

Ćwiczenie 4

OBWODY TRÓJFAZOWE

1. Wiadomości ogólne

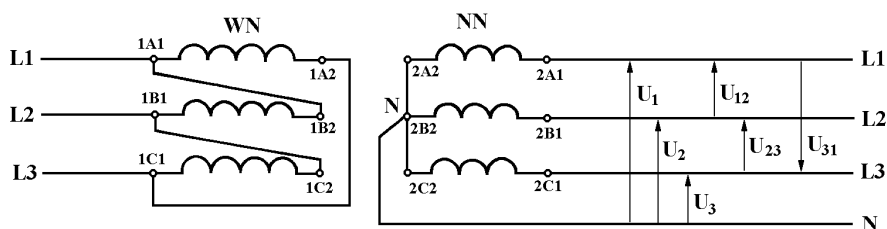
Wytwarzanie i przesyłanie energii elektrycznej odbywa się niemal wyłącznie za pośrednictwem prądu przemiennego trójfazowego.

Głównymi zaletami prądu trójfazowego są: łatwość transformacji napięcia, prostota budowy oraz niezawodność silników asynchronicznych trójfazowych. Odbiorniki jednofazowe (zazwyczaj niewielkich mocy) są zasilane również z układów trójfazowych.

Napięcie trójfazowe otrzymuje się z prądnic synchronicznych trójfazowych napędzanych odpowiednimi turbinami w elektrowniach. Napięcie z prądnicy jest przekazywane przez transformator podwyższający do linii przesyłowych wysokiego napięcia. W miejscu odbioru energii elektrycznej są instalowane transformatory obniżające napięcie do napięć znamionowych odbiorników.

1.1. Sieć rozdzielcza niskiego napięcia

Sieci zasilane z transformatorów obniżających napięcie a zasilające odbiorniki trójfazowe i jednofazowe, budowane jako trójfazowe czteroprzewodowe o napięciach 220/380 V, nazywają się sieciami rozdzielczymi niskiego napięcia. Sieć rozdzielczą czteroprzewodową uzyskuje się dzięki połączeniu uzwojeń wtórnych transformatora obniżającego w gwiazdę (rys. 4.1) lub w zygzak.



Rys. 4.1. Sieć rozdzielcza niskiego napięcia zasilana z transformatora obniżającego o układzie połączeń Dy

Przewody fazowe L1, L2, L3 sieci rozdzielczej (faza L1, faza L2, faza L3) przyłączone są do początków 2A1, 2B1, 2C1 uzwojeń wtórnych transformatora.

Przewód neutralny N przyłączony jest do punktu neutralnego, który tworzą połączone razem końce 2A2, 2B2, 2C2 tych uzwojeń.

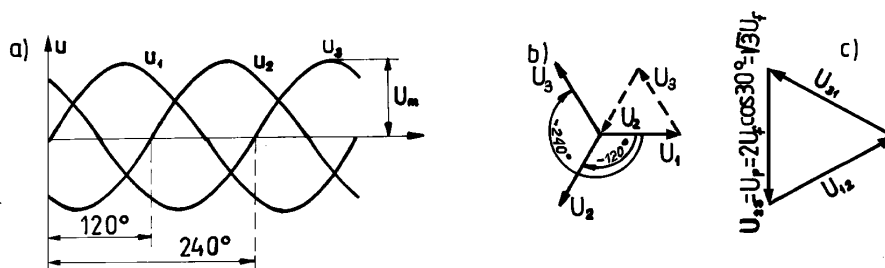
Napięcia fazowe U_1, U_2, U_3 występują między przewodem neutralnym N a poszczególnymi przewodami fazowymi (rys. 4.1).

Napięcia fazowe zmieniają się w czasie wg zależności:

$$\begin{aligned} u_1 &= U_m \sin \omega t, \\ u_2 &= U_m \sin(\omega t - 120^\circ), \\ u_3 &= U_m \sin(\omega t - 240^\circ), \end{aligned} \quad (4.1)$$

gdzie: u_1, u_2, u_3 - wartości chwilowe napięć fazowych,
 U_m - amplituda napięcia fazowego.

Wykresy zależności (4.1) przedstawia rys. 4.2a, natomiast wykres wskazowy tych zależności w odniesieniu do wartości skutecznych przedstawia rys. 4.2b.



Rys. 4.2. Napięcia fazowe trójfazowej czteroprzewodowej sieci rozdzielczej:
 a) przebiegi czasowe, b) wykres wskazowy napięć fazowych,
 c) wykres wskazowy napięć międzyprzewodowych

W sieci trójfazowej symetrycznej, napięcia fazowe posiadają tę samą wartość skuteczną i są przesunięte wzajemnie o 120° .

Suma algebraiczna wartości chwilowych napięć fazowych jest równa zeru,

$$u_1 + u_2 + u_3 = 0, \quad (4.2)$$

jak również suma geometryczna wartości skutecznych napięć fazowych (rys. 4.2b) jest równa zeru,

$$\underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_3 = 0. \quad (4.3)$$

Napięcia międzyprzewodowe, lub krócej napięcia przewodowe U_{12} , U_{23} , U_{31} występują między poszczególnymi przewodami fazowymi L1, L2, L3 sieci rozdzielczej (rys. 4.1).

Przy symetrycznym układzie napięć fazowych, otrzymuje się również symetryczny układ napięć przewodowych:

$$U_{12} = U_{23} = U_{31} = U_p = U. \quad (4.4)$$

Dla układu symetrycznego napięcie przewodowe U_p jest $\sqrt{3}$ razy większe od napięcia fazowego U_f :

$$U_p = \sqrt{3}U_f. \quad (4.5)$$

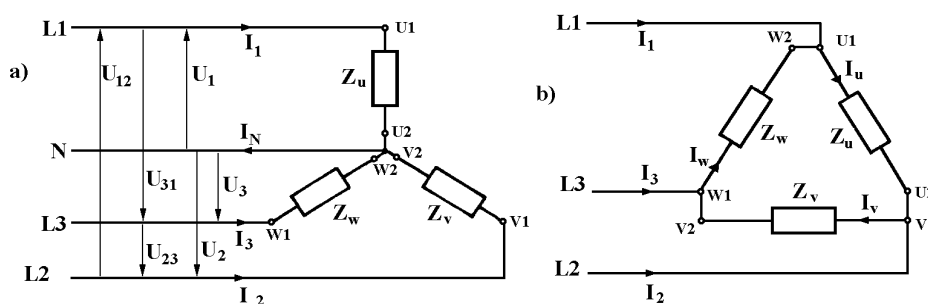
Na wykresie wskazowym napięcia przewodowe układu trójfazowego przedstawia się w postaci trójkąta (rys. 4.2c).

1.2. Odbiorniki trójfazowe

Odbiorniki trójfazowe mogą być kojarzone w gwiazdę (\star) lub w trójkąt (Δ). Zaciski początkowe odbiorników składowych są oznaczone: U1, V1, W1, natomiast końcowe odpowiednio: U2, V2, W2.

Jeżeli odbiornik jest skojarzony w gwiazdę lub w trójkąt w sposób trwały, to ma tylko 3 zaciski (końcówki) oznaczone literami U, V, W do których przyłącza się przewody fazowe sieci zasilającej.

Zasady kojarzenia odbiorników trójfazowych w gwiazdę i w trójkąt przedstawiono na rys. 4.3. Muszą być one przestrzegane przy urządzeniach elektromagnetycznych np. silnikach asynchronicznych 3 – fazowych.



Rys. 4.3. Odbiornik trójfazowy:
 a) gwiazdowy zasilany z sieci trójfazowej czteroprzewodowej,
 b) trójkątowy zasilany z sieci trójfazowej

Odbiornik trójfazowy jest symetryczny jeżeli impedancje odbiorników fazowych są jednakowe:

$$Z_U = Z_V = Z_W = Z, \quad (4.6)$$

oraz są jednakowe ich współczynniki mocy:

$$\cos\varphi_U = \cos\varphi_V = \cos\varphi_W = \cos\varphi. \quad (4.7)$$

$$\sin\varphi_U = \sin\varphi_V = \sin\varphi_W = \sin\varphi. \quad (4.8)$$

Odbiornik gwiazdowy niesymetryczny, zasilanie trójfazowe czteroprzewodowe.

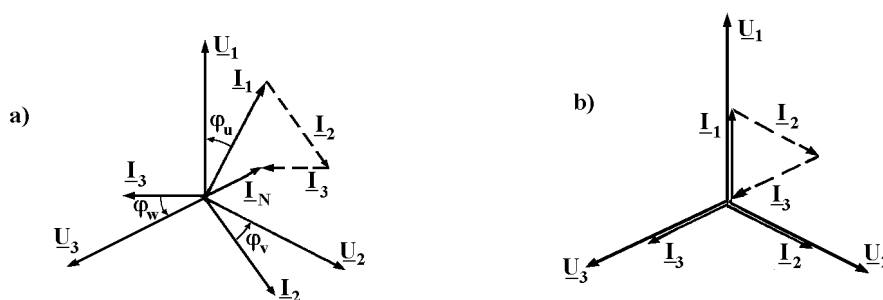
Napięcia na poszczególnych odbiornikach fazowych (rys. 4.3a) są takie same i równe napięciom fazowym sieci ($U_1 = U_2 = U_3 = U_f$). Znając wartości napięć fazowych oraz impedancje poszczególnych odbiorników składowych, możemy obliczyć wartości skuteczne prądów płynących w przewodach fazowych zasilających odbiornik, z zależności:

$$I_1 = \frac{U_f}{Z_U}, \quad I_2 = \frac{U_f}{Z_V}, \quad I_3 = \frac{U_f}{Z_W}. \quad (4.9)$$

Współczynniki mocy odbiorników fazowych:

$$\cos\varphi_U = \frac{R_U}{Z_U}, \quad \cos\varphi_V = \frac{R_V}{Z_V}, \quad \cos\varphi_W = \frac{R_W}{Z_W}. \quad (4.10)$$

Wykres wskazowy napięć i prądów rozpatrywanego układu przedstawia rys. 4.4a.



Rys. 4.4. Wykresy wskazowe odbiornika gwiazdowego zasilanego z sieci trójfazowej czteroprzewodowej:

- a) odbiornik niesymetryczny o obciążeniu czynno-indukcyjnym,
- b) odbiornik symetryczny o obciążeniu czynnym

Prąd I_N w przewodzie neutralnym równa się sumie geometrycznej prądów płynących w przewodach fazowych (rys. 4.4a):

$$\underline{I}_N = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 . \quad (4.11)$$

Odbiornik gwiazdowy symetryczny.

Prądy płynące w przewodach fazowych zasilających odbiornik posiadają tę samą wartość:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I = \frac{U_f}{Z} \quad (4.12)$$

i tworzą symetryczny układ trójfazowy (rys. 4.4b).

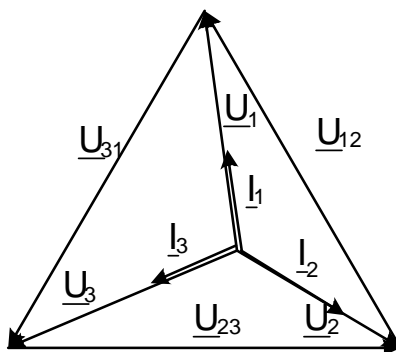
Suma geometryczna prądów w przewodach fazowych zasilających odbiornik równa się zeru;

$$\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = \underline{I}_N = 0 . \quad (4.13)$$

Prąd w przewodzie neutralnym nie płynie. Odbiornik gwiazdowy symetryczny nie wymaga przewodu neutralnego. Do odbiorników symetrycznych zalicza się: silniki trójfazowe, trójfazowe oporowe urządzenia grzejne itp.

Odbiornik gwiazdowy niesymetryczny, zasilanie trójfazowe trójprzewodowe.

Napięcia przewodowe występujące między przewodami fazowymi sieci zasilającej tworzą trójkąt równoboczny, natomiast ulega zniekształceniu gwiazda napięć fazowych występujących na odbiornikach składowych (rys. 4.5).



Rys. 4.5. Wykres wskazowy napięć i prądów niesymetrycznego odbiornika gwiazdowego o obciążeniu czynnym przy zasilaniu trójfazowym trójprzewodowym

Na odbiorniku fazowym o mniejszej impedancji wystąpi niższe napięcie a o większej impedancji napięcie wyższe $\left(U_f > \frac{U_p}{\sqrt{3}} \right)$.

W rozpatrywanym przypadku:

$$U_f \neq \frac{U_p}{\sqrt{3}}, \quad (4.14)$$

natomiast

$$\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 0, \quad (4.15)$$

jest zawsze prawdziwe dla zasilania trójfazowego trójprzewodowego.

W układach z odbiornikami gwiazdowymi niesymetrycznymi konieczne jest stosowanie przewodu neutralnego, który zapewnia symetryczny rozkład napięć na odbiornikach fazowych. Dla takiego układu połączeń prawdziwa jest zależność:

$$\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = \underline{I}_N. \quad (4.16)$$

Odbiornik trójfazowy skojarzony w trójkąt.

Sposób kojarzenia odbiornika trójfazowego w trójkąt przedstawiono na rys. 4.3b.

Dla symetrycznego zasilania mamy

$$U = U_p = U_f. \quad (4.17)$$

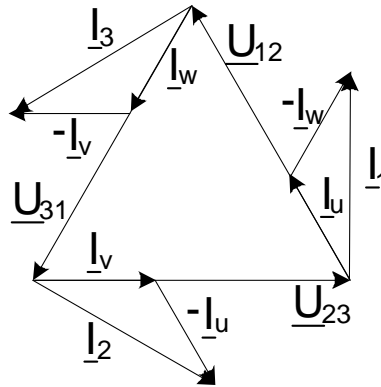
Prądy fazowe płynące przez odbiorniki składowe określane są zależnościami:

$$I_U = \frac{U_p}{Z_U}, \quad I_V = \frac{U_p}{Z_V}, \quad I_W = \frac{U_p}{Z_W}. \quad (4.18)$$

Prądy przewodowe płynące w przewodach fazowych zasilających odbiornik, zgodnie z I prawem Kirchhoffa dla węzłów trójkąta są różnicą geometryczną odpowiednich prądów fazowych:

$$\begin{aligned} \underline{I}_1 &= \underline{I}_U - \underline{I}_W, \\ \underline{I}_2 &= \underline{I}_V - \underline{I}_U, \\ \underline{I}_3 &= \underline{I}_W - \underline{I}_V. \end{aligned} \quad (4.19)$$

Zależności (4.19) przedstawiono graficznie na rys. 4.6.



Rys. 4.6. Wykres wskazowy napięć i prądów symetrycznego odbiornika trójkątowego o obciążeniu czynnym

Dla odbiornika symetrycznego prądy fazowe:

$$I_U = I_V = I_W = I_f = \frac{U_p}{Z_f}, \quad (4.20)$$

jak również prądy przewodowe:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_p = I, \quad (4.21)$$

tworzą symetryczne układy trójfazowe.

Prąd przewodowy $I_p = I$ jest $\sqrt{3}$ razy większy od prądu fazowego I_f .

$$I_p = 2I_f \cos 30^\circ = \sqrt{3} I_f. \quad (4.22)$$

W przypadku odbiorników symetrycznych połączonych w trójkąt i gwiazdę, o tej samej impedancji fazowej Z_f prawdziwy jest wzór:

$$I_f = \frac{U_f}{Z_f} \quad (4.23)$$

Na podstawie zależności, że $U = U_f$ i $I = \sqrt{3} I_f$ dla połączenia w trójkąt, oraz $U = \sqrt{3} U_f$ i $I = I_f$ dla połączenia w gwiazdę zachodzi następujący związek między prądami przewodowymi przy połączeniu w trójkąt i gwiazdę:

$$\frac{I_{\Delta}}{I_{\lambda}} = \frac{\sqrt{3} I_{f\Delta}}{I_{f\lambda}} = \frac{\sqrt{3} \frac{U}{Z_f}}{\frac{U}{\sqrt{3} Z_f}} = 3 \quad (4.24)$$

1.3. Moce w układach trójfazowych

Moc czynna odbiornika trójfazowego jest sumą mocy czynnych odbiorników składowych, niezależnie od tego czy odbiornik jest skojarzony w gwiazdę czy w trójkąt

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (4.25)$$

przy czym moce czynne odbiorników składowych określają zależności:

$$\begin{aligned} P_1 &= U_{1f} \cdot I_{1f} \cos \varphi_1, \\ P_2 &= U_{2f} \cdot I_{2f} \cos \varphi_2, \\ P_3 &= U_{3f} \cdot I_{3f} \cos \varphi_3, \end{aligned} \quad (4.26)$$

gdzie: U_{1f}, U_{2f}, U_{3f} - napięcia fazowe na odbiornikach składowych,
 I_{1f}, I_{2f}, I_{3f} - prądy fazowe płynące przez odbiorniki składowe,
 $\cos \varphi_1, \cos \varphi_2, \cos \varphi_3$ - współczynniki mocy odbiorników składowych.

W przypadku odbiornika symetrycznego:

$$P = 3 U_f I_f \cos \varphi, \quad (4.27)$$

gdzie: U_f, I_f - wielkości fazowe napięcia i prądu,
lub

$$P = \sqrt{3} U I \cos \varphi, \quad (4.28)$$

gdzie: U, I - wielkości przewodowe napięcia i prądu.

Przy skojarzeniu odbiornika w gwiazdę: $I = I_f, U = \sqrt{3} U_f$.

Przy skojarzeniu odbiornika w trójkąt: $U = U_f, I = \sqrt{3} I_f$.

Moc bierna odbiornika trójfazowego, analogicznie jak moc czynna, jest sumą mocy biernych odbiorników składowych (moce bierne indukcyjne - dodatnie i pojemnościowe - ujemne, w sumowaniu uwzględniamy z odpowiednimi znakami).

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 , \quad (4.29)$$

$$Q_1 = U_{1f} \cdot I_{1f} \sin\varphi_1 ,$$

$$Q_2 = U_{2f} \cdot I_{2f} \sin\varphi_2 , \quad (4.30)$$

$$Q_3 = U_{3f} \cdot I_{3f} \sin\varphi_3 .$$

W przypadku odbiornika symetrycznego:

$$Q = 3U_f \cdot I_f \sin\varphi , \quad (4.31)$$

lub

$$Q = \sqrt{3} U I \sin\varphi . \quad (4.32)$$

Moc pozorna odbiornika trójfazowego.

W przypadku odbiornika symetrycznego gwiazdowego lub trójkątowego:

$$S = 3U_f \cdot I_f , \quad (4.33)$$

lub

$$S = \sqrt{3} U I . \quad (4.34)$$

W przypadku odbiornika niesymetrycznego, ze względu na różne $\cos\varphi$ w poszczególnych fazach, S nie jest sumą algebraiczną $S = S_1 + S_2 + S_3$. Jej wartość można ustalić ze wzoru:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} . \quad (4.35)$$

Wypadkowy współczynnik mocy odbiornika niesymetrycznego:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} . \quad (4.36)$$

Dla odbiorników trójfazowych symetrycznych wyznaczyć można zależność $\frac{P_\Delta}{P_\lambda}$.

Ze wzoru na moc czynną odbiornika trójfazowego wynika:

$$P = 3U_f I_f \cos\varphi . \quad (4.37)$$

Dla odbiornika połączonego w trójkąt otrzymujemy zależność:

$$P_\Delta = 3U_f I_f \cos\varphi = 3U \frac{U}{Z_f} \cos\varphi = 3 \frac{U^2}{Z_f} \cos\varphi , \quad (4.38)$$

a dla odbiornika połączonego w gwiazdę:

$$P_{\lambda} = 3U_f I_f \cos \varphi = 3 \frac{U}{\sqrt{3}} \frac{U}{\sqrt{3} Z_f} \cos \varphi = \frac{U^2}{Z_f} \cos \varphi. \quad (4.39)$$

Stąd otrzymujemy:

$$\frac{P_{\Delta}}{P_{\lambda}} = \frac{3 \frac{U^2}{Z_f} \cos \varphi}{\frac{U^2}{Z_f} \cos \varphi} = 3 \quad (4.40)$$

Analogiczne prawdziwe są zależności:

$$\frac{Q_{\Delta}}{Q_{\lambda}} = 3 \text{ i } \frac{S_{\Delta}}{S_{\lambda}} = 3. \quad (4.41)$$

1.4. Szczególne przypadki pracy odbiorników trójfazowych

Nienaturalne warunki pracy (naturalne - odbiornik symetryczny połączony w gwiazdę lub w trójkąt, zasilanie trójfazowe symetryczne) odbiornika trójfazowego mogą wystąpić w przypadku zakłócenia w układzie zasilającym, bądź w samym odbiorniku, lub też mogą być celową działalnością dla uzyskania odpowiednio stopniowanej mocy.

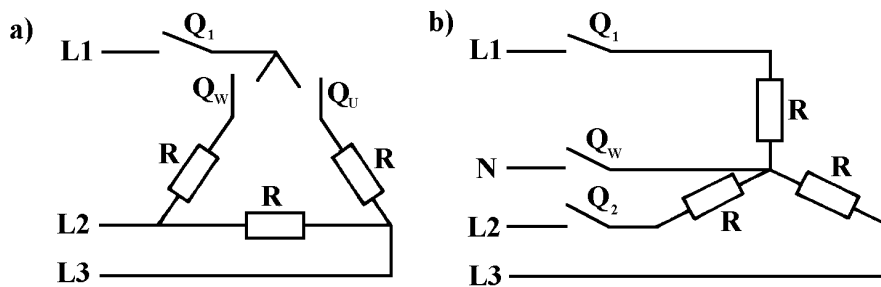
Dla podstawowych układów połączeń odbiornika trójfazowego można wyróżnić:

I. Odbiornik połączony w trójkąt (rys. 4.7a):

- 1 - praca naturalna, zasilanie trójfazowe, wszystkie odbiorniki fazowe pracują,
- 2 - praca dwufazowa, odbiorniki fazowe włączone, przerwa w jednym przewodzie fazowym zasilającym odbiornik,
- 3 - zasilanie trójfazowe, przerwa w jednym odbiorniku fazowym,
- 4 - zasilanie trójfazowe, przerwa w dwóch odbiornikach fazowych.

II. Odbiornik połączony w gwiazdę (rys. 4.7b):

- 5 - praca naturalna, zasilanie trójfazowe czteroprzewodowe, wszystkie odbiorniki fazowe pracują,
- 6 - praca dwufazowa, przerwa w jednym przewodzie zasilającym odbiornik,
- 7 - praca dwufazowa, przerwa w jednym przewodzie fazowym i przerwa w przewodzie neutralnym,
- 8 - praca jednofazowa, przerwa w dwóch przewodach fazowych zasilających odbiornik.



Rys. 4.7. Szczególne przypadki pracy odbiornika trójfazowego:
 a) przy połączeniu w trójkąt, b) przy połączeniu w gwiazdę

W poszczególnych przypadkach moce odbiornika są różne. Dla ilościowego ujęcia, moce odbiornika z poszczególnych przypadków odniesiemy do mocy odbiornika trójkątowego w naturalnych warunkach jego pracy.

Dla uproszczenia zapisów przyjęto, że odbiornik fazowy posiada tylko rezystancję R ($\cos\varphi = 1$) i napięcie przewodowe symetrycznej sieci zasilającej wynosi U .

Przypadek 1

$$P_1 = 3U_f I_f = 3U \frac{U}{R} = 3 \frac{U^2}{R} = P \quad (4.42)$$

Przypadek 2

$$P_2 = \frac{U^2}{R} + \frac{U^2}{2R} = \frac{3U^2}{2R} = \frac{1}{2}P \quad (4.43)$$

Przypadek 3

$$P_3 = \frac{U^2}{R} + \frac{U^2}{R} = 2 \frac{U^2}{R} = \frac{2}{3}P \quad (4.44)$$

Przypadek 4

$$P_4 = \frac{U^2}{R} = \frac{1}{3}P \quad (4.45)$$

Przypadek 5

$$P_5 = 3 \frac{U_f^2}{R} = 3 \left(\frac{U}{\sqrt{3}} \right)^2 \frac{1}{R} = \frac{U^2}{R} = \frac{1}{3}P \quad (4.46)$$

Przypadek 6

$$P_6 = 2 \frac{U_f^2}{R} = 2 \left(\frac{U}{\sqrt{3}} \right)^2 \frac{1}{R} = \frac{2}{3} \frac{U^2}{R} = \frac{2}{9} P \quad (4.47)$$

Przypadek 7

$$P_7 = \frac{U^2}{2R} = \frac{1}{6} P \quad (4.48)$$

Przypadek 8

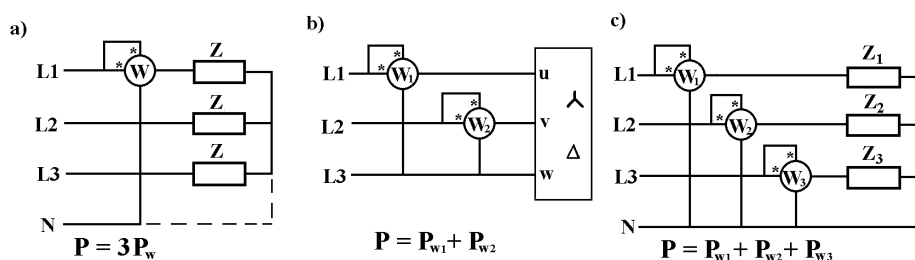
$$P_8 = \frac{U_f^2}{R} = \left(\frac{U}{\sqrt{3}} \right)^2 \frac{1}{R} = \frac{1}{3} \frac{U^2}{R} = \frac{1}{9} P \quad (4.49)$$

Należy zaznaczyć, że w żadnym z rozpatrywanych przypadków odbiorniki fazowe nie są przeciążone prądowo.

1.5. Pomiary mocy czynnej w układach trójfazowych

Pomiary mocy czynnej odbiorników trójfazowych mogą być realizowane metodą jednego watomierza, dwóch lub trzech watomierzy.

1. Metodę pomiaru mocy czynnej odbiornika trójfazowego za pomocą jednego watomierza stosuje się przy całkowitej symetrii układu, czyli przy symetrii napięć zasilających i symetrii odbiornika (rys. 4.8a).
2. Metodę dwóch watomierzy zwaną metodą Arona, stosuje się w trójfazowych trójprzewodowych układach zasilających odbiorniki gwiazdowe i trójkątowe zarówno symetryczne jak i niesymetryczne (rys. 4.8b).
3. Metodę trzech watomierzy stosuje się w układzie trójfazowym czteroprzewodowym niesymetrycznym (rys. 4.8c).



Rys. 4.8. Pomiary mocy czynnej w układach trójfazowych:
a) za pomocą jednego watomierza, b) za pomocą dwóch watomierzy,
c) za pomocą trzech watomierzy

2. Wykonanie ćwiczenia

Część praktyczna ćwiczenia obejmuje:

- badanie wpływu rodzaju skojarzenia, zakłóceń w odbiorniku i zakłóceń w zasilaniu na moc odbiornika,
- badanie wpływu przewodu neutralnego na pracę odbiornika gwiazdowego niesymetrycznego.

2.1. Wpływ układu pracy na moc odbiornika trójfazowego

Do badań wykorzystać, dla wszystkich przypadków podanych w p. 1.4, trzy oporniki o jednakowych rezystancjach. Pomiary wykonać dla jednej wartości napięcia przewodowego (wartość napięcia poda prowadzący zajęcia). Do badań wykorzystać zestaw tablicowy woltomierzy i amperomierzy (rys. 4.9a).

Przyłączyć do tablicy oporniki. Ustalić z prowadzącym zajęcia wyłączniki do realizacji poszczególnych zakłóceń.

Dla odbiornika trójkątowego zastosować pomiar mocy metodą dwóch watomierzy (rys. 4.9b), natomiast dla odbiornika gwiazdowego zastosować pomiar mocy metodą trzech watomierzy (rys. 4.9c).

Po nastawieniu autotransformatorem AT zadanej wartości napięcia międzyprzewodowego U , dla poszczególnych przypadków, dokonać odczytów wskazań przyrządów wyszczególnionych w tabeli 4.1 dla odbiornika trójkątowego i w tabeli 4.2 dla odbiornika gwiazdowego.

Tabela 4.1.

Przypadek	Pomiary												Obliczenia		Teor.	
	U	U ₁	U ₂	U ₃	I ₁	I ₂	I ₃	I _U	I _V	I _W	P _{W1}	P _{W2}	P	$\frac{P}{P_1}$	$\frac{P}{P_1}$	
	V	V	V	V	A	A	A	A	A	A	W	W	W	-	-	
1																
2																
3																
4																

Tabela 4.2.

Przypadek	Pomiary												Obliczenia		Teor.		
	U ₁₂	U ₂₃	U ₃₁	I ₁	I ₂	I ₃	I _N	U ₁	U ₂	U ₃	P _{W1}	P _{W2}	P _{W3}	P	$\frac{P}{P_1}$	$\frac{P}{P_1}$	
	V	V	V	A	A	A	A	V	V	V	W	W	W	W	-	-	
5																	
6																	
7																	
8																	

W tabelach 4.1 i 4.2; P/P_1 są to stosunki mocy P poszczególnych przypadków do mocy odbiornika trójkątowego P_1 w jego naturalnych warunkach pracy uzyskanych z badań i wynikających z rozważań teoretycznych przeprowadzonych w p. 1.4.

Na podstawie otrzymanych wyników badań należy:

- dla wszystkich przypadków narysować wykresy wskazowe napięć i prądów,
- przeprowadzić dyskusję stopniowej regulacji mocy odbiornika trójfazowego,
- dla pracy naturalnej odbiornika trójkątowego (przypadek 1) sprawdzić związek między prądami fazowymi i przewodowymi,
- ustalić stosunki prądów przewodowych $I_{\Delta}/I_{\sphericalangle}$ i prądów fazowych $I_{f\Delta}/I_{f\sphericalangle}$ występujących w przypadku 1 dla odbiornika trójkątowego i w przypadku 5 dla odbiornika gwiazdowego (ustalać wartości średnie z pomiarów).

2.2. Odbiornik gwiazdowy niesymetryczny

Do badań wykorzystać układ pomiarowy 4.9c.

Asymetrii odbiornika dokonać wspólnie z prowadzącym zajęcia. Badania przeprowadzić dla jednej wartości napięcia międzyprzewodowego dla trzech przypadków:

- 1 - zasilanie L1; L2; L3; N,
- 2 - zasilanie L1; L2; L3,
- 3 - zasilanie np. tylko L1 i L2.

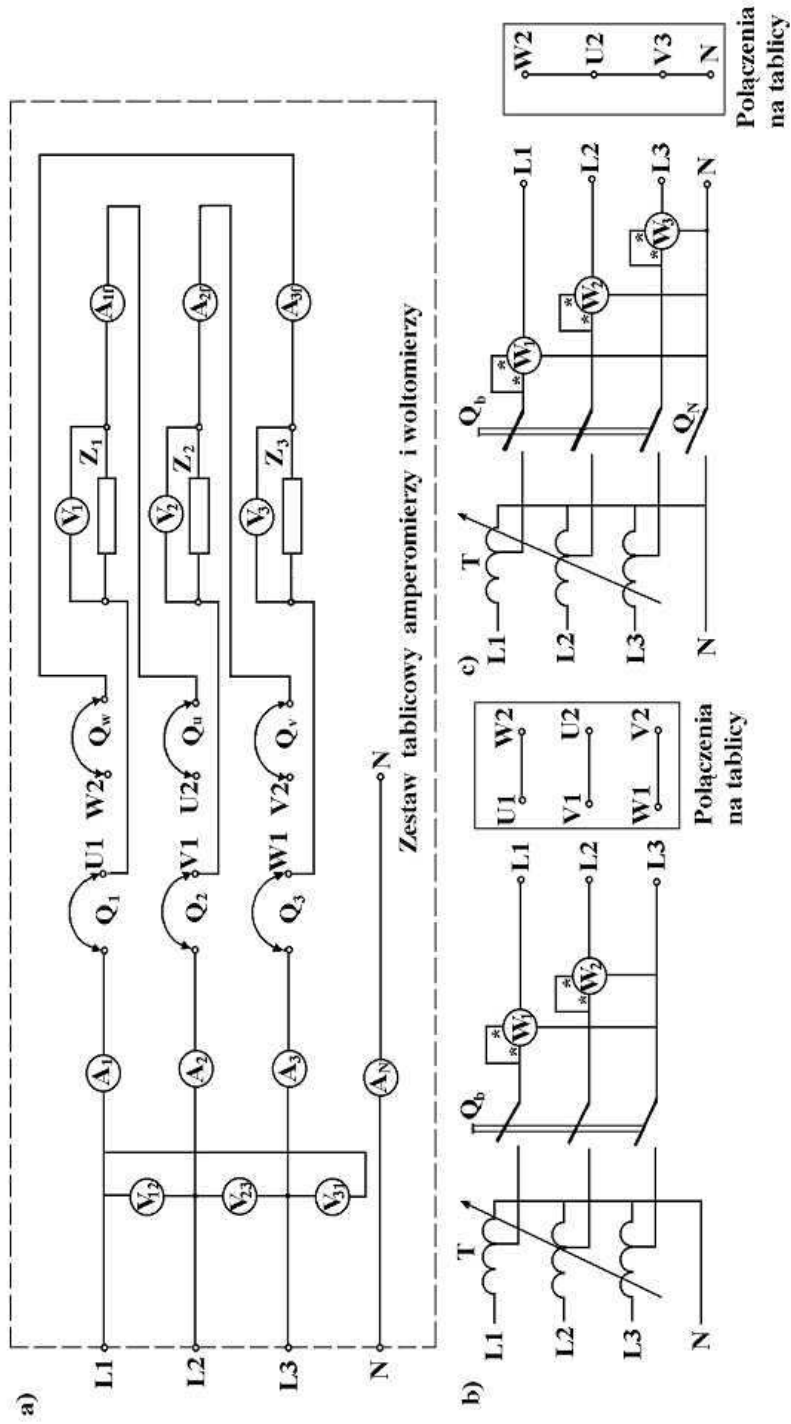
Wyniki pomiarów zestawić w tabeli 4.3.

Tabela 4.3.

Przypadek	U_{12}	U_{23}	U_{31}	I_1	I_2	I_3	I_N	U_1	U_2	U_3	P_{W1}	P_{W2}	P_{W3}	P
	V	V	V	A	A	A	A	V	V	V	W	W	W	W
1														
2														
3														

Na podstawie przeprowadzonych badań należy:

- dla trzech przypadków narysować wykresy wskazowe napięć i prądów,
- omówić znaczenie przewodu neutralnego,
- porównać moce odbiornika w przypadkach 1 i 2



Rys. 4.9. Układ pomiarowy do badań odbiornika trójfazowego:

- a) zestaw tablicowy woltometry i amperometry, b) zasilanie i pomiar mocy dla odbiornika trójkątowego,
- c) zasilanie i pomiar mocy dla odbiornika gwiazdowego

2.3. Wykaz przyrządów i aparatów

Należy, zgodnie z wytycznymi podanymi w części ogólnej skryptu podać wszystkie przyrządy pomiarowe, urządzenia wykorzystywane w ćwiczeniu.

Zagadnienia do samodzielnego opracowania

1. Sieć rozdzielcza niskiego napięcia: rodzaje przewodów, rodzaje napięć oraz warunki symetrii sieci.
2. Wykresy wskazowe napięć fazowych i napięć międzyprzewodowych.
3. Rola przewodu neutralnego w sieci rozdzielczej niskiego napięcia.
4. Zasady łączenia odbiornika trójfazowego w gwiazdę i w trójkąt.
5. Metody pomiaru mocy czynnej w układach trójfazowych.
6. Wykres wskazowy napięć i prądów odbiornika gwiazdowego symetrycznego rezystancyjnego zasilanego trójfazowo czteroprzewodowo.
7. Wykres wskazowy napięć i prądów odbiornika rezystancyjnego trójkątowego symetrycznego.
8. Odbiornik gwiazdowy symetryczny rezystancyjny ma moc np. $P = 600\text{W}$ przy zasilaniu trójfazowym trójprzewodowym, ustalić moc odbiornika po wystąpieniu przerwy w jednym przewodzie zasilającym.
9. Wykres wskazowy napięć i prądów dla odbiornika trójkątowego symetrycznego przy wystąpieniu przerwy w przewodzie fazowym zasilającym odbiornik.
10. Odbiornik trójkątowy symetryczny rezystancyjny ma moc np. $P = 600\text{W}$ przy zasilaniu trójfazowym, jaka będzie moc P_1 odbiornika po wystąpieniu przerwy w jednym przewodzie fazowym zasilającym ten odbiornik.
11. Praktyczne wykorzystanie właściwości odbiornika gwiazdowego i trójkątowego w urządzeniach grzejnych i w silnikach asynchronicznych trójfazowych.

Literatura

- [1] Opolski A., Przeździecki F.: Elektrotechnika i elektronika. PWRiL, Warszawa 1986.
- [2] Wawszczak J., Walusiak S., Rutka Z.: Laboratorium elektrotechniki i elektroniki. Skrypt Politechniki Lubelskiej. Lublin 1989.
- [3] Pasko M., Piątek Z., Topór-Kamiński L.: Elektrotechnika Ogólna cz.1. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998.