych za pomocą wykresów wektorowych. Moc prądu jednofazowego</b>	24
4.3.1. Materiał nauczania	24
4.3.2. Pytania sprawdzające	34
4.3.3. Ćwiczenia	34
4.3.4. Sprawdzian postępów	38
<b>4.4. Rezonans szeregowy i równoległy. Powstawanie napięcia trójfazowego. Moc prądu trójfazowego</b>	39
4.4.1. Materiał nauczania	39
4.4.2. Pytania sprawdzające	44
4.4.3. Ćwiczenia	44
4.4.4. Sprawdzian postępów	47
<b>4.5. Maszyny wirujące prądu stałego i przemiennego jednofazowego. Transformatory</b>	48
4.5.1. Materiał nauczania	48
4.5.2. Pytania sprawdzające	52
4.5.3. Ćwiczenia	52
4.5.4. Sprawdzian postępów	54
<b>4.6 Podstawowe urządzenia elektryczne oraz obwody występujące w instalacji elektrycznej pojazdu samochodowego</b>	55
4.6.1. Materiał nauczania	55
4.6.2. Pytania sprawdzające	57
4.6.3. Ćwiczenia	57
4.6.4. Sprawdzian postępów	59
<b>5. Sprawdzian osiągnięć</b>	60
<b>6. Literatura</b>	65

# 1. WPROWADZENIE

Poradnik ten będzie Ci pomocny w ukształtowaniu umiejętności z zakresu elektrotechniki. Zawarto w nim podstawowe pojęcia oraz informacje o elementach obwodów i prawach obowiązujących w obwodach prądu przemiennego. Ułatwi Ci to ukształtowanie umiejętności rozpoznawania elementów obwodów elektrycznych, analizowania zjawisk, wykonywania pomiarów oraz interpretowania wyników pomiarów przeprowadzanych w obwodach elektrycznych.

W poradniku znajdziesz:

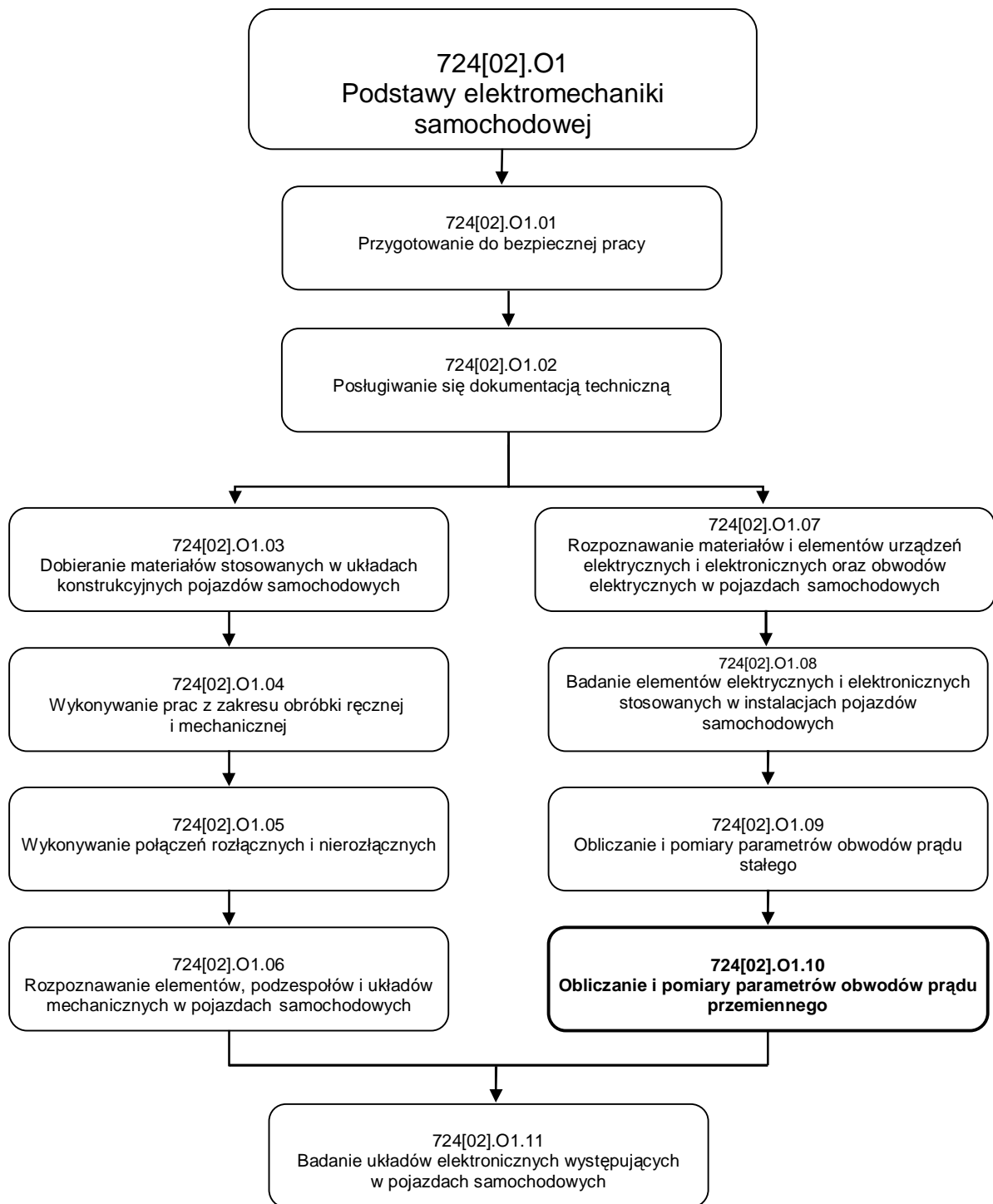
- wymagania wstępne – wykaz umiejętności, jakie powinieneś mieć już ukształtowane, abyś bez problemów mógł korzystać z poradnika,
- cele kształcenia – wykaz umiejętności, jakie ukształtujesz podczas pracy z poradnikiem,
- materiał nauczania – wiadomości teoretyczne niezbędne do osiągnięcia założonych celów kształcenia i opanowania umiejętności zawartych w jednostce modułowej,
- zestaw pytań, abyś mógł sprawdzić, czy jesteś już przygotowany do wykonywania ćwiczeń,
- ćwiczenia, które pomogą Ci zweryfikować wiadomości teoretyczne oraz ukształtować umiejętności praktyczne; w przypadku pytań i ćwiczeń, których rozwiązanie sprawia Ci trudności, zwracaj się o pomoc do nauczyciela,
- sprawdziany postępów, czyli zestawy pytań, na które należy odpowiedzieć dla samooceny,
- test osiągnięć, przykładowy zestaw zadań: pozytywny wynik testu potwierdzi, że dobrze pracowałeś podczas zajęć i ukształtowałeś umiejętności z tej jednostki modułowej,
- literaturę uzupełniającą, do której należy sięgać dla pogłębienia wiedzy i przygotowania się do zajęć.

Pracując z poradnikiem powinieneś zwrócić uwagę na szczególnie istotne i trudne treści, a mianowicie:

- parametry charakteryzujące prąd przemienny,
- zjawisko indukcji elektromagnetycznej i jej zastosowanie,
- prawa i reguły stosowane w maszynach prądu stałego - prądnicy i silniku,
- rozpoznawanie i lokalizowanie podstawowych obwodów w pojazdach samochodowych.

## **Bezpieczeństwo i higiena pracy**

W czasie realizacji zajęć w pracowni pomiarów elektrycznych musisz przestrzegać regulaminu, stosować się do przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy oraz instrukcji wynikających z rodzaju wykonywanych prac. Regulamin i przepisy poznałeś na pierwszych zajęciach w poprzedniej jednostce modułowej.



Schemat układu jednostek modułowych

## 2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Przystępując do realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- interpretować podstawowe prawa dotyczące pola elektrycznego i magnetycznego,
- korzystać z różnych źródeł informacji,
- współpracować w grupie,
- uczestniczyć w dyskusji, prezentacji,
- przestrzegać zasad bezpieczeństwa i higieny pracy podczas badania i konstruowania prostych obwodów elektrycznych lub badania elementów tych obwodów,
- stosować prawa i zależności matematyczne opisujące współzależności między wielkościami fizycznymi,
- stosować różne metody i środki (symbole, rysunki, zdjęcia itp.) w porozumiewaniu się na temat zagadnień technicznych.

### 3. CELE KSZTAŁCENIA

W wyniku realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- rozróżnić podstawowe wielkości elektryczne prądu przemiennego ich jednostki,
- wyjaśnić zjawisko indukcji elektromagnetycznej,
- wskazać przykłady wykorzystania zjawiska indukcji elektromagnetycznej,
- rozróżnić podstawowe parametry przebiegu sinusoidalnego,
- obliczyć impedancje prostych obwodów R, L, C,
- obliczyć prądy i napięcia w prostych obwodach R, L, C,
- obliczyć moc odbiorników prądu sinusoidalnego,
- rozróżnić połączenie odbiornika trójfazowego w gwiazdę i w trójkąt,
- połączyć obwody elektryczne prądu przemiennego na podstawie schematów ideowych i montażowych,
- dobrać odpowiednie przyrządy pomiarowe do wykonywania pomiarów w obwodach prądu przemiennego,
- zmierzyć podstawowe wielkości elektryczne w obwodach prądu przemiennego jednofazowego i trójfazowego,
- objaśnić zjawisko rezonansu oraz jego zastosowanie w łączności bezprzewodowej i elektroenergetyce,
- opisać budowę, zasadę działania i zastosowanie maszyn elektrycznych występujących w instalacji elektrycznej pojazdów samochodowych,
- zastosować przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy, ochrony od porażeń prądem elektrycznym, ochrony przeciwpożarowej oraz ochrony środowiska podczas wykonywania pomiarów obwodów prądu przemiennego.

## 4. MATERIAŁ NAUCZANIA

### 4.1. Zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Napięcie indukcji własnej i wzajemnej. Napięcie indukowane w przewodzie poruszającym się w polu magnetycznym

#### 4.1.1. Materiał nauczania

Połączmy końce przewodu z bardzo czułym miernikiem elektrycznym, np. galwanoskopem (można zamiast przewodu użyć cewki, nawiniętej z cienkiego, izolowanego drutu o wielu zwojach). Jeżeli przewód ten umieścimy w polu magnetycznym nie poruszając nim, to wskazówka galwanoskopu pozostanie nieruchoma. Gdy jednak przewód będziemy przesuwali w poprzek strumienia magnetycznego, to wskazówka galwanoskopu odchyli się w jedną stronę, a po ustaniu ruchu przewodu – powróci do zera. Jeżeli będziemy przesuwali przewód z powrotem, to wskazówka galwanometru odchyli się w przeciwnym kierunku. Przy ruchu przewodu wzdłuż linii sił pola magnetycznego wskazówka galwanoskopu pozostanie nieruchoma. Z powyższego wynika, że podczas przesuwania przewodu w jednostajnym polu magnetycznym tak, aby przecinał on linie sił magnetycznych tego pola, w przewodzie powstaje (indukuje się) siła elektromotoryczna (SEM). Ten sam efekt uzyskamy, gdy przewód będzie nieruchomy, a poruszać będziemy magnesem tak, by jego liniami sił przecinał przewód. Kierunek działania siły elektromotorycznej wyznaczamy za pomocą reguły prawej dłoni.

Zjawisko powyższe określone jako indukcja elektromagnetyczna wykorzystane jest przy budowie prądnic elektrycznych. Znajomość reguły prawej dłoni pomaga w ustaleniu, który z zacisków prądnicy będzie, przy określonym kierunku jej obrotów, dodatni. Aby wytwarzać SEM w przewodzie przez dowolnie długi czas, należy przecinać nim cały czas linie sił pola magnetycznego. Najprościej zrealizować to możemy wprowadzając uzwojenie w postaci ramki w ruch obrotowy w polu magnetycznym. Aby można było odebrać wytworzony prąd, końce uzwojenia łączymy każdy z osobnym pierścieniem. Szczotki kontaktujące się z tymi pierścieniami odprowadzają prąd do obwodu zewnętrznego. Ruch obrotowy można sprowadzić do ruchu posuwisto-zwrotnego. Z reguły prawej dłoni wynika, że zmiana kierunku ruchu powoduje działania siły elektromotorycznej (kierunku prądu). Wynika stąd, że w ten sposób otrzymujemy prąd przemienny (prądnice prądu przemiennego). Gdybyśmy jednak końce wirującego uzwojenia połączyli z jednym pierścieniem podzielonym na wycinki odizolowane od siebie, to wówczas szczotki z tego pierścienia odbierają prąd tętniący. Stosując więcej uzwojeń i dzieląc pierścień na więcej wycinków, otrzymamy prąd stały. Taki pierścień podzielony na wycinki nazywamy komutatorem. Dzięki komutatorowi, mimo że w wirującym uzwojeniu wytwarza się prąd przemienny, w obwodzie zewnętrznym płynie prąd stały (prądnice prądu stałego).

Siła elektromotoryczna  $E$  powstaje dzięki przecinaniu linii pola magnetycznego przez przewodnik. Stąd należy wnioskować, że siła ta będzie tym większa, im więcej linii sił (większy strumień magnetyczny  $\Phi$ ) przetnie przewodnik w krótszym czasie. Przecinanie linii sił w prądnicach realizuje się, jak opisano wyżej, wprowadzając w ruch obrotowy uzwojenie twornika umieszczone w jednostajnym polu magnetycznym. Uzwojenie to przetnie tym więcej linii sił w krótszym czasie, im więcej wykona ono obrotów  $n$  na minutę. Powyższą zależność można zapisać:

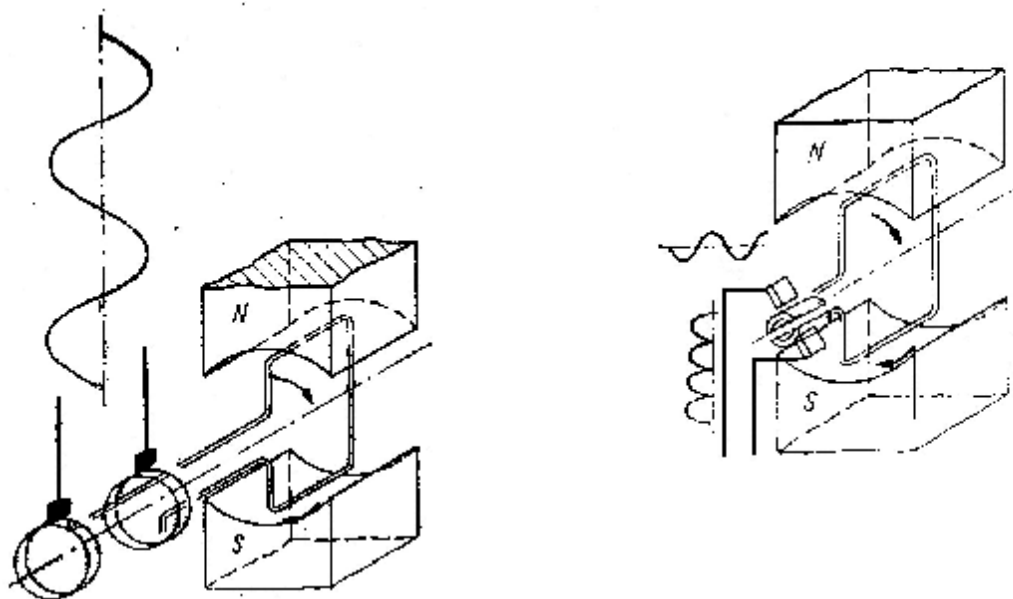
$$E = \Phi \cdot n \cdot k$$

gdzie  $k$  – współczynnik proporcjonalności, zależy od budowy prądnicy.

$n$  – obr/min.

$\Phi$  – strumień magnetyczny.





Rys. 1 i 2. Odprowadzenie prądu z wirującego uzwojenia za pomocą dwóch pierścieni i komutatora [źródło własne]

Wielkość siły elektromotorycznej wytworzonej przez prądnicę jest proporcjonalna do wytwarzanego przez nią strumienia magnetycznego i jej prędkości obrotowej.

Siła elektromotoryczna indukuje się również w nieruchomej cewce, jeśli zmienia się strumień magnetyczny objęty przez tę cewkę. Wprowadzamy magnes do środka cewki. Coraz to większy strumień magnetyczny przecina uzwojenie cewki, indukując w niej coraz większą siłę elektromotoryczną. Siła ta w zamkniętym obwodzie uzwojenia cewki spowoduje przepływ prądu. Prąd ten wywoła wewnątrz cewki dodatkowy strumień przeciwdziałający strumieniowi  $\Phi$  magnesu. Natomiast przy wyjmowaniu magnesu indukowana siła elektromotoryczna w zamkniętym obwodzie cewki wywoła prąd wytwarzający dodatkowe pole magnetyczne wspomagające strumień  $\Phi$  obejmowany przez cewkę. Zmiany strumienia magnetycznego w zamkniętym obwodzie cewki indukują siłę elektromotoryczną o takim kierunku działania, że wywołany przez nią prąd w obwodzie przeciwdziała zachodzącym zmianom lub stara się utrzymać poprzedni stan. Ta zależność nosi nazwę „reguły Lenza”.

Przepływowi prądu przez cewkę towarzyszy wytwarzanie się strumienia magnetycznego. Każda zmiana prądu wywołuje w cewce zmianę strumienia magnetycznego, co z kolei powoduje indukowanie się w niej siły elektromotorycznej.

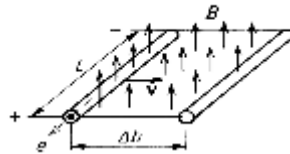
Powstanie napięcia w cewce objętej zmiennym strumieniem magnetycznym nazywamy zjawiskiem indukcji elektromagnetycznej. Można też powiedzieć, że napięcie indukuje się na skutek zmiany strumienia magnetycznego skojarzonego z cewką drugą. Zauważmy, że nie ma znaczenia jak wywołana jest zmiana. Może to być ruch magnesu trwałego lub solenoidu, może to być zmiana wywołana zmianą wartości prądu w cewce. Prawo Faradaya (czyt. Faradaja) podaje związek między indukowaną siłą elektromotoryczną, a zmianą strumienia skojarzonego z cewką w jednostce czasu.

$$e = -\frac{\Delta\Psi}{\Delta t} \quad \text{lub} \quad e = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Znak minus w obu równaniach oznacza, że wzrost strumienia oznacza zmniejszanie się SEM i na odwrót. Kierunek SEM indukcji określa reguła Lenza (czyt. Lenca): w zamkniętym obwodzie elektrycznym zwrot indukowanej siły elektromotorycznej  $e$  oraz prądu indukowanego i jest taki, że strumień nimi wywołany przeciwdziała zmianom strumienia skojarzonego, będącego ich źródłem.

### Przewód z prądem w polu magnetycznym

Wyobraźmy sobie prostoliniowy przewód o długości  $l$ , poruszający się z prędkością  $v$  w polu magnetycznym równomiernym o indukcji magnetycznej  $B$ . Kierunek ruchu jest prostopadły do kierunku linii sił pola.



Rys. 3. Przewód z prądem poruszający się w równomiernym polu magnetycznym [3, s. 145]

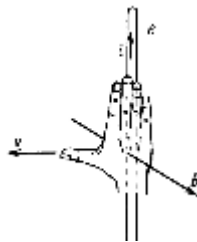
SEM indukowana w przewodzie

$$e = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{B \cdot l \cdot \Delta b}{\Delta t} = -B \cdot l \cdot v$$

Jeżeli kierunek ruchu przewodu tworzy z kierunkiem pola magnetycznego kąt  $\alpha$  to ostatni wzór przyjmie postać

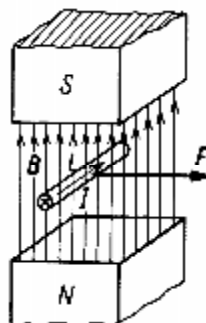
$$e = -B \cdot l \cdot v \cdot \sin\alpha$$

Kierunek indukowanej siły elektromotorycznej wyznacza się przy pomocy reguły prawej ręki: wyprostuj prawą dłoń i ustaw ją tak, aby kciuk wskazywał kierunek ruchu przewodu, linie pola padały na wewnętrzną stronę, wówczas pozostałe palce wskażą kierunek siły elektromotorycznej.



Rys.4. Reguła lewej ręki [3, s. 144]

Rozpatrzmy sytuację jak na rysunku:



Rys. 5. Siła działająca na przewód z prądem w polu magnetycznym [3, s. 145]

W jednorodnym polu magnetycznym znajduje się przewód o długości  $l$ , w którym płynie prąd o natężeniu  $I$ . Dodać należy, że długość  $l$  przewodnika nie oznacza jego całkowitej długości, lecz tylko tę część, która objęta jest działaniem pola magnetycznego. Stwierdzono, że siła działająca na przewód ma wartość

$$F = B \cdot I \cdot l$$

$B$  jednostką jest 1Tesla [1T]

Wielkość  $B$  nazywamy indukcją magnetyczną. Charakteryzuje ona pole magnetyczne. Jest wielkością wektorową i ma taki kierunek i zwrot, jak linie pola magnetycznego. Jeżeli linie sił pola magnetycznego mają postać kół, to wektor indukcji magnetycznej w danym punkcie jest styczny do linii sił pola magnetycznego. Kierunek działania siły  $F$  możemy ustalić przy pomocy reguły lewej ręki.

### Indukcyjność własna cewki

Indukcyjnością własną  $L$  cewki nazywamy stosunek strumienia skojarzonego  $\Psi$  z cewką do prądu  $I$  płynącego przez cewkę:

$$L = \frac{\Psi}{I} \quad L - \text{jednostką jest 1henr [1H]}$$

Przykład:

Obliczmy indukcyjność cewki pierścieniowej.

$$H = \frac{I * N}{l} \quad \text{dalej:} \quad B = \mu \frac{I * N}{l} \quad \text{a zatem:} \quad \Phi = \mu \frac{I * N}{l} * S$$

$$\text{ponieważ:} \quad \Psi = \mu \frac{I * N^2}{l} * S \quad \text{więc} \quad L = \frac{\Psi}{I} = N^2 \frac{\mu * S}{l}$$

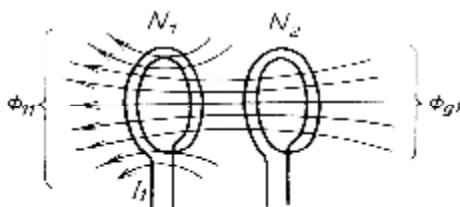
gdzie:  $L$  – indukcyjność własna,  
 $H$  – natężenie pola magnetycznego,  
 $I$  – natężenie prądu,  
 $N$  – ilość zwojów,  
 $\Psi$  – strumień magnetyczny,  
 $L$  – indukcyjność własna cewki,  
 $S$  – przekrój pola magnetycznego,  
 $\mu$  –przenikalność magnetyczna.

Z obliczeń tych możemy wyciągnąć trzy bardzo ważne wnioski:

- Indukcyjność cewki zależy od kwadratu ilości zwojów;
- Indukcyjność cewki z rdzeniem wykonanym z materiału paramagnetycznego, lub diamagnetycznego nie zależy od wartości prądu płynącego przez nią.
- Indukcyjność cewki z rdzeniem wykonanym z materiału ferromagnetycznego zależy od wartości prądu płynącego przez nią, bo przenikalność magnetyczna materiałów ferromagnetycznych zależy od natężenia pola magnetycznego, a przez to od natężenia prądu płynącego w cewce.

### Indukcyjność wzajemna

Cewki sprzężone magnetycznie.



Rys. 6. Dwie cewki sprzężone magnetycznie [3 s. 182]

Strumień magnetyczny wytworzony przez cewkę pierwszą – oznaczmy go  $\Phi_{11}$ - przenika ją całkowicie. Możemy napisać, że strumień skojarzony z cewką pierwszą ma wartość:

$$\Psi_{11} = N_1 * \Phi_{11}$$

Z rysunku widać, że strumień  $\Phi_{11}$  dzieli się na dwie części: strumień główny  $\Phi_{g1}$  i strumień rozproszenia  $\Phi_{s1}$ . Wynika stąd, że:

$$\Phi_{11} = \Phi_{g1} + \Phi_{s1}$$

oraz

$$\Psi_{12} = N_2 * \Phi_{g1}$$

Dwa indeksy przy oznaczeniach strumieni należy rozumieć następująco: pierwszy wskazuje obwód będący źródłem strumienia, drugi - obwód, z którym strumień jest skojarzony. Stosunek strumienia magnetycznego wytworzonego przez cewkę pierwszą i skojarzonego z cewką drugą, do natężenia prądu płynącego w cewce pierwszej nazywamy indukcyjnością wzajemną cewki pierwszej z drugą i oznaczamy:

$$M_{12} = \frac{\Psi_{12}}{I_1}$$

Pamiętamy, że:

$$L_1 = \frac{\Psi_{11}}{I_1}$$

gdzie:  $M_{12}$  – indukcyjność wzajemna 1 cewki,  
 $\Psi_{12}$  – strumień magnetyczny 1 cewki,  
 $I_1$  – natężenie prądu 1 cewki,  
 $\Psi_{11}$  – strumień magnetyczny,  
 $L_1$  – indukcyjność 1 cewki.

Przeprowadzając takie samo rozumowanie dla sytuacji, w której źródłem strumienia jest cewka druga (w niej płynie prąd), a cewka pierwsza znajduje się w jej polu, możemy napisać:

$$M_{21} = \frac{\Psi_{21}}{I_2}$$

oraz

$$L_2 = \frac{\Psi_{22}}{I_2}$$

gdzie:  $M_{21}$  – indukcyjność wzajemna 2 cewki,  
 $\Psi_{21}$  – strumień magnetyczny 1 cewki,  
 $\Psi_{22}$  – strumień magnetyczny 2 cewki,  
 $L_2$  – indukcyjność 2 cewki,  
 $I_2$  – natężenie prądu 2 cewki.

Jeżeli obie cewki są w tym samym środowisku (o tej samej przenikalności magnetycznej  $\mu$ ) to:

$$M_{12} = M_{21} = M$$

Jednostką indukcyjności wzajemnej jest 1 henr [1H].

W celu określenia stopnia sprzężenia dwóch cewek wprowadźmy współczynnik sprzężenia  $k$ .

Współczynnik sprzężenia cewki jest to stosunek strumienia głównego cewki do jej strumienia całkowitego. Jest oczywiste, że każda cewka ma swój własny współczynnik sprzężenia. Zapiszmy te stwierdzenia w formie wzorów:

$$k_1 = \frac{\Phi_{g1}}{\Phi_{11}} \quad k_2 = \frac{\Phi_{g2}}{\Phi_{22}} \quad k^2 = k_1 * k_2$$

gdzie:  $K$  – współczynnik sprzężenia,  
 $K_1$  – współczynnik sprzężenia 1 cewki,  
 $K_2$  – współczynnik sprzężenia 2 cewki,  
 $\Phi_{11}$  strumień całkowity 1 cewki  
 $\Phi_{22}$  – strumień całkowity 2 cewki,  
 $\Phi_{g1}$  – strumień główny 1 cewki,  
 $\Phi_{g2}$  – strumień główny 2 cewki.

Między indukcyjnościami własnymi cewek oraz ich indukcyjnością wzajemną istnieje następujący związek:

$$M = k\sqrt{L_1 L_2}$$

### Indukcja własna i wzajemna

Jeżeli przez cewkę przepuścimy prąd o zmiennym natężeniu, to wywoła on zmienne pole magnetyczne, skojarzone w całości ze zwojami cewki. Wiemy już, że są to warunki do powstania siły elektromotorycznej o wartości danej wzorem:

$$e_L = -\frac{\Delta\Psi}{\Delta t} = -L\frac{\Delta i}{\Delta t}$$

gdzie:  $\Delta\Psi$  – przyrost strumienia,  
 $e_L$  – SEM indukcji własnej,  
 $\Delta t$  – przyrost czasu,  
 $\Delta i$  – przyrost prądu.

Powstałą siłę elektromotoryczną nazywamy SEM samoindukcji lub SEM indukcji własnej. Jeżeli z cewką pierwszą sprzężona jest druga cewka, to sprzężony z drugą cewką zmienny strumień magnetyczny cewki pierwszej wywoła w cewce drugiej SEM indukcji wzajemnej  $e_M$ .

$$e_M = -\frac{\Delta\Psi_{12}}{\Delta t} = -M\frac{\Delta i}{\Delta t}$$

Jednym z przykładów wykorzystania indukcji wzajemnej jest urządzenie zapłonowe w silnikach samochodowych. Istotną jego część stanowi cewka zapłonowa mająca dwa uzwojenia nawinięte na wspólnym rdzeniu prostym, otwartym na końcach.

### 4.1.2. Pytania sprawdzające

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

1. Podaj definicję indukcyjności własnej cewki.
2. W jakich jednostkach mierzymy indukcyjność?
3. Jak wyznacza się kierunek siły elektromotorycznej indukowanej w przewodniku poruszającym się w polu magnetycznym?
4. Czy możesz wskazać sposób (sposoby) wykorzystania zjawiska indukcji wzajemnej?
5. Jak obliczyć wartość siły elektromotorycznej indukowanej w przewodzie poruszającym się w polu magnetycznym?
6. Jaka jest zasada działania silnika prądu stałego?
7. Jaka jest zasada działania prądnicy prądu stałego?

### 4.1.3. Ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1

Oblicz wartość siły  $F$  wypychającej przewód o długości czynnej  $l = 20$  cm przez który płynie prąd  $I = 2$  A. Przewód ten umieszczono w jednorodnym polu magnetycznym o indukcji  $B = 0,2$  T i ustawiono prostopadle do kierunku linii sił pola.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) wypisać odpowiednie wzory matematyczne, które uwzględniają zależności między danymi wielkościami, a wielkością szukaną,
- 2) wpisać dane wielkości do wzoru (wzorów),
- 3) obliczyć wartość wielkości szukanej,
- 4) opracować wnioski i zaprezentować wyniki pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura z rozdziału 6,
- kalkulator,
- zeszyt i przybory do pisania.

#### Ćwiczenie 2

Oblicz wartość siły elektromotorycznej indukowanej w przewodzie umieszczonym w jednorodnym polu magnetycznym o indukcji  $B = 0,1$  T. Przewód prostoliniowy o długości czynnej  $l = 0,1$  m porusza się z prędkością  $v = 15$  m/s. Kierunek wektora prędkości jest prostopadły do osi przewodu i wektora indukcji.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) wypisać odpowiednie wzory matematyczne, które uwzględniają zależności między danymi wielkościami, a wielkością szukaną,
- 2) wpisać dane wielkości do wzoru (wzorów),
- 3) obliczyć wartość wielkości szukanej,
- 4) opracować wnioski i zaprezentować wyniki pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura z rozdziału 6,
- kalkulator,
- zeszyt i przybory do pisania.

#### Ćwiczenie 3

Oblicz wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu wtórnym cewki zapłonowej, jeżeli prąd w uzwojeniu pierwotnym zanika liniowo od wartości  $2,5$  A do zera w czasie  $0,1$  ms, a indukcyjność wzajemna  $M = 0,56$  H.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) obliczyć zmianę wartości prądu w uzwojeniu pierwotnym cewki,
- 2) przeliczyć przyrost czasu z milisekund na sekundy,
- 3) obliczyć wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu wtórnym cewki,
- 4) opracować wnioski i zaprezentować efekt pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura z rozdziału 6,
- kalkulator,
- zeszyt i przybory do pisania.

#### Ćwiczenie 4

Zademonstruj budowę i zasadę działania prądnicy i silnika.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z zestawem ćwiczeniowym zawierającym model prądnicy i silnika prądu stałego,
- 2) przeczytać instrukcję do wykonania ćwiczenia,
- 3) zademonstrować zasadę działania prądnicy,
- 4) wykazać zależność siły elektromotorycznej od wielkości strumienia magnetycznego,
- 5) wykazać zależność siły elektromotorycznej od prędkości kątowej, a więc od liczby obrotów w sekundzie,
- 6) zademonstrować zasadę działania silnika jako bocznikowego i szeregowego,
- 7) znaleźć takie położenie szczotek, aby iskrzenie było najmniejsze,
- 8) zmienić kierunek obrotów wirnika,
- 9) opracować wnioski i zaprezentować efekt pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura rozdziału 1,
- zestaw ćwiczeniowy,
- instrukcja do wykonania ćwiczenia,
- zeszyt i przybory do pisania.

#### 4.1.4. Sprawdzian postępów

**Czy potrafisz:**

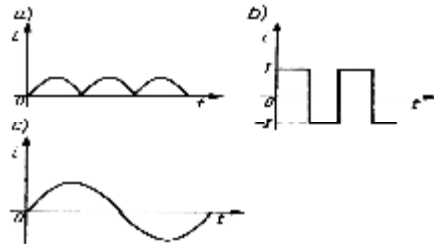
	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) zdefiniować pojęcia: indukcyjność własna, indukcyjność wzajemna?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) rozróżnić elementy budowy prądnicy i silnika?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) podać regułę, która określa kierunek ruchu przewodnika z prądem w polu magnetycznym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) określić jak zachowuje się przewód z prądem w polu magnetycznym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) nazwać jednostkę indukcyjności własnej i wzajemnej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) podać od czego zależy indukcyjność własna?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) zapisać regułę prawej dłoni dla przewodu poruszającego się w polu magnetycznym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) opisać budowę prądnicy i silnika?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) obliczyć wartość siły elektromotorycznej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) obliczyć wartość indukcyjności własnej i wzajemnej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) obliczyć wartość siły działającej na przewód z prądem umieszczonym w polu magnetycznym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12) opisać zasadę działania prądnicy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13) opisać zasadę działania silnika?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.2. Wytwarzanie napięć przemiennych. Podstawowe wielkości prądu przemiennego

### 4.2.1. Materiał nauczania

#### Wytwarzanie prądu sinusoidalnie zmiennego

Prąd nazywamy zmiennym, jeśli zmienia się w nim w czasie przynajmniej jedna z następujących wielkości: zwrot, wartość. Przykłady prądu zmiennego przedstawiono na rysunkach poniżej



Rys. 7. Przykładowe przebiegi prądów zmiennych w czasie: a) pulsującego jednokierunkowego; b) dwukierunkowego; c) sinusoidalnego [źródło własne]

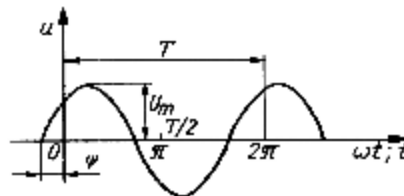
W życiu codziennym wykorzystujemy napięcie sinusoidalnie zmiennie, wytwarzane przez prądnice prądu przemiennego, nazywane generatorami. Powstałe napięcie ma następującą postać:

$$e = E_m \sin \alpha$$

gdzie:  $E_m$  – wartość maksymalna SEM nazywana też amplitudą;  
 $e$  – wartość chwilowa napięcia sinusoidalnego zmiennego.

#### Parametry przebiegu sinusoidalnego

Rozpatrzmy wykres napięcia sinusoidalnego.



Rys. 8 Wykres czasowy napięcia sinusoidalnego [3, s. 210]

Rozważania dotyczące przebiegu najczęściej rozpoczynamy w chwili  $t = 0$ . Omawiany przebieg jest już wtedy przesunięty o kąt  $\psi$ , a jego wartość jest dodatnia. Równanie napięcia ma postać

$$u = U_m \cdot \sin \alpha = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi)$$

gdzie:

$u$  – wartość chwilowa napięcia;

$U_m$  – amplituda napięcia (wartość maksymalna napięcia);

$T$  – czas jednego obrotu ramki nazywany okresem napięcia; jednostką jest 1sekunda [1s];

$\omega$  – prędkość obrotowa ramki, zwana pulsacją;

$\alpha$  – kąt nazywany fazą napięcia w dowolnej chwili;

$\psi$  – kąt nazywany fazą początkową napięcia, odpowiadającą chwili  $t = 0$ .



Wprowadźmy dwa nowe pojęcia  
pulsację:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{jednostką jest radian na sekundę [1rad/s]}$$

częstotliwość  $f$  napięcia:

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{jednostką jest 1herc [1Hz]}$$

Korzystając z powyższych wzorów możemy napisać, że

$$\omega = 2\pi * f$$

gdzie:  $\omega$  – pulsacja,  
 $f$  – częstotliwość.

### **Wartość skuteczna i wartość średnia prądu sinusoidalnego.**

Wartością skuteczną  $I$  prądu sinusoidalnego nazywamy taką wartość prądu stałego, który przepływając przez czas równy okresowi  $T$  prądu sinusoidalnego przez stałą rezystancję  $R$  wydzieli w tej rezystancji taką moc, co prąd sinusoidalny w tym samym czasie  $T$ .

Można wykazać, że

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707I_m \quad \text{tak samo dla napięcia} \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707U_m$$

Wartość średnia za 1 okres prądu sinusoidalnego jest równa zero. Przebieg taki nazywamy przebiegiem przemiennym.

Wartością średnią półokresową  $\bar{I}$  prądu (napięcia) sinusoidalnego o okresie  $T$ , nazywamy średnią arytmetyczną tego prądu (napięcia) za tę połowę okresu, w której przebieg jest dodatni. Matematycznie:

$$\bar{I} = \frac{2}{\pi} I_m = 0,637I_m \quad \text{tak samo dla napięcia} \quad \bar{U} = \frac{2}{\pi} U_m = 0,637U_m$$

Współczynnik kształtu przebiegu  $k_k$ . Jest to stosunek wartości skutecznej do wartości średniej. Obliczmy ten współczynnik dla prądu sinusoidalnego

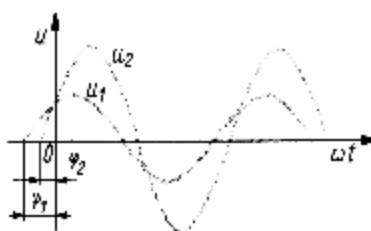
$$k_k = \frac{I}{\bar{I}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \frac{\pi}{2I_m} = 1,11$$

gdzie:  $k_k$  – współczynnik kształtu,  
 $I$  – wartość skuteczna prądu,  
 $\bar{I}$  – wartość średnia prądu,  
 $I_m$  – wartość maksymalna prądu.

### **Przesunięcie fazowe między przebiegami sinusoidalnymi**

Przebiegi czasowe o tej samej częstotliwości nazywamy przebiegami synchronicznymi. Przesunięciem fazowym dwóch przebiegów synchronicznych nazywamy różnicę faz początkowych tych przebiegów. Przesunięcie fazowe tych przebiegów wynosi  $(\psi_1 - \psi_2)$ . Mówimy też, że napięcie  $u_1$  wyprzedza w fazie napięci  $u_2$  (kąt  $\psi_1 > \psi_2$ ). Odpowiednie równania opisujące te napięcia mają postać:

$$u_1 = U_{2m} \sin(\omega t + \psi_1) \quad \text{oraz} \quad u_2 = U_{2m} \sin(\omega t + \psi_2)$$



Rys. 9. Wykres czasowy dwóch napięć sinusoidalnych przesuniętych w fazie [3, s. 219]

W ten sam sposób określamy różnicę faz między napięciem i prądem sinusoidalnym, ale różnicę tę oznaczamy specjalnie małą literą grecką  $\varphi$  (czyt. fi).

## 4.2.2. Pytania sprawdzające

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

1. Jaki prąd nazywamy prądem zmiennym?
2. Jaka maszyna elektryczna wytwarza prąd zmienny?
3. Jakie znasz parametry przebiegu sinusoidalnego?
4. Podaj definicję pulsacji?
5. Jaka jest częstotliwość napięcia w sieci przemysłowej?
6. Jakim wzorem ogólnym określone jest napięcie sinusoidalne?
7. W jakich jednostkach mierzymy okres napięcia?
8. Określ wartość skuteczną napięcia sinusoidalnego.
9. Jaka jest wartość średnia napięcia sinusoidalnego za okres przebiegu?
10. Jaka jest wartość średnia półokresowa napięcia sinusoidalnego?

## 4.2.3. Ćwiczenia

### Ćwiczenie 1

Zapoznaj się z płytą czołową oscyloskopu oraz przeznaczeniem elementów regulacyjnych.

Przeprowadź obserwację przebiegów na ekranie oscyloskopu.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- I. Zapoznać się z położeniem i funkcjami następujących regulatorów, przełączników i gniazd na płycie czołowej oscyloskopu:
  - jaskrawość (*INTENSITY*) i ostrość (*FOCUS*),
  - blok odchylenia pionowego (*VERTICAL*),
  - doprowadzenia sygnału do wzmacniacza pionowego (gniazda) INPUTA i X oraz INPUT B i Y,
  - przełącznik wyboru sprzężenia sygnału wejściowego ze wzmacniaczem odchylenia pionowego (*COUPLING*) AC, GND, DC,
  - regulator czułości wzmacniacza odchylenia pionowego (*VOLTS/DIV*) skokowy i płynny (*VARIABLE*),
  - regulator położenia przebiegu w kierunku pionowym (*VERTICAL POSITION*),

- przełącznik wyboru trybu pracy odchyłania pionowego (VERTICAL MODE) A, B, ADD,
- blok odchyłania poziomego (HORIZONTAL),
- regulator wyboru skalowanej podstawy czasu i trybu X-Y (TIME/DIV),
- regulator ciągłej zmiany podstawy czasu (VARIABLE),
- regulator położenia przebiegu w kierunku poziomym (HORIZONTAL POSITION),
- blok wyzwalania (TRIGGER),
- przełącznik wyboru trybu wyzwalania (TRIGGER MODE): AUTO, NORM, TV,
- przełącznik wyboru źródła wyzwalania (TRIGGER SOURCE): INT, B, LINE, EXT,
- regulator punktu (poziomu) wyzwalania (TRIGGER LEVEL),
- przełącznik wyboru zbocza wyzwalającego odchylenie (SLOPE),
- doprowadzenie zewnętrznego sygnału wyzwalającego do układów wyzwalania (gniazdo) (EXT INPUT).

II. Podłączyć z generatora do wejścia A sygnał sinusoidalny o częstotliwości ok. 1 kHz, amplitudzie ok. 2 V z niewielką dodatnią składową stałą.

- 1) Uzyskać na ekranie oscyloskopu stabilny obraz dwóch okresów. Zanotować ustawienia wszystkich regulatorów i przełączników wymienionych w punkcie I. Sprawdzić regulację jaskrawości i ostrości, dobrać warunki optymalne i przerysować przebieg.
- 2) Ustawić przełącznik wyboru trybu pracy odchyłania pionowego na INT, a następnie:
  - sprawdzić możliwość regulacji (i jej efekty) czułości skokowej i płynnej wzmacniacza odchyłania pionowego oraz ewentualne jej mnożniki (x10, x2, x1 itp.),
  - wyłączyć regulację płynną a skokową ustawić tak aby badany przebieg mieścił się na ekranie,
  - ustawić przełącznik wyboru sprzężenia sygnału wejściowego ze wzmacniaczem odchyłania pionowego w pozycję GND i regulatorem położenia przebiegu w kierunku pionowym ustawić poziomą linię na najbliższą pełną działkę (w przypadku braku obrazu ustawić tryb wyzwalania na AUTO). Następnie przełączając sprzężenie na AC i DC zaobserwować efekty i dokonać pomiaru amplitudy i składowej stałej sygnału mnożąc odczyty w działkach (DIV) przez ustawioną czułość (VOLTS/DIV),
  - pomiary amplitudy i składowej stałej powtórzyć dla kilku różnych ustawień tych parametrów na generatorze.
- 3) Przy sprzężeniu AC ustawić przebieg w środkowej części ekranu (w pionie) oraz:
  - sprawdzić regulację (i jej efekty) podstawy czasu regulowanej i ciągłej (płynnej) oraz ewentualnych jej mnożników,
  - ustawić mnożniki na x1, wyłączyć regulację płynną a regulację skokową ustawić, tak aby na ekranie widoczny był przynajmniej jeden okres,
  - dokonać pomiaru okresu sygnału (przy odczycie skorzystać z regulatora położenia przebiegu w kierunku poziomym) dla kilku różnych wartości częstotliwości ustawianych na generatorze (b. małej, b. dużej i pośrednich).
- 4) Przy pośredniej częstotliwości sygnału badanego, trybie pracy odchyłania pionowego - A, sprzężeniu - AC, trybie wyzwalania - AUTO i źródle wyzwalania - INT:
  - sprawdzić regulację (i jej efekty) poziomu wyzwalania (zwrócić uwagę na początek obrazu sygnału na ekranie),
  - przy stabilnym obrazie sprawdzić działanie przełącznika zbocza wyzwalającego,
  - przy stabilnym obrazie przełączyć tryb wyzwalania na NORM i ponownie obserwować, co daje regulacja poziomem wyzwalania,
  - sprawdzić wpływ ustawienia regulatora czułości wzmacniacza odchyłania pionowego na regulację poziomu wyzwalania,

- przy stabilnym obrazie, w trybie wyzwalania AUTO a następnie NORM zmienić źródło wyzwalania. Opisać, co się dzieje i dlaczego,
- przy niestabilnym obrazie, w trybie wyzwalania AUTO zmieniać płynnie regulację podstawy czasu. Czy przy pomocy tego pokrętła jest możliwe uzyskanie stabilnego obrazu - uzasadnić odpowiedź.

III. Podłączyć dwa różne sygnały do wejść A i B a następnie:

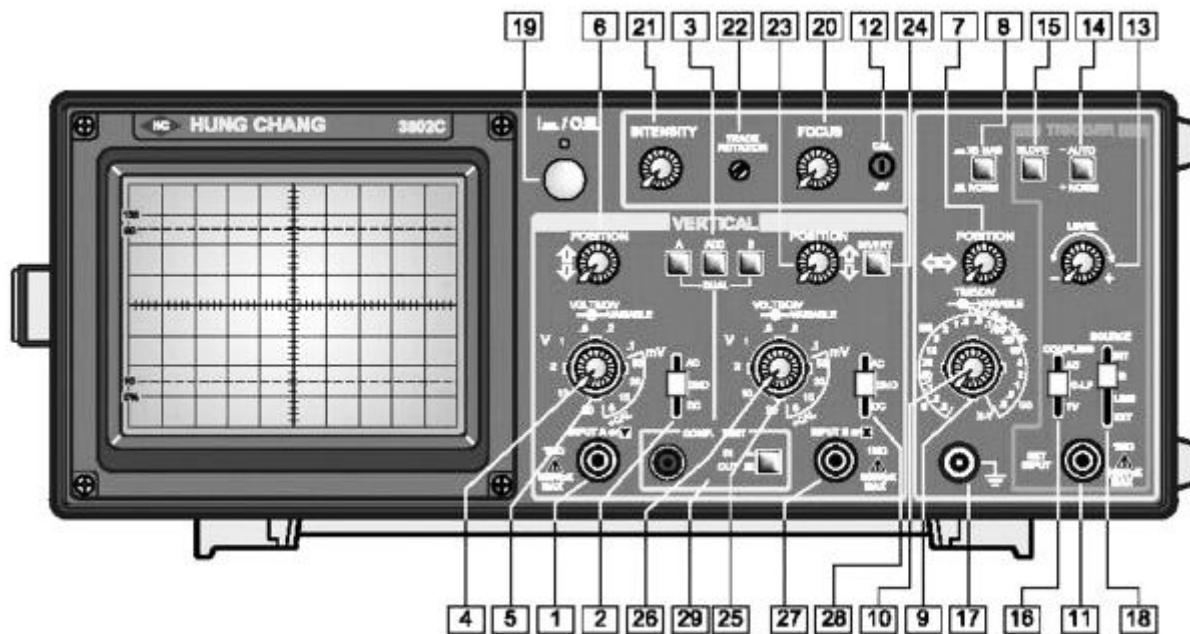
- 1) Sprawdzić możliwość obserwacji raz jednego raz drugiego i obu na raz (wybór trybu pracy odchylenia pionowego).
- 2) Sprawdzić możliwość obserwacji jednego kanału przy wyzwalaniu z drugiego. Czy rodzaj sprzężenia ma wpływ na regulację poziomu wyzwalania?
- 3) W dwukanałowym (wciśnięte przyciski A oraz B) trybie pracy odchylenia pionowego zaobserwować pracę w trybie ALT i CHOP. Czy musimy zmieniać nastawy jaskrawości czy też nastawione na początku wystarczająco dobrze nadają się do każdego pomiarów?
- 4) Sprawdzić jak działa oscyloskop w trybie X-Y.

IV. Opisać przeznaczenie i działanie każdego z poznanych elementów regulacyjnych oscyloskopu oraz podać sposoby (przykłady) ich wykorzystania np. praca w trybie ALT nadaje się głównie do badania przebiegów o dużych częstotliwościach lub tryb AUTO umożliwia szybką orientację co do położenia (w pionie) i istnienia sygnału, itp. Do załączonego rysunku podać opis poszczególnych pozycji od 1 do 29.

V. Zaprezentować wyniki swojej pracy i zapisać wnioski.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- poradnik dla ucznia,
- zeszyt przedmiotowy, przybory do pisania,
- rysunek płyty czołowej oscyloskopu HC3502C,
- kalkulator,
- oscyloskop HC3502C,
- generator funkcyjny Maxcom 2020,
- przewody BNC,
- miernik uniwersalny,
- częstotściomierz.



Rysunek do ćwiczenia 1. Płyta czołowa oscyloskopu.

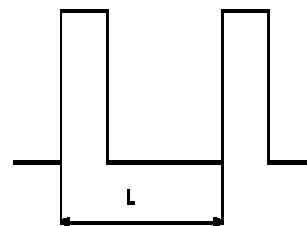
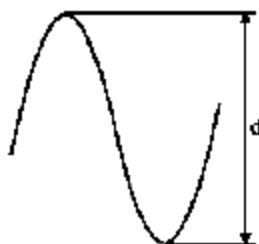
## Ćwiczenie 2

Wykonaj podstawowe pomiary przy pomocy oscyloskopu.

Pomiar oscyloskopem			Miernik
D	K	U	U
Działki	V/dz	V	V

Pomiar oscyloskopem				miernik
L	c	T	f	F
działki	ms/dz	ms	Hz	Hz

Sposób wykonania ćwiczenia



Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) przygotować oscyloskop do pracy: w tym celu należy zmniejszyć do minimum jasność, oraz ustawić maksymalną wartość podstawy czasu i minimalne wzmocnienie sygnału wejściowego. Następnie pokrętła płynnej regulacji wzmocnienia i podstawy czasu trzeba ustawić w pozycji CAL. Z kolei pokrętła ostrości oraz położenia poziomego i pionowego należy ustawić w położeniach środkowych. Po wykonaniu opisanych czynności wstępnych można włączyć zasilanie oscyloskopu i odczekać chwilę, aby oscyloskop się nagrzał. Po wygrzaniu przełącznik typu sygnału należy ustawić w pozycji GND, po czym należy skorygować położenie oraz jaskrawość i ostrość obserwowanego na ekranie obrazu,
- 2) ustawić w skrajnej pozycji obracając w lewą stronę pokrętło jasności (21) oraz przełączniki skokowej zmiany podstawy czasu (9) i skokowej zmiany wzmocnienia sygnału wejściowego (25),
- 3) ustawić w pozycji CAL przez obracanie w prawą stronę pokrętła płynnej regulacji wzmocnienia (4 i 26) i podstawy czasu (10) ustawić,
- 4) ustawić w położeniach środkowych pokrętła ostrości (20), położenia poziomego (7) i pionowego (6 i 23),
- 5) sprawdzić czy przycisk (8) jest wyciśnięty,
- 6) uzyskać zezwolenie na włączenie oscyloskopu i po włączeniu odczekać min. 30 sekund, aby oscyloskop się nagrzał,
- 7) ustawić: przełącznik źródła sygnału wejściowego (18) w położeniu INT, przełącznik trybu wyzwalania (14) w pozycji AUTO, a przełącznik typu sygnału (2 i 28) w pozycji środkowej GND,
- 8) skorygować pokrętłami jasności (21) i ostrości (20) jaskrawość i ostrość obserwowanego na ekranie obrazu (powinna być widoczna ostra linia pozioma), a następnie pokrętłami położenia (7 i 23) przesunąć obraz na środek ekranu,
- 9) połączyć wyjście generatora funkcji z wejściem B (27) oscyloskopu, przełącznikiem rodzaju sygnału wejściowego (28) wybrać sygnał zmienny (AC), ustawić na generatorze częstotliwość  $f = 1 \text{ kHz}$  oraz amplitudę sygnału na wartość  $U_{we} = 0.1 \text{ V}$  (odczyt amplitudy i okresu powinien być dokonany z ekranu oscyloskopu),
- 10) dokonać się wyboru rodzaju (prostokąt, trójkąt, sinusoida) i zakresu częstotliwości przebiegu wytwarzanego przez generator odpowiednimi przyciskami, dobrać

- odpowiednie wzmocnienie (przełącznik (25), współczynnik k) i podstawę czasu (przełącznik (9), współczynnik c) oscyloskopu, tak by obraz był stabilny i wyraźny, skorygować jaskrawość (pokrętko (21), INTEN) i ostrość (pokrętko (20), FOCUS obrazu,
- 11) wybrać przebieg prostokątny przełącznikiem rodzaju przebiegu na generatorze funkcji, zmienić częstotliwość w przedziale od 10 Hz do 500 kHz, sprawdzić, czy nie ma to wpływu na amplitudę sygnału obserwowanego na ekranie oscyloskopu (należy na bieżąco korygować podstawę czasu (29) w oscyloskopie), jeśli amplituda będzie ulegała znacznym zmianom zgłosić to nauczycielowi prowadzącemu zajęcia,
  - 12) odczytać z ekranu oscyloskopu wartości amplitudy sygnału wejściowego  $U_{we}$  dla 4 wskazanych przez nauczyciela wartości częstotliwości (np.:  $f = 2; 50; 100; 500$  kHz), odczyt amplitudy i okresu powinien być dokonywany z ekranu oscyloskopu, przerysować wybrane przez nauczyciela oscylogramy,
  - 13) powtórzyć czynności z punktu 11 dla dwu innych wskazanych przez nauczyciela wartości amplitudy sygnału wejściowego, np.:  $U_{we} = 1$  V; 5 V,
  - 14) wybrać przebieg sinusoidalny przełącznikiem rodzaju przebiegu na generatorze i ustawić częstotliwość i amplitudę tego sygnału na wartości  $f = 0,5$  kHz,  $U_{we} = 0,1$  V, wykonać powtórnie czynności z punktu 11 i 12,
  - 15) wybrać przebieg trójkątny przełącznikiem rodzaju przebiegu na generatorze i ustawić częstotliwość i amplitudę tego sygnału na wartości  $f = 0,1$  kHz,  $U_{we} = 0,1$  V. powtórzyć czynności z punktu 11 i 12,
  - 16) wyłączyć oscyloskop po zakończeniu pomiarów,
  - 17) zaprezentować wyniki pomiarów.

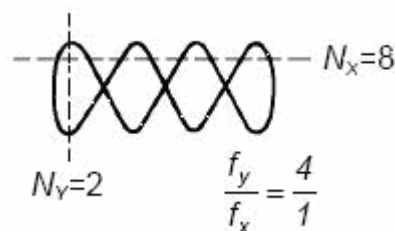
Wyposażenie stanowiska pracy:

- poradnik dla ucznia,
- zeszyt przedmiotowy i przybory do pisania,
- rysunek płyty czołowej oscyloskopu,
- kalkulator,
- oscyloskop,
- generator funkcyjny,
- przewody BNC,
- miernik uniwersalny,
- częstotściomierz,
- przybory do pisania, zeszyt,
- literatura z rozdziału 6.

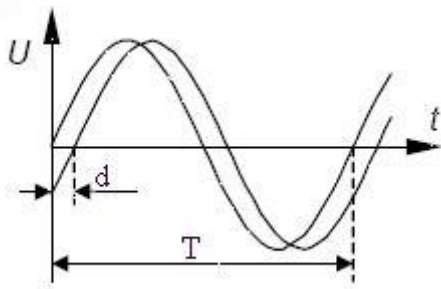
### Ćwiczenie 3

Wykonaj pomiar częstotliwości i przesunięcia fazowego.

$N_x/N_y$	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$
$\frac{1}{1}$					
$\frac{2}{1}$					
$\frac{3}{1}$					
$\frac{4}{1}$					



$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{N_x}{N_y}$$



$$j = \frac{d}{T} * 360^{\circ}$$

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) przygotować oscyloskop do pracy,
- 2) połączyć układ do pomiaru przesunięcia fazowego metodą bezpośrednią i metodą figur,
- 3) wykonać pomiary, zapisać wyniki w tabeli 1, 2, obliczyć wartości końcowe,
- 4) wykonać szkice z ekranu oscyloskopu,
- 5) zaprezentować wyniki pomiarów.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- poradnik dla ucznia,
- zeszyt i przybory do pisania,
- kalkulator,
- oscyloskop,
- generator funkcyjny,
- przesuwnik fazy,
- przewody BNC,
- miernik uniwersalny,
- częstotściomierz,
- literatura z rozdziału 7.

**Tabela 1**

Lp.	figura <sub>x</sub>	f <sub>y</sub> /f <sub>x</sub>	f <sub>y</sub>	f <sub>x</sub>
	-	-	Hz	Hz

**Tabela 2**

d	T	c	φ
dz	Dz	ms/dz	°



#### 4.2.4. Sprawdzenie postępów

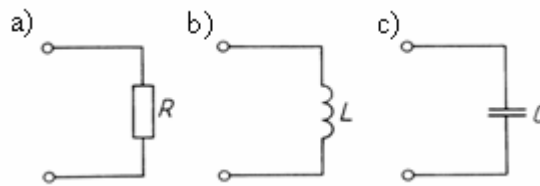
<b>Czy potrafisz:</b>	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) zdefiniować pojęcia: prąd zmienny, prąd przemienny, pulsacja, okres, amplituda?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) obliczyć wartość skuteczną prądu sinusoidalnego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) obliczyć wartość średnią prądu sinusoidalnego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) napisać wzór na przebieg napięcia sinusoidalnego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) opisać jakie przebiegi nazywamy synchronicznymi?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) określić przesunięcie fazowe?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) podać jednostkę częstotliwości?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) określić przeznaczenie regulatorów, przycisków i gniazd na płycie czołowej oscyloskopu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) przeprowadzić obserwację przebiegów na ekranie oscyloskopu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) wykonać podstawowe pomiary przy pomocy oscyloskopu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) wykonać pomiar częstotliwości i przesunięcia fazowego przy pomocy oscyloskopu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12) wykazać różnicę między prądem zmiennym, a przemiennym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13) podać interpretację fizyczną wartości średniej prądu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 4.3. Elementy RLC w obwodach prądu sinusoidalnego. Połączenia szeregowe i równoległe elementów RLC. Przedstawianie przebiegów sinusoidalnych za pomocą wykresów wektorowych. Moc prądu jednofazowego

#### 4.3.1. Materiał nauczania

##### Obwód prądu zmiennego z idealnymi elementami RLC

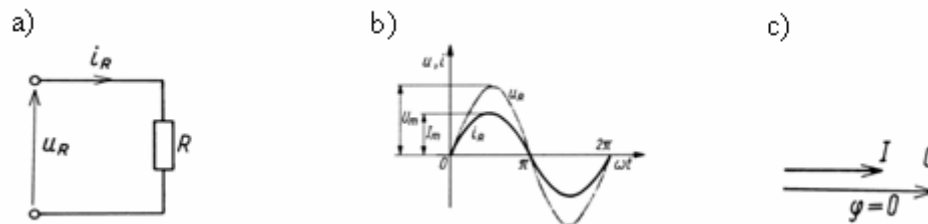
Symbole elementów idealnych stosowane na schematach elektrycznych przedstawiono na poniższym rysunku. Jak widać każdy z tych elementów ma dwa zaciski i dlatego nazywamy je dwójnikami.



Rys. 10. Symbole graficzne elementów: a) rezystora idealnego, b) cewki idealnej, c) kondensatora idealnego [3, s. 230]

##### Idealny element o rezystancji R

Dołączmy do idealnego elementu rezystancyjnego napięcie  $u_R = U_m \sin \omega t$



Rys. 11. Dwójnik o rezystancji R: a) schemat obwodu, b) wykres czasowy napięcia i prądu, c) wykres wektorowy [3, s. 231]

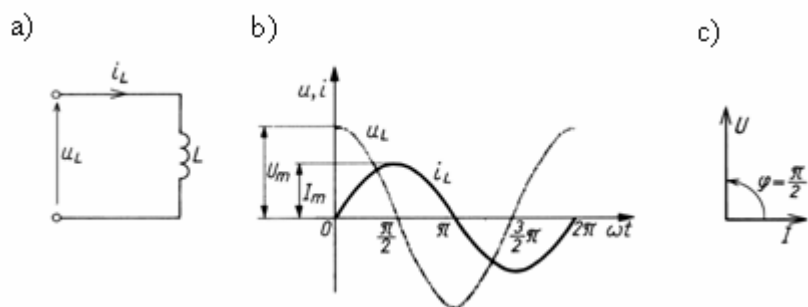
Wartość chwilową prądu wyznaczmy z prawa Ohma

$$i_R = \frac{u_R}{R} = \frac{U_m \sin \omega * t}{R} = I_m \sin \omega * t \quad \text{gdzie amplituda prądu } I_m = \frac{U_m}{R}$$

Można wykazać, że prawo Ohma jest spełnione dla wartości skutecznych i amplitud prądu i napięcia. Jak wynika z obliczeń oraz wykresów czasowych i wektorowych napięcie  $u_R$  oraz natężenie prądu  $i_R$  mają tę samą fazę początkową, kąt  $\varphi = 0$ . O sytuacji takiej mówimy, że prąd i napięcie są ze sobą w fazie.

##### Idealny element o indukcyjności L

Zasilmy idealny element o indukcyjności L napięciem  $U_L$ .



**Rys. 12.** Dwójnik o indukcyjności  $L$ : a) schemat obwodu, b) wykres czasowy napięcia i prądu, c) wykres wektorowy [3, s. 233]

Założmy, że przez cewkę płynie prąd  $I_L = I_m \cdot \sin \omega t$ .

Przepływ prądu wytwarza siłę elektromotoryczną, której wartość jest równa napięciu  $U_L$ .

$$u_L = \omega L \cdot I_m \cos \omega t = U_m \cdot \cos \omega t = U_m \cdot \sin(\omega t + \pi/2) \quad \text{stąd wynika, że:}$$

$$\omega L I_m = U_m \quad \text{oraz} \quad U = \omega L I$$

Wprowadźmy oznaczenie  $X_L = \omega L = 2\pi f L$ .

Wielkość tę nazywamy reaktancją indukcyjną lub biernym indukcyjnym. Jednostką jest 1 om  $[1\Omega]$ .

Uwzględniając powyższe rozważania możemy napisać prawo Ohma dla wartości skutecznych dla cewki idealnej

$$I = \frac{U}{X_L}$$

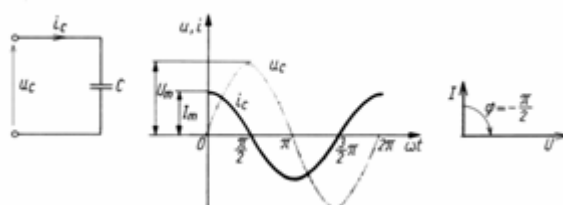
Dopełnijmy tok myślenia i wprowadźmy jeszcze odwrotność reaktancji, czyli susceptancję indukcyjną albo inaczej przewodność bierną indukcyjną  $B_L$ . Jednostką jest 1 simens  $[1 S]$ .

$$B_L = \frac{1}{X_L} = \frac{1}{\omega L}$$

Zauważmy, że w obwodzie z cewką idealną napięcie wyprzedza prąd o kąt  $\frac{\pi}{2}$ .

### Idealny element o pojemności $C$

Zasilmy idealny element o pojemności  $C$  napięciem  $U_c = U_m \sin \omega t$



**Rys.13.** Dwójnik o pojemności  $C$ : a) schemat obwodu, b) wykres czasowy napięcia i prądu, c) wykres wektorowy [3, s. 237]

W obwodzie popłynie prąd  $i_C$  o wartości:

$$i_C = \omega \cdot C U_m \cdot \cos(\omega * t) = I_m \cdot \cos(\omega * t) = I_m \cdot \sin(\omega * t + \frac{\pi}{2}) \quad \text{stąd wynika, że}$$

$$\omega \cdot C \cdot U_m = I_m \quad \text{oraz} \quad I = \omega \cdot C \cdot U$$

Wprowadźmy oznaczenie

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad X_c = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

Wielkość tę nazywamy reaktancją pojemnościową lub oporem biernym pojemnościowym. Jednostką jest 1 om [1 Ω].

Uwzględniając powyższe rozważania możemy napisać prawo Ohma dla wartości skutecznych dla cewki idealnej:

$$I = \frac{U}{X_L}$$

Odwrotność reaktancji nazywamy susceptancją pojemnościową albo inaczej przewodnością bierną pojemnościową  $B_C$ . Jednostką jest 1 simens [1S].

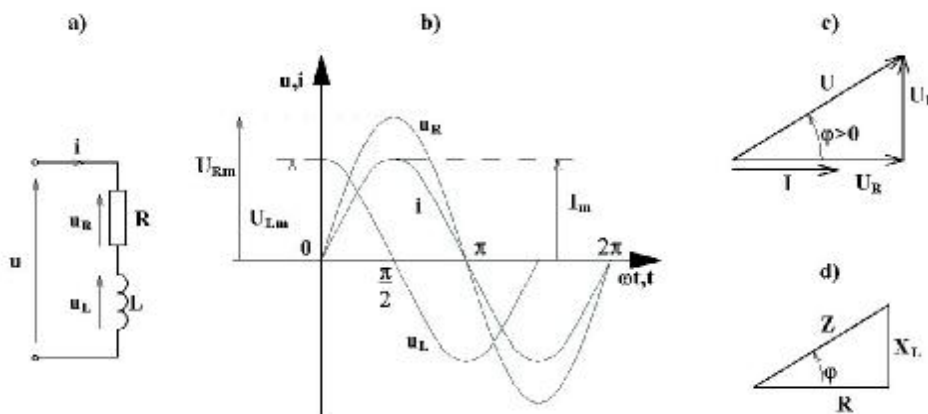
$$B_C = \frac{1}{X_C} = \omega \cdot C$$

Zauważmy, że w obwodzie z pojemnością idealną napięcie opóźnia się względem prądu o kąt  $\frac{\pi}{2}$ , a zatem kąt

$$j = -\frac{\pi}{2}$$

### Obwód szeregowy R, L

Szeregowe połączenie R i L to zarówno połączenie idealnego rezystora z idealną cewką, jak też schemat zastępczy rzeczywistej cewki o indukcyjności L i rezystancji R (rys. 14)



**Rys. 14.** Dwójnik szeregowy R, L: a) schemat dwójnika, b) wykres czasowy napięć i prądu, c) wykres wektorowy napięć, d) trójkąt impedancji [3, s. 241]

W tym obwodzie:  $u = u_R + u_L$

Jeżeli:

$$i = I_m \cdot \sin \omega t,$$

$$\text{to: } u = R I_m \cdot \sin \omega t + \omega \cdot L \cdot I_m \cdot \sin(\omega t + \pi/2) = U_{Rm} \cdot \sin \omega t + U_{Lm} \cdot \sin(\omega t + \pi/2) = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

Dodawaniu wartości chwilowych napięć zgodnie z drugim prawem Kirchhoffa odpowiada dodawanie geometryczne wektorów odwzorowujących te napięcia:

wartości maksymalnych:

$$U_m = U_{Rm} + U_{Lm}$$

wartości skutecznych:

$$U = U_R + U_L$$

$$U_m = \sqrt{U_{Rm}^2 + U_{Lm}^2} = \sqrt{(R \cdot I_m)^2 + (X_L \cdot I_m)^2} = I_m \cdot \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

oraz:

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} = I \cdot \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

Oznaczamy:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

Z – impedancja (opór pozorny) dwójnika szeregowego RL jednostką impedancji jest 1 om [1 Ω].

φ – kąt przesunięcia fazowego: φ = φ<sub>u</sub> – φ<sub>i</sub>.

Prawo Ohma dla dwójnika RL zasilanego napięciem sinusoidalnym:

$$U = I \cdot Z$$

Ponieważ moduły napięć są proporcjonalne do prądu, czyli:

$$U_R = I \cdot R, U_L = I \cdot X_L, U = I \cdot Z,$$

to po podzieleniu boków trójkąta napięć przez prąd I otrzymujemy trójkąt impedancji o bokach R, X<sub>L</sub>, Z, który jest trójkątem podobnym do trójkąta napięć. Wynika z niego, że:

$$R = Z \cos \varphi$$

$$X_L = Z \sin \varphi$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}; \quad \sin \varphi = \frac{X_L}{Z}; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L}{R}$$

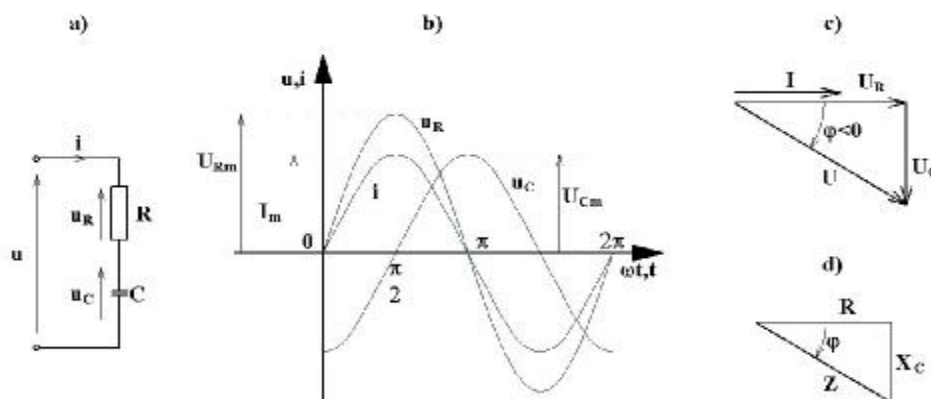
$$\frac{p}{2}$$

Kąt φ dla dwójnika R<sub>L</sub> jest dodatni zawarty w przedziale 0 ≤ φ ≤ π/2

Dla φ = 0 dwójnik jest idealnym dwójnikiem R, dla φ = π/2 – idealny dwójnik L.

### Obwód szeregowy R, C

Szeregowe połączenie rezystora o rezystancji R i kondensatora o pojemności C zasilanych napięciem sinusoidalnym oraz wykresy dla tego dwójnika przedstawia rys. 15.



**Rys. 15.** Dwójnik szeregowy RC: a) schemat dwójnika, b) wykres czasowy napięć i prądu, c) wykres wektorowy napięć, d) trójkąt impedancji [3, s. 247]

W tym obwodzie:

$$u = u_R + u_C$$

Jeżeli:

$$i = I_m \sin \omega t,$$

$$\text{to: } u = R \cdot I_m \cdot \sin \omega t + \frac{1}{\omega C} \cdot I_m \cdot \sin(\omega t - \pi/2) = U_{Rm} \cdot \sin \omega t + U_{Cm} \cdot \sin(\omega t - \pi/2) = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi).$$

Dodawaniu wartości chwilowych napięć zgodnie z drugim prawem Kirchhoffa odpowiada dodawanie geometryczne wektorów odwzorowujących te napięcia:  
wartości maksymalnych:

$$U_m = U_{Rm} + U_{Cm}$$

wartości skutecznych:

$$U = U_R + U_C$$

$$U_m = \sqrt{U_{Rm}^2 + U_{Cm}^2} = \sqrt{(RI_m)^2 + (X_C I_m)^2} = I_m \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

oraz:

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} = I \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

Oznaczamy:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

Z – impedancja (opór pozorny) dwójnika szeregowego RC; jednostką impedancji jest 1 om [1Ω].

$\varphi$  – kąt przesunięcia fazowego:  $\varphi = \varphi_u - \varphi_i$

Prawo Ohma dla dwójnika RL zasilanego napięciem sinusoidalnym:

$$U = I \cdot Z$$

Moduły napięć są proporcjonalne do prądu, czyli:

$$U_R = I \cdot R, \quad U_C = I \cdot X_C, \quad U = I \cdot Z.$$

Trójkąt impedancji o bokach R, X<sub>C</sub>, Z jest trójkątem podobnym do trójkąta napięć. Wynika z niego, że:

$$R = Z \cos \varphi$$

$$X_C = -Z \sin \varphi$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}; \quad \sin \varphi = -\frac{X_C}{Z}; \quad \text{tg } \varphi = -\frac{X_C}{R} = -\frac{1}{\omega CR}.$$

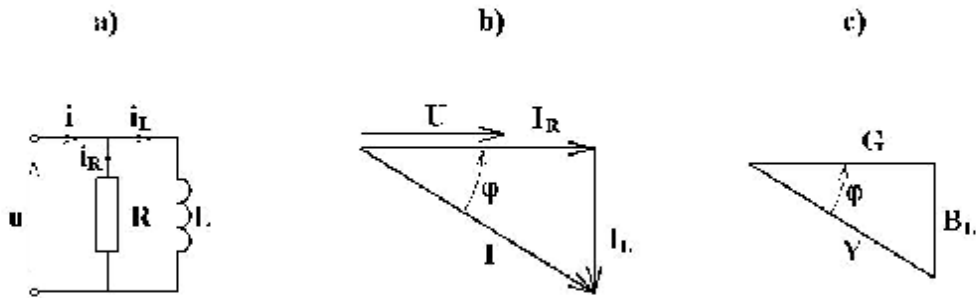
Kąt  $\varphi$  dla dwójnika RC jest ujemny, zawarty w przedziale:  $\frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq 0$

Dla  $\varphi = 0$  dwójnik jest idealnym dwójnikiem R, dla  $\varphi = -\frac{\pi}{2}$  – idealny dwójnik C ( $R = 0$ ).

### **Równoległe połączenie R i L**

Dla równoległego połączenia R i L (rys. 16), zgodnie z I prawem Kirchhoffa

$$i = i_R + i_L$$



Rys. 16. Układ równoległy R,L: a) schemat, b) wykres wektorowy, c) trójkąt admitancji [3, s. 258]

Jeżeli napięcie zasilające dwójnik ma wartość:

$$u = U_m \cdot \sin \omega t,$$

$$\text{to: } i_R = \frac{U_m}{R} \sin \omega t, \quad i_L = \frac{U_m}{X_L} \sin(\omega t - \pi/2), \quad i = I_m \cdot \sin(\omega t - \varphi),$$

$\varphi$  – kąt przesunięcia fazowego:  $\varphi = \varphi_u - \varphi_i$ .

Wektor prądu  $I$  pobieranego przez dwójnik RL:

$$I = I_R + I_L.$$

Dla wartości maksymalnych:

$$I_m = I_{Rm} + I_{Lm}.$$

Moduł wartości skutecznej prądu (długość wektora  $I$ ):

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{\omega L}\right)^2} U = \sqrt{G^2 + B_L^2} \cdot U = Y \cdot U$$

gdzie:

$$G = \frac{1}{R}$$

konduktancja (przewodność czynna): jednostką konduktancji jest [S] (simens),

$$B_L = \frac{1}{\omega \cdot L}$$

susceptancja (przewodność bierna); jednostką konduktancji jest [S] (simens),

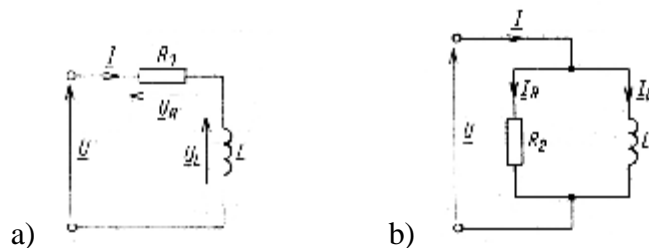
$$Y = \sqrt{G^2 + B_L^2}$$

admitancja (przewodność pozorna).

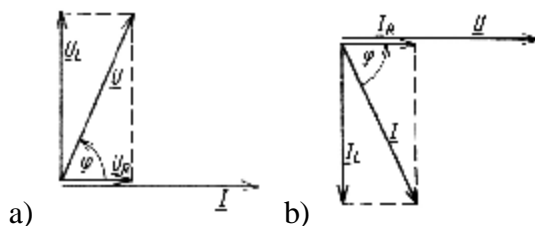
Dla równoległego połączenia  $R$  i  $L$  można wykreślić trójkąt admitancji, którego boki są proporcjonalne do odpowiednich boków trójkąta prądów (rys. 14), ponieważ:

$$I_R = U \cdot G; \quad I_L = U \cdot B_L; \quad I = U \cdot Y$$

Rzeczywistą cewkę (przy pominięciu pojemności międzywojowej i pojemności względem ziemi) można przedstawić jako szeregowe bądź równoległe połączenie idealnych elementów  $R$  i  $L$  (rys. 17) i odpowiadające tym schematom zastępczym wykresy wektorowe (rys. 18).



**Rys.17.** Schematy zastępcze cewki rzeczywistej: a) schemat szeregowy, b) schemat równoległy [3, s. 261]



**Rys.18.** Wykresy wektorowe napięć i prądów dla cewki rzeczywistej: a) wykres dla schematu szeregowego, b) wykres dla schematu równoległego [3, s. 262]

Tangens kąta  $\varphi$  nazywamy dobrocią cewki i oznaczamy  $Q_L$ .

Dla schematu szeregowego:

$$Q_L = \frac{U_L}{U_R} = \frac{w \cdot L_1}{R_1}$$

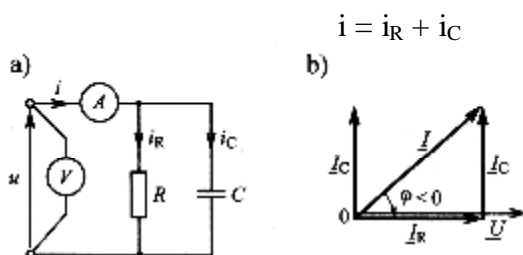
Dla schematu równoległego:

$$Q_L = \frac{I_L}{I_R} = \frac{1}{w \cdot L_2 \cdot G_2} = \frac{R_2}{w \cdot L_2}$$

Im mniejsza rezystancja cewki, tym większa jej dobroć.

### Równoległe połączenie R i C

Dla równoległego połączenia R i C (rys. 19) zgodnie z I prawem Kirchhoffa:



**Rys. 19.** Układ równoległy RC zasilany napięciem sinusoidalnym: a) schemat obwodu, b) wykres wektorowy [3, s. 259]

Jeżeli napięcie zasilające dwójnik ma wartość:

$$u = U_m \sin \omega t,$$

$$\text{to: } i_R = \frac{U_m}{R} \cdot \sin \omega t, \quad i_C = \frac{U_m}{X_C} \cdot \sin(\omega t + \pi/2) \quad i = I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$



Wektor prądu I pobieranego przez dwójnik RC:

$$I = I_R + I_C$$

Dla wartości maksymalnych:

$$I_m = I_m \cdot R + I_m \cdot C$$

Moduł wartości skutecznej prądu (długość wektora I):

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + (\omega C)^2} \cdot U = \sqrt{G^2 + B_C^2} \cdot U = Y \cdot U$$

gdzie:

$$G = \frac{1}{R}$$

konduktancja (przewodność czynna): jednostką konduktancji jest 1 siemens [1S],

$$B_C = \omega C$$

susceptancja (przewodność bierna); jednostką konduktancji jest 1 siemens [1S],

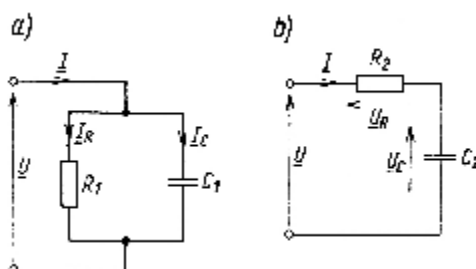
$$Y = \sqrt{G^2 + B_C^2}$$

admitancja (przewodność pozorna).

Dla równoległego połączenia R i C można wykreślić trójkąt admitancji, którego boki są proporcjonalne do odpowiednich boków trójkąta prądów, ponieważ:

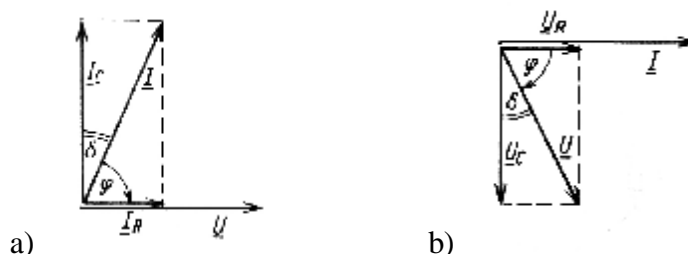
$$I_R = U \cdot G; \quad I_C = U \cdot B_C; \quad I = U \cdot Y.$$

Schemat zastępczy rzeczywistego kondensatora można przedstawić jako równoległe lub szeregowe połączenie R i C (rys. 20).



**Rys. 20.** Schematy zastępcze kondensatora rzeczywistego: a) schemat równoległy, b) schemat szeregowy [3 s.265]

Dla rzeczywistego kondensatora słuszne są wykresy przedstawione na rys. 21.



**Rys. 21.** Wykresy wektorowe prądów i napięć dla kondensatora rzeczywistego: a) wykres dla schematu równoległego, b) wykres dla schematu szeregowego [3, s. 266]

Oznaczenia:  $d$  – kąat strat dielektrycznych,  $\text{tg} d$  – współczynnik strat dielektrycznych.

Odwrotność współczynnika strat dielektrycznych nazywamy dobrocią kondensatora i oznaczamy  $Q_C$ . Dla schematu równoległego:

$$\operatorname{tg} d = \frac{I_R}{I_C} = \frac{1}{w \cdot C_1 \cdot R_1} \quad Q_C = \frac{1}{\operatorname{tg} d} = \frac{I_C}{I_R} = w \cdot C_1 \cdot R_1$$

### Moc prądu jednofazowego

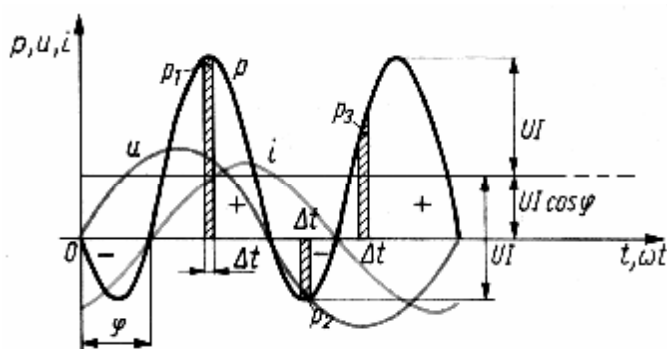
W obwodzie prądu sinusoidalnego zasilanym napięciem o wartości chwilowej  $u$ , pobierającym prąd o wartości chwilowej  $i$  wartość chwilowa mocy jest równa iloczynowi prądu i napięcia:

$$p = u \cdot i$$

Ponieważ w obwodzie prądu zmiennego napięcie i prąd zmieniają w czasie swoją wartość oraz znak, moc chwilowa ma wartość dodatnią w tych przedziałach czasu, w których wartości chwilowe prądu i napięcia mają te same znaki, oraz ujemną, w przedziałach czasu, gdzie napięcie i prąd mają znaki przeciwne.

Jeżeli  $p > 0$ , to energia jest dostarczana ze źródła do odbiornika; jeżeli  $p < 0$ , to energia jest zwracana przez odbiornik do źródła

Na rys. 22 przedstawiono przebiegi prądu, napięcia i mocy dla dwójnika zasilanego napięciem o wartości chwilowej  $u = U_m \sin \omega t$ , pobierającego prąd  $i = I_m \sin (\omega t - \varphi)$ .



Rys. 22. Przebiegi wartości chwilowej napięcia, prądu i mocy [3, s. 265]

Moc chwilowa, po przekształceniach trygonometrycznych:

$$p = u \cdot i = U \cdot I \cdot \cos \varphi - U \cdot I \cdot \cos (2\omega t - \varphi).$$

Moc chwilowa ma dwie składowe:

- 1) składową stałą (nie zmieniającą się w czasie):  $U \cdot I \cdot \cos \varphi$ ,
- 2) składową sinusoidalnie zmienną:  $U \cdot I \cdot \cos (2\omega t - \varphi)$ , której częstotliwość jest dwukrotnie większa od częstotliwości napięcia i prądu.

Energia dostarczana do odbiornika w równych przedziałach czasu  $\Delta t$  jest różna, ponieważ wartość chwilowa mocy dla poszczególnych przedziałów czasu jest różna. Energia w czasie  $\Delta t$  wynosi:

$$\Delta W = p \cdot \Delta t.$$

Graficznie tę energię ilustruje pole powierzchni paska o podstawie  $\Delta t$ . Sumując iloczyny  $p \cdot \Delta t$  w ciągu całego okresu otrzymamy energię pobraną w ciągu okresu  $T$ :

$$W = P \cdot t$$

Po podzieleniu przez  $T$  otrzymujemy wartość średnią mocy chwilowej za okres:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

gdzie:  $U$  – wartość skuteczna napięcia sinusoidalnego,  
 $I$  – wartość skuteczna prądu sinusoidalnego,  
 $\cos \varphi$  – współczynnik mocy (cos kąta przesunięcia fazowego).

**Mocą czynną**  $P$  nazywamy wartość średnią mocy chwilowej. Jednostką mocy czynnej jest 1 wat [W]. Dla urządzeń elektrycznych o określonych wartościach znamionowych napięcia  $U$  oraz prądu  $I$  określamy moc pozorną  $S$ :

$$S = U \cdot I$$

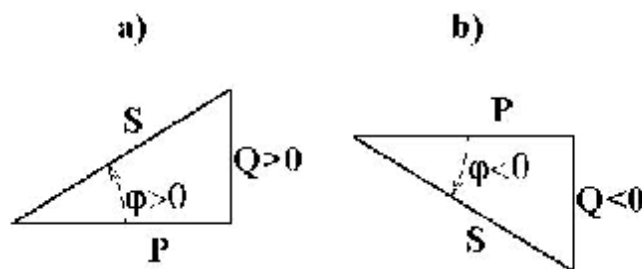
**Moc pozorną** jest iloczynem wartości skutecznych napięcia i prądu. Jednostką mocy pozornej jest woltoamper [VA]. Moc pozorną jest równa największej wartości mocy czynnej. Zachodzi to przy  $\cos \varphi = 1$  ( $\varphi = 0$ ). W obwodach prądu sinusoidalnego określa się także moc bierną  $Q$ :

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

**Moc bierną** jest iloczynem wartości skutecznych napięcia i prądu oraz sinusa kąta przesunięcia fazowego. Jednostką mocy biernej jest var [var].  
Pomiędzy mocami: czynną, bierną i pozorną zachodzi zależność:

$$S^2 = P^2 + Q^2, \quad \text{stąd: } S = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

Dla każdego dwójnika RLC możemy narysować trójkąt mocy (rys. 23), który jest trójkątem podobnym do trójkąta impedancji (admitancji) dla danego dwójnika:



Rys. 23. Trójkąty mocy a) dla  $Q > 0$ , b) dla  $Q < 0$  [3, s. 273]

Funkcje kąta  $\varphi$  można określić z zależności:  $\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P}$ ;  $\cos \varphi = \frac{P}{S}$ .

### Pomiar indukcyjności cewki metodą techniczną

Indukcyjność cewki można zmierzyć za pomocą mostka R, L, C. Jest to mostek zmiennoprądowy. Zasadę działania takiego mostka oraz sposób obsługi zawiera instrukcja producenta. Dogodnym i powszechnie dostępnym sposobem jest metoda techniczna pomiaru indukcyjności. Sposób postępowania przy tej metodzie jest następujący:

włączamy cewkę w obwód napięcia stałego, mierzymy prąd i napięcie i z prawa Ohma wyznaczamy rezystancję cewki:  $R = \frac{U}{I}$  lub wykorzystując wskazania watomierza

i amperomierza włączonych w obwód cewki korzystamy z zależności:  $P = R \cdot I^2$ , włączamy cewkę w obwód napięcia przemiennego o znanej częstotliwości, mierzymy prąd, napięcie

i z prawa Ohma wyznaczamy impedancję cewki:  $Z = \frac{U}{I}$ ,

z zależności:  $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$  wyznaczamy reaktancję cewki:  $X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$ ,

wykorzystujemy zależność:  $X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$  i obliczamy indukcyjność cewki  $L = \frac{X_L}{2\pi \cdot f}$ .

Dla rzeczywistej cewki możemy sporządzić wykresy wektorowe oraz trójkąty impedancji i mocy jak dla dwójnika składającego się z idealnych elementów R i L.

#### **Pomiar pojemności metodą techniczną**

Pojemność kondensatora można zmierzyć za pomocą mostka R, L, C. Jest to mostek zmiennoprądowy. Zasadę działania takiego mostka oraz sposób obsługi zawiera instrukcja producenta. Dogodnym i powszechnie dostępnym sposobem jest metoda techniczna pomiaru pojemności. Przy założeniu, że rezystancja dielektryka kondensatora jest nieskończenie duża (kondensator idealny), sposób postępowania przy tej metodzie jest następujący:

włączamy kondensator w obwód napięcia przemiennego o znanej częstotliwości, mierzymy prąd, napięcie, i z prawa Ohma wyznaczamy reaktancję kondensatora:  $X_C = \frac{U}{I}$

wykorzystujemy zależność:  $X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$  i obliczamy pojemność  $C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_C}$ .

Postępując w sposób opisany wyżej można wyznaczyć pojemność zastępczą kilku kondensatorów połączonych w dowolny sposób.

### **4.3.2 Pytania sprawdzające**

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

1. Jaki wykres nazywamy wektorowym, a jaki czasowym?
2. Jak rysujemy wykres wektorowy?
3. Jakie jest przesunięcie fazy między prądem i napięciem na idealnej rezystancji?
4. Jakie jest przesunięcie fazy między prądem i napięciem na idealnej cewce?
5. Jakie jest przesunięcie fazy między prądem i napięciem na idealnym kondensatorze?
6. Jak obliczamy reaktancję indukcyjną i pojemnościową?
7. Jak zmienia się reaktancja indukcyjna cewki w zależności od częstotliwości?
8. Jak zmienia się reaktancja pojemnościowa kondensatora w zależności od częstotliwości?
9. Jaki znak ma kąt  $\varphi$  przesunięcia fazowego napięcia względem prądu w dwójniku szeregowym RL? W jakich granicach zmienia się ten kąt?
10. Jaki znak ma kąt  $\varphi$  przesunięcia fazowego napięcia względem prądu w dwójniku szeregowym RC?
11. Jakie dwie składowe ma moc chwilowa prądu sinusoidalnego?
12. Jaka jest zależność między mocą czynną, mocą bierną i mocą pozorną prądu sinusoidalnego?
13. Jaką moc pobiera rezystor idealny, a jaką cewka idealna?
14. Jak wykonujemy pomiar indukcyjności metodą techniczną?
15. Jak wykonujemy pomiar pojemności metodą techniczną?

### **4.3.3 Ćwiczenia**

#### **Ćwiczenie 1**

Oblicz wartość reaktancji indukcyjnej (oporu biernego indukcyjnego) cewki oraz prądu płynącego w cewce rdzeniowej o indukcyjności  $L = 0,6$  H do której doprowadzono napięcie z sieci prądu jednofazowego. Rezystancji cewki nie uwzględniaj. Sporządź wykres wektorowy prądu i napięcia.

### Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) wypisać dane wielkości z zadania oraz (wielkość) szukane,
- 2) przeczytać ze zrozumieniem treść zadania,
- 3) wypisać wzory matematyczne,
- 4) wykonać obliczenia,
- 5) opracować wnioski i zaprezentować efekt pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura z rozdziału 6,
- kalkulator,
- zeszyt i przybory do pisania.

### Ćwiczenie 2

Oblicz wartość reaktancji pojemnościowej oraz susceptancji pojemnościowej (przewodności biernej) kondensatora o pojemności  $C = 10 \mu\text{F}$ , jeżeli częstotliwość napięcia zasilającego  $f = 50 \text{ Hz}$ .

### Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) wypisać dane wielkości z zadania oraz wielkości szukane,
- 2) przeczytać ze zrozumieniem treść zadania,
- 3) wypisać wzory matematyczne,
- 4) podstawić do wzorów dane wielkości i wykonać obliczenia,
- 5) opracować wnioski i zaprezentować efekt pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura z rozdziału 6,
- kalkulator,
- zeszyt i przybory do pisania.

### Ćwiczenie 3

Oblicz wartości: impedancji  $Z$  obwodu, prądu  $I$  płynącego w obwodzie złożonym z rezystora o rezystancji  $R = 120 \Omega$  i cewki o indukcyjności  $L = 0,51 \text{ H}$  połączonych szeregowo oraz napięć  $U_R$ ,  $U_L$ . Do obwodu doprowadzono napięcie z sieci ( $220 \text{ V}$ ;  $50 \text{ Hz}$ ). Sporządź wykres wektorowy i trójkąt impedancji.

### Sposób wykonania ćwiczeń

Aby wykonać ćwiczenia, powinienes:

- 1) wypisać dane wielkości z zadania oraz wielkości szukane,
- 2) przeczytać ze zrozumieniem treść zadania,
- 3) wypisać wzory matematyczne,
- 4) wykonać obliczenia oraz narysować wykres wektorowy i trójkąt impedancji przyjmując odpowiednią podziałkę,
- 5) opracować wnioski i zaprezentować efekt pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura z rozdziału 6,
- kalkulator,
- zeszyt i przybory do pisania.

#### Ćwiczenie 4

Oblicz wartość prądu płynącego przez rezystor oraz narysuj trójkąt prądów w obwodzie równoległym R, C, jeżeli prąd całkowity  $I = 2,5$  A, a prąd płynący przez kondensator  $I_c = 1,2$  A.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

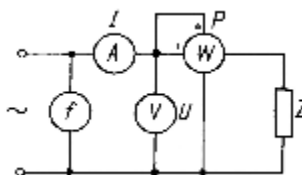
- 1) wypisać dane wielkości z zadania oraz wielkości szukane,
- 2) przeczytać ze zrozumieniem treść zadania,
- 3) wypisać wzory matematyczne,
- 4) podstawić do wzorów dane wielkości i wykonać obliczenia,
- 5) opracować wnioski i zaprezentować efekt pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura z rozdziału 6,
- kalkulator,
- zeszyt i przybory do pisania.

#### Ćwiczenie 5

Oblicz wartość mocy pozornej  $S$ , mocy biernej  $Q$  i współczynnika mocy  $\cos\varphi$  w obwodzie na rysunku, jeżeli wskazania mierników były następujące: prąd  $I = 4$  A, napięcie  $U = 217,5$  V, moc czynna  $P = 522$  W, częstotliwość  $f = 50$  Hz.



Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) wypisać dane wielkości z zadania oraz wielkość (wielkości) szukane,
- 2) przeczytać ze zrozumieniem treść zadania (zadań),
- 3) wypisać wzory matematyczne, które przedstawiają zależności między wielkościami danymi, a wielkością (wielkościami) szukaną,
- 4) podstawić do wzoru dane wielkości i wykonać obliczenia,
- 5) opracować wnioski i zaprezentować efekt pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura z rozdziału 6,
- kalkulator,
- zeszyt i przybory do pisania.

#### Ćwiczenie 6

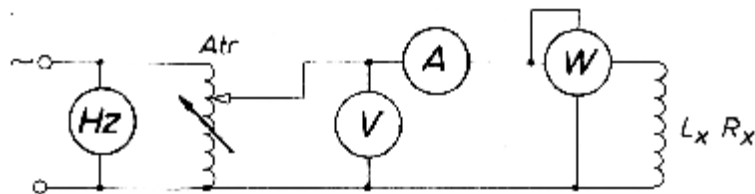
Wykonaj pomiar indukcyjności własnej cewki rzeczywistej metodą techniczną. Pomiar przeprowadź dla trzech różnych wartości napięcia zasilającego, przy stałej częstotliwości tego napięcia. Wiadomo, że  $L > 50$  mH,  $R > 100$   $\Omega$ .

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zestawić układ pomiarowy jak na rysunku,

- 2) dobrać zakresy mierników, wiedząc, że napięcie będzie się zmieniać od 0 do 50 V,
- 3) zaproponować tabelę do zanotowania pomiarów i obliczeń,
- 4) określić rezystancję cewki na podstawie wskazań mierników z zależności:  $P = R \cdot I_2$ ,
- 5) wyznaczyć na podstawie pomiarów  $\cos\varphi$  cewki,
- 6) sporządzić wykres wektorowy na podstawie pomiarów oraz trójkąty mocy i impedancji.



Rysunek do ćwiczenia 6

Wyposażenie stanowiska pracy:

- schemat obwodu pomiarowego,
- cewka rzeczywista,
- autotransformator,
- mierniki wskazane przez ucznia,
- częstotliciomierz,
- komputer z programem graficznym i arkuszem kalkulacyjnym.

### Ćwiczenie 7

Zaplanuj sposób pomiaru pojemności kondensatora metodą techniczną. Wiadomo, że pojemność wynosi około  $5 \mu\text{F}$ .

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zaprojektować (narysować) układ pomiarowy,
- 2) dobrać mierniki do pomiarów przy założeniu, że napięcie zasilania będzie się zmieniać od 0 do 150 V,
- 3) połączyć układ pomiarowy według zaproponowanego schematu,
- 4) opracować tabelę do zanotowania niezbędnych pomiarów i obliczeń,
- 5) wykonać pomiary dla trzech różnych wartości napięcia,
- 6) zanalizować jak zmieniłyby się wskazania mierników po dołączeniu drugiego, identycznego kondensatora: a) szeregowo, b) równoległe.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- schemat obwodu pomiarowego zaproponowany przez ucznia,
- mierniki wskazane przez ucznia,
- częstotliciomierz,
- komputer z programem graficznym i arkuszem kalkulacyjnym.

### 4.3.4 Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) obliczyć reaktancję indukcyjną oraz wartość skuteczną napięcia na cewce?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) obliczyć reaktancję pojemnościową oraz wartość skuteczną prądu i napięcia na kondensatorze?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) opisać jak zmienia się reaktancja pojemnościowa i indukcyjna w zależności od częstotliwości?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) obliczyć impedancję gałęzi szeregowej R, L i R, C?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) obliczyć wartości prądów w układach równoległych R, L i R, C?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) obliczyć wartość maksymalną prądu sinusoidalnego, znając jego wartość skuteczną?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) narysować wykres wektorowy prądu i napięcia dla idealnych elementów R, L, C?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) wyznaczyć przesunięcie fazowe między prądem, a napięciem na elementach idealnych: rezystorze, cewce, kondensatorze?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) określić kąt przesunięcia fazowego między prądem, a napięciem całkowitym (zasilania) w obwodach szeregowych R, C i R, L?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) narysować wykres wektorowy dla obwodów szeregowych R, L i R, C?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) narysować wykres wektorowy dla obwodów równoległych R, L i R, C?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12) obliczyć moc czynną, bierną i pozorną w gałęzi szeregowej R, L, C?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13) obliczyć jaką moc pobierają idealne elementy RLC?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14) narysować schemat zastępczy rzeczywistej cewki i rzeczywistego kondensatora?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15) zmierzyć indukcyjność cewki metodą techniczną?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16) zmierzyć pojemność kondensatora metodą techniczną?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



## 4.4 Rezonans szeregowy i równoległy. Powstawanie napięcia trójfazowego. Moc prądu trójfazowego

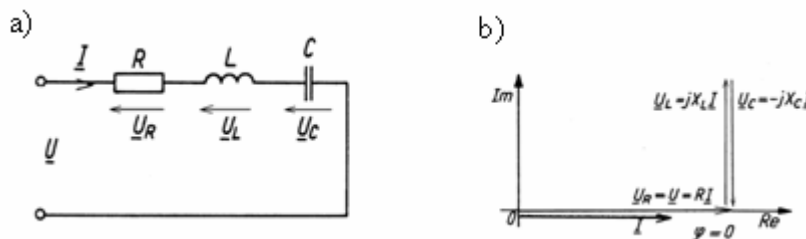
### 4.4.1 Materiał nauczania

#### Rezonans w obwodach elektrycznych

Rezonans zachodzi w obwodach elektrycznych, w których susceptancja lub reaktancja wypadkowa jest równa zero. Oznacza to, że w obwodzie będącym w rezonansie prąd i napięcie na jego zaciskach są w fazie ze sobą. Oznacza to również, że taki obwód ma charakter wyłącznie rezystancyjny. Częstotliwość, dla której zachodzi zjawisko rezonansu, nazywamy częstotliwością rezonansową. W zależności od sposobu połączenia elementów R, L, C, mówimy o rezonansie napięć lub prądów.

#### Rezonans napięć

Rezonans napięć zachodzi przy szeregowym połączeniu elementów R, L, C. Z warunku rezonansu wynika, że  $X_C = X_L$ . Wynika stąd, że napięcia na  $X_L$  i  $X_C$  są sobie równe, lecz przeciwnie skierowane. Rozpocznij konstrukcję wykresu wektorowego od wektora wspólnego, którym jest natężenie prądu I. Przyjmij, że faza początkowa prądu  $\varphi=0$ . a) b)



**Rys. 24.** Rezonans napięć w dwójniku szeregowym: a) schemat obwodu, b) wykres wektorowy dla stanu rezonansu [3 s.252]

Zapamiętaj, że w stanie rezonansu napięć:

- reaktancja pojemnościowa jest równa reaktancji indukcyjnej;
- impedancja jest równa rezystancji;
- napięcie na cewce jest co do wartości równe napięciu na kondensatorze, a ich suma geometryczna wynosi zero;
- ponieważ  $X = 0$ , prąd w obwodzie ma wartość największą.

Impedancją falową  $\rho$  (czyt. ro - mała litera alfabetu greckiego).

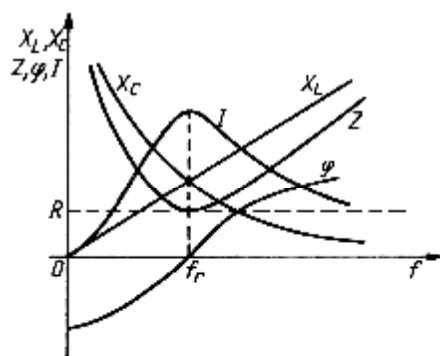
Impedancją falową  $\rho$  nazywamy reaktancję indukcyjną lub pojemnościową obwodu R, L, C przy częstotliwości rezonansowej:

$$\rho = \omega_r \cdot L = \frac{1}{\omega_r \cdot C} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Określmy także dobroć Q obwodu rezonansowego.

$$Q = \frac{U_L}{U_R} = \frac{U_C}{U_R} \quad \text{czyli} \quad Q = \frac{\omega_r \cdot L}{R} = \frac{1}{\omega_r \cdot C \cdot R} \quad \text{lub} \quad Q = \sqrt{\frac{\rho}{R}}$$

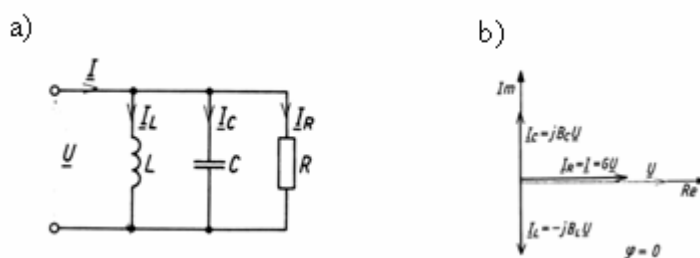
Dużą pomoc w analizie rezonansu napięć dają krzywe rezonansowe, które przedstawiono poniżej.



Rys. 25. Krzywe rezonansowe – charakterystyki częstotliwościowe:  $X_L$ ,  $X_C$ ,  $Z$ ,  $\varphi$ ,  $I$  [3, s. 253]

### Rezonans prądów

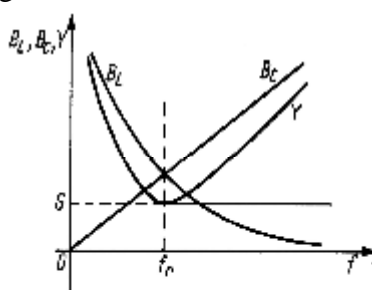
Rezonans prądów zachodzi przy równoległym połączeniu elementów  $R$ ,  $L$ ,  $C$ . Z warunku rezonansu wynika, że  $B_C = B_L$ . Wynika stąd, że prądy płynące przez  $X_L$  i  $X_C$  są sobie równe, lecz przeciwnie skierowane. Rozpocznij konstrukcję wykresu wektorowego od wektora wspólnego, którym jest napięcie  $U$ . Przyjmij, że faza początkowa napięcia  $\varphi = 0$ .



Rys.26 Rezonans prądów w dwójniku równoległym: a) schemat obwodu, b) wykres wektorowy dla stanu rezonansu [3, s. 263]

Można stwierdzić, że w stanie rezonansu prądów:

- susceptancja pojemnościowa jest równa susceptancji indukcyjnej;
- admitancja obwodu jest równa konduktancji;
- natężenie prądu w gałęzi z kondensatorem jest równe natężeniu prądu w gałęzi z cewką, a suma geometryczna tych prądów jest równa zero;
- wobec  $B = 0$ , prąd całkowity ma najmniejszą wartość, a źródło pracuje w stanie zbliżonym do biegu jałowego.



Rys.27. Charakterystyki częstotliwościowe:  $B_L$ ,  $B_C$ ,  $Y$  [3, s. 264]

Podobnie jak poprzednio zdefiniujemy pojęcie dobroci Q obwodu rezonansowego.

$$Q = \frac{I_L}{I_R} = \frac{I_C}{I_R} = \frac{1}{\omega_r * L * G} = \frac{\omega_r * C}{G}$$

ostatecznie po przekształceniach otrzymamy:

$$Q = \frac{R}{\rho}$$

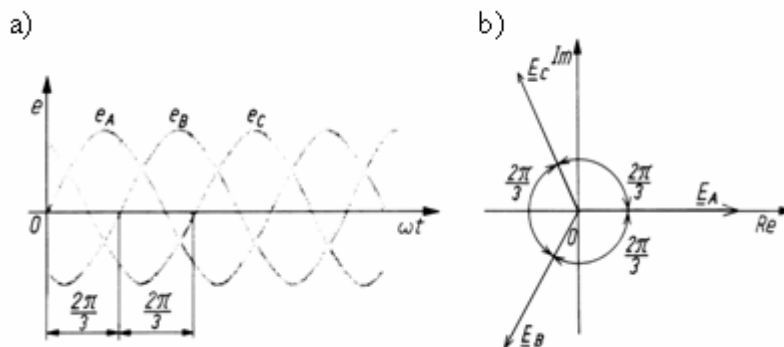
Z definicji dobroci Q wynika, że im Q jest większa, tym większe są przetężenia w obwodzie rezonansu prądów. Przetężeniem nazywamy stan, w którym prądy w gałęziach indukcyjnej i pojemnościowej są Q razy większe niż prąd do pływający do obwodu rezonansowego.

### Prąd przemienny trójfazowy

Do wytwarzania napięcia trójfazowego używamy generatorów (prądnic) trójfazowych. Są to prądnice prądu przemiennego wytwarzające trzy takie same napięcia, które różnią się tylko fazą początkową. Jeżeli przyjąć, że jedno z napięć ma fazę początkową 0, to pozostałe dwa mają fazę początkową przesuniętą o 120 stopni, czyli o 1/3 okresu.

Zgodnie z normami europejskimi fazy napięcia trójfazowego powinny być oznaczane: L1, L2, L3 oraz N. Jednak literą L oznaczamy indukcyjność. Aby uniknąć pomyłek oznaczmy fazy literami: A, B, C i N. Na podstawie tych założeń możemy napisać, że napięcia trójfazowe mają postać:

$$e_A = E_m \cdot \sin \omega t \qquad e_B = E_m \cdot \sin(\omega t - \frac{2p}{3}) \qquad e_C = E_m \cdot \sin(\omega t + \frac{2p}{3})$$



Rys. 28. Napięcia źródłowe wytwarzane w prądnicie trójfazowej: a) przebiegi czasowe, b) wykres wektorowy [3, s. 10]

### Układy trójfazowe

Układy trójfazowe mogą być symetryczne i niesymetryczne.

W układach trójfazowych rozróżniamy dwa rodzaje prądów:

- prądy przewodowe – są to prądy płynące w przewodach fazowych,
- prądy fazowe – prądy płynące w fazach odbiornika,

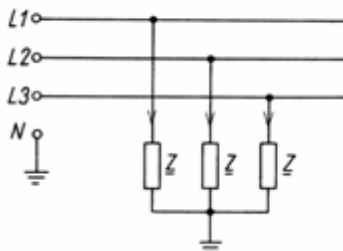
i dwa rodzaje napięć:

- napięcia fazowe źródła – są to napięcia występujące między punktem neutralnym prądnicy oraz jej zaciskiem; oznaczamy je  $E_A$ ,  $E_B$ ,  $E_C$ ,
- napięcia fazowe odbiornika jak wyżej; oznaczamy je:  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$ ,
- napięcia międzyfazowe (inna nazwa napięcia liniowe) – są to napięcia występujące między kolejnymi zaciskami prądnicy lub odbiornika.

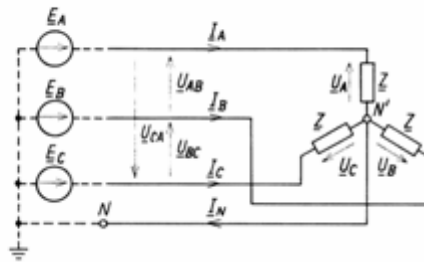
## Trójfazowe układy symetryczne

### Odbiornik połączony w gwiazdę

a)



b)



**Rys.29** Układ trójfazowy symetryczny z odbiornikiem połączonym w gwiazdę z uziemionym punktem neutralnym: a) odbiornik dołączony do sieci trójfazowej; b) ten sam odbiornik z dorysowanym schematem źródła [3, s. 11]

Układ trójfazowy trójprzewodowy – a, oraz układ trójfazowy czteroprzewodowy – b. Zapamiętaj, że w układach trójfazowych symetrycznych:

- w układzie gwiazda – gwiazda - punkty neutralne źródła i odbiornika mają ten sam potencjał,
- napięcia fazowe źródła są równe napięciom fazowym odbiornika,
- suma wartości skutecznych zespolonych napięć fazowych odbiornika jest równa zero (suma wektorowa napięć fazowych odbiornika jest równa zero),
- moduły prądów przewodowych są sobie równe,
- suma wartości skutecznych zespolonych prądów fazowych jest równa zero,
- prąd w przewodzie neutralnym jest równy zero,
- każde napięcie międzyfazowe jest różnicą napięć fazowych,
- suma wartości skutecznych zespolonych napięć międzyfazowych jest równa zero,
- wartość skuteczna (moduł) napięcia międzyfazowego  $U_p$  jest  $\sqrt{3}$  razy większa od wartości skutecznej napięcia fazowego  $U_f$

$$U_f = \frac{U_p}{\sqrt{3}} \quad \text{lub} \quad U_p = \sqrt{3} \cdot U_f$$

- prądy fazowe odbiornika są równe prądom przewodowym:

$$I_f = I_p$$

- moc czynna  $P$  pobierana przez odbiornik trójfazowy, jest 3 razy większa od mocy czynnej  $P_f$  pobieranej przez jedną fazę:

$$P_f = U_f \cdot I_f \cdot \cos\varphi \quad \text{lub} \quad P_f = R \cdot I_f^2 \quad P = 3P_f = 3U_f \cdot I_f \cdot \cos\varphi$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U_p \cdot I_p \cdot \cos\varphi$$

- podobnie moc bierna  $Q$ :

$$Q_f = U_f \cdot I_f \cdot \sin\varphi \quad \text{lub} \quad Q_f = X \cdot I_f^2 \quad Q = 3Q_f = 3U_f \cdot I_f \cdot \sin\varphi$$

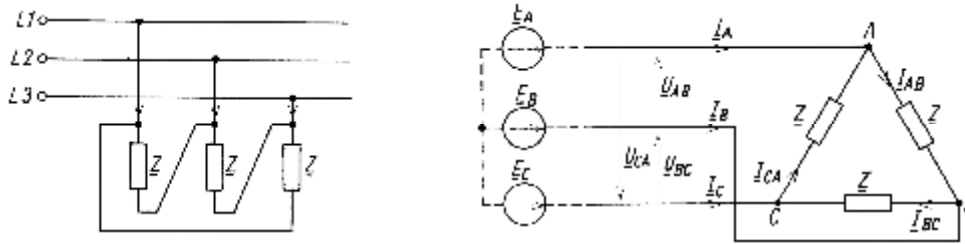
$$Q = \sqrt{3} \cdot U_p \cdot I_p \cdot \sin\varphi$$

- moc pozorna:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U_p \cdot I_p$$

## Odbiornik połączony w trójkąt



**Rys.30** Układ trójfazowy symetryczny z odbiornikiem połączonym w trójkąt: a) odbiornik dołączony do sieci trójfazowej; b) ten sam odbiornik z dorysowanym schematem źródła [3, s. 25]

- napięcia międzyfazowe źródła są równe napięciom fazowym odbiornika,
- suma wartości skutecznych zespolonych napięć fazowych odbiornika jest równa zero (suma wektorowa napięć fazowych odbiornika jest równa zero),
- moduły prądów fazowych odbiornika są sobie równe,
- suma wartości skutecznych zespolonych prądów fazowych jest równa zero,
- suma wartości skutecznych zespolonych napięć międzyfazowych jest równa zero,
- wartość skuteczna (moduł) prądów przewodowych  $I_p$  jest  $\sqrt{3}$  razy większy od wartości skutecznej prądu fazowego  $I_f$

$$I_f = \frac{I_p}{\sqrt{3}} \quad \text{lub} \quad I_p = \sqrt{3} I_f$$

- napięcia fazowe odbiornika są równe napięciom międzyfazowym  
 $U_f = U_p$
- **moc czynna  $P$**  pobierana przez odbiornik trójfazowy, jest 3 razy większa od mocy czynnej  $P_f$  pobieranej przez jedną fazę:

$$P_f = U_f I_f \cos\varphi \quad \text{lub} \quad P_f = R \cdot I_f^2 \quad P = 3P_f = 3U_f I_f \cos\varphi$$

$$P = \sqrt{3} U_p \cdot I_p \cdot \cos\varphi$$

- **podobnie moc bierna  $Q$ :**

$$Q_f = U_f I_f \sin\varphi \quad \text{lub} \quad Q_f = X \cdot I_f^2 \quad Q = 3Q_f = 3U_f I_f \sin\varphi$$

$$Q = \sqrt{3} U_p \cdot I_p \cdot \sin\varphi$$

- **moc pozorna:**

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad S = \sqrt{3} \cdot U_p \cdot I_p$$

## 4.4.2 Pytania sprawdzające

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

1. W jakich obwodach zachodzi rezonans?
2. Jakie znasz rezonanse elektryczne?
3. Jak wyznaczamy dobroć obwodu rezonansowego?
4. Jakie cechy ma prąd przemienny trójfazowy?
5. Jak można skojarzyć układy trójfazowe?
6. Jaka jest różnica między wielkościami fazowymi, a przewodowymi?
7. Kiedy układ trójfazowy jest symetryczny?
8. Na czym polega skojarzenie faz prądnicy trójfazowej?
9. Jakie rozróżniamy połączenia w gwiazdę?
10. Jaka jest zależność między wartościami skutecznymi napięć fazowych i międzyfazowych w układzie trójfazowym symetrycznym?
11. Na czym polega połączenie uzwojeń w trójkąt?
12. Jaka wartość ma suma sił elektromotorycznych w układzie trójfazowym symetrycznym?
13. Czy odbiorniki trójfazowe mogą być łączone dowolnie, tj. w trójkąt albo w gwiazdę?
14. Jakie są zależności między: prądami fazowymi i prądami liniowymi oraz napięciami fazowymi i napięciami liniowymi przy symetrycznym obciążeniu układu czteroprzewodowego?
15. Wypisz wzory na obliczanie mocy: czynnej, biernej i pozornej w układach trójfazowych symetrycznych?

## 4.4.3 Ćwiczenia

### Ćwiczenie 1

Jaka wartość ma napięcie fazowe na zaciskach uzwojenia połączonego w gwiazdę silnika indukcyjnego przyłączonego do sieci prądu trójfazowego. Napięcie międzyprzewodowe wynosi 380V.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) przeczytać ze zrozumieniem treść zadania,
- 2) wypisać wzór matematyczny, które określa zależność między napięciami w układach trójfazowych,
- 3) wstawić dane do wzoru i wykonać obliczenia,
- 4) opracować wnioski z wykonanych obliczeń i zaprezentować efekt pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura z rozdziału 6,
- kalkulator,
- zeszyt i przybory do pisania.

### Ćwiczenie 2

Jaka jest moc silnika trójfazowego, który na tabliczce znamionowej ma następujące parametry:  $U = 3 \times 380 \text{ V}$ ;  $I = 30 \text{ A}$ ;  $\cos \varphi = 0,8$ ;  $\eta = 0,85$ ?

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) przeczytać ze zrozumieniem treść zadania,

- 2) wypisać wzór matematyczny, który określa wartość mocy czynnej w układach trójfazowych,
- 3) wstawić dane do wzorów i wykonać obliczenia,
- 4) opracować wnioski z wykonanych obliczeń i zaprezentować efekt pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura z rozdziału 6,
- kalkulator,
- zeszyt i przybory do pisania.

### Ćwiczenie 3

Obliczyć moc pieca elektrycznego i energię elektryczną zużytą podczas pracy pieca w ciągu 4 godzin. Piec ma uzwojenie trójfazowe połączone w trójkąt. Przy napięciu fazowym 230 V piec pobiera prąd o natężeniu  $I = 15A$ , przy czym  $\cos \varphi = 1$ .

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

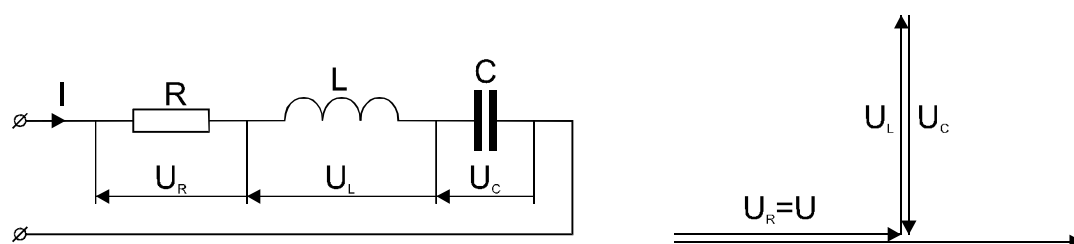
- 1) przeczytać ze zrozumieniem treść zadania,
- 2) wypisać wzory matematyczne, które określają wartość mocy czynnej oraz energii pobieranej z sieci trójfazowej,
- 3) wstawić dane do wzorów i wykonać obliczenia,
- 4) opracować wnioski z wykonanych obliczeń i zaprezentować efekt pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura z rozdziału 6,
- kalkulator,
- zeszyt i przybory do pisania.

### Ćwiczenie 4

Wykonaj badanie szeregowego obwodu R, L, C dokonując zmiany częstotliwości napięcia zasilającego.



Wykres wektorowy szeregowego obwodu szeregowego RLC w stanie rezonansu napięć

**Tabela 1.** Tabela wyników pomiarów ćwiczenie 4

F	U	UR	UL	UC	I	Z
Hz	V	V	V	V	mA	$\Omega$
1600						
3600						

## Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienesz:

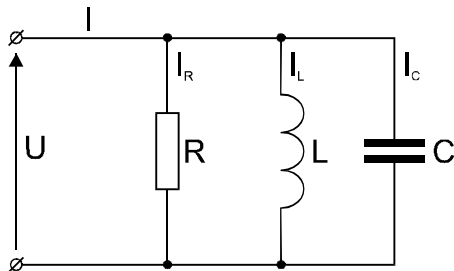
- 1) zgromadzić następujące przyrządy pomiarowe sprzęt i materiały: cewkę  $L = 4 \text{ mH}$ , kondensator  $C = 1 \times 10^{-6} \text{ F}$ , rezystor  $R = 32 \text{ } \Omega$ , przewody połączeniowe, 5 mierników uniwersalnych, wyłącznik,
- 2) połączyć wyżej wymienione elementy według wskazań nauczyciela,
- 3) ustawić odpowiednie zakresy na miernikach uniwersalnych,
- 4) pokazać nauczycielowi układ gotowy do podłączenia w celu sprawdzenia prawidłowości połączeń i nastaw,
- 5) zaplanować ilość pomiarów i wykonać pomiary,
- 6) ustalić częstotliwość rezonansową doświadczalnie ( $U_L = U_C$ ) oraz obliczeniowo,
- 7) zapisać wyniki pomiarów w tabeli,
- 8) wykonać potrzebne obliczenia końcowe, wykonać wykresy wskazane przez nauczyciela,
- 9) wykonać ćwiczenie w zespole.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- poradnik dla ucznia,
- zeszyt i przybory do pisania,
- kalkulator,
- cewka  $L = 4 \text{ mH}$ ,
- kondensator  $C = 1 \times 10^{-6} \text{ F}$ ,
- rezystor  $R = 32 \text{ } \Omega$ ,
- generator sinusoidalny,
- mierniki uniwersalne,
- wyłącznik,
- przewody połączeniowe.

## Ćwiczenie 5

Wykonaj badanie równoległego obwodu RLC poprzez zmianę częstotliwości napięcia zasilającego.



**Tabela 1.** Tabela wyników pomiarów ćwiczenie 6

F	I	$I_R$	$I_L$	$I_C$	U	Z
Hz	mA	mA	mA	mA	V	$\Omega$
1600						
3600						



## Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zgromadzić następujące przyrządy pomiarowe sprzęt i materiały: cewkę  $L = 4 \text{ mH}$ , kondensator  $C = 1 \times 10^{-6} \text{ F}$ , rezystor  $R = 32 \Omega$ , przewody połączeniowe, 5 mierników uniwersalnych, wyłącznik,
- 2) połączyć wyżej wymienione elementy według wskazań nauczyciela,
- 3) ustawić odpowiednie zakresy na miernikach uniwersalnych,
- 4) pokazać nauczycielowi układ gotowy do podłączenia w celu sprawdzenia prawidłowości połączeń i nastaw,
- 5) zaplanować ilość pomiarów i wykonać pomiary,
- 6) ustalić częstotliwość rezonansową doświadczalnie ( $I_L = I_C$ ) oraz obliczeniowo,
- 7) zapisać wyniki pomiarów w tabeli,
- 8) wykonać potrzebne obliczenia końcowe, wykonać wykresy wskazane przez nauczyciela,
- 9) wykonać ćwiczenie w zespole.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- poradnik dla ucznia,
- zeszyt i przybory do pisania,
- kalkulator,
- cewka  $L = 4 \text{ mH}$ ,
- kondensator  $C = 1 \times 10^{-6} \text{ F}$ ,
- rezystor  $R = 32 \Omega$ ,
- generator sinusoidalny,
- mierniki uniwersalne,
- wyłącznik,
- przewody połączeniowe.

## 4.4.4 Sprawdzian postępów

**Czy potrafisz:**

	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) odróżnić obwód rezonansu napięć od obwodu rezonansu prądów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) określić przesunięcie fazowe napięć w symetrycznym układzie trójfazowym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) wypisać zależności między wielkościami fazowymi i przewodowymi w układzie trójfazowym symetrycznym skojarzonym w trójkąt i w gwiazdę?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wymienić cechy charakteryzujące obwód, w którym zachodzi rezonans napięć?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) wymienić cechy charakteryzujące obwód, w którym zachodzi rezonans prądów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) wyznaczyć częstotliwość i dobroć rezonansową obwodu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) określić różnice między wielkościami fazowymi, a przewodowymi?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) rozróżnić połączenie faz w trójkąt i w gwiazdę?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) określić zależność między wartościami skutecznymi napięć fazowych i międzyfazowych w układzie trójfazowym symetrycznym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) rozróżnić połączenie faz w gwiazdę ze względu na ilość przewodów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) wymienić cechy prądu przemiennego trójfazowego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12) określić wartość sumy sił elektromotorycznych w układzie trójfazowym symetrycznym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13) wypisać wzory na obliczanie mocy: czynnej, biernej i pozornej prądu przemiennego trójfazowego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.5. Maszyny wirujące prądu stałego i przemiennego. Transformatory

### 4.5.1 Materiał nauczania

#### Maszyny prądu stałego

W maszynach prądu stałego w stojanie z reguły umieszczona jest magneśnica, a w wirniku - uzwojenie robocze. Ponieważ w uzwojeniu wirnika prądnicy wytwarza się siła elektromotoryczna, uzwojenie to nazywane jest uzwojeniem twornika i a cały wirnik można nazwać twornikiem.

Końce tego uzwojenia łączone są z wycinkami komutatora. Dzięki jego działaniu i przy udziale szczotek następuje zamiana prądu przemiennego płynącego w zwojach twornika prądnicy na prąd stały (jednokierunkowy) w obwodzie zewnętrznym tej prądnicy. Energia mechaniczna konieczna do obracania uzwojeń wirnika obciążanej prądnicy w czasie jej pracy zostaje przekształcona w energię elektryczną. Za pomocą tej samej maszyny można z kolei zamienić energię elektryczną w mechaniczną. Maszyna ta pracuje wówczas jako silnik.

Doprowadzając do silnika prąd stały powoduje się:

- w magneśnicy wytworzenie stałego pola magnetycznego, czyli wzbudzenie maszyny,
- w uzwojeniach wirnika wytwarza się, dzięki działaniu komutatora, stałe bieguny jednoimienne w stosunku do biegunów stojana; naprzeciwko bieguna N stojana stale, mimo obrotów wirnika, znajduje się biegun N, a naprzeciwko bieguna S stojana – biegun S wirnika.

**Bieguny jednoimienne** odpychają się i wskutek tego wytwarza się moment obrotowy, powodujący obrót zwojów wirnika w kierunku zgodnym z regułą lewej dłoni. W silniku komutator służy więc do zmiany kierunku prądu doprowadzonego do uzwojeń wirnika. Gdyby komutatora nie było, w uzwojeniach wirnika prąd płynąłby stale w tym samym kierunku, nie zmieniając biegunów wirnika. Biegun na przykład południowy wirnika, odepchnięty przez taki sam biegun południowy stojana, po obrocie o  $180^\circ$  napotkałby biegun północny w stojanie i tym samym wirnik zostałby zatrzymany.

Do części stałych maszyn prądu stałego, związanych ze stojaniem, należą: jarzmo, bieguny główne z uzwojeniem, bieguny komutacyjne z uzwojeniem, tarcze łożyskowe z łożyskami, trzymadła szczotkowe z obsadą szczotek i szczotkami. Do części wirujących związanych z wirnikiem należą: sam wirnik, zwany w prądnicach twornikiem, uzwojenie nawinięte na wirniku oraz komutator.

Magneśnica składa się z jarzma oraz biegunów. Jarzmo (staliwne) ma kształt cylindryczny i jest od dołu zaopatrzone w łapy, na których maszyna spoczywa.

Do jarzma przymocowane są bieguny za pomocą śrub. Od strony wewnętrznej bieguny są zakończone nabiegunnikami, a na biegunach umieszczone są cewki wzbudzające. Między tymi biegunami zwanymi biegunami głównymi, w większych maszynach znajdują się mniejsze bieguny komutacyjne, zwane zwrotnymi lub pomocniczymi. Mają one na celu polepszenie przebiegu komutacji, tzn. niedopuszczenie do iskrzenia szczotek przy ich przechodzeniu z jednego na drugi wycinek komutatora podczas zmiennych obciążeń.

Wirnik ma na wale osadzony pakiet cienkich blach ze stali krzemowej, odizolowanych od siebie. Na obwodzie blachy te mają wycięcia tworzące żłobki, w które wkłada się uzwojenie wirnika, a końce uzwojeń łączy się z wycinkami komutatora.

Do doprowadzenia lub odprowadzenia prądu służą szczotki miedziane lub węglowe przylegające do komutatora.

Maszyny prądu stałego, ze względu na sposób wzbudzenia dzielimy na:

- magnetoelektryczne,
- obcowzbudne,
- samowzbudne.

Maszyny magnetoelektryczne mają magnesy trwale bez uzwojenia wzbudzającego. Strumień magnetyczny wytworzony przez te magnesy jest niewielki i praktycznie nie można go zmieniać i dlatego maszyny takie bywają stosowane jako bardzo małe jednostki, na przykład do napędu

zabawek, jako prądniczki rowerowe i motocyklowe, itp.

W maszynach obcowzbudnych bieguny elektromagnesów są zasilane z obcego, innego źródła prądu niż uzwojenie wirnika.

Maszyny samowzbudne mają uzwojenie wzbudzające i robocze wirnika zasilane z tego samego źródła prądu. Prądnica samowzbudna pobiera prąd wzbudzenia z własnego twornika.

W zależności od sposobu połączenia uzwojenia wzbudzenia do uzwojenia roboczego wirnika maszyny samowzbudne dzielimy na:

- szeregowe,
- bocznikowe,
- szeregowo-bocznikowe.

W maszynach szeregowych uzwojenie wzbudzenia jest połączone szeregowo, a w bocznikowych – równoległe z uzwojeniem roboczym wirnika (twornika).

Maszyny szeregowo-bocznikowe mają w magneśnicy dwa uzwojenia wzbudzające. Jedno z nich, nawinięte grubym przewodem, jest połączone w szereg, natomiast drugie, „cienkie”, równoległe z uzwojeniem wirnika.

Poszczególne końce uzwojeń łączy się z tabliczką zaciskową maszyny.

Mają one znormalizowane oznaczenia: A, B (A1, A2) – zaciski uzwojenia wirnika (szczotki) C, D (E1, E2) – zaciski uzwojenia bocznikowego, E, F, (D1, D2) – zaciski uzwojenia szeregowego, G, H (B1, B2) – zaciski uzwojenia pomocniczego, I, K (F1, F2) – zaciski uzwojenia obcowzbudnego. W nawiasach nowo wprowadzone oznaczenia zacisków maszyn prądu stałego.

### **Maszyny prądu przemiennego**

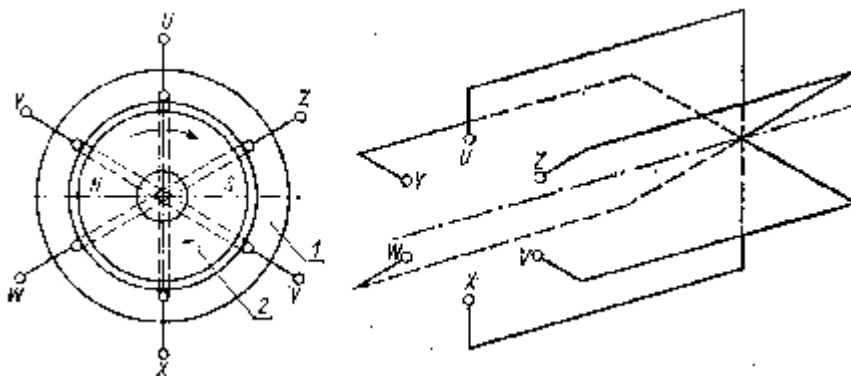
Maszyny prądu przemiennego dzielimy na synchroniczne i asynchroniczne. W maszynach synchronicznych prędkość obrotowa jest współzależna (synchronizowana) z częstotliwością, natomiast w maszynach asynchronicznych taka zależność nie zachodzi. Prąd przemienny jest dzisiaj wytwarzany z reguły jako trójfazowy, a użytkowany jako prąd trójfazowy, lub jednofazowy.

**Prąd trójfazowy jest to prąd przemienny, który ma trzy jednakowe sinusoidalne przebiegi przesunięte względem siebie kolejno o 120°**

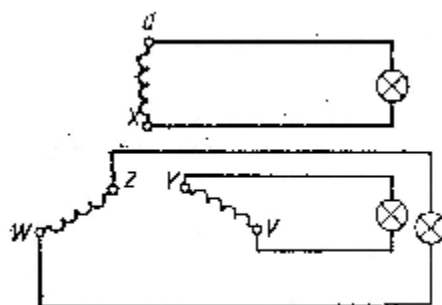
Prąd taki możemy wytworzyć, umieszczając trzy jednakowe, niezależne uzwojenia, przesunięte względem siebie kolejno o 120°, w polu tej samej magneśnicy. Te trzy uzwojenia, zwane fazami prądnicy, mają sześć końcówek o znormalizowanych oznaczeniach: U – X przynależne do fazy R, V – Y przynależne do fazy S, W – Z przynależne do fazy T, U, V, W – początki, natomiast X, Y, Z – końce uzwojeń.

W czasie ruchu obrotowego wirnika prądnicy, wskutek przecinania linii sił pola magnetycznego, w każdym uzwojeniu fazowym indukują się siły elektromotoryczne o jednakowych częstotliwościach, amplitudach i o fazach przesuniętych względem siebie o 120°. Każdą z faz prądnicy trójfazowej możemy wykorzystać jako oddzielne źródło napięcia, zasilające przyłączone do niego odbiorniki. Taki układ nazywamy układem trójfazowym nieskojarzonym. W układzie tym każda faza wraz z jej odbiornikiem stanowi niezależny obwód elektryczny. Do dokonania połączeń poszczególnych faz z ich odbiornikami trzeba użyć aż sześciu przewodów.

Liczbę przewodów koniecznych do rozproszczenia prądu trójfazowego możemy zmniejszyć do trzech lub czterech, łącząc uzwojenia trójfazowe między sobą w gwiazdę lub trójkąt.



**Rys. 31.** Zasada działania prądnicy trójfazowej: a) schemat prądnicy, b) schemat rozmieszczenia uzwojeń stojana; 1 – stojan, 2 – magneśnica [3, s. 7]



**Rys. 32.** Układ trójfazowy nieskojarzony [3, s. 19]

Jeśli końce X, Y, Z uzwojeń trzech faz połączymy razem w jeden wspólny punkt, zwany punktem neutralnym N (zerowym), natomiast od początków U, V, W odprowadzimy trzy przewody R, S, T, zwane przewodami fazowym to otrzymamy układ połączeń w gwiazdę, trójprzewodowy.

Taki układ stosuje się w prądnicach wysokiego napięcia i do zasilania odbiorników powodujących równomierne (symetryczne) obciążenie faz.

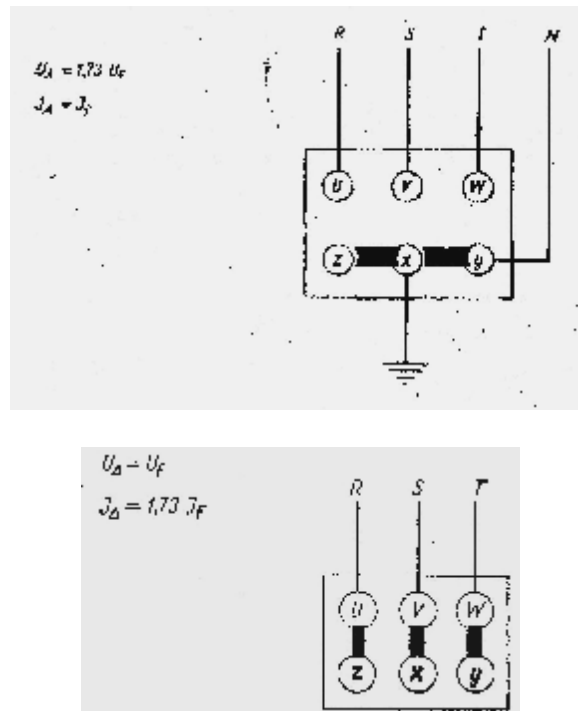
Jeśli od punktu neutralnego N odprowadzimy czwarty przewód, to otrzymamy układ połączeń w gwiazdę, czteroprzewodowy. Punkt neutralny najczęściej uziemiamy, a wtedy przewód odprowadzony od tego punktu nazywamy przewodem zerowym i oznaczamy go przez N.

Napięcie występujące na jednym uzwojeniu fazowym, czyli pomiędzy dowolnym przewodem fazowym a przewodem zerowym, nazywamy napięciem fazowym  $U_f$ . Natomiast napięcie występujące między dwoma przewodami fazowymi nazywamy napięciem międzyfazowym (przewodowym) U.

Przy połączeniu w gwiazdę i układzie czteroprzewodowym mamy do dyspozycji dwa napięcia: fazowe i międzyfazowe, przy czym to ostatnie w tym połączeniu wynosi  $U = 1,73 U_f$ . Przy równomiernym obciążeniu faz suma prądów chwilowych jest równa zero a więc nie płynie prąd przewodem zerowym. Jeśli jednak fazy będą obciążone niesymetrycznie, wówczas przewodem zerowym popłynie prąd, który nazywamy prądem wyrównawczym.

Prąd ten jest zawsze mniejszy od prądu fazowego  $I_f$  płynącego w uzwojeniu jednej fazy i dlatego przewód zerowy może mieć mniejszy przekrój od przewodów fazowych.

Prąd płynący przewodem fazowym nazywamy prądem przewodowym  $I$ . Prąd ten w połączeniu w gwiazdę jest równy prądowi fazowemu  $I_A = I_F$ .



**Rys.33.** Rysunki przedstawiają tabliczki zaciskowe odbiorników prądu trójfazowego (podłączenie przewodów do sieci trójfazowej w trójkąt i w gwiazdę) [źródło własne]

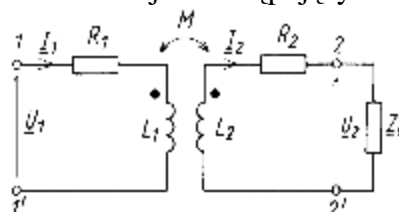
### Transformator

Transformator jest urządzeniem elektrycznym, w którym energia elektryczna jest przekazywana z jednego obwodu do drugiego za pośrednictwem pola elektromagnetycznego. Najprostszy transformator ma dwa uzwojenia, z których jedno nazywamy uzwojeniem pierwotnym, a drugie uzwojeniem wtórnym. Taki transformator nazywamy dwuuzwojeniowym. Są też transformatory wielouzwojeniowe. W zależności od tego, czy sprzężenie uzwojeń odbywa się przez powietrze, czy za pośrednictwem rdzenia ferromagnetycznego rozróżniamy transformatory powietrzne i z rdzeniem ferromagnetycznym. Przekładnię zwojową transformatora  $n$  nazywamy stosunek liczby zwojów uzwojenia pierwotnego  $N_1$  do liczby zwojów uzwojenia wtórnego  $N_2$ .

$$n = \frac{N_1}{N_2}$$

### Transformator powietrzny

Transformator powietrzny ma dwa uzwojenia sprzężone przez powietrze. Sprzężenie to zwykle nie jest dobre. Transformatory powietrzne mają duży strumień rozproszenia. Schemat zastępczy takiego transformatora jest następujący.



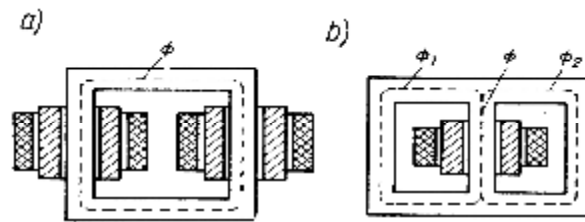
**Rys.34.** Schemat zastępczy transformatora powietrzego dwuuzwojeniowego [3, s. 48]

Przez  $R_1$  i  $R_2$  oznaczyliśmy rezystancje uzwojeń, przez  $L_1$  i  $L_2$  oznaczyliśmy indukcyjności własne uzwojeń, przez  $M$  – indukcyjność wzajemną. Możemy wyróżnić trzy stany pracy transformatora:

1. stan biegu jałowego, kiedy  $Z_0 = \infty$ ;  $I_2 = 0$
2. stan zwarcia, kiedy  $Z_0 = 0$ ;  $U_2 = 0$
3. stan obciążenia, kiedy  $Z_0 \neq 0$ .

### Transformator z rdzeniem ferromagnetycznym

Transformator taki ma dwa uzwojenia nawinięte na rdzeniu wykonanym z materiału ferromagnetycznego, co powoduje, że strumień główny jest duży, a strumień rozproszenia mały. Ze względu na budowę rdzenia rozróżniamy transformatory rdzeniowe i płaszczowe.



Rys.35. Budowa transformatora: a) rdzeniowego; b) płaszczowego [3, s. 49]

W celu zmniejszenia strat na prądy wirowe w rdzeniu transformatora, ten ostatni wykonany jest z blach jednostronnie izolowanych lakierem izolacyjnym. Ze względu na sposób chłodzenia transformatory dzielimy na suche i olejowe.

## 4.5.2 Pytania sprawdzające

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

1. Jaką maszynę nazywamy transformatorem?
2. Jak zbudowany jest transformator?
3. Jak dzielimy transformatory?
4. Co to jest przekładnia napięciowa transformatora?
5. Co to jest przekładnia prądowa transformatora?
6. Co to jest przekładnia zwojowa transformatora?
7. Jakie są związki między przekładniami transformatora?
8. Jakie dane charakterystyczne zawiera tabliczka znamionowa maszyny?
9. Jak dzielimy maszyny prądu stałego, ze względu na sposób wzbudzenia?
10. Jakie dane zawiera tabliczka znamionowa urządzenia elektrycznego?
11. Jak znasz rodzaje maszyn prądu przemiennego jednofazowego?
12. Jakie znasz rodzaje maszyn prądu trójfazowego?
13. Jak powstaje prąd przemienny trójfazowy?

## 4.5.3 Ćwiczenia

### Ćwiczenie 1

Do uzwojenia pierwotnego transformatora jednofazowego doprowadzono napięcie  $U_1 = 220$  V. Liczby zwojów uzwojeń wynoszą:  $z_1 = 1320$  i  $z_2 = 60$ . Oblicz przekładnię  $n$  transformatora oraz wartość napięcia wtórnego  $U_2$  transformatora.

### Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z treścią zadania,
- 2) wypisać dane wielkości i szukane,
- 3) napisać wzór matematyczny na przekładnię transformatora,
- 4) podstawić dane do wzoru i wykonać obliczenia,
- 5) opracować wnioski do zadania.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura z rozdziału 5,
- kalkulator,
- zeszyt i przybory do pisania.

### Ćwiczenie 2

Dane znamionowe transformatora bezpieczeństwa są następujące: napięcie na uzwojeniu pierwotnym  $U_1 = 220 \text{ V}$ , napięcie na uzwojeniu wtórnym  $U_2 = 24 \text{ V}$ , moc pozorna  $S = 100 \text{ VA}$ . Oblicz przekładnię  $n$  transformatora oraz wartości prądów znamionowych: pierwotnego  $I_1$  i wtórnego  $I_2$ . Oblicz ponadto średnice drutów nawojowych, przyjmując gęstość prądu w uzwojeniach  $J = 2 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2 = 2 \text{ A/mm}^2$ .

### Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z treścią zadania,
- 2) wypisać dane wielkości i szukane,
- 3) wypisać wzory matematyczne, które opisują zależności między napięciami, prądami, ilościami zwojów uzwojenia pierwotnego i wtórnego transformatora oraz średnicami drutów nawojowych,
- 4) podstawić dane do wzorów i wykonać obliczenia,
- 5) opracować wnioski do zadań.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura z rozdziału 6,
- kalkulator,
- zeszyt i przybory do pisania.

### Ćwiczenie 3

Opisz budowę ogólną i zasadę działania silnika prądu stałego (np. silnika wycieraczek samochodowych lub rozrusznika). Wykonaj demontaż silnika na części składowe.

### Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z budową i zasadą działania rozrusznika z dostępnych źródeł informacji,
- 2) zapoznać się z budową silnika w postaci okazu naturalnego (w przekroju i w całej okazałości),
- 3) dokonać demontażu silnika na części składowe mechaniczne – rozpoznać stojan i wirnik oraz inne części,

- 4) rozpoznać elementy części elektrycznej silnika – obwody elektryczne, magnetyczne, połączenia elektryczne,
- 5) opisać zasadę działania silnika,
- 6) opisać budowę ogólną silnika,
- 7) wykonać montaż silnika.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- plansze kolorowe przedstawiające przekroje silnika prądu stałego,
- silniki prądu stałego przeznaczone do demontażu,
- stanowisko i narzędzia do demontażu,
- zeszyt i przybory do pisania.

#### 4.5.4 Sprawdzian postępów

**Czy potrafisz:**

	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) zdefiniować przekładnie napięciową, zwojową oraz prądową transformatora?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) podać rodzaje transformatorów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) opisać budowę transformatora powietrznego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) opisać budowę transformatora z rdzeniem ferromagnetycznym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) opisać zasadę działania transformatora?		
6) podać przykłady zastosowania transformatora w samochodzie i w gospodarstwie domowym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) określić jakie dane zawiera tabliczka znamionowa maszyny?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) opisać budowę ogólną silnika i prądnicy prądu stałego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) wyjaśnić pojęcie – maszyna odwracalna prądu stałego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) wyszczególnić przykłady zastosowania maszyn prądu stałego w samochodzie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) opisać zasadę działania silnika prądu przemiennego jednofazowego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12) rozpoznać części składowe mechaniczne i elementy elektryczne silnika prądu stałego i prądnicy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13) obliczyć parametry podstawowe transformatora jednofazowego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



## 4.6. Podstawowe urządzenia elektryczne oraz obwody występujące w instalacji elektrycznej samochodu

### 4.6.1. Materiał nauczania

Podstawowe wymagania techniczne stawiane wyposażeniu elektrycznemu pojazdów samochodowych określa norma PN-85/S-76001. W skład tego wyposażenia wchodzi:

- maszyny elektryczne (prądnica, rozrusznik, wycieraczki, dmuchawa),
- urządzenia elektryczne (akumulator, cewka zapłonowa, reflektory, kierunkowskazy, itp.),
- sieć przewodów (przewody niskiego i wysokiego napięcia),
- sprzęt instalacyjny (łączniki, przełączniki, wyłączniki, złącza, bezpieczniki, itp.).

Wymagania techniczne stawiane wyposażeniu elektrycznemu można ująć w następujących punktach, dotyczących:

- strony mechanicznej wyrobu,
- strony elektrycznej wyrobu,
- czynników natury eksploatacyjnej,
- czynników natury ekonomicznej.

Rozróżnia się kilka rodzajów samochodowej instalacji elektrycznej. Do najczęściej używanych należą następujące układy:

- układ jedнопrzewodowy (dwuprzewodowy nie izolowany od masy pojazdu), w którym odbiorniki są zasilane ze źródła energii elektrycznej jednym przewodem, natomiast drugi przewód to masa pojazdu. Masę stanowią metalowe części konstrukcji pojazdu połączone odpowiednim przewodem z drugim zaciskiem źródła energii. W układzie takim każdy odbiornik elektryczny jest połączony jednym zaciskiem z przewodem połączonym ze źródłem energii, drugim – z masą pojazdu. Wszystkie odbiorniki elektryczne, prądnica i akumulator mają jednakowe napięcie (6, 12 lub 24 V),
- układ dwuprzewodowy dwunapięciowy, w którym „masa” stanowi przewód zerowy. Wszystkie odbiorniki elektryczne, z wyjątkiem rozrusznika, są zasilane napięciem 12 V, a rozrusznik napięciem 24 V. Przełącznik 12/24 V umożliwia zasilanie rozrusznika w czasie rozruchu silnika pojazdu samochodowego napięciem 24 V z dwóch połączonych szeregowo akumulatorów 12 V, a po rozruchu łączy akumulatory równolegle, umożliwiając w ten sposób ich współpracę z 12 V prądnicą i odbiornikami na napięciu 12 V.

W typowym wyposażeniu elektrycznym pojazdu samochodowego występują następujące obwody elektryczne:

- obwód zasilania,
- obwód rozruchu,
- obwód zapłonowy,
- obwód świateł,
- obwód urządzeń kontrolno-pomiarowych,
- obwody wyposażenia dodatkowego.

**W obwodzie zasilania** występuje dwa źródła energii elektrycznej: akumulator i prądnica prądu przemiennego (alternator). Do obwodu tego zaliczamy także regulatory napięcia alternatorów.

**Obwód rozruchu** składa się z akumulatora i rozrusznika, wytwarzającego bardzo duży moment obrotowy. Rozrusznik jest silnikiem elektrycznym prądu stałego szeregowym, lub szeregowo-bocznikowym posiadający mechanizm sprzęgający i zębnik, który sprzęga się z uzębionym wieńcem koła zamachowego silnika spalinowego.

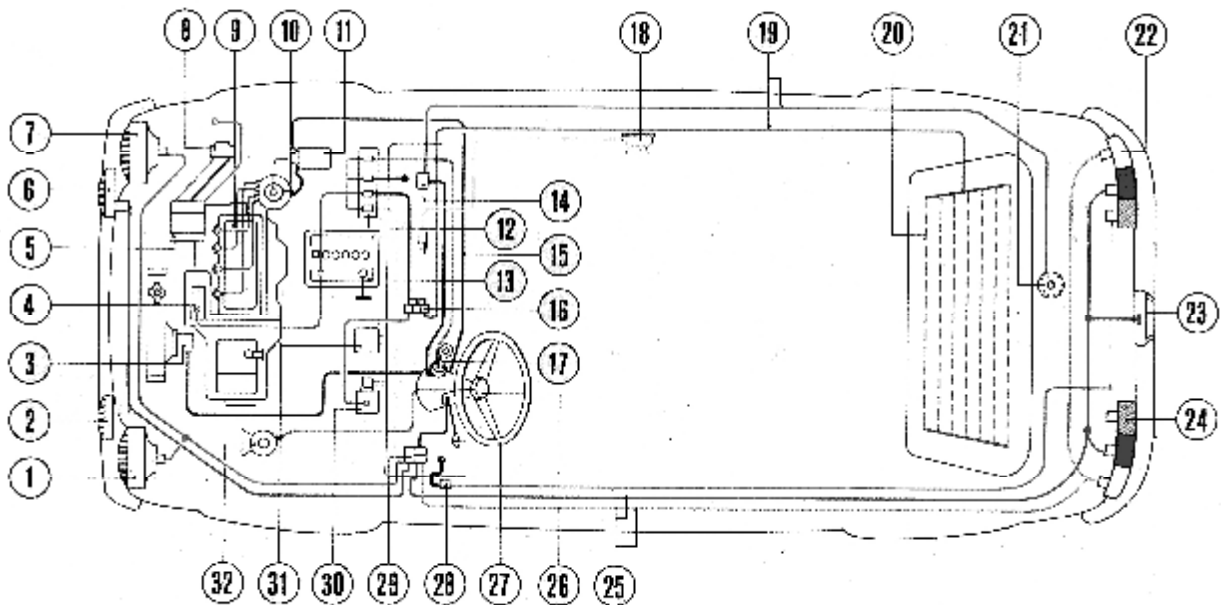
W skład **układu zapłonowego** wchodzi:

- źródło energii elektrycznej – akumulator współpracujący z prądnicą,
- aparat zapłonowy, zbudowany z: mechanizmu przerywacza w obwodzie niskiego napięcia, rozdzielacza wysokiego napięcia na świece zapłonowe zgodnie z kolejnością pracy poszczególnych cylindrów silnika, regulatora kąta wyprzedzenia zapłonu w zależności od prędkości obrotowej, obciążenia i rodzaju stosowanego paliwa, kondensatora, który włączony równolegle do styków przerywacza zmniejsza iskrzenie między tymi stykami, chroniąc w ten sposób styki przed nadmiernym zużyciem oraz przyspiesza zanik strumienia magnetycznego w cewce, co z kolei powoduje wzrost napięcia powstającego w jej uzwojeniach w chwili rozwarcia styków,
- cewka zapłonowa – przetwarzająca niskie napięcie (6 lub 12 V) na napięcie około 30 kV, niezbędne do spowodowania przeskoaku iskry między elektrodami świcy zapłonowej,
- świece zapłonowe, służące do wywołania wyładowań iskrowych wewnątrz komór spalania cylindrów silnika,
- wyłącznik zapłonu,
- przewody niskiego i wysokiego napięcia.

**Obwód świateł** składa się z oświetlenia głównego (reflektorów) oraz świateł pomocniczych i dodatkowych.

**Obwody urządzeń kontrolno-pomiarowych i pomocniczych** mają za zadanie kontrolować pracę: alternatora, prędkości pojazdu, prędkości obrotowej silnika, układu chłodzenia, układu ciśnienia oleju w układzie smarowania silnika, ilości paliwa w zbiorniku i innych urządzeń.

**Obwody wyposażenia dodatkowego** składają się z następujących elementów: wycieraczki, urządzenie sterujące pracą wycieraczek, silnik dmuchawy powietrza, silnik wentylatora chłodnicy i samochodowych urządzeń radiowych oraz innych urządzeń.



**Rys. 36.** Uproszczony schemat połączeń i rozmieszczenia urządzeń elektrycznych w samochodzie małolitrażowym, z silnikiem w przedniej części nadwozia [3, s. 49]

Uproszczony schemat połączeń i rozmieszczenia urządzeń elektrycznych w samochodzie małolitrażowym, z silnikiem w przedniej części nadwozia przedstawiono powyżej. Dla przejrzystości rysunku nie oznaczono przewodów podwójnych oraz połączeń odbiorników elektrycznych z masą samochodu. Znając przeznaczenie, działanie i budowę

wyposażenia elektrycznego, przyjrzyjmy się jak te urządzenia są rozmieszczone w samochodzie:

1 – reflektor przedni lewy, 2 i 6 – lampy świateł pozycyjnych i kierunkowskazów, 3 – silnik dmuchawy chłodnicy, 4 – rozrusznik, 5 – prądnicą (alternator), 7 – reflektor przedni prawy, 8 – regulator prądnicą, 9 – silnik, 10 – aparat zapłonowy, 11 – cewka zapłonowa, 12 – skrzynka bezpieczników, 13 – akumulator, 14 – wskaźnik poziomu paliwa, 15 – włącznik oświetlenia wnętrza, 16 – włączniki w tablicy rozdzielczej, 17 – stacyjka, 18 - lampa oświetlenia wnętrza pojazdu, 19 – przewody wewnątrz nadwozia, 20 – ogrzewanie szyby tylnej, 21 – nadajnik poziomu paliwa w zbiorniku, 22 i 24 – zespolone lampy tylne, 23 – oświetlenie tylnej tablicy rejestracyjnej, 25 – wiązka przewodów wewnątrz nadwozia, 26 – przycisk sygnału, 27 – przełącznik kierunkowskazów, 28 – włącznik światła stop, 29 – włączniki lamp i reflektorów, 30 – silnik napędu wycieraczki szyby, 31 – silnik dmuchawy nagrzewnicy, 32 – sygnał dźwiękowy.

#### 4.6.2. Pytania sprawdzające

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

1. Jakie rodzaje instalacji występują w pojazdach samochodowych?
2. Jakie wymagania techniczne stawiane są wyposażeniu elektrycznemu w samochodzie?
3. Jakie maszyny elektryczne występują w samochodzie?
4. Z jakich elementów składa się obwód zasilania?
5. Z jakich elementów składa się obwód zapłonowy?
6. Jakie zadania wykonują urządzenia i maszyny w samochodzie?
7. Z jakich elementów składa się obwód świateł?
8. Jakie zadania mają urządzenia kontrolno-pomiarowe?
9. Jakie zadanie spełnia obwód zapłonowy?
10. Jaka jest różnica pomiędzy schematem ideowym, a montażowym?
11. W jakich silnikach stosowany jest układ zapłonowy?

#### 4.6.3. Ćwiczenia

##### Ćwiczenie 1

Narysuj schemat ideowy układu jedнопrzewodowego (dwuprzewodowego nie izolowanego od masy) składającego się z następujących elementów: silnika prądu stałego, alternatora, obciążenia zastępczego, regulatora napięcia, akumulatora i wyłącznika.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się ze schematami ideowymi instalacji elektrycznej samochodowej,
- 2) narysować symbole elementów występujących w schemacie,
- 3) narysować schemat ideowy instalacji jedнопrzewodowej,
- 4) zaprezentować efekt swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- przykładowe schematy ideowe instalacji samochodowej,
- plansze z symbolami elementów elektrycznych samochodowych,
- literatura zgodna z poradnikiem dla ucznia,
- zeszyt i przybory do pisania.

## Ćwiczenie 2

Rozpoznaj elementy i urządzenia występujące w następujących obwodach pojazdu samochodowego:

- a) obwód zasilania,
- b) obwód zapłonowy,
- c) obwód rozruchu,
- d) obwody świateł.

Narysuj schemat blokowy każdego z tych obwodów.

### Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się ze schematami montażowymi pojazdów samochodowych,
- 2) rozpoznać na schematach montażowych poszczególne obwody,
- 3) rozpoznać elementy i urządzenia w samochodzie,
- 4) narysować schematy blokowe dla każdego obwodu.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- schematy montażowe instalacji samochodowej,
- samochód lub model,
- plansze kolorowe przedstawiające elementy i urządzenia samochodowe w całości i w przekrojach,
- okazy naturalne elementów i urządzeń samochodowych,
- literatura z rozdziału 6,
- zeszyt i przybory do pisania.

## Ćwiczenie 3

Rozpoznaj urządzenia kontrolno-pomiarowe w samochodzie, które służą do informowania kierowcy o stanie działania niektórych zespołów (mechanizmów) – urządzenia do kontroli i pomiaru wielkości elektrycznych i nieelektrycznych.

### Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z tablicą rozdzielczą w samochodzie,
- 2) dokonać podziału tych urządzeń ze względu na budowę i przeznaczenie na: kontrolne i pomiarowe,
- 3) zlokalizować urządzenia w samochodzie, które nie występują na tablicy rozdzielczej,
- 4) opisać przeznaczenie tych urządzeń,
- 5) opisać przeznaczenie kolorów lampek kontrolnych (przesłony o różnych barwach).

Wyposażenie stanowiska pracy:

- okaz naturalny samochodu,
- plansze kolorowe przedstawiające urządzenia kontrolno-pomiarowe,
- okazy naturalne przyrządów kontrolno-pomiarowych,
- literatura z rozdziału 6,
- zeszyt i przybory do pisania.

#### 4.6.4. Sprawdzian postępów

<b>Czy potrafisz:</b>	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) opisać rodzaje instalacji w pojazdach samochodowych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) określić wymagania stawiane wyposażeniu elektrycznemu w samochodzie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) wymienić maszyny elektryczne występujące w samochodzie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) opisać zadania, jakie spełniają obwody elektryczne?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) rozpoznać poszczególne obwody elektryczne w samochodzie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) rozróżnić poszczególne elementy i urządzenia w każdym obwodzie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) rozpoznać poszczególne obwody na schematach montażowych instalacji?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) narysować schematy blokowe niektórych obwodów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) opisać przeznaczenie elementów i urządzeń w samochodzie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) określić w jakich silnikach stosuje się układ zapłonowy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

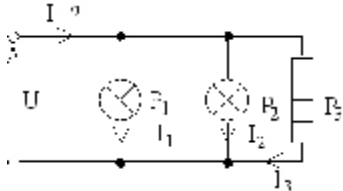
## 5. SPRAWDZIAN OSIĄGNIĘĆ

### INSTRUKCJA DLA UCZNIĄ

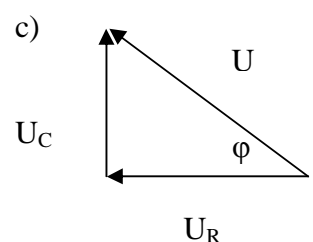
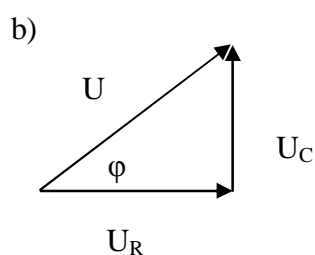
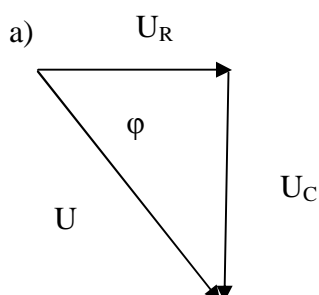
1. Przeczytaj uważnie instrukcję.
2. Zapoznaj się z zestawem zadań testowych.
3. Udzielaj odpowiedzi na załączonej karcie odpowiedzi.
4. Test składa się z 20 zadań.
5. Za każde poprawnie rozwiązane zadanie uzyskasz 1 punkt.
6. Dla każdego zadania podane są cztery możliwe odpowiedzi: a, b, c, d.
7. Tylko jedna odpowiedź jest poprawna.
8. Wybraną odpowiedź zaznacz X.
9. Staraj się wyraźnie zaznaczać odpowiedzi.
10. Jeżeli się pomylisz i błędnie zaznaczysz odpowiedź, otocz ją kółkiem i zaznacz odpowiedź, którą uważasz za prawdziwą.
11. Przed wykonaniem każdego zadania przeczytaj bardzo uważnie polecenie.
12. Czas na wykonanie testu wynosi 45 min.

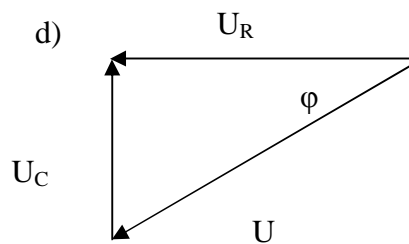
Powodzenia!

### ZESTAW ZADAŃ TESTOWYCH

1. Częstotliwość nazywamy
  - a) liczbę okresów przypadających na godzinę.
  - b) liczbę okresów przypadających na minutę.
  - c) liczbę okresów przypadających na sekundę.
  - d) liczbę okresów przypadających na dowolny okres czasu.
2. W obwodzie elektrycznym przedstawionym na rysunku podane są:  $U = 230 \text{ V}$ ,  $P_1 = 75 \text{ W}$ ,  $P_2 = 40 \text{ W}$ ,  $P_3 = 115 \text{ W}$ . Jaki prąd pobiera układ ze źródła zasilania
  - a) 1,00 A.
  - b) 0,25 A.
  - c) 1,25 A.
  - d) 0,478 A.
3. Przebiegi synchroniczne
  - a) mają zawsze zgodne fazy.
  - b) zawsze różnią się fazą.
  - c) mogą się różnić fazą.
  - d) mają czasem zgodne fazy.
4. Napięcie na rezystorze czynnym zasilanym prądem sinusoidalnym jest
  - a) w fazie z prądem.
  - b) wyprzedza fazę prądu o  $90^\circ$ .
  - c) opóźnia się za fazą o  $90^\circ$ .
  - d) opóźnia się za fazą prądu o  $120^\circ$ .

5. Napięcie skuteczne na zaciskach gałęzi szeregowej RL jest równe
- ilorazowi impedancji  $z$  i wartości skutecznej prądu  $I$ .
  - iloczynowi impedancji  $z$  i wartości skutecznej prądu  $I$ .
  - sumie impedancji  $z$  i wartości skutecznej prądu  $I$ .
  - różnicy impedancji  $z$  i wartości skutecznej prądu  $I$ .
6. Wartość napięcia na cewce indukcyjnej zasilanej prądem sinusoidalnym oblicza się za pomocą wzoru
- $u = L \cdot I_m \cdot \cos(\omega t)$ .
  - $u = 2\pi f \cdot L \cdot I_m \cdot \cos(\omega t)$ .
  - $u = \omega \cdot L \cdot I_m \cdot \cos(\omega t)$ .
  - $u = \omega \cdot L \cdot I_m \cos(\omega t)$ .
7. Wartość prądu  $I$  zasilającego obwód równolegle połączonych gałęzi RL obliczamy ze wzoru
- $I = \sqrt{I_R + I_L}$
  - $I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$
  - $I = \sqrt{(I_R - I_L)^2}$
  - $I = I_R + I_L$
8. Okres  $T$  przebiegu sinusoidalnego jest
- odwrotnością częstotliwości.
  - pierwiastkiem kwadratowym z pulsacji  $\omega$ .
  - iloczynem  $2\pi \cdot f$ .
  - ilorazem  $2\pi/f$ .
9. Zależność pomiędzy wartością skuteczną  $I$  przebiegu sinusoidalnego, a wartością maksymalną  $I_m$  zapisuje się wzorem
- $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ .
  - $I = 0,707 * I_m$ .
  - $I = \frac{I_m}{\sqrt{3}}$ .
  - $I = \frac{I_m}{\sqrt{T}}$ .
10. Który z przedstawionych trójkątów napięć odpowiada gałęzi szeregowej RC:





11. W idealnym elemencie indukcyjnym  $L$  prąd
- opóźnia się wobec napięcia o kąt  $\pi/2$ .
  - wyprzedza napięcie o kąt  $\pi/2$ .
  - jest w fazie z napięciem.
  - zmienia fazę wobec napięcia.
12. Rezonans prądów zachodzi
- w równoległym obwodzie  $L, C$ .
  - w szeregowym obwodzie  $L, C$ .
  - w obwodzie RLC łączonym w sposób mieszany.
  - w szeregowym obwodzie  $R, L, C$ .
13. W symetrycznym układzie napięć trójfazowych przesunięcie fazowe wynosi
- $2\pi/3$ .
  - $2\pi/4$ .
  - $2\pi/6$ .
  - $2\pi/8$ .
14. Rozrusznik samochodowy powinien wytwarzać w chwili rozruchu
- siłę elektromotoryczną o odpowiedniej wartości.
  - odpowiedni moment elektromotoryczny, który wystarczy do pokonania oporów tarcia i nadać prędkość obrotową wirnikowi.
  - strumień magnetyczny, który oddziałuje na wirnik.
  - siłę elektrodynamiczną, która oddziałuje na wirnik.
15. Alternator jest to prądnica
- prądu stałego bocznikowa.
  - prądu stałego szeregowo.
  - prądu przemiennego trójfazowa z układem prostowniczym.
  - prądu [rzemiennego] jednofazowa z wirnikiem o magnesach trwałych.
16. Akumulator jest to urządzenie
- w którym energia elektryczna ulega zmagazynowaniu (akumulacji) w postaci energii chemicznej.
  - które zamienia energię mechaniczną na elektryczną.
  - które jest źródłem prądu typu mechanicznego.
  - które zamienia energię chemiczną na ciepłą.



17. Zadaniem układu zapłonowego w silnikach jest
- wytworzenie wysokiego napięcia, które spowoduje przeskok iskry na elektrodach świecy zapłonowej w silnikach niskoprężnych.
  - wytworzenie samozapłonu w silnikach wysokoprężnych.
  - wytworzenie wysokiego napięcia na stykach przerywacza.
  - wytworzenie niskiego napięcia na uzwojeniu wtórnym cewki zapłonowej.
18. W symetrycznym układzie trójfazowym odbiornik skojarzono w gwiazdę. Moc każdej fazy odbiornika wynosi 120 W. Moc całkowita układu wynosi
- $3 \cdot 120 \text{ W}$ .
  - $\sqrt{3} \cdot 120 \text{ W}$ .
  - $\sqrt{3} \cdot 120 \text{ W}$ .
  - $\frac{120}{\sqrt{3}} \text{ W}$ .
19. Napięcie fazowe sieci wynosi 230 V. Ile wynosi napięcie międzyfazowe
- 400 V.
  - 133 V.
  - 324 V.
  - 163 V.
20. Napięcie na cewce zasilanej prądem sinusoidalnym jest
- w fazie z prądem.
  - wyprzedza fazę prądu o  $45^\circ$ .
  - Wyprzedza fazę prądu o  $90^\circ$ .
  - opóźnia się za fazą prądu o  $90^\circ$ .

# KARTA ODPOWIEDZI

Imię ..... i  
nazwisko.....

## Obliczanie i pomiary parametrów obwodów prądu przemiennego

Zakreśl 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	
<b>Razem:</b>					

## 6. LITERATURA

1. Bolkowski S.: Podstawy elektrotechniki. WSiP, Warszawa 1995
2. Kammerer J., Oberthur W., Zastow P. (tłumaczenie Rodak A.): Pracownia podstaw elektrotechniki i elektroniki. WSiP, Warszawa 2000
3. Kurdziel R.: Elektrotechnika dla szkoły zasadniczej. WSiP, Warszawa 1995
4. Latek W.: Maszyny elektryczne w pytaniach i odpowiedziach. WNT, Warszawa 1995
5. Mac St., Leowski J.: Bezpieczeństwo i higiena pracy dla szkół zasadniczych. WSiP, Warszawa 1999
6. Markiewicz A.: Zbiór zadań z elektrotechniki. WSiP, Warszawa wydanie czternaste
7. Okoniewski S.: Technologia dla elektroników. WSiP, Warszawa 2000
8. Pilawski M.: Pracownia elektryczna dla ZSE. WSiP, Warszawa 1999
9. Przybyłowska-Łomnicka P.: Pomiary elektryczne - obwody prądu przemiennego. PWN, Warszawa 1999