

Задача 1

Трехфазный двухобмоточный трансформатор характеризуется следующими величинами: мощность S_H ; высшее линейное U_{BH} ; низшее линейное напряжение U_{HH} ; мощность потерь холостого хода P_0 ; мощность потерь короткого замыкания P_K ; напряжение короткого замыкания U_K ; ток холостого хода i_0 ; коэффициент полезного действия η , определенный при коэффициенте нагрузки $\beta = 1$ и $\cos\varphi_2 = 0,8$; параметры упрощенной схемы замещения r_k и x_k ; параметры намагничивающей ветви r_M и x_M .

Числовые значения заданных величин, схема соединения обмоток и номера пунктов задания, подлежащих выполнению, указаны в табл. 1.2.

Выполнить следующее:

1. Начертить схему трансформатора.
2. Определить номинальные токи в обмотках трансформатора.
11. Определить процентное изменение вторичного напряжения ΔU_2 при значениях коэффициента нагрузки $\beta = 0; 0.25; 0.5; 0.75; 1.0$ при $\cos\varphi_2 = 0,8$ ($\varphi_2 > 0$ и $\varphi_2 < 0$).

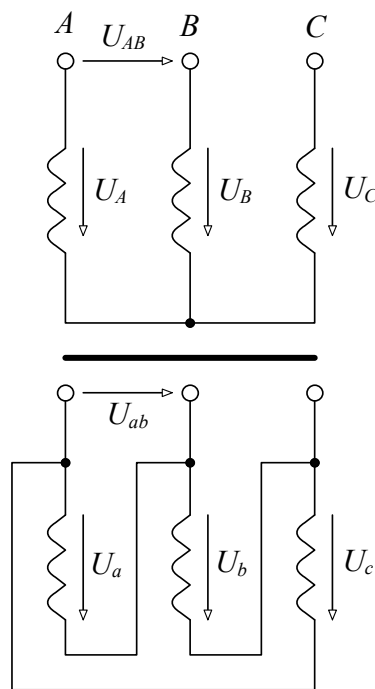
Таблица 1

Числовые значения заданных величин

Вариант	S_n , кВА	U , кВ		P_0 , кВт	P_k , кВт	U_k , %	i_0 , %
		BH	HH				
	40	6,3	0,23	0,240	0,880	4,5	4,5

Решение

1. Схема трансформатора при соединении обмоток Y/Δ (рис. 1)

Рис. 1 Схема трансформатора при соединении обмоток Y/Δ

2. Номинальные токи первичной и вторичной обмоток

$$I_{1н} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{BH}} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 6.3} = 3.666 \text{ А};$$

$$I_{2н} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{HH}} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 0.23} = 100.4 \text{ А}.$$

3. Фазные напряжения и токи.

Первичная обмотка трансформатора соединена в *звезду*, поэтому фазные напряжения и токи

$$U_{1\phi} = \frac{U_{BH}}{\sqrt{3}} = \frac{6.3}{\sqrt{3}} = 3.637 \text{ кВ};$$

$$I_{1\phi} = I_{1н} = 3.666 \text{ А}.$$

Вторичная обмотка трансформатора соединена *треугольником*, поэтому фазные напряжения и токи

$$U_{2\phi} = U_{HH} = 0.23 \text{ кВ};$$

$$I_{2\phi} = \frac{I_{2н}}{\sqrt{3}} = \frac{100.4}{\sqrt{3}} = 58 \text{ А}.$$

4. Сопротивления короткого замыкания

$$Z_k = \frac{U_{к\phi}}{I_{к\phi}} = \frac{U_k \cdot U_{1\phi}}{I_{1\phi}} = \frac{0.045 \cdot 3.637 \cdot 10^3}{3.666} = 44.64 \text{ Ом};$$

$$r_k = \frac{P_k}{3I_{к\phi}^2} = \frac{P_k}{3I_{1\phi}^2} = \frac{0.880 \cdot 10^3}{3 \cdot 3.666^2} = 21.83 \text{ Ом};$$

$$x_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2} = \sqrt{44.64^2 - 21.83^2} = 38.94 \text{ Ом}.$$

5. Процентное изменение вторичного напряжения ΔU_2 .

Потеря напряжения во вторичной обмотке трансформатора

$$\Delta U_2 = \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \cdot \sin \varphi_2),$$

где активная составляющая падения напряжения

$$U_a = U_k \cdot \cos \varphi_k; \quad \cos \varphi_k = \frac{r_k}{Z_k};$$

$$U_a = U_k \cdot \frac{r_k}{Z_k} = 4.5 \cdot \frac{21.83}{44.64} = 2.20 \text{ \%}.$$

реактивная составляющая падения напряжения

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{4.5^2 - 2.20^2} = 3.93 \text{ \%}.$$

Процентное изменение вторичного напряжения при $\cos \varphi_2 = 0.8$ ($\varphi_2 > 0$)

$$\begin{aligned} \Delta U_2(\beta) &= \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \cdot \sin \varphi_2) = \\ &= \beta \cdot (2.20 \cdot 0.8 + 3.93 \cdot 0.6) = \\ &= \beta \cdot 4.12 \text{ \%}. \end{aligned}$$

Задаваясь значениями коэффициента нагрузки $\beta = 0; 0.25; 0.50; 0.75; 1.0$ находим соответствующие значения процентного изменения вторичного напряжения $\Delta U_2(\beta)$ при $\cos \varphi_2 = 0.8$ ($\varphi_2 > 0$). Результаты расчетов заносим в таблицу 2.

Таблица 2

Процентное изменение вторичного напряжения $\Delta U_2(\beta)$ при $\cos \varphi_2 = 0.8$ ($\varphi_2 > 0$)

β	0	0,25	0,5	0,75	1,0
$U_2, \text{В}$	0	1,03	2,06	3,09	4,12

Процентное изменение вторичного напряжения при $\cos \varphi_2 = 0.8$ ($\varphi_2 < 0$)

$$\begin{aligned} \Delta U_2(\beta) &= \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \cdot \sin \varphi_2) = \\ &= \beta \cdot [2.20 \cdot 0.8 + 3.93 \cdot (-0.6)] = \\ &= \beta \cdot (-0.60) \text{ \%}. \end{aligned}$$

Задаваясь значениями коэффициента нагрузки $\beta = 0; 0.25; 0.50; 0.75; 1.0$ находим соответствующие значения процентного изменения вторичного напряжения $\Delta U_2(\beta)$ при $\cos \varphi_2 = 0.8$ ($\varphi_2 < 0$). Результаты расчетов заносим в таблицу 3.

Таблица 3

Процентное изменение вторичного напряжения $\Delta U_2(\beta)$ при $\cos \varphi_2 = 0.8$ ($\varphi_2 < 0$)

β	0	0,25	0,5	0,75	1,0
$U_2, \text{В}$	0	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60

По результатам расчетов строим зависимость $\Delta U_2(\beta)$ (рис. 2).

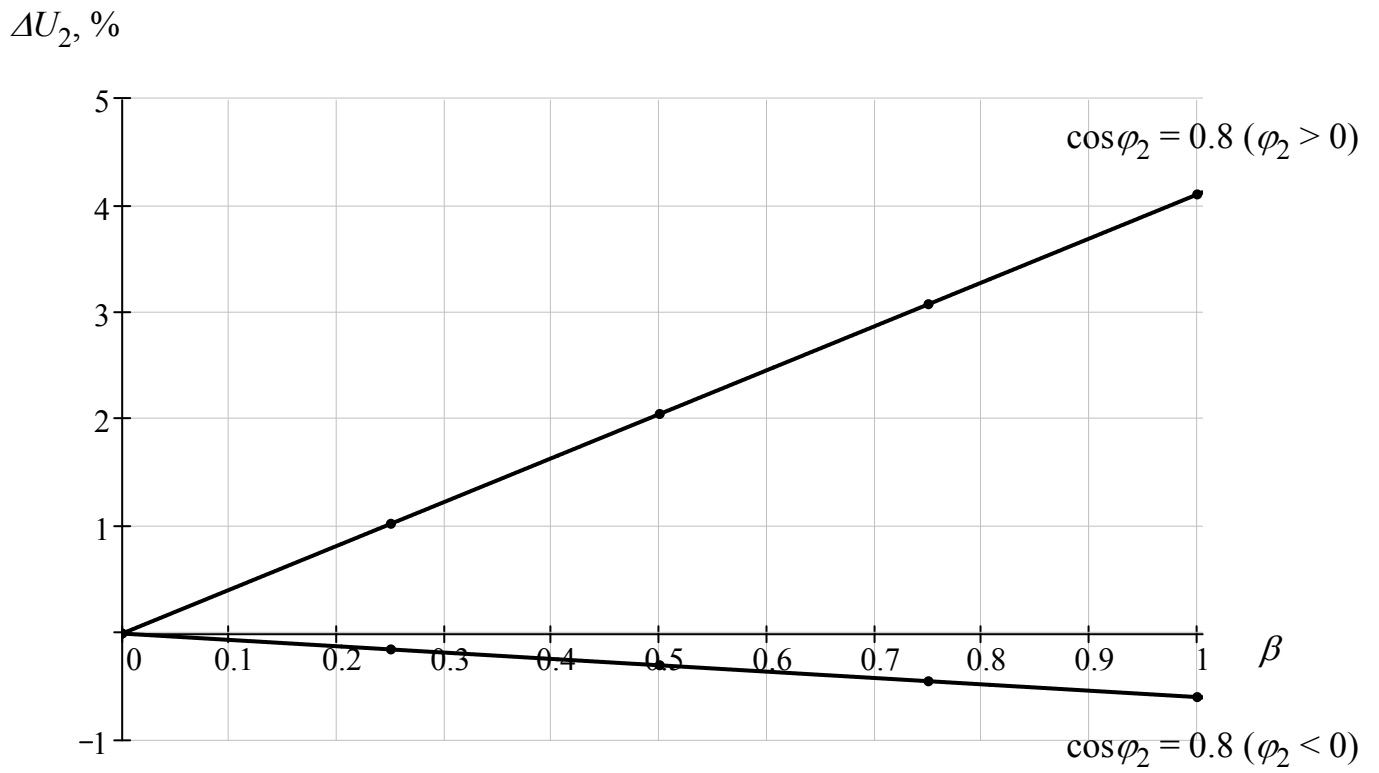


Рис. 2 Процентное изменение вторичного напряжения $\Delta U_2(\beta)$

Задача 2

Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором характеризуется следующими величинами: номинальная мощность P_n ; ток I_n ; частота вращения n_n ; скольжение s_n ; коэффициент полезного действия η_n ; мощность, потребляемая из сети P_{1n} ; коэффициент мощности $\cos\varphi_{1n}$ при номинальной нагрузке; номинальный момент M_n ; кратность максимального момента относительно номинального M_{\max}/M_n ; кратность пускового момента относительно номинального $M_{\text{п}}/M_n$; кратность пускового тока относительно номинального $I_{\text{п}}/I_n$; критическое скольжение $s_{\text{кр}}$; число пар полюсов обмотки статора p ; синхронная частота вращения n_0 .

Двигатель питается от сети с линейным напряжением U_n .

Номинальное фазное напряжение обмотки статора $U_{1\phi} = 220 \text{ В}$.

Числовые значения заданных величин, схема соединения обмоток и номера пунктов задания, подлежащих выполнению, указаны в табл. **2.2**.

Задание: сформулировать условие задачи для своего варианта и выполнить следующее:

1. Определить способ соединения обмотки статора.
2. Начертить схему.
3. Определить число пар полюсов обмотки статора.
6. Определить частоту вращения двигателя при $M = 1,4 M_n$.
14. Определить коэффициент полезного действия при номинальной нагрузке.

Таблица 1

Параметры трехфазного асинхронного двигателя

Вариант	$U_H, \text{В}$	$M_H, \text{Н}\cdot\text{м}$	$n_H, \text{об / мин}$	$I_H, \text{А}$	$\cos \varphi_{1H}$	$\lambda = \frac{M_{\max}}{M_H}$
	380	260	1470	75	0,89	2,0

Решение

1. Трехфазный асинхронный двигатель включается в сеть с номинальным напряжением $U_H = 380 \text{ В}$. К фазе обмотки статора необходимо подвести напряжение $U_{1\phi} = 220 \text{ В}$.

Так как $\frac{U_H}{U_{1\phi}} = \sqrt{3}$, то способ соединения обмоток статора – "звезда".

2. Схема соединения обмоток статора (рис. 1).

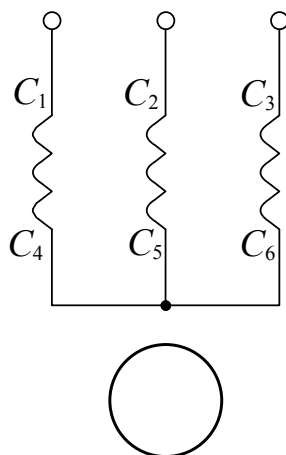


Рис. 1 Схема соединения обмоток статора – "звезда"

3. Число пар полюсов статорной обмотки находится по формуле

$$p = \frac{60 \cdot f}{n_0},$$

где

$f = 50 \text{ Гц}$ – промышленная частота тока;

$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p}$ – синхронная частота (частота вращения магнитного поля статора), при целом числе пар полюсов $p = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \dots$ принимает значения 3000, 1500, 1000, 750, 600, 500

При $n_H = 1470 \text{ об/мин}$ ближайшая синхронная частота $n_0 = 1500 \text{ об/мин}$.

Число пар полюсов статорной обмотки двигателя

$$p = \frac{60 \cdot f}{n_0} = \frac{60 \cdot 50}{1500} = 2$$

4. Активная мощность, потребляемая двигателем из сети

$$\begin{aligned} P_{1H} &= \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_H \cdot \cos \varphi_{1H} = \\ &= \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 75 \cdot 0.89 = 43933 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

5. Номинальная мощность двигателя

$$P_H = \frac{M_H \cdot n_H}{9.55} = \frac{260 \cdot 1470}{9.55} = 40021 \text{ Вт.}$$

6. Максимальный (критический) момент

$$M_{max} = M_{кр} = \lambda \cdot M_H = 2.0 \cdot 260 = 520.0 \text{ Н·м.}$$

7. Номинальное скольжение

$$s_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{1500 - 1470}{1500} = 0.02$$

8. Критическое скольжение

$$s_{кр} = s_H \cdot \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right) = 0.02 \cdot \left(2.0 + \sqrt{2.0^2 - 1} \right) = 0.0746$$

9. Частота вращения двигателя при $M = 1.4 \cdot M_H = 364 \text{ Н·м.}$

При включении двигателя скорость вращения равна нулю. Двигатель набирает обороты до скорости вращения

$$s_1 = s_{кр} \cdot \left(\frac{M_{max}}{M} + \sqrt{\left(\frac{M_{max}}{M} \right)^2 - 1} \right) = 0.0746 \cdot \left[\frac{520}{364} + \sqrt{\left(\frac{520}{364} \right)^2 - 1} \right] = 0.1827$$

$$n_1 = n_0 \cdot (1 - s_1) = 1500 \cdot (1 - 0.1827) = 1226 \text{ об/мин.}$$

При этом достигается момент вращения равный $1.4M_H$. Так как на этом участке механической характеристики режим неустойчивый, двигатель раскручивается дальше до частоты вращения $n_{кр} = n_0 \cdot (1 - s_{кр}) = 1500 \cdot (1 - 0.0746) = 1388 \text{ об/мин.}$ При этом достигается максимальный момент на валу двигателя M_{max} .

Далее, при увеличении скорости вращения двигателя, момент на валу двигателя падает до значения $1.4M_H$. При этом устанавливается скорость вращения

$$s_2 = s_{kp} \cdot \left(\frac{M_{\max}}{M} - \sqrt{\left(\frac{M_{\max}}{M} \right)^2 - 1} \right) = 0.0746 \cdot \left[\frac{520}{364} - \sqrt{\left(\frac{520}{364} \right)^2 - 1} \right] = 0.0305$$

$$n_2 = n_0 \cdot (1 - s_2) = 1500 \cdot (1 - 0.0305) = 1454 \text{ об/мин.}$$

На этом участке механической характеристики двигатель работает в устойчивом режиме.

10. Коэффициент полезного действия при номинальной нагрузке

$$\eta_H = \frac{P_H}{P_{1H}} = \frac{40021}{43933} \cdot 100 = 91.1 \%$$

Библиографический список

Основной:

1. Электротехника. / Под ред. В. С. Пантюшина. – М.: Высш. шк., 1976.
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Академия, 2003.

Дополнительный:

1. Основы промышленной электроники. /Под ред. В.Г. Герасимова – М.: Высш. шк., 1978.
2. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника. – М.: Высш. шк., 1991.