

„EUROELEKTRA”
Ogólnopolska Olimpiada Wiedzy Elektrycznej i Elektronicznej
Rok szkolny 2012/2013
Rozwiązania zadań dla grupy elektrycznej na zawodach II stopnia

Zadanie 1

Silnik indukcyjny klatkowy ma następujące dane znamionowe:

$P_N = 110 \text{ kW}$ – moc znamionowa,

$n_N = 1480 \text{ obr/min}$ – znamionowa prędkość obrotowa,

$\eta_N = 94,2\%$ – sprawność znamionowa,

$\cos\varphi_N = 0,92$ – znamionowy współczynnik mocy,

$U_N = 400 \text{ V}$ Δ – napięcie znamionowe,

$I_N = 183 \text{ A}$ Δ – prąd znamionowy,

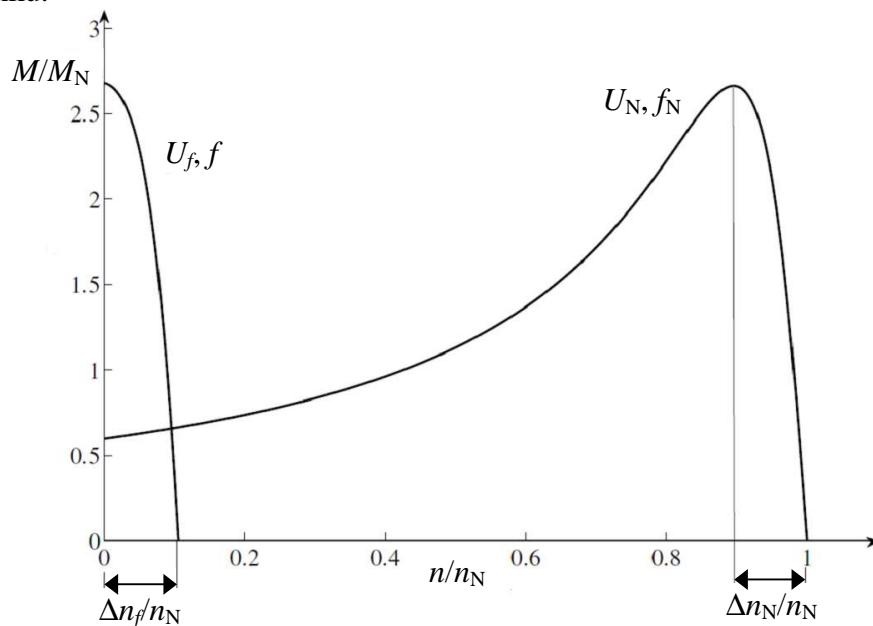
$\lambda_N = M_{\max}/M_N = 2,7$ – wartość względna momentu maksymalnego, przeciążalność,

$f_N = 50 \text{ Hz}$ – częstotliwość znamionowa.

Silnik zasilono z przetwornicy częstotliwości. Oblicz wartość i częstotliwość napięcia, którym należy zasilić silnik, aby przy zachowaniu warunku $U/f = \text{const}$ moment rozruchowy silnika był równy momentowi maksymalnemu. W rozważaniach pominąć rezystancję uzwojenia stojana silnika.

Rozwiązanie

Należy wyznaczyć U_f i f , przy których nowa charakterystyka mechaniczna silnika będzie taka jak na rysunku.



Z danych znamionowych wynika, że silnik ma cztery bieguny $2p = 4$, a jego prędkość synchroniczna wynosi $n_0 = 1500 \text{ obr/min}$. Obliczamy kolejno:

- poślizg znamionowy

$$s_N = \frac{n_0 - n_N}{n_0} = \frac{1500 - 1480}{1500} = 0,01333,$$

- poślizg krytyczny w znamionowych warunkach zasilania

$$s_{kN} = s_N \left(\lambda_N + \sqrt{\lambda_N^2 - 1} \right) = 0,06944,$$

gdzie λ_N – przeciążalność znamionowa silnika.

Ponieważ charakterystyki mechaniczne silnika w warunkach określonych w zadaniu są równoległe, zatem różnice pomiędzy prędkością biegu jałowego a prędkością, przy której moment silnika osiąga wartość maksymalną są sobie równe

$$\Delta n_N = \Delta n_f.$$

A ponieważ

$$\Delta n_N = n_0 - n_0(1 - s_{kN}) = 104,2 \text{ obr/min},$$

a na tej podstawie prędkość synchroniczna przy nowej częstotliwości będzie równa

$$n_{0f} = 0 + \Delta n_f = n_{0f} = 0 + \Delta n_N = 104,2 \text{ obr/min}.$$

Odpowiada temu częstotliwość napięcia stojana

$$f_f = \frac{p n_{0f}}{60} = 3,472 \text{ Hz}.$$

Nową wartość napięcia stojana wyznacza się z warunku $U/f = \text{const}$

$$U_f = U_N \frac{f_f}{f_N} = 27,78 \text{ V}.$$

Można też rozwiązać zadanie inną metodą. Po obliczeniu znamionowej wartości poślizgu krytycznego s_{kN} , wiedząc, że nowa wartość poślizgu krytycznego wynosi $s_{kf} = 1$ (bo moment rozruchowy jest równy momentowi maksymalnemu), można wyznaczyć nową wartość częstotliwości napięcia stojana

$$f_f = f_N \frac{s_{kN}}{s_{kf}} = f_N \frac{s_{kN}}{1} = 3,472 \text{ Hz},$$

gdyż poślizg krytyczny równa się

$$s_k = \frac{R_2}{X_1 + X_2}$$

i jest odwrotnie proporcjonalny do częstotliwości napięcia stojana.

Nową wartość napięcia stojana wyznacza się identycznie jak w pierwszej metodzie

$$U_f = U_N \frac{f_f}{f_N} = 27,78 \text{ V}.$$

Zadanie 2

Trójfazowy transformator separacyjny o układzie połączeń Dyn (rys. 1) ma następujące dane znamionowe:

$S_N = 10,0 \text{ kVA}$ – moc znamionowa,

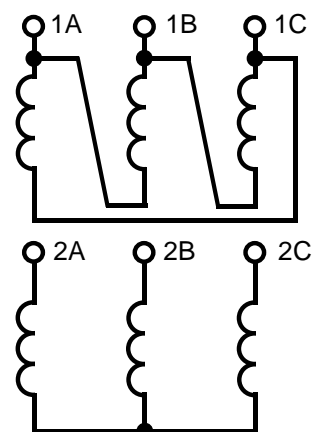
$U_{1N} = 400 \text{ V}$ – napięcie znamionowej strony pierwotnej,

$U_{2N} = 400 \text{ V}$ – napięcie znamionowej strony wtórnej.

Uzwojenia transformatora przełączono tak, aby uzyskać autotransformator o uzwojeniach skojarzonych w gwiazdę, o napięciu wyjściowym równym 400 V. Obliczyć napięcie wejściowe oraz maksymalne wartości prądów: wejściowego i wyjściowego tego autotransformatora, które nie spowodują przegrzania jego uzwojeń. W rozważaniach pominąć prąd stanu jałowego transformatora oraz problemy wytrzymałości elektrycznej izolacji transformatora.

Rozwiązanie

Prąd znamionowy (przewodowy) uzwojenia strony pierwotnej transformatora (przed przełączeniem uzwojeń) jest równy



Rys. 1

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{1N}} = 14,43 \text{ A},$$

natomiast prąd cewki fazowej uzwojenia strony pierwotnej będzie $\sqrt{3}$ razy mniejszy od prądu przewodowego

$$I_{1Nph} = \frac{I_{1N}}{\sqrt{3}} = 8,333 \text{ A}.$$

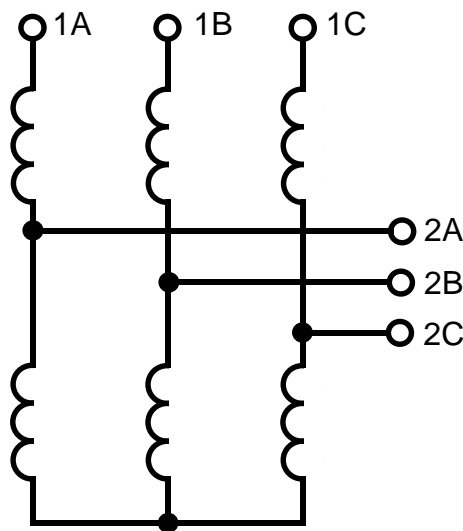
Prąd znamionowy uzwojenia strony wtórnej jest równy

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{2N}} = 14,43 \text{ A}.$$

W tym przypadku prąd znamionowy uzwojenia strony wtórnej jest równy prądowi znamionowemu cewki fazowej uzwojenia strony wtórnej transformatora.

$$I_{2N} = I_{2Nph}.$$

Ponieważ napięcie wyjściowe autotransformatora ma być równe 400 V, możliwy jest tylko jeden sposób połączenia jego uzwojeń, taki jak na rysunku poniżej, przy którym uzwojenie strony wtórnej pozostaje bez zmian.



Nowa wartość napięcia strony zasilanej (wejściowej) będzie iloczynem współczynnika skojarzenia $\sqrt{3}$ oraz sumy napięć cewek fazowych

$$U_{1N}^* = \sqrt{3}(231 + 400) = 1093 \text{ V},$$

a napięcie wyjściowe autotransformatora będzie równe napięciu znamionowemu strony wtórnej transformatora przed przełączeniem uzwojeń

$$U_{2N} = U_{2N}^* = 400 \text{ V}.$$

Zatem przekładnia autotransformatora będzie równa

$$\vartheta^* = \frac{U_{1N}^*}{U_{2N}} = 2,732.$$

Moc własna autotransformatora jest równa mocy znamionowej transformatora (przed przełączeniem uzwojeń) $S_w = 10,0 \text{ kVA}$. Moc przechodnią autotransformatora S_p można natomiast wyznaczyć ze wzoru

$$S_p = S_w \frac{\vartheta}{\vartheta - 1} = 15,77 \text{ kVA}.$$

Prąd strony zasilanej (wejściowy) autotransformatora będzie równy

$$I_{1N}^* = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{1N}^*} = 8,33 \text{ A.}$$

Równy jest on prądowi znamionowemu cewki fazowej uzwojenia strony pierwotnej, więc tej części uzwojenia autotransformatora nie grozi przegrzanie.

Prąd wyjściowy wyniesie

$$I_{2N}^* = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{2N}^*} = 22,77 \text{ A.}$$

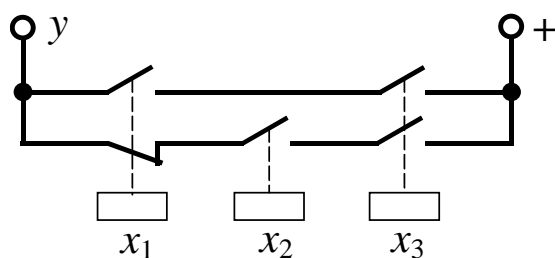
Prąd płynący w dolnej części uzwojenia (części wspólnej) I_{2ph}^* jest różnicą prądu wyjściowego I_{2N}^* i prądu wejściowego I_{1N}^*

$$I_{2ph}^* = I_{2N}^* - I_{1N}^* = 8,333 \text{ A.}$$

Zatem dawnemu uzwojeniu strony wtórnej również nie grozi przegrzanie. To sprawdzanie nie jest konieczne, jeżeli poprawnie została wyznaczona moc przechodnia S_p autotransformatora.

Zadanie 3

Przedstaw za pomocą funkcyj NAND układ przełączający, przedstawiony na rysunku 2 przy użyciu elementów stykowych.



Rys. 2

Rozwiązanie

Układ stykowy realizuje funkcję logiczną, przedstawioną za pomocą tablicy Karnaugh.

$x_1 \backslash x_2x_3$	00	01	11	10
1	0	1	1	0
0	0	0	1	0

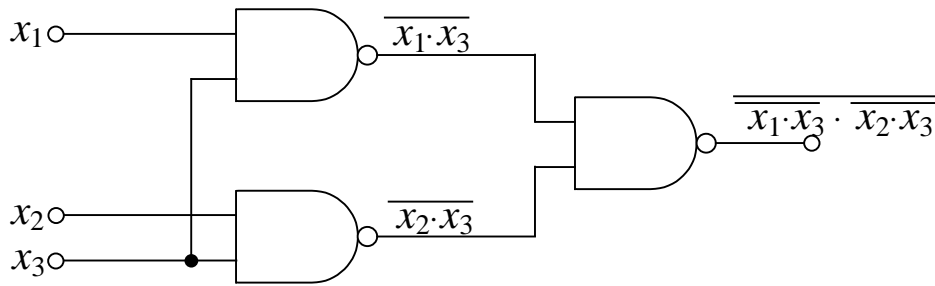
Na tej podstawie poszukiwaną funkcję można zapisać w postaci minimalnej jako

$$f(x_1, x_2, x_3) = x_2x_3 + x_3x_1$$

Zaprzeczając podwójnie to wyrażenie, otrzymamy bezpośrednio poszukiwaną funkcję, zrealizowaną za pomocą funkcyj NAND

$$\overline{x_2x_3 + x_3x_1} = \overline{x_2x_3} \cdot \overline{x_3x_1}$$

Realizację tej funkcji pokazano na rysunku.



Zadanie to można rozwiązać również bez użycia tablic Karnaugh. Na podstawie schematu stykowego można napisać funkcję opisującą zmienną y

$$f(x_1, x_2, x_3) = \bar{x}_1 x_2 x_3 + x_1 x_3 = x_3 (\bar{x}_1 x_2 + x_1) = x_3 (x_2 + x_1) = x_2 x_3 + x_3 x_1,$$

a potem z otrzymanym wyrażeniem postępujemy jak w poprzedniej metodzie. Przy przekształcaniu drugiego wyrażenia funkcji $f(x_1, x_2, x_3)$ wykorzystano tożsamość: $a + \bar{a}b = a + b$.

Zadanie 4

Z rozdzielni oddziałowej R1, zasilanej z rozdzielni głównej RG (rys. 3), zasilane są następujące odbiorniki trójfazowe:

- trzy silniki indukcyjne M1 o danych:

- $P_N = 22 \text{ kW}$ – moc znamionowa,
- $\eta_N = 91\%$ – sprawność znamionowa,
- $\cos\varphi_N = 0,90_{\text{ind}}$ – znamionowy współczynnik mocy,
- $U_N = 400 \text{ V } \Delta$ – znamionowe napięcie zasilania,
- $I_N = 38,8 \text{ A } \Delta$ – prąd znamionowy;

- dwa silniki indukcyjne M2 o danych:

- $P_N = 11 \text{ kW}$ – moc znamionowa,
- $\eta_N = 89\%$ – sprawność znamionowa,
- $\cos\varphi_N = 0,76_{\text{ind}}$ – znamionowy współczynnik mocy,
- $U_N = 400 \text{ V } \Delta$ – znamionowe napięcie zasilania,
- $I_N = 23,5 \text{ A } \Delta$ – prąd znamionowy;

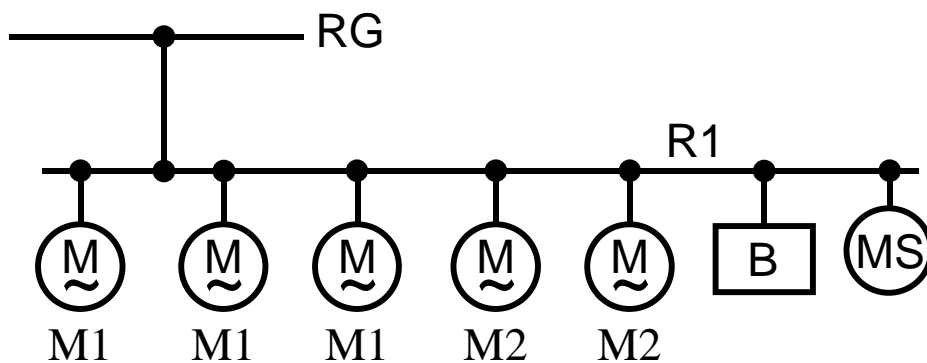
- bojler trójfazowy B o danych:

- $P_N = 4,5 \text{ kW}$ – moc znamionowa,
- $\eta_N = 94\%$ – sprawność znamionowa,
- $U_N = 400 \text{ V } Y$ – znamionowe napięcie zasilania,
- $I_N = 6,6 \text{ A } Y$ – prąd znamionowy;

- silnik synchroniczny MS o danych:

- $P_N = 55 \text{ kW}$ – moc znamionowa
- $\eta_N = 92\%$ – sprawność znamionowa,
- $\cos\varphi_N = 0,80_{\text{poj}}$ – znamionowy współczynnik mocy,
- $U_N = 400 \text{ V } Y$ – znamionowe napięcie zasilania,
- $I_N = 107,9 \text{ A } Y$ – prąd znamionowy.

Dobierz moc baterii kondensatorów energetycznych niskiego napięcia (na 400 V), która w pełni skompensuje moc bierną, pobieraną z rozdzielni R1. Należy przyjąć, że wszystkie odbiorniki obciążone są znamionowo. W którym miejscu należy zainstalować baterię: w rozdzielni głównej RG, czy też w rozdzielni oddziałowej R1?



Rys. 3

Rozwiązanie

Aby rozwiązać zadanie, sporządzić należy bilans mocy pobieranej przez odbiorniki zasilane z rozdzielni R1. W przypadku silników moc znamionowa to moc mechaniczna na wale silnika, natomiast w przypadku bojlera moc znamionowa to moc pobierana z sieci. Zatem dla silników moce pobierane z sieci P_1 i Q_1 oblicza się z następujących zależności

$$P_1 = \frac{P_N}{\eta_N} \quad \text{i} \quad Q_1 = \frac{P_N \sin \varphi_N}{\eta_N \cos \varphi_N}.$$

W przypadku bojlera $P_1 = P_N$.

Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli.

Lp.	Rodzaj odbiornika	Moc znamionowa P_N	Sprawność η_N	Współczynnik mocy $\cos \varphi_N$	Moc czynna pobierana z sieci P_1	Moc bierna pobierana z sieci Q_1
		kW	%	-	kW	kvar
1	M1	22	91	0,90	24,2	11,7
2	M1	22	91	0,90	24,2	11,7
3	M1	22	91	0,90	24,2	11,7
4	M2	11	89	0,76	12,4	10,6
5	M2	11	89	0,76	12,4	10,6
6	B	4,5	94	1,00	4,5	0
7	MS	55	92	0,80 _{poj}	59,8	-44,8*
Razem moc pobierana z sieci					161,7	11,5

* znak minus oznacza, że silnik synchroniczny MS oddaje do sieci moc bierną, czyli zachowuje się jak odbiornik o charakterze pojemnościowym

Należy zainstalować baterię kondensatorów o mocy 11,5 kvar na napięcie 400 V. Baterię należy zainstalować w rozdzielni R1, po to aby przepływ mocy biernej nie powodował dodatkowych strat mocy na linii przesyłowej między rozdzielni R1 i RG. Linia przesyłową będzie w tym przypadku przesyłana tylko energia czynna.

Opracował

dr inż. Mirosław Miszewski
PESA Bydgoszcz

Sprawdził

dr inż. Sławomir Cieślik
UTP Bydgoszcz

Zatwierdził

Przewodniczący
Rady Naukowej Olimpiady
dr inż. Sławomir Cieślik