

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова

**Р. А. СТАВИНСЬКИЙ**

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до практичних занять з курсу  
"Електричні машини"**

**Частина I**

**Електричні машини постійного струму і трансформатори**

*Рекомендовано Методичною радою НУК*

Миколаїв 2007

УДК 621.313

**Ставинський Р.А.** Методичні вказівки до виконання практичних занять з курсу "Електричні машини": У 2 ч. – Ч. 1. Електричні машини постійного струму і трансформатори. – Миколаїв: НУК, 2007. – 32 с.

*Кафедра суднових електроенергетичних систем*

Методичні вказівки відповідають навчальній програмі курсу "Електричні машини" та наступним розділам: "Машини постійного струму", "Трансформатори", "Асинхронні машини", "Синхронні машини". Кожен розділ вказівок містить стислі теоретичні відомості; приклади розв'язання типових задач, які роз'яснюють ті або інші властивості електричних машин і трансформаторів; завдання для самостійної та контрольної роботи.

Призначені для студентів бакалаврату "Електромеханіка" ІАЕ НУК денної та заочної форм навчання.

*Рецензенти:* канд. техн. наук, доцент Кімстач О.Ю.;  
д-р техн. наук, професор Локаревіч В.І.

# 1. КОЛЕКТОРНІ МАШИНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

## 1.1. Короткі теоретичні відомості

Електричними машинами (ЕМ) називають електромеханічні пристрої з рухомими елементами будови обертового або поступального руху, дія яких заснована на явищі електромагнітної індукції. Такі ЕМ призначені для перетворення механічної енергії на електричну (генератори), електричної енергії на механічну (двигуни), а також для перетворення параметрів електричної енергії статичними (трансформаторами) та обертовими перетворювачами.

Електричні машини постійного струму містять механічний або напівпровідниковий комутатор струму. Машини з механічним комутатором (колектором) використовуються як генератори і двигуни. Основною перевагою колекторних машин постійного струму (КМПС) порівняно з іншими типами машин є можливість плавного регулювання відносно простими засобами частоти обертання двигунів і напруги на затискачах генераторів у широких межах.

Напруга  $U$  на затискачах КМПС визначається рівнянням

$$U = E \pm I_a \sum R_a ,$$

де  $E$  – електрорушійна сила (ЕРС) обмотки якоря (ротора);  $I_a$  – струм якоря;  $\sum R_a$  – опір кола якоря; знак "+" відповідає режиму двигуна, знак "-" – режиму генератора.

Величина  $E$  залежить від значення магнітного потоку  $\Phi$ , частоти обертання якоря машини  $n$ , а також конструктивної сталої  $C_e$ :

$$E = C_e \Phi n ; \quad C_e = pN / (60a),$$

де  $p$  – кількість пар полюсів;  $N$  – кількість провідників у обмотці;  $2a$  – кількість паралельних віток.

Електромагнітний момент КМПС

$$M_{\text{ем}} = C_m \Phi I_a ,$$

де  $C_m$  – коефіцієнт, який залежить від конструктивних параметрів ЕМ;  
 $C_m = pN / (2\pi a)$ .

Електромагнітна потужність  $P_{\text{ем}} = EI_a = M_{\text{ем}} \omega$ , де  $\omega$  – кутова швидкість обертання;  $\omega = 2\pi n / 60$ .

Корисна потужність, яка віддається генератором,  $P_2 = UI$ , де  $I$  – струм зовнішнього кола.

Потужність, що підводиться до двигуна,  $P_1 = UI$ .

Обертовий момент на валу двигуна пов'язаний з його корисною потужністю співвідношенням  $M = P_2 / \omega = 9,55 P_2 / n$ .

Коефіцієнт корисної дії (ККД) КМПС

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma P} ,$$

де  $\Sigma P$  – сумарні втрати машини, які складаються з електричних утрат в обмотках збудження і якоря, магнітних, механічних і додаткових утрат.

## 1.2. Приклади розв'язання типових задач

### Приклад 1

Генератор з незалежним збудженням у номінальному режимі віддає корисну потужність  $P_{\text{ном2}} = 32$  кВт при напрузі на затискачах  $U_{\text{ном}} = 230$  В. ККД генератора  $\eta_{\text{ном}} = 0,87$ ; напруга збудження  $U_3 = 115$  В; опір обмотки якоря  $R_a = 0,026$  Ом; опір обмотки збудження  $R_3 = 46$  Ом. Необхідно визначити номінальний струм генератора  $I_{\text{ном}}$ ; струм збудження  $I_3$ ; ЕРС генератора  $E$ ; опір навантаження  $R_{\text{н}}$ ; споживану потужність  $P_1$ ; електричні втрати в обмотках збудження  $P_3$  та якоря  $P_a$ ; сумарні втрати  $\Sigma P$ .

### Розв'язання

Номінальний струм генератора  $I_{\text{ном}} = P_{\text{ном2}} / U_{\text{ном}} = 32000 / 230 = 139,1 \text{ А}$ .

Струм обмотки збудження  $I_3 = U_3 / R_3 = 115 / 46 = 2,5 \text{ А}$ .

ЕРС генератора  $E = U_{\text{ном}} + I_{\text{ном}} R_a = 230 + 139,1 \cdot 0,026 = 233,6 \text{ В}$ .

Опір навантаження визначається за відомими величинами номінальних напруги та струму:

$$R_{\text{н}} = U_{\text{ном}} / I_{\text{ном}} = 230 / 139,1 = 1,65 \text{ Ом}.$$

Споживана потужність

$$P_{\text{ном}} = P_{2\text{ном}} / \eta_{\text{ном}} = 32 / 0,87 = 36,8 \text{ кВт}.$$

Визначаємо електричні втрати в обмотках збудження та якоря:

$$P_3 = I_3^2 R_3 = 2,5^2 \cdot 46 = 287,5 \text{ Вт};$$

$$P_a = I_a^2 R_a = 139,1^2 \cdot 0,026 = 503,1 \text{ Вт}.$$

Сумарні втрати потужності  $\Sigma P = P_1 - P_{\text{ном2}} = 36,8 - 32 = 4,8 \text{ кВт}$ .

### Приклад 2

Чотириполюсний двигун з паралельним збудженням увімкнено в мережу з  $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$ . При цьому двигун споживає струм  $I = 157 \text{ А}$ . Обмотка якоря з опором  $R_a = 0,0427 \text{ Ом}$  складається з 360 провідників, які утворюють чотири паралельні вітки. Опір обмотки збудження  $R_3 = 44 \text{ Ом}$ ; магнітний потік полюса  $\Phi = 0,008 \text{ Вб}$ . Визначити струми в обмотках збудження і якоря; протиЕРС двигуна; електромагнітні момент та потужність; частоту обертання якоря.

### Розв'язання

Визначаємо струми в обмотках збудження та якоря:

$$I_3 = U_{\text{ном}} / R_3 = 220 / 44 = 5 \text{ А}; \quad I_a = I - I_3 = 157 - 5 = 152 \text{ А}.$$

ПротиЕРС в обмотці якоря

$$E = U_{\text{ном}} - I_a R_a = 220 - 152 \cdot 0,0427 = 213,5 \text{ В}.$$

Електромагнітний момент

$$M_{\text{ем}} = p N \Phi N_a / (2\pi a) = 2 \cdot 360 \cdot 0,008 \cdot 152 / (2 \cdot 3,14 \cdot 2) = 69,7 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

## Електромагнітна потужність

$$P_{\text{ем}} = EI_a = 213,5 \cdot 152 = 32450 \text{ Вт.}$$

Частота обертання якоря

$$n = 60aE / (pN\Phi) = 60 \cdot 2 \cdot 213,5 / (2 \cdot 360 \cdot 0,008) = 4450 \text{ об/хв.}$$

### 1.3. Завдання для контрольної роботи № 1

#### Задача 1

Генератор постійного струму з незалежним збудженням працює в номінальному режимі і віддає корисну потужність  $P_{\text{ном2}}$  при напрузі на затискачах  $U_{\text{ном}}$  та розвиває ЕРС  $E$ . У табл. 1.1 наведені такі величини:  $P_1$  – потужність первинного двигуна, що обертає генератор;  $I_{\text{ном}} = I_a$  – струм навантаження, який віддається генератором у зовнішнє коло;  $I_3$  – струм в обмотці збудження;  $R_n$  – опір навантаження;  $R_a$  – опір обмотки якоря;  $R_3$  – опір обмотки збудження;  $U_3$  – напруга на обмотці збудження;  $\eta_{\text{ном}}$  – ККД генератора;  $P_a$ ,  $P_3$  – електричні втрати відповідно в обмотці якоря та обмотці збудження;  $\Sigma P$  – сумарні втрати в генераторі. Використовуючи ці дані, визначити невідомі величини.

Таблиця 1.1

| Величини                | Варіанти |       |       |       |       |       |       |      |       |      |
|-------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|
|                         | 1        | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8    | 9     | 10   |
| $P_{\text{ном2}}$ , кВт | ?        | ?     | 230   | ?     | ?     | ?     | ?     | 110  | 19    | 99   |
| $U_{\text{ном}}$ , В    | ?        | 460   | ?     | 230   | 230   | 230   | 230   | ?    | 115   | ?    |
| $E$ , В                 | 233,6    | ?     | 243,0 | ?     | 233,6 | ?     | ?     | ?    | ?     | ?    |
| $P_1$ , кВт             | 37       | 110   | ?     | 40    | ?     | ?     | ?     | ?    | 23    | ?    |
| $I_{\text{ном}}$ , А    | 139      | ?     | ?     | ?     | 139   | 826   | 1000  | 478  | ?     | ?    |
| $R_n$ , Ом              | 1,65     | ?     | 0,23  | ?     | ?     | ?     | ?     | ?    | ?     | 2,14 |
| $R_a$ , Ом              | ?        | 0,054 | ?     | 0,07  | ?     | 0,006 | 0,013 | ?    | 0,13  | ?    |
| $R_3$ , Ом              | ?        | ?     | ?     | 100,0 | ?     | 18,5  | 11,5  | 44,5 | 110,0 | 46,0 |
| $U_3$ , В               | 115      | 230   | 115   | ?     | 115   | 230   | 115   | 230  | ?     | 230  |
| $\eta_{\text{ном}}$     | ?        | 0,9   | ?     | ?     | ?     | ?     | 0,9   | 0,9  | ?     | ?    |
| $P_a$ , Вт              | ?        | ?     | ?     | ?     | ?     | ?     | ?     | 1140 | ?     | 2500 |
| $P_3$ , Вт              | 288      | 1150  | 1150  | 132   | 287   | ?     | ?     | ?    | 110   | ?    |
| $\Sigma P$ , кВт        | ?        | ?     | 24,0  | 5,0   | 4,8   | 15,0  | ?     | ?    | ?     | 11,0 |
| $I_3$ , А               | 2,5      | 1,15  | 1,0   | 2,3   | 1,15  | ?     | ?     | ?    | 1,0   | ?    |

## Задача 2

1. Генератор постійного струму з незалежним збудженням приводиться в обертання двигуном змінного струму потужністю  $P_1$ . 2. Генератор розвиває електромагнітну потужність  $P_{\text{ем}}$  і віддає в навантаження струм  $I_{\text{ном}}$  при напрузі  $U_{\text{ном}}$ . У табл. 1.2 наведені такі величини:  $P_{\text{ном}}$  – номінальна потужність генератора;  $\Sigma P$  – сумарні втрати потужності в генераторі;  $\eta_{\text{г}}$  – ККД генератора;  $R_a$  – опір обмотки якоря;  $E$  – ЕРС генератора;  $P_a$  – втрати потужності в обмотці якоря;  $M_{\text{ем}}$  – електромагнітний гальмівний момент на валу генератора, урівноважений обертовим моментом привідного двигуна;  $n_{\text{ном}}$  – частота обертання якоря. Використовуючи табличні дані, визначити невідомі величини.

Таблиця 1.2

| Величини                 | Варіанти |      |      |       |       |      |      |       |      |       |
|--------------------------|----------|------|------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|
|                          | 11       | 12   | 13   | 14    | 15    | 16   | 17   | 18    | 19   | 20    |
| $P_1$ , кВт              | ?        | ?    | ?    | ?     | 19    | ?    | 55   | ?     | 6    | ?     |
| $P_{\text{ном}}$ , кВт   | 16,0     | ?    | ?    | ?     | ?     | ?    | 50,0 | 9,0   | ?    | 2,7   |
| $\Sigma P$ , кВт         | ?        | 1,0  | ?    | 5,0   | 3,0   | ?    | ?    | 3,0   | ?    | 0,7   |
| $\eta_{\text{г}}$        | 0,84     | ?    | 0,79 | 0,91  | ?     | 0,75 | ?    | ?     | 0,83 | ?     |
| $P_{\text{ем}}$ , кВт    | ?        | 5,41 | ?    | 52,4  | ?     | ?    | ?    | 9,74  | ?    | 3,07  |
| $I_{\text{ном}}$ , А     | ?        | ?    | 23,4 | ?     | 69,5  | 78,3 | ?    | ?     | 21,7 | ?     |
| $U_{\text{ном}}$ , В     | 230      | ?    | 115  | ?     | ?     | 115  | 230  | ?     | 230  | ?     |
| $R_a$ , Ом               | 0,3      | 0,9  | 0,7  | ?     | ?     | ?    | ?    | ?     | ?    | ?     |
| $E$ , В                  | ?        | ?    | ?    | 241,5 | 251,0 | ?    | ?    | 124,4 | ?    | 131,4 |
| $P_a$ , Вт               | ?        | 424  | ?    | ?     | ?     | ?    | 2496 | ?     | ?    | ?     |
| $M_{\text{ем}}$ , Н·м    | ?        | 43,0 | ?    | 385,0 | 115,0 | 95,0 | ?    | ?     | ?    | 20,2  |
| $n_{\text{ном}}$ , об/хв | 1450     | ?    | 1450 | ?     | ?     | 980  | 1300 | 980   | 1200 | ?     |

## Задача 3

Генератор постійного струму з паралельним збудженням віддає корисну потужність  $P_2$  при номінальній напрузі  $U_{\text{ном}}$ . У табл. 1.3 наведені такі величини:  $I_{\text{н}}$  – сила струму в навантаженні;  $I_a$  – струм у колі якоря;  $I_3$  – струм в обмотці збудження;  $R_a$  – опір кола якоря;  $R_3$  – опір обмотки збудження;  $E$  – ЕРС генератора;  $P_{\text{ем}}$  – електромагнітна потужність;  $P_1$  – потужність, що витрачається на обертання генератора;  $\Sigma P$  – сумарні втрати потужності в генераторі;  $\eta_{\text{г}}$  – ККД;  $P_a$  і  $P_3$  – втрати потужності в обмотках якоря та збудження відповідно. Використовуючи табличні дані, визначити невідомі величини.

Таблиця 1.3

| Величини                     | Варіанти |       |       |       |       |       |       |      |       |       |
|------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
|                              | 21       | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28   | 29    | 30    |
| $P_2, \text{кВт}$            | ?        | 20,65 | 2,0   | 11,8  | ?     | ?     | ?     | ?    | ?     | 21,56 |
| $U_{\text{ном2}}, \text{В}$  | 220      | ?     | ?     | ?     | 220   | 115   | 430   | ?    | ?     | 220   |
| $I_{\text{н3}}, \text{А}$    | 98,0     | 48,0  | ?     | 102,6 | ?     | ?     | ?     | 17,4 | ?     | ?     |
| $I_3, \text{А}$              | ?        | ?     | 2,9   | ?     | ?     | ?     | ?     | ?    | 2,0   | ?     |
| $I_a, \text{А}$              | ?        | ?     | ?     | ?     | 100,0 | ?     | 50,0  | 20,3 | ?     | ?     |
| $R_a, \text{Ом}$             | 0,15     | 0,2   | ?     | ?     | ?     | 0,07  | ?     | 0,25 | ?     | ?     |
| $R_3, \text{Ом}$             | 110,0    | ?     | ?     | ?     | 110,0 | 18,9  | 215,0 | ?    | ?     | ?     |
| $E, \text{В}$                | ?        | 440,0 | 120,0 | ?     | 235,0 | 122,6 | ?     | ?    | ?     | ?     |
| $P_{\text{см2}}, \text{кВт}$ | ?        | ?     | ?     | ?     | ?     | ?     | 22    | ?    | ?     | ?     |
| $P_1, \text{кВт}$            | ?        | ?     | 2,55  | 14,0  | 25,36 | ?     | ?     | ?    | 23,45 | ?     |
| $\Sigma P, \text{кВт}$       | ?        | 2,8   | ?     | ?     | ?     | 2,2   | ?     | 0,55 | 2,8   | ?     |
| $\eta_{\text{г}}$            | 0,85     | ?     | ?     | ?     | ?     | ?     | 0,88  | 0,78 | ?     | 0,85  |
| $P_a, \text{Вт}$             | ?        | ?     | ?     | 825   | ?     | ?     | ?     | ?    | 500   | 1500  |
| $P_3, \text{Вт}$             | ?        | ?     | ?     | 690   | ?     | ?     | ?     | ?    | 860   | 440   |

#### Задача 4

Електродвигун постійного струму з паралельним збудженням споживає з мережі потужність  $P_1$  і розвиває на валу номінальну потужність  $P_{\text{ном2}}$  при напрузі  $U_{\text{ном}}$  і струмі  $I_{\text{ном}}$ . У табл. 1.4 наведені такі величини:  $I_a, I_3$  – струм відповідно в обмотці якоря та обмотці збудження;  $M_{\text{ном}}$  – номінальний обертовий момент двигуна;  $n_{\text{ном}}$  – частота обертання якоря;  $E$  – протиЕРС у якорі;  $R_a, R_3$  – опори відповідно обмотки якоря та обмотки збудження;  $\Sigma P$  – сумарні втрати потужності у двигуні;  $\eta_{\text{дв}}$  – ККД двигуна. Використовуючи табличні дані, визначити невідомі величини.

Таблиця 1.4

| Величини                      | Варіанти |      |     |       |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------|----------|------|-----|-------|------|------|------|------|------|------|
|                               | 1        | 2    | 3   | 4     | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| $P_1, \text{кВт}$             | 22,0     | ?    | 3,8 | ?     | ?    | ?    | 3,9  | 39,8 | ?    | ?    |
| $P_{\text{ном2}}, \text{кВт}$ | ?        | ?    | 3,2 | 20,0  | ?    | 18,0 | ?    | 35,0 | 20,0 | ?    |
| $U_{\text{ном2}}, \text{В}$   | ?        | ?    | 110 | ?     | 110  | 440  | ?    | ?    | 220  | ?    |
| $I_{\text{ном2}}, \text{А}$   | 50,0     | ?    | ?   | 100,0 | 36,4 | ?    | ?    | 90,5 | ?    | 34,5 |
| $I_a, \text{А}$               | ?        | 86,5 | ?   | ?     | 35,4 | ?    | 35,4 | ?    | ?    | ?    |



Продовж. табл. 1.4

| Величини                        | Варіанти |       |      |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------|----------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                 | 1        | 2     | 3    | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| $I_3, \text{А}$                 | ?        | 4,0   | ?    | 10,0  | ?     | 5,5   | 1,0   | ?     | ?     | 1,0   |
| $M_{\text{ном2}}, \text{Нм}$    | ?        | 231,0 | ?    | ?     | 19,1  | 180,0 | ?     | ?     | 119,0 | 30,6  |
| $n_{\text{ном2}}, \text{об/хв}$ | 955      | ?     | 1000 | 1600  | ?     | ?     | 1600  | 1450  | ?     | ?     |
| $E, \text{В}$                   | ?        | ?     | ?    | 210,0 | 100,0 | 437,8 | ?     | 432,0 | ?     | 103,1 |
| $R_a, \text{Ом}$                | 0,05     | 0,093 | 0,2  | ?     | ?     | ?     | 0,282 | ?     | 0,111 | ?     |
| $P_3, \text{Вт}$                | 80       | 110   | 110  | ?     | ?     | ?     | ?     | 110   | 22    | ?     |
| $\Sigma P, \text{кВт}$          | 4,0      | ?     | ?    | 2,0   | ?     | ?     | 0,7   | ?     | ?     | 0,6   |
| $\eta_{\text{дв}}$              | ?        | 0,88  | ?    | ?     | 0,82  | 0,82  | ?     | ?     | 0,91  | 0,843 |

### Задача 5

Електродвигун постійного струму з паралельним збудженням працює в номінальному режимі, віддає корисну потужність на валу  $P_{\text{ном2}}$  і розвиває при цьому номінальний момент  $M_{\text{ном}}$  з частотою обертання  $n_{\text{ном}}$ . Двигун споживає з мережі номінальний струм  $I_{\text{ном}}$  при напрузі  $U_{\text{ном}}$ . У табл. 1.5 наведені такі величини:  $I_a, I_3$  – струм в обмотці якоря та обмотці збудження відповідно;  $P_1$  – споживана потужність;  $\Sigma P$  – сумарні втрати потужності в двигуні;  $\eta_{\text{дв}}$  – ККД двигуна. Використовуючи табличні дані, визначити невідомі величини.

Таблиця 1.5

| Величини                        | Варіанти |       |      |       |      |       |       |      |       |      |
|---------------------------------|----------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|
|                                 | 11       | 12    | 13   | 14    | 15   | 16    | 17    | 18   | 19    | 20   |
| $P_{\text{ном2}}, \text{кВт}$   | 22,0     | ?     | 11,0 | 30,0  | 12,0 | ?     | ?     | ?    | 30,0  | 3,6  |
| $M_{\text{ном2}}, \text{Н·м}$   | ?        | 28,65 | ?    | 191,0 | ?    | 213,0 | 200,0 | 78,4 | ?     | ?    |
| $n_{\text{ном2}}, \text{об/хв}$ | 985      | ?     | 1340 | ?     | 750  | ?     | 1433  | ?    | 1433  | 1200 |
| $I_{\text{ном2}}, \text{А}$     | 113,6    | ?     | ?    | 79,5  | ?    | ?     | 159,0 | 56,8 | ?     | 18,8 |
| $U_{\text{ном2}}, \text{В}$     | ?        | 22    | 220  | ?     | 220  | 220   | ?     | ?    | 220   | ?    |
| $I_a, \text{А}$                 | ?        | 18,0  | ?    | ?     | ?    | 108,0 | ?     | 55,7 | 150,0 | ?    |
| $I_3, \text{А}$                 | 5,6      | ?     | 1,1  | 2,5   | 1,5  | ?     | 9,0   | ?    | ?     | 0,8  |
| $P_1, \text{кВт}$               | 25,0     | 4,14  | 12,5 | 35,0  | ?    | ?     | 34,9  | ?    | ?     | ?    |
| $\Sigma P, \text{кВт}$          | ?        | ?     | ?    | ?     | ?    | 3,0   | ?     | 1,5  | 4,9   | 0,54 |
| $\eta_{\text{дв}}$              | ?        | 0,87  | ?    | ?     | 0,8  | 0,88  | ?     | 0,88 | ?     | ?    |

### Задача 6

Генератор постійного струму зі змішаним збудженням працює в номінальному режимі, віддає корисну потужність  $P_{\text{ном2}}$  при напрузі  $U_{\text{ном}}$  і струмі навантаження  $I_{\text{ном}}$ . Паралельна обмотка включена на повну напругу генератора. У табл. 1.6 наведені такі величини:  $I_a$  – струм у колі якоря;  $I_3$  – струм у паралельній обмотці збудження;  $E$  – ЕРС генератора;  $R_{\text{н}}$  – опір навантаження;  $R_a$  – опір обмотки якоря; опором послідовної обмотки нехтувати;  $R_3$  – опір паралельної обмотки збудження;  $\eta_{\text{г}}$  – ККД генератора. Генератор приводиться в обертання первинним двигуном потужністю  $P_{\text{дв}}$ . Використовуючи табличні дані, визначити невідомі величини.

Таблиця 1.6

| Величини                      | Варіанти |       |      |      |       |       |      |       |      |       |
|-------------------------------|----------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|------|-------|
|                               | 21       | 22    | 23   | 24   | 25    | 26    | 27   | 28    | 29   | 30    |
| $P_{2\text{ном}}, \text{кВт}$ | 10,0     | ?     | ?    | 2,2  | ?     | 8,7   | 4,0  | ?     | ?    | ?     |
| $U_{\text{ном}}, \text{В}$    | ?        | 220   | 110  | ?    | ?     | ?     | 220  | ?     | 220  | 110   |
| $I_{\text{ном}}, \text{А}$    | ?        | 18,2  | ?    | ?    | 11,0  | 39,5  | ?    | 43,4  | ?    | 20,0  |
| $I_a, \text{А}$               | 48,0     | ?     | 12,0 | 22,0 | ?     | 41,5  | ?    | ?     | ?    | ?     |
| $I_3, \text{А}$               | 4,6      | ?     | 1,0  | 2,0  | ?     | ?     | 5,0  | ?     | 2,0  | ?     |
| $E, \text{В}$                 | ?        | 230,4 | ?    | ?    | 118,4 | 226,2 | ?    | 230,0 | ?    | 115,0 |
| $R_{\text{н}}, \text{Ом}$     | ?        | ?     | ?    | ?    | 10,0  | ?     | ?    | 5,07  | ?    | ?     |
| $R_a, \text{Ом}$              | 0,21     | ?     | 0,7  | 0,23 | ?     | ?     | 0,45 | ?     | 0,15 | ?     |
| $R_3, \text{Ом}$              | ?        | 44,0  | ?    | ?    | 110,0 | ?     | ?    | 47,8  | ?    | 55,0  |
| $\eta_{\text{г}}$             | ?        | 0,8   | 0,85 | ?    | ?     | 0,87  | ?    | 0,83  | 0,87 | 0,85  |
| $P_{\text{дв}}, \text{Вт}$    | 12,0     | ?     | ?    | 2,6  | 1,42  | ?     | 5,0  | ?     | 10,0 | ?     |

### Задача 7

Електродвигун постійного струму з послідовним збудженням віддає корисну потужність  $P_2$  і споживає з мережі потужність  $P_1$  при напрузі  $U_{\text{ном}}$ . Двигун розвиває корисний момент  $M$  при частоті обертання якоря  $n$ . У табл. 1.7 наведені такі величини:  $I$  – сила струму в колі якоря;  $E$  – протиЕРС в обмотці якоря;  $P_a$  – втрати потужності в обмотках якоря і збудження;  $\eta_{\text{дв}}$  – ККД двигуна; опір обмоток якоря і збудження  $R_a + R_{\text{пс}}$ . У момент пуску двигун споживає з мережі пусковий струм  $I_{\text{п}}$ . Використовуючи табличні дані, визначити невідомі величини.

Таблиця 1.7

| Величини                   | Варіанти |      |      |       |      |      |      |       |      |       |
|----------------------------|----------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|
|                            | 1        | 2    | 3    | 4     | 5    | 6    | 7    | 8     | 9    | 10    |
| $P_2$ , кВт                | 44       | ?    | ?    | 21    | ?    | ?    | ?    | ?     | 5    | 10    |
| $P_1$ , кВт                | 51,3     | ?    | 4,5  | ?     | 10,0 | ?    | 11,0 | ?     | 6,7  | ?     |
| $U_{\text{ном2}}$ , В      | ?        | 110  | ?    | 250   | ?    | 220  | 110  | 440   | 440  | ?     |
| $M$ , Н·м                  | 296,0    | 35,0 | 20,0 | 310,0 | 48,0 | ?    | 79,5 | 880,0 | ?    | ?     |
| $n_{\text{ном2}}$ , об/хв  | ?        | ?    | 1800 | ?     | 1600 | 1200 | ?    | 510   | 1030 | 1200  |
| $I$ , А                    | 205,0    | 39,0 | ?    | ?     | 45,5 | 33,0 | ?    | ?     | ?    | 100,0 |
| $E$ , В                    | ?        | ?    | ?    | ?     | 208  | ?    | ?    | ?     | 417  | ?     |
| $P_{a2}$ , Вт              | 2270     | 300  | ?    | ?     | ?    | ?    | 800  | ?     | ?    | ?     |
| $R_a + R_{\text{пс}}$ , Ом | ?        | ?    | 0,55 | 0,13  | ?    | 0,74 | ?    | 0,054 | ?    | 0,08  |
| $I_{\text{п}}$ , А         | ?        | ?    | 400  | ?     | ?    | ?    | ?    | ?     | ?    | ?     |
| $\eta_{\text{дв}}$         | ?        | 0,85 | ?    | 0,84  | ?    | 0,75 | 0,91 | 0,78  | ?    | 0,905 |

### Задача 8

Електродвигун постійного струму з паралельним збудженням, працюючи в номінальному режимі, віддає корисну потужність на валу  $P_{\text{ном2}}$  при напрузі  $U_{\text{ном}}$ . У табл. 1.8 наведені такі величини:  $n_{\text{ном}}$  – частота обертання двигуна;  $R_a$  – опір обмотки якоря;  $R_z$  – опір обмотки збудження;  $R_{\text{дв}}$  – опір додаткових полюсів;  $\eta_{\text{дв}}$  – ККД двигуна. Використовуючи табличні дані, визначити наступні величини: а) струм в обмотці якоря  $I_a$ ; б) пусковий струм, виходячи зі співвідношення пускового та номінального струму за умов комутації  $I_{\text{п}} = 2,5I_{a\text{ном}}$ ; в) опір пускового реостату, необхідний для забезпечення співвідношення  $I_{\text{п}} = 2,5I_{a\text{ном}}$ ; г) частоту змінного струму в обмотці якоря.

Таблиця 1.8

| Величини                  | Варіанти |       |       |      |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------|----------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                           | 11       | 12    | 13    | 14   | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    |
| $P_{\text{ном2}}$ , кВт   | 0,55     | 0,55  | 0,71  | 1,0  | 2,5   | 2,5   | 4,5   | 4,5   | 13    | 13    |
| $U_{\text{ном2}}$ , В     | 110      | 220   | 220   | 220  | 110   | 220   | 220   | 440   | 220   | 440   |
| $n_{\text{ном2}}$ , об/хв | 3000     | 3000  | 2360  | 3000 | 2120  | 2200  | 3150  | 3150  | 2120  | 2360  |
| $\eta_{\text{дв}}$        | 0,71     | 0,71  | 0,7   | 0,73 | 0,76  | 0,77  | 0,82  | 0,82  | 0,86  | 0,87  |
| $R_{a2}$ , Ом             | 1,0      | 3,99  | 3,99  | 2,52 | 0,196 | 0,788 | 0,185 | 0,74  | 0,081 | 0,279 |
| $R_{z2}$ , Ом             | 810,0    | 222,0 | 123,0 | 92,0 | 156,0 | 39,4  | 202,0 | 54,5  | 61,5  | 61,5  |
| $R_{\text{дв}}$ , Ом      | 0,58     | 2,55  | 2,55  | 1,47 | 1,134 | 0,682 | 0,148 | 0,486 | 0,056 | 0,175 |

### Задача 9

Електродвигун постійного струму з паралельним збудженням споживає струм  $I$  при напрузі  $U_{\text{ном}}$ . У табл. 1.9 наведені такі величини:  $R_a$  – опір обмотки якоря;  $R_z$  – опір обмотки збудження;  $\Phi$  – магнітний потік полюса; на якорі покладено  $N$  провідників, що утворюють  $a$  пар паралельних віток;  $p$  – кількість пар полюсів двигуна. Використовуючи табличні дані, визначити наступні величини: а) струми в обмотках якоря  $I_a$  і збудження  $I_z$ ; б) ЕРС в обмотці якоря  $E$ ; в) частоту обертання  $n$ ; г) електромагнітний момент  $M_{\text{ем}}$ ; д) електромагнітну потужність  $P_{\text{ем}}$ .

Таблиця 1.9

| Варіанти | $U_{\text{ном}}, \text{В}$ | $I, \text{А}$ | $R_a, \text{Ом}$ | $R_z, \text{Ом}$ | $\Phi, \text{Вб}$ | $N$  | $p$ | $a$ |
|----------|----------------------------|---------------|------------------|------------------|-------------------|------|-----|-----|
| 21       | 220                        | 53,15         | 0,182            | 191              | 0,0095            | 496  | 2   | 2   |
| 22       | 220                        | 24,1          | 0,643            | 298              | 0,006             | 812  | 3   | 3   |
| 23       | 220                        | 35,6          | 0,303            | 298              | 0,006             | 522  | 2   | 2   |
| 24       | 220                        | 14,6          | 1,48             | 372              | 0,0048            | 1218 | 4   | 2   |
| 25       | 220                        | 35,7          | 0,376            | 250              | 0,0071            | 744  | 2   | 2   |

### Задача 10

Електродвигун постійного струму з послідовним збудженням розвиває на валу корисну номінальну потужність  $P_{\text{ном}}$ , споживаючи номінальний струм  $I_{\text{ном}}$  при напрузі  $U_{\text{ном}}$ . Якір двигуна обертається з номінальною частотою  $n_{\text{ном}}$ ;  $R_a + R_{\text{пс}}$  – опори обмотки якоря і послідовної обмотки збудження. Використовуючи дані, наведені в табл. 1.10, визначити: а) споживану з мережі потужність  $P_1$ ; б) ККД  $\eta_{\text{ном}}$ ; в) пусковий струм  $I_{\text{п}}$ ; г) опір пускового реостата  $R_{\text{п}}$  для обмеження пускового струму до подвійного номінального; д) номінальний обертовий момент  $M_{\text{ном}}$ .

Таблиця 1.10

| Варіанти | $P_{\text{ном}}, \text{кВт}$ | $U_{\text{ном}}, \text{В}$ | $I_{\text{ном}}, \text{А}$ | $n_{\text{ном}}, \text{об/хв}$ | $R_a + R_{\text{пс}}, \text{Ом}$ |
|----------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 26       | 8                            | 220                        | 46                         | 1200                           | 0,51                             |
| 27       | 17                           | 220                        | 92                         | 1000                           | 0,19                             |
| 28       | 23                           | 220                        | 124                        | 970                            | 0,13                             |
| 29       | 5,5                          | 220                        | 33                         | 1200                           | 0,82                             |
| 30       | 12                           | 220                        | 67                         | 1160                           | 0,3                              |

## 1.4. Завдання для самостійної роботи

### Задача 1

При частоті обертання якоря  $n = 1500$  об/хв ЕРС КМПС дорівнює 115 В. Визначити величину і частоту ЕРС обмотки якоря при частотах обертання 1000; 750; 600 об/хв. Кількість пар полюсів машини  $p = 2$ .

*Відповідь:*  $E = 76,8; 57,5; 46,0$  В;  $f = 16,7; 12,5; 10,0$  Гц.

### Задача 2

Переріз міді паралельної обмотки збудження КМПС з чотирма полюсами дорівнює  $0,3 \text{ мм}^2$ ; кількість витків на полюс 860; довжина напіввитка обмотки дорівнює 28 см. Визначити опір обмотки збудження при робочій температурі  $75^\circ\text{C}$ .

*Відповідь:*  $R_3 = 137,4$  Ом.

### Задача 3

Магнітний потік зазору на полюс генератора постійного струму  $\Phi_\delta = 0,0129$  Вб; постійний коефіцієнт моменту  $C_M = 126$ . Визначити напругу машини при номінальному струмі 100 А, якщо частота обертання якоря  $n = 1500$  об/хв; опір кола якоря  $R_a = 0,25$  Ом.

*Відповідь:*  $U = 230$  В.

### Задача 4

Генератор постійного струму з паралельним збудженням має наступні дані: номінальну потужність  $P_{\text{ном}} = 10$  кВт; номінальну напругу  $U_{\text{ном}} = 230$  В; опір кола якоря  $R_a = 0,3$  Ом; опір кола збудження  $R_3 = 150$  Ом. Визначити ККД генератора, якщо сума механічних, магнітних і додаткових втрат складає 6 % від номінальної потужності.

*Відповідь:*  $\eta = 0,865$ .

### Задача 5

Визначити обертовий момент первинного двигуна, суму втрат і ККД генератора постійного струму, якщо генератор віддає потужність 100 кВт; потужність первинного двигуна 114 кВт; частота обертання  $n = 975$  об/хв. Визначити також струм генератора, якщо напруга  $U = 115$  В.

*Відповідь:*  $M_{\text{дв}} = 1117$  Н·м;  $\Sigma P = 14$  кВт;  $\eta = 0,877$ ;  $I = 869,5$  А.

### Задача 6

Визначити електричні втрати в колі якоря, суму механічних, магнітних і додаткових втрат двигуна постійного струму паралельного збудження, якщо обертовий момент двигуна  $M = 38,5$  Н·м; напруга  $U = 220$  В; струм збудження  $I_z = 1,3$  А; ККД  $\eta = 82,5$  %; частота обертання  $n = 1500$  об/хв; опір кола якоря  $R_a = 0,58$  Ом.

Відповідь:  $P_a = 593,9$  Вт;  $P_{тр} + P_m + P_d = 402,3$  Вт.

### Задача 7

Визначити кратність пускового струму двигуна постійного струму з номінальною потужністю  $P_{ном} = 4,5$  кВт при безпосередньому вмиканні в мережу з напругою 220 В. Опір кола якоря  $R_a = 0,25$  Ом; ККД двигуна  $\eta = 85$  %. Визначити також опір пускового реостата при умові зниження початкового пускового струму до потрібного номінального.

Відповідь:  $k_I = 36,7$ ;  $R_{п} = 2,8$  Ом.

### Задача 8

Двигун постійного струму з паралельним збудженням має наступні номінальні дані: потужність  $P_{ном} = 12$  кВт; напругу  $U_{ном} = 220$  В; частоту обертання  $n_{ном} = 685$  об/хв; номінальний струм  $I = 64$  А; струм збудження  $I_z = 1,75$  А. Опір обмотки якоря у нагрітому стані  $R_a = 0,281$  Ом. Визначити частоту обертання двигуна при холостому ході, а також при гальмівному моменті на валу, який дорівнює  $0,6M_{ном}$ . Реакцією якоря можна нехтувати. Побудувати механічну характеристику двигуна.

Відповідь:  $n_0 = 744$  об/хв;  $n_1 = 708,6$  об/хв.

### Задача 9

Двигун постійного струму з послідовним збудженням має наступні номінальні дані: потужність  $P_{ном} = 45$  кВт; напругу  $U_{ном} = 220$  В; частоту обертання  $n_{ном} = 880$  об/хв; ККД  $\eta_{ном} = 73$  %. Побудувати криву залежності струму якоря від обертового моменту двигуна.

### Задача 10

Скласти таблицю кроків та накреслити схему простої петльової обмотки якоря чотириполюсної КМПС за такими даними: кількість елементарних пазів  $Z_e = 16$ ; кількість пазів якоря  $Z = 8$ .

## Задача 11

Скласти таблицю кроків та накреслити схему простої хвильової обмотки якоря чотириполюсної КМПС за такими даними: кількість елементарних пазів  $Z_e = 15$ ; кількість пазів якоря  $Z = 15$ .

## 2. ТРАНСФОРМАТОРИ

### 2.1. Короткі теоретичні відомості

*Трансформаторами* називають статичні електромагнітні апарати змінного струму, які призначені для перетворення параметрів електричної енергії (напруги, струму) на основі явища електромагнітної індукції. Електрична енергія підводиться до первинної обмотки від електростанції, або підстанції (мережі), та відводиться до навантаження від вторинної обмотки. За допомогою трансформаторів можливе також ступеневе та плавне регулювання напруги без зміни частоти і кількості фаз, а також перетворення частоти та кількості фаз.

Для взаємної індукції ЕРС, які індукуються в обмотках головним магнітним полем, визначаються наступними виразами:

$$e_1 = -W_1 \frac{d\Phi}{dt}; \quad e_2 = -W_2 \frac{d\Phi}{dt},$$

де  $W_{1(2)}$  – відповідно кількість витків первинної і вторинної обмоток;  $\Phi$  – миттєве значення магнітного потоку;  $t$  – час.

Діючі значення ЕРС можна розраховувати за формулами:

$$E_1 = 4,44 f W_1 \Phi_m; \quad E_2 = 4,44 f W_2 \Phi_m,$$

де  $f$  – частота струму мережі;  $\Phi_m$  – амплітудне значення магнітного потоку.

Співвідношення ЕРС обмоток, яке дорівнює співвідношенню кількості витків обмоток, називається коефіцієнтом трансформації:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2}.$$

У режимі неробочого ходу, якщо нехтувати струмом неробочого ходу (СНХ), можна враховувати  $k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$ .

ККД трансформатора визначається співвідношенням активних потужностей на вході  $P_1$  і виході  $P_2$  трансформатора:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma P},$$

де  $\Sigma P$  – сумарні втрати, які складаються з електричних втрат у первинній та вторинній обмотках, магнітних втрат в осерді (магнітопроводі), а також додаткових втрат у вказаних та конструкційних елементах від полів розсіяння.

Величина ККД залежить від навантаження і визначається як

$$\eta = \frac{k_H S_{\text{ном}} \cos \varphi_2}{k_H S_{\text{ном}} \cos \varphi_2 + P_x + k_H^2 P_K},$$

де  $k_H = P_2 / P_{\text{ном}2}$  – коефіцієнт навантаження;  $S_{\text{ном}} = U_{\text{ном}1(2)} I_{\text{ном}1(2)}$  – номінальна повна потужність трансформатора;  $\cos \varphi_2$  – коефіцієнт потужності вторинного кола трансформатора;  $P_x$  – втрати неробочого ходу, які визначаються за допомогою досліду неробочого ходу та характеризують, в основному, магнітні втрати;  $P_K$  – втрати короткого замикання, які визначаються з досліду короткого замикання та характеризують, в основному, електричні втрати в обмотках.

## 2.2. Приклади розв'язання типових задач

### Приклад 1

Номінальні напруги однофазного трансформатора  $U_{\text{ном}1} = 380$  В,  $U_{\text{ном}2} = 24$  В. Номінальна потужність  $S_{\text{ном}} = 500$  В·А. До трансформатора підключені 10 ламп накаливання потужністю 40 Вт кожна. Амплітудне значення магнітного потоку  $\Phi_m = 0,005$  Вб. Частота струму мережі  $f = 50$  Гц. Втратами у трансформаторі можна нехтувати. Необхідно визначити: номінальні струми в обмотках; коефіцієнт навантаження трансформатора; струми в обмотках відповідно до існуючого навантаження; кількість витків обмоток; коефіцієнт трансформації.



### Розв'язання

Номинальні струми в обмотках визначаються таким чином:

$$I_{\text{НОМ1}} = S_{\text{НОМ}} / U_{\text{НОМ1}} = 500 / 380 = 1,32 \text{ А};$$

$$I_{\text{НОМ2}} = S_{\text{НОМ}} / U_{\text{НОМ2}} = 500 / 24 = 20,8 \text{ А}.$$

Коефіцієнт навантаження  $k_{\text{Н}} = P_2 / (S_{\text{НОМ}} \cos \varphi_2) = 10 \cdot 40 / (500 \cdot 1,0) = 0,8$ .

Струми в обмотках при дійсному навантаженні визначаються так:

$$I_1 = k_{\text{Н}} I_{\text{НОМ1}} = 0,8 \cdot 1,32 = 1,06 \text{ А}; \quad I_2 = k_{\text{Н}} I_{\text{НОМ2}} = 0,8 \cdot 20,8 = 16,6 \text{ А}.$$

При неробочому ході можна враховувати  $E_1 \approx U_{\text{НОМ1}}$ ;  $E_2 = U_{\text{НОМ2}}$ .

Кількість витків обмоток знаходимо за виразом  $E_{1(2)} = 4,44 f W_{1(2)} \Phi_m$ :

$$W_1 = U_{\text{НОМ1}} / (4,44 f \Phi_m) = 380 / (4,44 \cdot 50 \cdot 0,005) = 340;$$

$$W_2 = U_{\text{НОМ2}} / (4,44 f \Phi_m) = 24 / (4,44 \cdot 50 \cdot 0,005) = 22.$$

Коефіцієнт трансформації  $k = W_1 / W_2 = 340 / 22 = 15,5$ .

### Приклад 2

Трифазний трансформатор стрижневої конструкції має наступні номінальні дані:  $S_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ ;  $U_{\text{НОМ1}} = 10 \text{ кВ}$ ;  $U_{\text{НОМ2}} = 400 \text{ В}$ . Втрати в сталі  $P_{\text{ст}} = 2,45 \text{ кВт}$ ; електричні втрати в обмотках  $P_{\text{о}} = 12,2 \text{ кВт}$ . Обмотки з'єднані за схемою "трикутник-зірка". Площа перерізу магнітопровода  $\Pi_{\text{с}} = 450 \text{ см}^2$ ; амплітуда магнітної індукції в ньому  $B_m = 1,5 \text{ Тл}$ . Частота струму мережі  $f = 50 \text{ Гц}$ . Також відома потужність, що витрачається,  $P_2 = 810 \text{ кВт}$  при коефіцієнті потужності  $\cos \varphi_2 = 0,9$ . Необхідно визначити: номінальні струми в обмотках і струми при фактичному навантаженні; кількість витків обмоток; ККД трансформатора при номінальному і фактичному навантаженні.

### Розв'язання

Номинальні струми в обмотках визначаються таким чином:

$$I_{\text{НОМ1}} = S_{\text{НОМ}} / (\sqrt{3} U_{\text{НОМ1}}) = 1000 \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3) = 58 \text{ А};$$

$$I_{\text{НОМ2}} = S_{\text{НОМ}} / (\sqrt{3} U_{\text{НОМ2}}) = 1000 \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot 400) = 1445 \text{ А}.$$

Коефіцієнт навантаження трансформатора

$$k_H = P_2 / (S_{\text{ном}} \cos \varphi_2) = 810 / (1000 \cdot 0,9) = 0,9.$$

Струми в обмотках при фактичному навантаженні визначаються так:

$$I_1 = k_H I_{\text{ном1}} = 0,9 \cdot 58 = 52 \text{ А}; \quad I_2 = k_H I_{\text{ном2}} = 0,9 \cdot 1445 = 1300 \text{ А}.$$

З урахуванням схеми з'єднання визначаються фазні ЕРС  $E_{\phi 1(2)}$ , які наводяться в обмотках у режимі неробочого ходу:

$$E_{\phi 1} \approx U_{\text{ном1}} = 10000 \text{ В}; \quad I_1 = k_H I_{\text{ном1}} = 0,9 \cdot 58 = 52 \text{ В}.$$

Амплітудне значення магнітного потоку

$$\Phi_m = B_m \Pi_c = 1,5 \cdot 0,045 = 0,0675 \text{ Вб}.$$

Кількість витків обмоток

$$W_1 = U_{\text{ном1}} / (4,44 f \Phi_m) = 10 \cdot 10^3 / (4,44 \cdot 50 \cdot 0,0675) = 667;$$

$$W_2 = W_1 E_{\phi 2} / E_{\phi 1} = 667 \cdot 230 / 10000 = 15.$$

При номінальному навантаженні ККД трансформатора

$$\eta_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном}} \cos \varphi_2}{S_{\text{ном}} \cos \varphi_2 + P_{\text{ст}} + P_o} = \frac{1000 \cdot 0,9}{1000 \cdot 0,9 + 2,45 + 12,2} = 0,984.$$

При фактичному навантаженні ККД трансформатора

$$\eta = \frac{k_H S_{\text{ном}} \cos \varphi_2}{k_H S_{\text{ном}} \cos \varphi_2 + P_{\text{ст}} + k_H^2 P_o} = \frac{0,9 \cdot 1000 \cdot 0,9}{0,9 \cdot 1000 \cdot 0,9 + 2,45 + 0,9^2 \cdot 12,2} = 0,985.$$

## 2.3. Завдання для контрольної роботи № 2

### Задача 1

Для живлення пониженою напругою кіл керування електродвигунами в цеху встановлено однофазний двообмотковий трансформатор

номінальною потужністю  $S_{\text{ном}}$ . У табл. 2.1 наведені такі величини:  $U_{\text{ном1}}$  і  $U_{\text{ном2}}$  – номінальні напруги обмоток;  $I_{\text{ном1}}$  і  $I_{\text{ном2}}$  – номінальні струми в обмотках;  $k$  – коефіцієнт трансформації;  $W_1$  і  $W_2$  – кількість витків обмоток;  $\Phi_m$  – магнітний потік у магнітопроводі;  $f = 50$  Гц – частота струму в мережі. Трансформатор працює з номінальним навантаженням. Втратами в трансформаторі можна нехтувати. Використовуючи табличні дані, визначити невідомі величини.

Таблиця 2.1

| Величини                                 | Варіанти |      |      |       |       |       |      |      |        |      |      |       |       |      |       |
|------------------------------------------|----------|------|------|-------|-------|-------|------|------|--------|------|------|-------|-------|------|-------|
|                                          | 1        | 2    | 3    | 4     | 5     | 6     | 7    | 8    | 9      | 10   | 11   | 12    | 13    | 14   | 15    |
| $S_{\text{ном}}, \text{кВ}\cdot\text{А}$ | ?        | ?    | 1600 | ?     | 3200  | ?     | 500  | ?    | 250    | ?    | 400  | ?     | ?     | 600  | ?     |
| $U_{\text{ном1}}, \text{кВ}$             | 380      | 220  | ?    | 127   | 380   | 220   | ?    | 220  | 500    | ?    | ?    | ?     | 380   | 220  | ?     |
| $U_{\text{ном2}}, \text{кВ}$             | ?        | 24   | 12   | ?     | 36    | 24    | ?    | ?    | ?      | 12   | 12   | 36    | ?     | ?    | 24    |
| $I_{\text{ном1}}, \text{А}$              | 1,43     | ?    | ?    | 4,72  | ?     | 3,64  | 1,0  | ?    | ?      | 3,2  | ?    | 1,0   | 4,2   | ?    | ?     |
| $I_{\text{ном2}}, \text{А}$              | ?        | 33,4 | ?    | 25,0  | ?     | ?     | ?    | 20,8 | ?      | ?    | ?    | ?     | ?     | ?    | 25,0  |
| $W_1$                                    | ?        | 198  | 770  | ?     | ?     | ?     | 750  | 400  | 3000   | ?    | ?    | ?     | 4970  | 573  | ?     |
| $W_2$                                    | ?        | ?    | ?    | 108,0 | ?     | ?     | 54,0 | 22,0 | ?      | ?    | ?    | ?     | 24,4  | ?    | ?     |
| $k$                                      | 15,8     | ?    | 31,6 | ?     | ?     | ?     | ?    | ?    | 20,8   | 41,6 | 18,3 | 13,9  | ?     | 6,12 | ?     |
| $\Phi_m, \text{Вб}$                      | 0,005    | ?    | ?    | ?     | 0,025 | 0,005 | ?    | ?    | 0,0015 | ?    | 0,02 | 0,003 | 0,002 | ?    | 0,001 |

## Задача 2

Для освітлення робочих місць з метою безпеки застосували лампи розжарювання зниженої напруги (12; 24; 36 В). Для їхнього живлення установили однофазний знижувальний трансформатор номінальною потужністю  $S_{\text{ном}}$ , який працює з коефіцієнтом навантаження  $k_n$ . У табл. 2.2 наведені наступні дані:  $U_{\text{ном1}}$  і  $U_{\text{ном2}}$  – номінальні напруги обмоток;  $I_1$  та  $I_2$  – робочі струми в обмотках;  $k$  – коефіцієнт трансформації. До трансформатора приєднали лампи розжарювання потужністю  $P_{\text{л}}$  кожна;  $n_{\text{л}}$  – кількість ламп;  $\cos \varphi_2 = 1,0$  – коефіцієнт потужності ламп. Втратами в трансформаторі можна нехтувати. Використовуючи табличні дані, визначити невідомі величини.

Таблиця 2.2

| Вели-<br>чини              | Варіанти |      |      |     |      |      |      |     |      |      |      |       |      |      |     |
|----------------------------|----------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-------|------|------|-----|
|                            | 16       | 17   | 18   | 19  | 20   | 21   | 22   | 23  | 24   | 25   | 26   | 27    | 28   | 29   | 30  |
| $S_{\text{ном}},$<br>В·А   | 250      | ?    | ?    | 400 | 250  | ?    | ?    | 400 | 500  | ?    | 500  | ?     | ?    | 100  | 400 |
| $k_{\text{н}}$             | ?        | 0,75 | 0,9  | 0,8 | ?    | 0,8  | 0,9  | ?   | ?    | 0,8  | ?    | 0,8   | 10   | ?    | ?   |
| $U_{\text{ном1}},$<br>В    | ?        | 500  | ?    | 220 | ?    | 127  | ?    | 500 | 127  | 380  | ?    | 220   | ?    | 127  | 500 |
| $U_{\text{ном2}},$<br>В    | 12       | ?    | 24   | 24  | ?    | ?    | 12   | 36  | 12   | ?    | 36   | ?     | 36   | ?    | 36  |
| $I_1, \text{А}$            | ?        | 0,75 | 1,63 | ?   | 0,91 | 3,15 | ?    | 0,6 | ?    | ?    | 1,12 | ?     | 0,8  | 0,71 | ?   |
| $I_2, \text{А}$            | ?        | 15,6 | 15,0 | ?   | 16,7 | ?    | 7,5  | ?   | 33,3 | 18,7 | ?    | ?     | 11,1 | ?    | ?   |
| $k$                        | 31,7     | ?    | ?    | ?   | ?    | 10,6 | 10,6 | ?   | ?    | ?    | 10,6 | 18,35 | ?    | 10,6 | ?   |
| $P_{\text{л}}, \text{Вт}$  | 25       | ?    | 60   | 40  | 100  | ?    | 15   | ?   | 40   | 40   | 25   | 100   | ?    | ?    | 400 |
| $n_{\text{л}}, \text{шт.}$ | 8        | 15   | ?    | ?   | 2    | 10   | ?    | 5   | ?    | 5    | ?    | 2     | 4    | 6    | 4   |

### Задача 3

До трифазного трансформатора з номінальною потужністю  $S_{\text{ном}}$  і номінальними напругами первинної  $U_{\text{ном1}}$  і вторинної  $U_{\text{ном2}}$  обмоток приєднане активне навантаження  $P_2$  з коефіцієнтом потужності  $\cos \varphi_2$ . Визначити: а) номінальні струми в обмотках  $I_{\text{ном1}}$  і  $I_{\text{ном2}}$ ; б) коефіцієнт навантаження трансформатора  $k_{\text{н}}$ ; в) струми в обмотках  $I_1$  і  $I_2$  при фактичному навантаженні; г) сумарні втрати потужності  $\Sigma P$  при номінальному навантаженні; д) ККД трансформатора при фактичному навантаженні. Дані для свого варіанта взяти з табл. 2.3. Відсутні величини взяти з табл. 2.4.

Таблиця 2.3

| Величини                                   | Варіанти |     |      |      |      |      |      |      |      |     |
|--------------------------------------------|----------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|
|                                            | 1        | 2   | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10  |
| $S_{\text{ном}}, \text{кВ} \cdot \text{А}$ | 1000     | 160 | 100  | 250  | 400  | 630  | 40   | 1600 | 63   | 630 |
| $U_{\text{ном1}}, \text{кВ}$               | 10       | 6   | 6    | 10   | 10   | 10   | 6    | 10   | 10   | 10  |
| $U_{\text{ном2}}, \text{кВ}$               | 0,69     | 0,4 | 0,23 | 0,4  | 0,4  | 0,69 | 0,23 | 0,4  | 0,23 | 0,4 |
| $P_2, \text{кВт}$                          | 850      | 150 | 80   | 200  | 350  | 554  | 35   | 1400 | 56   | 520 |
| $\cos \varphi_2$                           | 0,95     | 1,0 | 0,9  | 0,85 | 0,92 | 0,88 | 1,0  | 0,93 | 1,0  | 0,9 |

Таблиця 2.4

| Тип трансформатора | $S_{\text{ном2}}$<br>кВ·А | Напруга обмоток,<br>кВ |                   | Втрати<br>потужності, кВт |                | $U_{\text{к}}$ | $I_{\text{х1}}$ |
|--------------------|---------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------|----------------|----------------|-----------------|
|                    |                           | $U_{\text{ном1}}$      | $U_{\text{ном2}}$ | $P_{\text{х}}$            | $P_{\text{к}}$ | %              |                 |
| ТМ-25/6; 10        | 25                        | 6; 10                  | 0,23; 0,4         | 0,13                      | 0,69           | 4,7            | 3,2             |
| ТМ-40/6; 10        | 40                        |                        | 0,23; 0,4         | 0,175                     | 1,0            | 4,7            | 3,0             |
| ТМ-63/6; 10        | 63                        |                        | 0,23; 0,4         | 0,24                      | 1,47           | 4,7            | 2,8             |
| ТМ-100/6; 10       | 100                       |                        | 0,23; 0,4         | 0,33                      | 2,27           | 6,8            | 2,6             |
| ТМ-160/6; 10       | 160                       |                        | 0,23; 0,4; 0,69   | 0,51                      | 3,1            | 4,7            | 2,4             |
| ТМ-250/6; 10       | 250                       |                        | 0,23; 0,4; 0,69   | 0,74                      | 4,2            | 4,7            | 2,3             |
| ТМ-400/6; 10       | 400                       |                        | 0,23; 0,4; 0,69   | 0,95                      | 5,5            | 4,5            | 2,1             |
| ТМ-630/6; 10       | 630                       |                        | 0,23; 0,4; 0,69   | 1,31                      | 7,6            | 5,5            | 2,0             |
| ТМ-1000/6; 10      | 1000                      |                        | 0,23; 0,4; 0,69   | 2,45                      | 12,2           | 5,5            | 2,8             |
| ТМ-1600/6; 10      | 1600                      | 10                     | 0,23; 0,4; 0,69   | 3,3                       | 18,0           | 5,5            | 2,6             |
| ТМ-2500/10         | 2500                      |                        | 0,4; 0,69; 10,5   | 4,3                       | 24,0           | 5,5            | 1,0             |

#### Задача 4

Інструментальний цех заводу одержує живлення від підстанції з напругою  $U_{\text{ном2}}$ ;  $P_2$  – активна потужність, що витрачається цехом;  $\cos \varphi_2$  – коефіцієнт потужності. Визначити необхідну потужність трансформаторів на підстанції і вибрати їхній тип (див. табл. 2.4). На підстанції можна установити не більше двох трансформаторів однакової потужності з коефіцієнтом навантаження 0,9...1,0. Вичислити коефіцієнт навантаження трансформаторів. Дані для свого варіанта взяти з табл. 2.5.

Таблиця 2.5

| Величини              | Варіанти |      |      |     |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|----------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
|                       | 11       | 12   | 13   | 14  | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   |
| $P_2$ , кВт           | 600      | 1350 | 200  | 420 | 800  | 140  | 500  | 1200 | 350  | 210  |
| $\cos \varphi_2$      | 0,8      | 0,75 | 0,85 | 0,9 | 0,82 | 0,95 | 0,88 | 0,76 | 0,92 | 0,87 |
| $U_{\text{ном2}}$ , В | 380      | 660  | 220  | 380 | 660  | 220  | 380  | 660  | 220  | 380  |

#### Задача 5

У складальному цеху машинобудівного заводу встановлені трифазні електродвигуни трьох типів. Для кожного типу двигуна задані такі величини (табл. 2.6):  $P_{\text{ном}}$  – номінальна (корисна) потужність;

$\cos \varphi_{\text{ном}}$  – коефіцієнт потужності;  $\eta_{\text{ном}}$  – ККД;  $n$  – кількість двигунів. Номінальна напруга мережі  $U_{\text{ном}} = 380$  В; усі двигуни працюють у номінальному режимі. Визначити потужність трансформатора, необхідну для живлення електродвигунів, за табл. 2.4 вибрати тип (можуть бути встановлені два трансформатори однакової потужності, що працюють паралельно). Визначити, з яким коефіцієнтом навантаження будуть працювати трансформатори та обчислити первинний і вторинний струми і ККД трансформатора при цьому коефіцієнті навантаження. Додаткові відомості про трансформатор взяти з табл. 2.4. Дані для свого варіанта взяти з табл. 2.6.

Таблиця 2.6

| Величини                     | Варіанти |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                              | 21       | 22   | 23   | 24   | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   | 30   |
| $P_{\text{ном1}}$ , кВт      | 11,0     | 7,5  | 22,0 | 5,5  | 15,0 | 18,5 | 37,0 | 4,0  | 30,0 | 45,0 |
| $\cos \varphi_{\text{ном1}}$ | 0,86     | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 |
| $\eta_{\text{ном1}}$         | 0,87     | 0,86 | 0,89 | 0,87 | 0,76 | 0,88 | 0,9  | 0,84 | 0,9  | 0,91 |
| $n_1$ , шт.                  | 15       | 10   | 14   | 8    | 10   | 16   | 2    | 10   | 5    | 1    |
| $P_{\text{ном2}}$ , кВт      | 7,5      | 30,0 | 4,0  | 15,0 | 45,0 | 11,0 | 18,5 | 22,0 | 37,0 | 5,5  |
| $\cos \varphi_{\text{ном2}}$ | 0,86     | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 |
| $\eta_{\text{ном1}}$         | 0,86     | 0,9  | 0,84 | 0,76 | 0,91 | 0,87 | 0,88 | 0,89 | 0,9  | 0,87 |
| $n_2$ , шт.                  | 10       | 5    | 10   | 16   | 6    | 10   | 4    | 12   | 2    | 10   |
| $P_{\text{ном3}}$ , кВт      | 22,0     | 11,0 | 7,5  | 37,0 | 5,5  | 15,0 | 4,0  | 30,0 | 45,0 | 18,5 |
| $\cos \varphi_{\text{ном3}}$ | 0,86     | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 |
| $\eta_{\text{ном3}}$         | 0,89     | 0,87 | 0,86 | 0,9  | 0,87 | 0,76 | 0,84 | 0,9  | 0,91 | 0,88 |
| $n_3$ , шт.                  | 8        | 10   | 15   | 6    | 20   | 10   | 5    | 5    | 2    | 4    |

### Задача 6

Для однофазного трансформатора у табл. 2.7 наведені наступні величини:  $S_{\text{ном}}$  – номінальна потужність;  $U_{\text{ном1}}$  і  $U_{\text{ном2}}$  – напруга на первинній та вторинній обмотках;  $U_{\text{в}}$  – діюче значення напруги на один виток;  $B_m$  – амплітудне значення індукції;  $\Delta_1$  і  $\Delta_2$  – густина струму в первинній та вторинній обмотках відповідно;  $f = 50$  Гц – частота струму мережі. Необхідно визначити кількість витків первинної  $W_1$  та вторинної  $W_2$  обмоток; перерізи проводів обмоток  $\Pi_{\text{еф1(2)}}$ ; переріз стрижня магнітопроводу  $\Pi_{\text{с}}$ . Дані для свого варіанта взяти з табл. 2.7.

Таблиця 2.7

| Величини                       | Варіанти |      |      |      |      |      |       |       |       |       |
|--------------------------------|----------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
|                                | 1        | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7     | 8     | 9     | 10    |
| $S_{\text{ном}}$ , кВА         | 10       | 16   | 25   | 40   | 63   | 100  | 160   | 250   | 400   | 630   |
| $U_{\text{ном1}}$ , В          | 6000     | 5000 | 6000 | 5000 | 6000 | 5000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 |
| $U_{\text{ном2}}$ , В          | 400      | 230  | 400  | 230  | 400  | 400  | 690   | 400   | 690   | 690   |
| $U_{\text{в}}$ , В             | 3,26     | 3,1  | 3,52 | 2,8  | 3,54 | 4,26 | 5,1   | 2,79  | 3,42  | 2,96  |
| $B_m$ , Тл                     | 1,4      | 1,3  | 1,5  | 1,2  | 1,35 | 1,8  | 1,45  | 1,5   | 1,6   | 1,7   |
| $\Delta_1$ , А/мм <sup>2</sup> | 2,8      | 2,85 | 2,87 | 2,95 | 3,0  | 3,2  | 2,74  | 2,9   | 3,14  | 3,3   |
| $\Delta_2$ , А/мм <sup>2</sup> | 3,0      | 3,2  | 3,1  | 3,3  | 3,35 | 3,2  | 2,95  | 3,1   | 3,4   | 3,5   |

## Задача 7

У табл. 2.8 наведені наступні величини для трифазного стрижневого трансформатора:  $S_{\text{ном}}$  – номінальна потужність;  $U_{\text{ном1}}$  і  $U_{\text{ном2}}$  – номінальні напруги первинної і вторинної обмоток;  $P_2$  – споживана від трансформатора активна потужність;  $\cos \varphi_2$  – коефіцієнт потужності;  $\Pi_c$  – переріз стрижня магнітопроводу;  $B_m$  – амплітудне значення індукції;  $f = 50$  Гц – частота струму мережі. Обмотки з'єднані за схемою "трикутник–зірка". Визначити: а) номінальні струми в обмотках  $I_{\text{ном1}}$  та  $I_{\text{ном2}}$ ; б) коефіцієнт навантаження трансформатора  $k_H$ ; в) струми в обмотках  $I_1$  та  $I_2$  при фактичному навантаженні; г) кількість витків первинної  $W_1$  та вторинної  $W_2$  обмоток; д) ККД трансформатора при фактичному навантаженні. Дані для свого варіанта взяти з табл. 2.8. Відсутні величини взяти з табл. 2.4.

Таблиця 2.8

| Величини                  | Варіанти |      |      |      |      |      |       |       |       |       |
|---------------------------|----------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
|                           | 11       | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17    | 18    | 19    | 20    |
| $S_{\text{ном}}$ , кВА    | 25       | 40   | 63   | 100  | 160  | 250  | 400   | 630   | 1000  | 1600  |
| $U_{\text{ном1}}$ , В     | 6000     | 5000 | 6000 | 5000 | 6000 | 5000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 |
| $U_{\text{ном2}}$ , В     | 400      | 230  | 400  | 230  | 400  | 400  | 690   | 400   | 690   | 690   |
| $\Pi_c$ , см <sup>2</sup> | 170      | 200  | 230  | 250  | 280  | 300  | 340   | 400   | 450   | 480   |
| $B_m$ , Тл                | 1,4      | 1,3  | 1,5  | 1,2  | 1,35 | 1,8  | 1,45  | 1,5   | 1,6   | 1,7   |
| $P_2$ , кВт               | 21       | 33   | 55   | 83   | 127  | 215  | 320   | 580   | 830   | 1200  |
| $\cos \varphi_2$          | 0,9      | 0,91 | 0,94 | 0,89 | 0,92 | 0,91 | 0,88  | 0,93  | 0,92  | 0,9   |

## Задача 8

На підставі даних векторної діаграми однофазного трансформатора при неробочому ході, наведених у табл. 2.9, визначити наступні величини: коефіцієнт трансформації  $k$ ; утрати в сталі  $P_x$  (втратами на нагрівання первинної обмотки нехтувати); кількість витків обмоток при частоті струму мережі  $f = 50$  Гц. Приймавши СНХ 5 % від номінального первинного струму, знайти номінальні струми  $I_{\text{ном1}(2)}$  в обмотках і номінальну потужність  $S_{\text{ном}}$  трансформатора. В таблиці  $\varphi_x$  – кут між векторами ЕРС та напругою первинної обмотки.

Таблиця 2.9

| Величини           | Варіанти |        |       |        |        |        |        |       |       |        |
|--------------------|----------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|
|                    | 21       | 22     | 23    | 24     | 25     | 26     | 27     | 28    | 29    | 30     |
| $U_1$ , В          | 500      | 380    | 220   | 127    | 660    | 500    | 380    | 220   | 127   | 660    |
| $I_x$ , А          | 0,15     | 0,2    | 0,5   | 0,1    | 0,18   | 0,12   | 0,25   | 0,3   | 0,16  | 0,22   |
| $E_2$ , В          | 36       | 220    | 500   | 12     | 24     | 24     | 127    | 380   | 24    | 36     |
| $\Phi_m$ , Вб      | 0,002    | 0,0015 | 0,008 | 0,0012 | 0,0018 | 0,0016 | 0,0025 | 0,002 | 0,001 | 0,0019 |
| $\varphi_x$ , град | 85       | 80     | 86    | 78     | 75     | 83     | 84     | 77    | 75    | 82     |

## 2.4. Завдання для самостійної роботи

### Задача 1

Визначити параметри Г-подібної схеми заміщення однофазного трансформатора з номінальною потужністю  $S_{\text{ном}} = 8,8$  кВ·А та номінальною напругою  $U_{\text{ном1}} = 220$  В за даними дослідів неробочого ходу і короткого замикання:  $P_x = 50$  Вт;  $I_x = 2$  А;  $P_k = 800$  Вт;  $U_k = 32$  В.

*Відповідь:*  $R_0 = 12,5$  Ом;  $X_0 = 109$  Ом;  $R_k = 0,5$  Ом;  $X_k = 0,625$  Ом.

### Задача 2

Активний переріз сталі магнітопровода трансформатора  $\Pi_c = 10$  см<sup>2</sup> охоплений обмотками з кількістю витків  $W_1 = 836$  і  $W_2 = 182$ . Визначити діючі і миттєві значення ЕРС взаємної індукції, які індукуються в обмотках головним магнітним потоком  $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$  при амплітудному значенні магнітної індукції  $B_m = 1,19$  Тл та кутовій частоті  $\omega = 314$  рад/с.

*Відповідь:*  $E_1 = 220,9$  В;  $E_2 = 48,1$  В;  $e_1 = 312,4 \cos 314t$  В;  $e_2 = 68 \cos 314t$  В.



### Задача 3

Напруги первинної  $U_1$  та вторинної  $U_2$  обмоток трансформатора відповідно дорівнюють 230 та 5770 В. Для визначення кількості витків трансформатора на осерді розташували додаткову обмотку з 20 витків. У режимі неробочого ходу напруга на додатковій обмотці  $U_d = 140$  В. Частота струму мережі  $f = 50$  Гц. Визначити напругу  $U_B$ , яка припадає на один виток; кількість витків обох обмоток та амплітудне значення головного магнітного потоку.

Відповідь:  $U_B = 7$  В;  $W_1 = 33$ ;  $W_2 = 825$ ;  $\Phi_m = 0,0314$  Вб.

### Задача 4

Визначити активну складову СНХ трансформатора при номінальній напрузі  $U_{ном1} = 5770$  В, якщо індукція в ярмі  $B_{я} = 1,4$  Тл, індукція у стрижні  $B_c = 1,46$ , частота мережі  $f = 50$  Гц. Маса ярма трансформатора  $m_{я} = 300$  кг, маса стрижнів  $m_c = 435$  кг. Магнітопровід виготовлено з електротехнічної сталі з питомими втратами  $p_{1,0/50} = 50$  Вт/кг.

Відповідь:  $I_{0a} = 0,131$  А.

### Задача 5

Амплітудне значення магнітної індукції в осерді трансформатора, виготовленого з електротехнічної сталі 3413, становить  $B_m = 1,65$  Тл. Якою буде зміна реактивної складової СНХ трансформатора, якщо частота струму мережі знизиться з 50 до 49 Гц?

Відповідь: 1,16.

### Задача 6

Визначити приведений струм вторинної обмотки трансформатора, якщо ЕРС взаємної індукції  $E_1 = 10$  кВ,  $E_2 = 400$  В, струм  $I_2 = 145$  А.

Відповідь:  $I_2' = 1,6$  А.

### Задача 7

Кількість витків обмоток трансформатора невеликої потужності  $W_1 = 792$  і  $W_2 = 264$ . Активно-індуктивному навантаженню ( $I_2 = 1$  А,  $\cos \varphi_2 = 0,8$ ) відповідає напруга на вторинній обмотці  $U_2 = 110$  В. За допомогою векторної діаграми визначити первинний струм і напругу трансформатора, якщо опори первинної  $Z_1$  і вторинної  $Z_2$  обмоток

трансформатора  $Z_1 = Z_2 = 11 + j20 \text{ Ом}$ , а повний опір первинної обмотки при неробочому ході  $Z_0 = 300 + j3000 \text{ Ом}$ .

*Відповідь:*  $U_1 = 346,4 \text{ В}$ ;  $I_1 = 0,42 \text{ А}$ .

### **Задача 8**

Визначити активний опір вітки намагнічування у відносних одиницях, якщо відомі магнітні втрати  $P_x = 7,6 \text{ кВт}$  і СНХ складають 2 % від номінального струму трансформатора з номінальною потужністю  $S_{\text{ном}} = 630 \text{ кВ}\cdot\text{А}$ .

*Відповідь:*  $R_{*0} = 30 \text{ Ом}$ .

### **Задача 9**

Кількість витків на фазу обмотки високої та низької напруг трифазного трансформатора відповідно  $W_1 = 850$ ;  $W_2 = 34$ . При вмиканні в мережу з напругою 10 кВ на вторинній обмотці лінійна напруга дорівнює 400 В. За якою схемою з'єднана обмотка низької напруги, якщо відомо, що обмотка високої напруги з'єднана за схемою "зірка"?

*Відповідь:* "зірка".

### **Задача 10**

Трифазний трансформатор зі схемою з'єднання "Y-Δ", номінальними лінійними напругами  $U_{\text{ном1}} = 10 \text{ кВ}$  і  $U_{\text{ном2}} = 0,4 \text{ кВ}$  має напругу на виток  $U_{\text{в}} = 2,5 \text{ В/виток}$ . Визначити кількість витків обмоток.

*Відповідь:*  $W_1 = 2312$ ;  $W_2 = 160$ .

## **3. Екзаменаційні питання**

1. Поняття магніторухливної сили (МРС) зосередженої котушки, обґрунтування її формули та характеристика розподілу МРС у просторі (зазорі).

2. Обґрунтування функцій розподілу та гармонічного складу МРС зосередженої котушки при змінному струмі живлення.

3. Обґрунтування способу отримання та гармонічного складу обертової МРС при двофазному електричному живленні.

4. Обґрунтування способу отримання та гармонічного складу обертової МРС при трифазному електричному живленні.

5. Обґрунтування способів поліпшення гармонічного складу МРС і виразів коефіцієнтів розподілу та скорочення кроку обмотки.

6. Типи та особливості трифазних обмоток змінного струму.

7. Визначення понять "головне електромагнітне поле" і "складові поля розсіяння". Принцип дії електромеханічних перетворювачів.

8. Обґрунтування методу розрахунку магнітного поля електромашини на основі поняття питомої провідності зазору машини, аналіз та врахування впливу зубчатості на структуру та інтенсивність поля.

9. Електромагнітні навантаження і параметри електромашини. Обґрунтування зв'язку потужності, електромагнітних навантажень і розмірів електромеханічного перетворювача.

10. Визначення режиму холостого ходу КМПС та обґрунтування розподілу магнітного поля збудження у просторі.

11. Обґрунтування методу та порядку розрахунку магнітного кола, поняття характеристики неробочого ходу електромашини та визначення коефіцієнта насичення магнітного кола.

12. Обґрунтування розподілу магнітного поля якоря та результуючого поля КМПС у просторі (зазорі).

13. Визначення поняття "реакція якоря КМПС". Аналіз впливу конструктивних чинників (компенсаційна обмотка, зсув щіток та ін.) на розподіл магнітного поля машини.

14. Обґрунтування формули ЕРС КМПС. Аналіз зубцевих пульсацій ЕРС.

15. Обґрунтування формули електромагнітного моменту КМПС.

16. Обґрунтування рівнянь, основних режимів роботи, витрат енергії та прикладу енергетичної діаграми КМПС.

17. Аналіз типів та особливостей обмоток. Призначення та будова колектора КМПС.

18. Обґрунтування та розв'язання рівняння ЕРС секції у режимі комутації КМПС. Аналіз режимів комутації.

19. Обґрунтування способів поліпшення та експериментальної перевірки комутації КМПС.

20. Характеристики генератора постійного струму незалежного збудження. Обґрунтування поняття і використання характеристичного трикутника.

21. Аналіз умов та рівняння перехідного процесу самозбудження. Особливості характеристик генераторів паралельного та послідовного збудження.

22. Аналіз умов стійкої роботи генераторів постійного струму та особливостей генераторів змішаного збудження.

23. Аналіз умов вмикання у мережу та умов паралельної роботи генераторів постійного струму.

24. Вирази і види швидкісної та механічної характеристик двигуна постійного струму паралельного збудження.

25. Вирази і види швидкісної та механічної характеристик двигуна постійного струму послідовного збудження. Аналіз особливостей двигуна послідовного збудження.

26. Умови стійкої роботи двигунів постійного струму. Аналіз особливостей двигунів змішаного збудження.

27. Обґрунтування й аналіз способів регулювання частоти обертання двигунів постійного струму.

28. Обґрунтування й аналіз способів пуску, вигляд та особливості пускових і робочих характеристик двигунів постійного струму.

29. Принцип дії та формула ЕРС обмотки трансформатора.

30. Аналіз режимів неробочого ходу і навантаження та обґрунтування рівнянь МРС і струмів обмоток трансформатора.

31. Особливості гармонічного складу, вирази активної і реактивної частин та діючого значення струму неробочого ходу трансформатора.

32. Обґрунтування системи рівнянь трансформатора у диференціальній і комплексній формах, приведення вторинної обмотки до первинної.

33. Обґрунтування можливості заміни трансформатора схемою заміщення.

34. Аналіз схем заміщення та векторних діаграм режимів неробочого ходу, навантаження та короткого замикання трансформатора.

35. Способи експериментального визначення параметрів трансформатора.

36. Аналіз особливостей конструкцій магнітопроводів та електромагнітних процесів одно- і трифазних трансформаторів.

37. Аналіз конструкцій, схем і груп з'єднань та ємнісного захисту обмоток одно- і трифазних трансформаторів.

38. Аналіз впливу схеми з'єднань на гармонічний склад намагнічувального струму і магнітного потоку.

39. Обґрунтування практичної формули зміни вторинної напруги та вигляду зовнішніх характеристик трансформатора під навантаженням.

40. Аналіз умов паралельної роботи трансформаторів під навантаженням і можливих наслідків їх невиконання.

41. Обґрунтування енергетичної діаграми, практичного виразу та умови максимуму ККД трансформатора.

42. Методи розрахунку та аналіз особливостей несиметричних режимів роботи трифазних трансформаторів у залежності від схем з'єднання обмоток.

43. Аналіз впливу схеми з'єднань обмоток і типу конструкції магнітопроводу на додаткові втрати від третьої гармоніки намагнічувального струму та струму нульової послідовності несиметричного режиму навантаження трансформатора.

44. Рівняння електромагнітного процесу та аналіз особливостей триобмоткового трансформатора.

45. Рівняння електромагнітного процесу та аналіз особливостей автотрансформатора.

46. Аналіз та розв'язання рівняння перехідного режиму короткого замикання трансформатора, врахування можливих наслідків.

47. Способи регулювання напруги та регульовані трансформатори.

48. Типи та особливості перетворювальних трансформаторів.

49. Аналіз та розв'язання рівняння перехідного режиму вмикання трансформатора під навантаженням, урахування можливих наслідків.

50. Класифікація типів та аналіз конструкцій електричних машин і трансформаторів за ступенем захисту від навколишнього середовища, аналіз способів і конструкцій елементів систем їх охолодження.

51. Визначення методу розрахунку, аналіз особливостей розподілу температурного поля, засоби діагностики температури і температурного захисту електричних машин і трансформаторів.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Вольдек А.И.* Электрические машины. – Л.: Энергия, 1974. – 782 с.
2. *Данку А., Фаркаш А., Надь Л.* Электрические машины: Сборник задач и упражнений. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 360 с.
3. *Иванов-Смоленский А.В.* Электрические машины. – М.: Энергия, 1980. – 928 с.
4. *Костенко М.П., Пиотровский Л.М.* Электрические машины: В 2 т. – Л.: Энергия, 1972.
5. *Читечян В.И.* Электрические машины: Сборник задач. – М.: Высшая школа, 1988. – 231 с.
6. *Яцун М.А.* Електричні машини: Навч. посіб. – Л.: Вид-во Державного університету "Львівська політехніка", 1999. – 427 с.

## ЗМІСТ

|                                                     |           |
|-----------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Колекторні машини постійного струму .....</b> | <b>3</b>  |
| 1.1. Теоретичні відомості .....                     | 3         |
| 1.2. Приклади розв'язання типових задач .....       | 4         |
| 1.3. Завдання для контрольної роботи № 1 .....      | 6         |
| 1.4. Завдання для самостійної роботи .....          | 13        |
| <b>2. Трансформатори .....</b>                      | <b>15</b> |
| 2.1. Теоретичні відомості .....                     | 15        |
| 2.2. Приклади розв'язання типових задач .....       | 16        |
| 2.3. Завдання для контрольної роботи № 2 .....      | 18        |
| 2.4. Завдання для самостійної роботи .....          | 24        |
| <b>3. Екзаменаційні питання .....</b>               | <b>26</b> |
| <b>Список рекомендованої літератури .....</b>       | <b>29</b> |

*Навчальне видання*

**СТАВИНСЬКИЙ Ростислав Андрійович**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до практичних занять з курсу**

**"Електричні машини"**

**Частина I**

**Електричні машини постійного струму і трансформатори**

*(українською мовою)*

Редактор *О.Є. Вакула*

Комп'ютерна правка та верстка *В.Г. Мазанко*

Коректор *М.О. Паненко*

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,  
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції  
ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

Підписано до друку 13.06.07. Папір офсетний. Формат 60×84/16.  
Друк офсетний. Гарнітура "Таймс". Ум. друк. арк. 1,8. Обл.-вид. арк. 1,9.  
Тираж 100 прим. Вид. № 29. Зам. № 64. Ціна договірна

---

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування,  
54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5

**ДЛЯ НОТАТОК**