



„EUROELEKTRA”
Ogólnopolska Olimpiada Wiedzy Elektrycznej i Elektronicznej
Rok szkolny 2016/2017

Zadania z elektrotechniki na zawody II stopnia

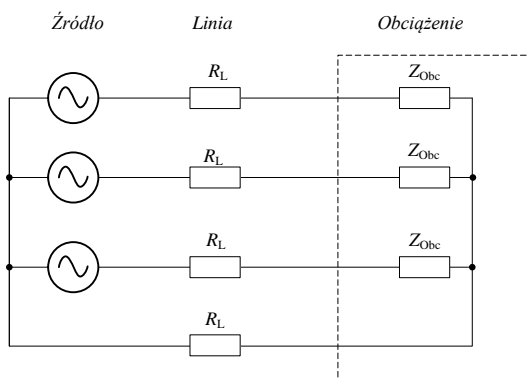
Instrukcja dla zdającego

1. Czas trwania zawodów: 120 minut.
2. II stopień olimpiady zawiera 5 zadań otwartych.
3. Należy podać poprawną odpowiedź wraz tokiem rozwiązania.
4. Za każdą prawidłową odpowiedź uzyskuje się maksymalnie 10 punktów. Maksymalna liczba punktów za 5 zadań do zdobycia to 50 punktów.
5. Można korzystać z przyborów do pisania, rozdawanych kart czystopisu i brudnopisu, kalkulatorów i tablic matematycznych. Korzystanie z notebooków, telefonów komórkowych itp. jest zabronione.

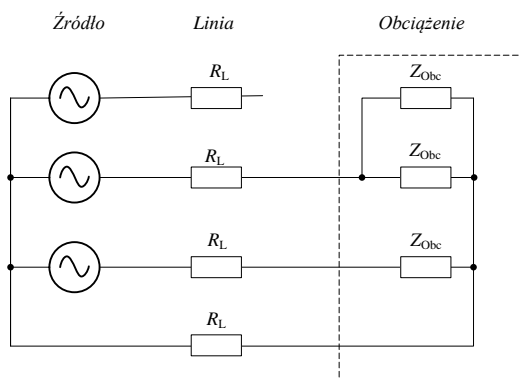
Życzymy powodzenia!

Zadanie 1

W symetrycznej i obciążonej symetrycznie odbiornikami jednofazowymi trójfazowej sieci niskiego napięcia straty mocy wynoszą $\Delta P_n = 100 \text{ W}$. Z uwagi na przepalenie się bezpiecznika w jednej fazie przełączono zasilany z niej odbiornik do jednej z pozostałych, działających faz. Ile wyniosą w przybliżeniu straty mocy w sieci w stanie awaryjnym? Uwaga: pominąć spadki napięcia w przewodach.



Rys.1. Praca normalna



Rys.2. Praca w stanie awaryjnym

Rozwiązanie:

Straty mocy w normalnym stanie pracy:

$$\begin{aligned} I_{L1} &= I_{L2} = I_{L3} = I \\ I_n &= 0 \\ \Delta P_n &= 3 \cdot I^2 \cdot R_L \end{aligned}$$

Straty mocy w awaryjnym stanie pracy:

$$\underline{I_{L1}} = 0$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_{L2} &= 2 \cdot I \cdot \left(-0,5 - j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \right), & I_{L2} &= 2 \cdot I \\ \underline{I}_{L3} &= I \cdot \left(-0,5 + j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \right), & I_{L3} &= I \\ \underline{I}_n &= \underline{I}_{L2} + \underline{I}_{L3} = 2 \cdot I \cdot \left(-0,5 - j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \right) + I \cdot \left(-0,5 + j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = I \cdot \left(-1,5 + j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \\ I_n &= I \cdot \sqrt{(-1,5)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2} = I \cdot \sqrt{2,25 + 0,75} = \sqrt{3} \cdot I \\ \Delta P_a &= (2 \cdot I)^2 \cdot R_L + I^2 \cdot R_L + (\sqrt{3} \cdot I)^2 \cdot R_L = 8 \cdot I^2 \cdot R_L \end{aligned}$$

Porównanie strat w awaryjnym i normalnym stanie pracy:

$$\frac{\Delta P_a}{\Delta P_n} = \frac{8 \cdot I^2 \cdot R_L}{3 \cdot I^2 \cdot R_L} = \frac{8}{3} \rightarrow \Delta P_a = \frac{8}{3} \cdot \Delta P_n$$

Obliczenie strat w stanie awaryjnym:

$$\Delta P_a = \frac{8}{3} \cdot \Delta P_n = \frac{8}{3} \cdot 100 = 267 \text{ W}$$

Odp.: Straty mocy w stanie awaryjnym wzrosną do około 267 W.

Zadanie 2

Cewkę rzeczywistą o indukcyjności $L = 100 \text{ mH}$ i rezystancji uzwojenia $R_L = 60 \Omega$, połączono równolegle z kondensatorem idealnym $C = 10 \mu\text{F}$. Przy jakiej pulsacji sinusoidalnego napięcia zasilającego moc bierna obwodu osiągnie wartość zero?

Rozwiązanie:

Prąd wypadkowy takiego układu \underline{I} jest sumą geometryczną prądów z obu gałęzi \underline{I}_1 i \underline{I}_2 . Wyniesie on:

$$\underline{I} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 = \underline{U} \cdot (G_1 + j \cdot B_1 + j \cdot B_C)$$

Powinien być spełniony warunek: $B_1 = B_C$, a zatem:

$$-\frac{X_L}{R_L^2 + X_L^2} + \frac{1}{X_C} = 0,$$

i z tego równania obliczyć pulsację rezonansową:

$$\omega_r = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}} = \sqrt{\frac{1}{100 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-6}} - \frac{60^2}{(100 \cdot 10^{-3})^2}} = 800 \frac{\text{rad}}{\text{s}}.$$

Odp.: pulsacja rezonansowa wynosi $800 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$.

Zadanie 3

Odcinek trójfazowej linii napowietrznej 15 kV o długości 10 km, wykonanej przewodem w postaci linki stalowo – aluminiowej typu AFL 6-70 mm², o rezystancji jednostkowej $R' = 0,44 \frac{\Omega}{\text{km}}$ i reaktancji jednostkowej $X' = 0,39 \frac{\Omega}{\text{km}}$ jest obciążony na końcu mocą czynną $P = 3 \text{ MW}$.

a) Ile wynosi napięcie międzyfazowe na początku linii, jeśli na jej końcu wartość napięcia wynosi 15,2 kV?

b) Dla danego obciążenia mocą czynną dobierz takie obciążenie mocą bierną, aby wartość napięcia na początku linii była taka sama jak na jej końcu? Określ charakter tej mocy (indukcyjny czy pojemnościowy).

Rozwiązanie:**a)**

$$U_p = U_k + \Delta U$$

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_N}$$

$$U_p = U_k + \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_N}$$

$$R_L = R' \cdot l_1$$

$$X_L = X' \cdot l_1$$

Obliczenia:

$$R = R' \cdot l_1 = 0,44 \cdot 10 = 4,4 \, \Omega$$

$$X = X' \cdot l_1 = 0,39 \cdot 10 = 3,9 \, \Omega$$

$$U_p = U_k + \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_N} = 15,2 + \frac{3 \cdot 4,4 + 0 \cdot 3,9}{15} = 16,1 \, \text{kV}$$

Odp. dla a): Napięcie na początku linii wynosi 16,1 kV

b)

$$U_p = U_k \rightarrow \Delta U = 0$$

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_N}$$

$$0 = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_N}$$

$$Q = -\frac{P \cdot R}{X}$$

Obliczenia:

$$Q = -\frac{P \cdot R}{X} = -\frac{3 \cdot 4,4}{3,9} = -3,4 \, \text{Mvar}$$

Odp. dla b): Jest to moc bierna pojemnościowa o wartości 3,4 Mvar.

Zadanie 4

Dane znamionowe trójfazowego silnika klatkowego są następujące: napięcie 230/400 V Δ/Y , prąd 22,4/12,9 A Δ/Y , częstotliwość 60 Hz, współczynnik mocy 0,75, sprawność 82 %, moment 75 Nm. Ile wynosi liczba par biegunów tego silnika oraz jego prędkość synchroniczna przy zasilaniu znamionowym?

RozwiązanieMoc znamionową P_N silnika można obliczyć ze wzoru:

$$P_N = \eta_N \cdot \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_N \cdot \cos \varphi_N = 0,82 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 12,9 \cdot 0,75 = 5500 \, \text{W},$$

gdzie:

 η_N – sprawność znamionowa; U_N, I_N – wartości znamionowe napięcia i prądu zasilania (można podstawić zarówno obie wartości dla układu połączeń uzwojeń silnika w gwiazdę Y, jak i obie dla układu połączeń w trójkąt Δ); $\cos \varphi_N$ – znamionowy współczynnik mocy.Znamionową prędkość silnika n_N można obliczyć ze wzoru:

$$n_N = \frac{60}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{P_N}{T_N} = \frac{60 \cdot 5500}{2 \cdot \pi \cdot 75} = 700 \frac{\text{obr}}{\text{min}},$$

gdzie:

 T_N – moment znamionowy.

Prędkość synchroniczną n_s można obliczyć ze wzoru:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

gdzie:

f – częstotliwość napięcia zasilającego;

p – liczba par biegunów silnika.

Wiedząc, że p jest liczbą naturalną, po podstawieniu $f = 60$ Hz uzyskuje się następujące potencjalnie możliwe wartości prędkości synchronicznej:

dla $p = 4$:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 60}{4} = 900 \frac{\text{obr}}{\text{min}},$$

dla $p = 5$:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 60}{5} = 720 \frac{\text{obr}}{\text{min}},$$

oraz dla $p = 6$:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 60}{6} = 600 \frac{\text{obr}}{\text{min}}.$$

Ponieważ prędkość synchroniczna powinna być nieznacznie większa od znamionowej, mamy ostatecznie: $p = 5$ i $n_s = 720$ obr/min.

Wariant $p = 4$ i $n_s = 900$ obr/min odpada, gdyż wtedy poślizg znamionowy byłby równy:

$$s_N = \frac{n_s - n_N}{n_s} = \frac{900 - 700}{900} = 0,22,$$

co byłoby to wartością zbyt dużą dla silnika o mocy znamionowej rzędu kilku kilowatów.

Zadanie 5

Dwa identyczne komutatorowe silniki obcowzbudne pracują na jednym wale, napędzając wspólnie maszynę roboczą, której moment oporowy wynosi 270 Nm. Dane znamionowe silników: napięcie twornika 440 V, prąd twornika 57 A, moc 22 kW, prędkość 1500 obr/min, rezystancja twornika 0,5 Ω . Prąd wzbudzenia każdego z silników jest równy znamionowemu prądowi wzbudzenia. Oba silniki zasilane są z tego samego źródła napięcia o wartości 400 V i o zanedbywalnie małej rezystancji wewnętrznej, jednak całkowita rezystancja przewodu zasilającego obwód twornika pierwszego silnika wynosi 0,15 Ω , a całkowita rezystancja przewodu zasilającego obwód twornika drugiego silnika wynosi 0,25 Ω . Obliczyć prąd twornika każdego z silników, a także prędkość obrotową zespołu tych trzech maszyn. Przyjąć, że w każdym silniku występują jedynie straty na rezystancji twornika, straty na rezystancji wzbudzenia oraz straty mechaniczne, czyli że brak jest strat w żelazie i strat dodatkowych. Przyjąć też że rezystancja twornika nie zależy od wartości prądu twornika, a moment strat mechanicznych nie zależy od wartości prędkości.

Rozwiązanie

Brakujące parametry znamionowe każdego z silników:

– znamionowa prędkość kąтова:

$$\omega_n = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_N}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1500}{60} = 157 \text{ rad/s},$$

– stała $c \cdot \Phi = \Psi$, odpowiadająca znamionowemu strumieniowi wzbudzenia:

$$\Psi = \frac{U_{tN} - I_{tN} \cdot R_{tN}}{\omega_N} = \frac{440 - 57 \cdot 0,5}{157,1} = 2,619 \text{ Wb},$$

– znamionowe straty mechaniczne ΔP_{mN} można obliczyć, odejmując od mocy elektrycznej pobieranej przez obwód twornika, moc znamionową (mechaniczną) oraz znamionowe straty na rezystancji twornika:

$$\Delta P_{mN} = U_{tN} \cdot I_{tN} - P_N - R_{tN} \cdot I_{tN}^2 = 440 \cdot 57 - 22000 - 0,5 \cdot 57^2 = 1456 \text{ W}$$

– moment strat mechanicznych ΔT :

$$\Delta T = \frac{\Delta P_{mN}}{\omega_N} = \frac{1456}{157,1} = 9,27 \text{ Nm}$$

Ponieważ wirniki obu silników zawsze wirują z jednakową prędkością (wspólny wał), a silniki są identyczne i wzbudzone tym samym prądem, dlatego wartości SEM indukowanych w twornikach obu silników E będą takie same.

Dla pierwszego silnika można zapisać równanie napięć obwodu twornika:

$$E = U - (R_{tN} + R_{p1}) \cdot I_{t1} = 400 - (0,5 + 0,15) \cdot I_{t1} = 400 - 0,65 \cdot I_{t1},$$

gdzie:

$U = 400 \text{ V}$ – napięcie źródła zasilającego;

$R_{p1} = 0,15 \Omega$ – rezystancja przewodu zasilającego pierwszy silnik;

I_{t1} – szukany prąd twornika pierwszego silnika.

Analogicznie, równanie napięć obwodu twornika drugiego silnika:

$$E = U - (R_{tN} + R_{p2}) \cdot I_{t2} = 400 - (0,5 + 0,25) \cdot I_{t2} = 400 - 0,75 \cdot I_{t2}$$

gdzie:

$R_{p2} = 0,25 \Omega$ – rezystancja przewodu zasilającego drugi silnik;

I_{t2} – szukany prąd twornika drugiego silnika.

Porównując powyższe równania napięć, otrzymuje się:

$$400 - 0,65 \cdot I_{t1} = 400 - 0,75 \cdot I_{t2}.$$

Stąd mamy: $I_{t1} = 1,154 \cdot I_{t2}$

Maszynę roboczą napędzają oba silniki, a więc suma momentów mechanicznych (na wale) wytwarzanych przez silnik pierwszy T1 i drugi T2 jest równa momentowi oporowemu maszyny roboczej TMR:

$$T_{MR} = T_1 + T_2 = (\Psi \cdot I_{t1} - \Delta T) + (\Psi \cdot I_{t2} - \Delta T)$$

Po podstawieniu wartości liczbowych oraz wcześniej uzyskanej zależności $I_{t1} = 1,154 \cdot I_{t2}$:

$$270 = [2,619 \cdot (1,154 \cdot I_{t2}) - 9,268] + [2,619 \cdot I_{t2} - 9,268],$$

skąd: $I_{t2} = 51,15 \text{ A}$ oraz $I_{t1} = 1,154 \cdot I_{t2} = 1,154 \cdot 51,15 = 59,03 \text{ A}$

Jak widać, prąd pierwszego silnika nieco przekracza wartość znamionową, a więc taki stan nie jest dozwolony przy pracy S1 (ciągłej).

Znając wartość któregośkolwiek z prądów twornika, można obliczyć wartość SEM indukowanej w tworniku. Na przykład, dla pierwszego silnika wyliczono wcześniej:

$$E = 400 - 0,65 \cdot I_{t1}$$

Po podstawieniu: $I_{t1} = 59,03 \text{ A}$ uzyskuje się: $E = 361,6 \text{ V}$,

$$\text{skąd: } \omega = \frac{E}{\Psi} = \frac{361,6}{2,619} = 138,1 \text{ rad/s} \text{ oraz: } n = \frac{60}{2 \cdot \pi} \cdot \omega = 1319 \text{ obr/min.}$$

A więc poszukiwana prędkość obrotowa wyniesie 1319 obr/min.

Opracowali:

dr inż. Sylwester Adamek,
dr inż. Leszek Jaroszyński,
dr inż. Marek Niechaj

Sprawdził:

dr inż. Mirosław Miszewski

Zatwierdził:

Przewodniczący Rady Naukowej Olimpiady
dr hab. inż. Sławomir Cieślak