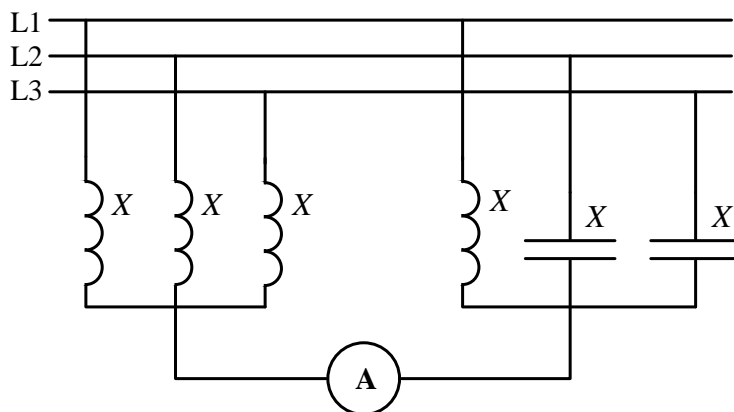


**„EUROELEKTRA”**  
**Ogólnopolska Olimpiada Wiedzy Elektrycznej i Elektronicznej**  
**Rok szkolny 2011/2012**

Odpowiedzi do zadań dla grupy elektrycznej na zawody II stopnia

**Zadanie 1**

Na rysunku 1 przedstawiono schemat obwodu trójfazowego, który zasilany jest symetrycznymi napięciami  $3 \times 400 \text{ V}$  (wartości skuteczne napięć). Należy obliczyć wskazanie idealnego amperomierza (wartość skuteczna prądu), gdy reaktancja  $X = 1,00 \, \Omega$ .



Rysunek 1

**Rozwiązanie zadania 1**

Dane są: impedancje zespolone cewek  $\underline{Z}_L = jX = j1,00 \, \Omega$ ; impedancje zespolone kondensatorów  $\underline{Z}_C = -jX = -j1,00 \, \Omega$ ; zespolone wartości skuteczne napięć fazowych:

$$\underline{E}_{L1} = \frac{400}{\sqrt{3}} \text{ V}, \quad \underline{E}_{L2} = \underline{E}_{L1} \cdot a, \quad \underline{E}_{L3} = \underline{E}_{L1} \cdot a^2, \quad \text{gdzie } a = e^{-j\frac{2\pi}{3}}.$$

Do rozwiązania zadania zastosowano twierdzenie Thevenina.

Zastępcza impedancja zespolona z zacisków amperomierza

$$\underline{Z}_T = \frac{1}{\frac{1}{\underline{Z}_L} + \frac{1}{\underline{Z}_L} + \frac{1}{\underline{Z}_L}} + \frac{1}{\frac{1}{\underline{Z}_L} + \frac{1}{\underline{Z}_C} + \frac{1}{\underline{Z}_C}} = \frac{1}{\frac{1}{j1,00} + \frac{1}{j1,00} + \frac{1}{j1,00}} + \frac{1}{\frac{1}{j1,00} + \frac{1}{-j1,00} + \frac{1}{-j1,00}} = -j666,67 \text{ m}\Omega.$$

Napięcie Thevenina oblicza się jako różnicę potencjałów węzłów po usunięciu amperomierza.

Przyjmuje się, że potencjał środka hipotetycznej gwiazdy napięć zasilających jest równy zero.

Potencjał środka gwiazdy cewek również będzie równy zero.

Zespolona wartość napięcia Thevenina będzie równa

$$\underline{E}_T = -\frac{\frac{\underline{E}_{L1}}{\underline{Z}_L} + \frac{\underline{E}_{L2}}{\underline{Z}_C} + \frac{\underline{E}_{L3}}{\underline{Z}_C}}{\frac{1}{\underline{Z}_L} + \frac{1}{\underline{Z}_C} + \frac{1}{\underline{Z}_C}} = -\frac{\frac{400}{\sqrt{3}} \left( \frac{1}{j1,00} + \frac{a}{-j1,00} + \frac{a^2}{-j1,00} \right)}{\frac{1}{j1,00} + \frac{1}{-j1,00} + \frac{1}{-j1,00}} = 461,88 \text{ V}.$$

Zatem wskazanie idealnego amperomierza będzie wynosiło

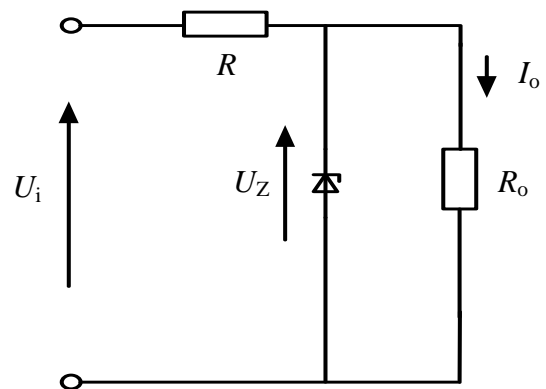
$$I = \frac{E_T}{Z_T} = \frac{461,88}{666,67 \cdot 10^{-3}} = 693 \text{ A}.$$

### Zadanie 2

Na rysunku 2 przedstawiono schemat stabilizatora z diodą Zenera. Obliczyć minimalną wartość rezystancji  $R$ , która zabezpieczy diodę Zenera przed przekroczeniem dopuszczalnych strat mocy  $P_{\text{tot max}}$ , jeżeli:

- napięcie Zenera (stabilizacji)  $U_Z = 12 \text{ V}$ ;
- moc maksymalna strat w diodzie  $P_{\text{tot max}} = 1,0 \text{ W}$ ;
- wartość minimalna napięcia wejściowego  $U_{i \text{ min}} = 15 \text{ V}$ ;
- wartość maksymalna napięcia wejściowego  $U_{i \text{ max}} = 20 \text{ V}$ .

Przyjąć, że charakterystyka diody Zenera jest idealna.



Rysunek 2

### Rozwiązanie zadania 2

Największą wartość prądu diody Zenera osiąga przy braku obciążenia stabilizatora  $I_o = 0$  i przy maksymalnym napięciu wejściowym  $U_{i \text{ max}}$ . Dla takiego stanu można zapisać równanie

$$U_{i \text{ max}} - R I_{Z \text{ max}} - U_Z = 0,$$

w którym  $I_{Z \text{ max}}$  to prąd maksymalny diody Zenera. Prąd ten można wyznaczyć ze wzoru

$$I_{Z \text{ max}} = \frac{P_{\text{tot max}}}{U_Z}.$$

Wyznaczając rezystancję z równania pierwszego, otrzymuje się

$$R = \frac{(U_{i \text{ max}} - U_Z) \cdot U_Z}{P_{\text{tot max}}} = \frac{(20 - 12) \cdot 12}{1,0} = 96 \Omega.$$

### Zadanie 3

Transformator trójfazowy o układzie połączeń Yz 5 jest zasilany napięciem o wartości 30 kV. Stosunek liczby zwojów uzwojenia pierwotnego do wtórnego wynosi 64, rezystancja uzwojeń wynosi  $R_1 = R_2' = 1,0 \Omega$ , reaktancja rozproszenia uzwojeń  $X_1 = X_2' = 4,0 \Omega$ . Transformator obciążono prądem znamionowym. Oblicz wartość współczynnika mocy obciążenia, przy którym napięcie wtórne transformatora będzie takie samo jak w stanie jałowym transformatora. Jaka będzie wartość tego napięcia? Jaki będzie charakter tego obciążenia (indukcyjny czy pojemnościowy)?

WSKAZÓWKA:

Spadek napięcia w transformatorze można wyznaczyć z uproszczonego wzoru

$$U_{2 \text{ ph}} = U_{20 \text{ ph}} - I \left[ (R_1 + R_2') \cos \varphi + (X_1 + X_2') \sin \varphi \right],$$

w którym obliczona wartość spadku napięcia odnosi się do napięcia fazowego transformatora (oznaczonego dolnym indeksem „ph”), prąd  $I$  oznacza prąd fazowy strony wtórnej transformatora, a  $\varphi$  to kąt fazowy obciążenia.

### Rozwiązanie zadania 3

Przekładnia zwojowa tego transformatora  $\vartheta_z = z_1/z_2 = 64$ . Dla układu połączeń Yz przekładnia napięciowa wyniesie

$$\vartheta = \frac{2}{\sqrt{3}} \vartheta_z = 73,9.$$

A zatem napięcie stanu jałowego strony wtórnej transformatora będzie równe

$$U_{20} = U_1 / 9 = 30000 / 73,9 = 405,9 \text{ V}.$$

Aby określić współczynnik mocy, przy którym spadek napięcia będzie równy zero, wystarczy przyrównać do zera wyrażenie w nawiasie kwadratowym we wzorze na spadek napięcia:

$$[(R_1 + R_2') \cos \varphi + (X_1 + X_2') \sin \varphi] = 0,$$

i na tej podstawie wyznaczyć wartość  $\varphi$ :

$$\varphi = \arctg [-(R_1 + R_2') / (X_1 + X_2')] = \arctg (-0,25) = -14,04^\circ.$$

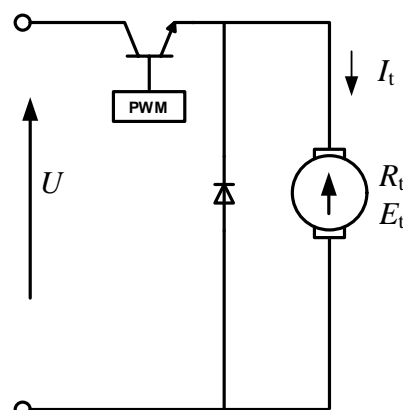
Zatem współczynnik mocy obciążenia wynosi  $\cos \varphi = \cos (-14,04^\circ) = 0,97$  i ma charakter pojemnościowy.

#### Zadanie 4

Na rysunku 3 przedstawiono schemat układu napędowego z silnikiem prądu stałego zasilanego z akumulatora za pośrednictwem przekształtnika impulsowego prądu stałego, czyli tak zwanego choppera. Obliczyć wartość średnią prądu silnika  $I_t$  oraz wartość średnią napięcia na zaciskach silnika  $U_t$  w stanie ustalonym, jeżeli:

- napięcie akumulatora  $U = 48 \text{ V}$ ;
- siła elektromotoryczna silnika  $E_t = 24 \text{ V}$ ;
- rezystancja twornika  $R_t = 1,0 \Omega$ ;
- współczynnik wypełnienia impulsów  $d = t_i / T_i = 0,6$ ;
- okres impulsowania  $T_i = 10 \text{ ms}$  ( $f_i = 100 \text{ Hz}$ ).

Przyjąć, że w obwodzie przekształtnika nie ma elementów indukcyjnych, a indukcyjność twornika silnika można zaniedbać ze względu na stosunkowo małą częstotliwość impulsowania  $f_i = 100 \text{ Hz}$ . Założyć również, że siła elektromotoryczna silnika jest stała.



Rysunek 3

#### Rozwiązanie zadania 4

Ze względu na brak w obwodzie elementów indukcyjnych prąd w obwodzie jest przerywany i płynie tylko w czasie, w którym tranzystor kluczący jest zamknięty. Wartość maksymalna tego prądu jest równa

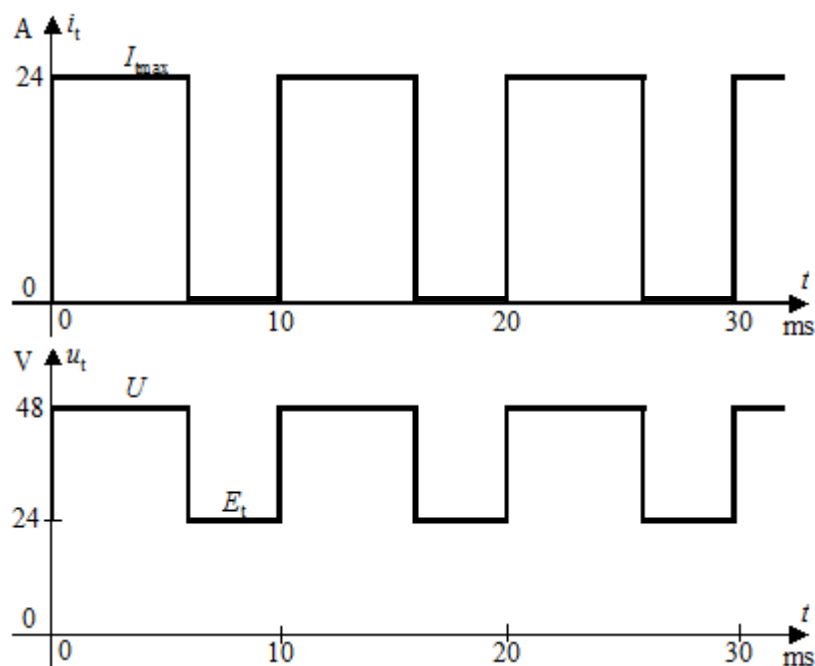
$$I_{t \max} = (U - E_t) / R_t = 24 \text{ A}.$$

Napięcie na zaciskach twornika w czasie, w którym tranzystor kluczący jest zamknięty, wynosi  $48 \text{ V}$ , w pozostałym czasie równe jest sile elektromotorycznej silnika, czyli  $24 \text{ V}$ . Przebiegi prądu i napięcia pokazano na rys. 3a.

Na tej podstawie można wyliczyć wartości średnie przebiegów:

$$I_t = \frac{\int_0^{T_i} i_t dt}{T_i} = \frac{24 \cdot 6 \cdot 10^{-3} + 0 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-3}} = 14,4 \text{ A};$$

$$U_t = \frac{\int_0^{T_i} u_t dt}{T_i} = \frac{48 \cdot 6 \cdot 10^{-3} + 24 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-3}} = 38,4 \text{ A}.$$

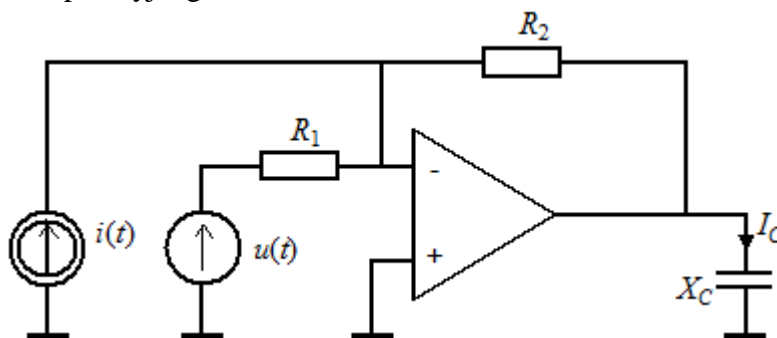


Rysunek 3a

### Zadanie 5

Idealny wzmacniacz operacyjny pracuje w układzie przedstawionym na rysunku 4. Dane elementów układu są następujące:  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $X_C = 10 \text{ k}\Omega$ . Prąd źródła prądowego opisuje zależność  $i(t) = 1,0 \cos \omega t \text{ [mA]}$ , natomiast napięcie źródła napięciowego zależność  $u(t) = 10 \sin \omega t \text{ [V]}$ .

Oblicz wartość skuteczną prądu płynącego przez kondensator przyłączony do wyjścia wzmacniacza operacyjnego.



Rysunek 4

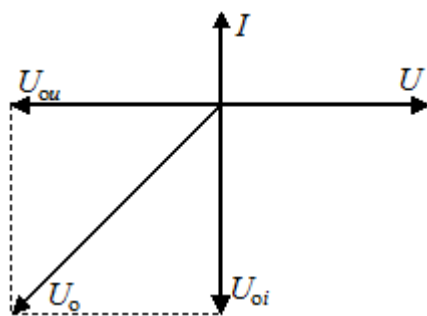
### Rozwiązanie zadania 5

Napięcie na wyjściu wzmacniacza operacyjnego składa się z dwóch składowych. Pierwsza pochodzi od źródła napięciowego i wynosi  $u_{ou} = -u \cdot R_1 / R_2 = -10 \sin \omega t \text{ [V]}$ , druga od źródła prądowego i wynosi  $u_{oi} = -R_2 \cdot i = -10 \cos \omega t \text{ [V]}$ .

Wartość wypadkową napięcia wyjściowego można określić na podstawie wykresu wskazowego (rysunek 4a), jak następuje

$$u_o = \sqrt{2} \cdot 10 \sin(\omega t + 225^\circ) = \sqrt{2} \cdot 10 \sin(\omega t - 135^\circ) \text{ [V]}.$$

Wartość skuteczna napięcia wyjściowego wynosi  $U_o = 10 \text{ V}$ , zatem prąd płynący przez kondensator wyniesie  $1,0 \text{ mA}$ .



Rysunek 4a

### Zadanie 6

Silnik indukcyjny klatkowy o następujących danych znamionowych:

- napięcie znamionowe  $U_n = 400 \text{ V}$ ,
- prąd znamionowy  $I_n = 10 \text{ A}$ ,
- moc znamionowa  $P_n = 6 \text{ kW}$ ,
- przeciążalność znamionowa  $\lambda_n = M_{\max}/M_n = 2,7$ ,
- znamionowy moment rozruchowy  $M_r = 1,4M_n$ ,

ma uzwojenia stojana połączone w trójkąt. Silnik został obciążony momentem oporowym o wartości zależnej od prędkości obrotowej wirnika opisaną następującym wyrażeniem

$$M_{op} = 0,4M_n(1+0,8\omega/\omega_s),$$

w którym:  $\omega$  – prędkość kątowna wirnika silnika,

$\omega_s$  – synchroniczna prędkość kątowna silnika.

Postanowiono dokonać rozruchu tego silnika za pomocą przełącznika gwiazda-trójkąt. Czy silnik ruszy i osiągnie ustaloną prędkość obrotową? Jak zmieni się początkowy prąd rozruchowy pobrany z sieci zasilającej przy rozruchu za pomocą przełącznika gwiazda-trójkąt w porównaniu z początkowym prądem rozruchowym silnika połączonego w trójkąt?

### Rozwiązanie zadania 6

Po przełączeniu uzwojeń w gwiazdę napięcie na uzwojeniu fazowym jest  $\sqrt{3}$  razy mniejsze, a ponieważ moment rozwijany przez silnik jest proporcjonalny do kwadratu napięcia  $M \sim U^2$ , to moment ten zmniejszy się 3 razy.

Przyjmujemy następujące oznaczenia:

$M_{rg}$  – moment rozruchowy silnika przy połączeniu w gwiazdę,

$M_{opr}$  – moment oporowy w początkowej fazie rozruchu,

$M_{maxg}$  – moment maksymalny silnika przy połączeniu w gwiazdę,

$M_{opk}$  – moment oporowy pod koniec rozruchu.

Można zapisać następujące zależności dla pierwszej chwili rozruchu:

$$M_{rg} = (1,4/3)M_n = 0,46M_n \quad \text{oraz} \quad M_{opr}(\omega = 0) = 0,4M_n(1+0,8 \cdot 0/\omega_s) = 0,4M_n.$$

Ponieważ  $M_{rg} > M_{opr}$ , oznacza to, że silnik ruszy.

Dla końcowej chwili rozruchu mamy następujące zależności:

$$M_{maxg} = (2,7/3)M_n = 0,9M_n \quad \text{oraz} \quad M_{opk}(\omega = \omega_s) = 0,4M_n(1+0,8 \cdot \omega_s/\omega_s) = 0,72M_n.$$

Ponieważ  $M_{maxg} > M_{opk}$ , to oznacza, że po procesie rozruchu silnik osiągnie ustabilizowaną prędkość obrotową wirnika w zakresie między poślizgiem krytycznym a znamionowym. W rzeczywistości moment oporowy będzie trochę mniejszy od przyjętego dla  $\omega \approx \omega_s$ , ponieważ prędkość obrotowa będzie nieco mniejsza od  $\omega_s$ .

Początkowy prąd rozruchowy w uzwojeniu fazowym silnika zmaleje proporcjonalnie do napięcia, tzn.  $\sqrt{3}$  razy, ale jednocześnie po przełączeniu w gwiazdę prąd fazowy stanie się prądem przewodowym sieci, co spowoduje jego dalsze zmniejszenie  $\sqrt{3}$  razy.

W konsekwencji początkowy prąd rozruchowy w przewodzie sieci zasilającej zmaleje 3 razy w porównaniu do początkowego prądu rozruchowego silnika połączanego w trójkąt.

***Opracowali:***

dr inż. P. Jankowski (zad. 1) – Akademia Morska Gdynia

dr inż. A. Gill (zad. 2, 4) – Akademia Morska Gdynia

dr inż. R. Kostyszyn (zad. 3, 6) – Akademia Morska Gdynia

dr inż. M. Miszewski (zad. 4, 5) – PS PESA Bydgoszcz SA

***Sprawdził:***

dr inż. Sławomir Cieślik

UTP Bydgoszcz

***Zatwierdził:***

**Przewodniczący Rady Naukowej Olimpiady**

**dr hab. inż. Andrzej Borys, prof. nadzw. UTP**