

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

В. М. Охріменко, Т. Б. Воронкова

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять з дисципліни

„ЕЛЕКТРОТЕХНІКА У БУДІВНИЦТВІ”

*(для студентів 2 курсу і слухачів другої вищої освіти ФПО та ЗН напрямку
підготовки 0921 (6.060101) Будівництво, спеціальностей ПЦБ, МБГ і ТГПіВ)*

Харків ХНАМГ 2010

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни „Електротехніка у будівництві” (для студентів 2 курсу і слухачів ФПО та ЗН напрямку підготовки 0921 (6.060101) - Будівництво, спеціальностей ПЦБ, МБГ, ТГПіВ) / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: В. М. Охріменко, Т. Б. Воронкова. – Х.: - ХНАМГ, 2010. –39 с.

Укладачі: доц. В. М. Охріменко,
ст. викл. Т. Б. Воронкова

Рецензент: доц., канд. техн. наук М. В. Чернявська

Рекомендовано кафедрою "Інформаційні системи і технології у міському господарстві", протокол № 61 від 17.11.2009 р.

© Охріменко В. М., Воронкова Т. Б., 2010

© ХНАМГ, 2010

ЗМІСТ

Загальні положення	4
1. Електричні кола постійного струму	8
2. Електричні кола однофазного змінного струму	10
3. Електричні кола трифазного струму	17
4. Електричні вимірювання	22
5. Трансформатори	24
6. Електричні машини постійного струму	27
7. Асинхронні машини	29
8. Електричний привод.....	32
Рекомендована література	37
Ресурси Інтернет	37
Додаток 1.	38

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Курс "Електротехніка у будівництві" є дисципліною фундаментальної підготовки бакалаврів будівництва і перепідготовки (програма другої вищої освіти) інженерів-будівельників. Вивчення курсу базується на знаннях вищої математики, фізики, хімії, інженерної графіки.

Наука електротехніка вивчає електричні і магнітні явища, пов'язані з виробництвом, передачею, розподілом і використанням електричної енергії. Прикладні розділи курсу "Електротехніка у будівництві" дають практичні знання з використання електричної енергії на будівельних майданчиках, підприємствах будівельної індустрії, інженерних системах будівель і споруд.

Головними завданнями дисципліни "Електротехніка у будівництві" є:

вивчення теоретичних і практичних засад розрахунків електричних кіл постійного і змінного струму;

освоєння принципів роботи електричного обладнання будівельних майданчиків, підприємств будівельної індустрії, інженерних систем будівель і споруд;

набуття практичних навичок виконання електричних розрахунків в обсязі питань програми курсу.

Предметом вивчення дисципліни є елементи систем електроспоживання будівельних майданчиків, будівель і споруд.

У результаті вивчення курсу "Електротехніка у будівництві" студент повинен знати фізику роботи основного електроустаткування будівельних майданчиків, підприємств будівельної індустрії, інженерних систем будівель і споруд, об'єктивно оцінювати стан і режими роботи електроустаткування, уміти виконувати розрахунки з вибору основного електроустаткування.

Програмою курсу передбачені практичні заняття, націлені на поглиблене вивчення методів розв'язання електротехнічних задач: розрахунків режимів електричних кіл, вибору електротехнічного обладнання тощо.

У вказівках наведено характерні задачі з основних тем дисципліни. Кожна задача ілюструється прикладом її розв'язання для контрольного варіанта і містить варіанти вихідних даних для самостійного розв'язання. Наведені перелік рекомендованої літератури і адреси web-сайтів дозволяють поглиблено ознайомитися з теоретичними розділами, довідковою літературою, питаннями, що виходять за рамки програми курсу "Електротехніка у будівництві".

1. ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Задача 1.1. Для електричного кола (рис. 1.1) визначити струм I , напругу на затискачах споживача U_H , потужність джерела живлення P_1 і потужність P_H зовнішнього кола, ККД джерела живлення. Побудувати зовнішню характеристику $U(I)$ джерела живлення. Вихідні дані для розрахунку: ЕРС джерела живлення E , внутрішній опір джерела живлення R_0 , опір навантаження R_H - подані в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E, B	10	10	10	10	12	12	12	15	15	15	15
$R_0, Ом$	1	1	0,5	0,5	1	1	0,5	1	1	0,5	0,5
$R_H, Ом$	4	6	3,5	5,5	5	7	7,5	4	5	5,5	6,5

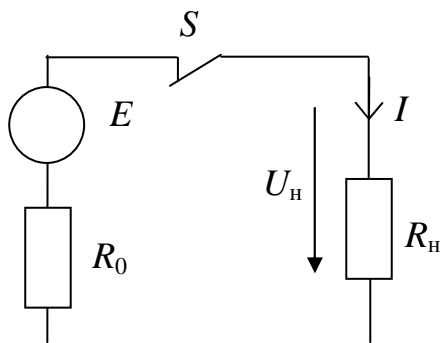


Рис.1.1 - Схема кола до задачі 1.1

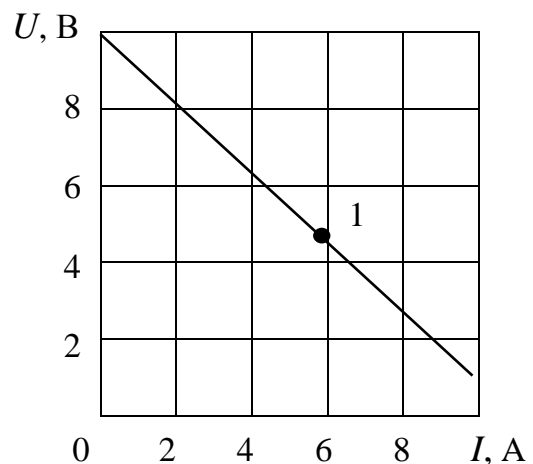


Рис.1.2 - Зовнішня характеристика джерела живлення

Розв'язання задачі для варіанта К.

За законом Ома для всього кола визначаємо величину струму навантаження:

$$I = \frac{E}{R_0 + R_H} = \frac{10}{1 + 4} = 2 \text{ A.}$$

Напруга на затискачах джерела живлення і споживача:

$$U = U_H = R_H \cdot I = 4 \cdot 2 = 8 \text{ В.}$$

Потужність джерела живлення: $P_1 = E \cdot I = 10 \cdot 2 = 20 \text{ Вт.}$

Потужність зовнішнього кола (на навантаженні): $P_H = U_H \cdot I = 8 \cdot 2 = 16 \text{ Вт.}$

Втрати потужності всередині джерела: $P_0 = I^2 \cdot R_0 = 2^2 \cdot 1 = 4 \text{ Вт.}$

ККД: $\eta = P_H / P_1 = 16 / 20 = 0,8$ або 80%.

Зовнішня характеристика джерела живлення $U(I)$ при постійних значеннях E і P_{XX} :

при холостому ході (контакти вимикача S розімкнуті) $I = I_{XX} = 0$;

$$U = U_{XX} = E = 10 \text{ В};$$

при короткому замиканні (вимикач S замкнений і $R_H = 0$) $I = I_{KЗ} = E/R_0 = 10/1 = 10 \text{ А}$; $U_{KЗ} = R_{KЗ} \cdot I_{KЗ} = 0$.

Залежність $U(I)$ є лінійною, тому дані режимів холостого ходу й короткого замикання визначають зовнішню характеристику джерела живлення (рис. 1.2). З неї і значень струму навантаження I можна визначити відповідну напругу U джерела. Наприклад, для точки 1 при $I = 6 \text{ А}$, напруга $U = 10 - 6 = 4 \text{ В}$, оскільки за другим законом Кірхгофа $U = E - R_0 I$.

Рівняння балансу потужностей (потужність джерела живлення дорівнює потужності, виділеній у вигляді теплоти в опорах R_0 і R_H):

$$E \cdot I = R_0 \cdot I^2 + R_H \cdot I^2; \quad 10 \cdot 2 = 1 \cdot 2^2 + 4 \cdot 2^2; \quad 20 = 20 \text{ Вт}.$$

Задача 1.2. Для умов задачі 1.1 побудувати залежність зміни напруги U на затискачах джерела живлення, потужності джерела живлення P_1 , втрат потужності P_0 і ККД η установки від струму I при зміні опору навантаження в межах $R_H = 0 \div \infty$. ЕРС джерела живлення вважати незмінним.

Розв'язання задачі для варіанта К.

Порядок розрахунку для $R_H = 4 \text{ Ом}$ наведений в задачі 1.1. Для інших значень навантаження результати розрахунку подані в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

R_H	0	0,5	1	2	4	6	7	9	∞
$I, \text{ А}$	10	6,7	5	3,3	2	1,4	1,2	1	0
$U, \text{ В}$	0	3,3	5	6,7	8	8,6	8,8	9	10
$P_1, \text{ Вт}$	100	66,7	50	33,3	20	14,3	12,5	10	0
$P_2, \text{ Вт}$	0	22,2	25	22,2	16	12,3	10,9	1	0
$P_0, \text{ Вт}$	100	44,4	25	11,1	4	2,1	1,6	1	0
η	0	0,3	0,3	0,7	0,8	0,85	0,88	0,9	1

За даними табл.1.2 побудовані графіки зміни відповідних величин у функції струму навантаження (рис. 1.3).

Задача 1.3. Для кола (рис. 1.4,а) визначити еквівалентний опір $R_{екв}$ і загальний струм I у гілці, а також падіння напруги на резисторах R_1, R_2, R_8 . Внутрішнім опором джерела знехтувати. Вихідні дані наведені в табл. 1.3

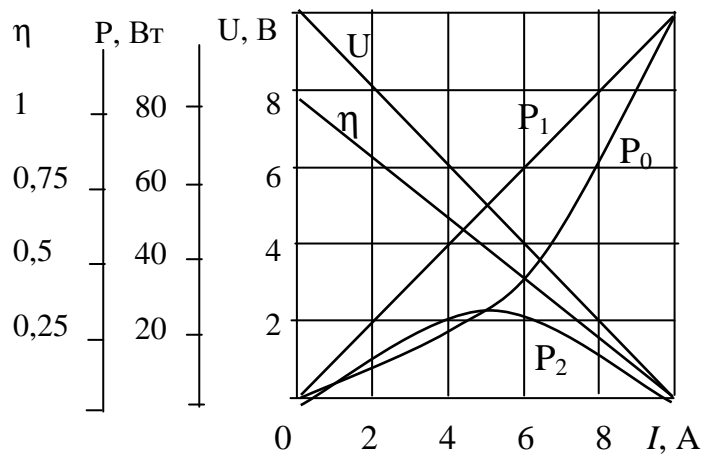


Рис.1.3 - Розрахункові графіки

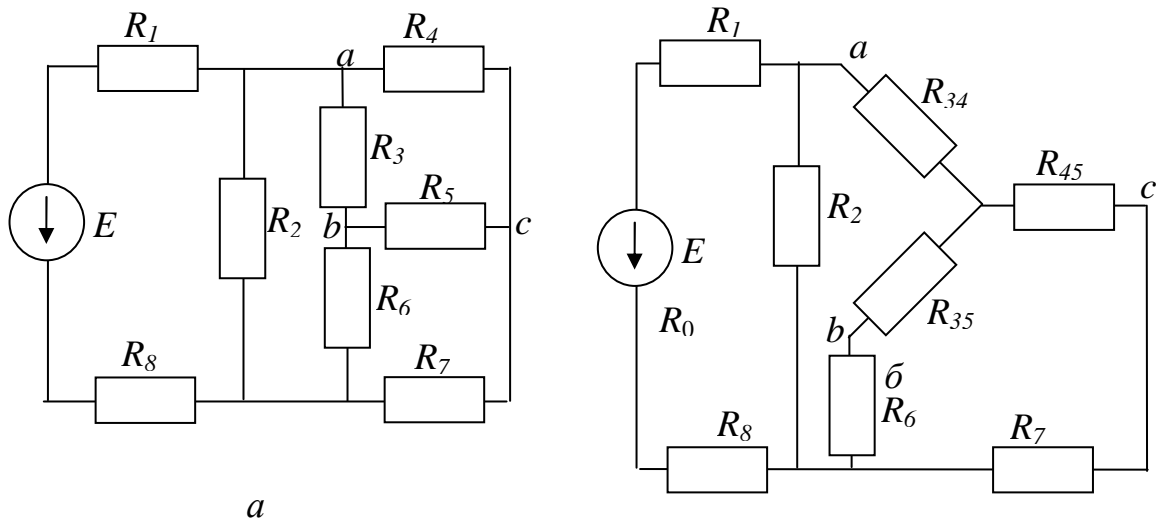


Рис.1.4 - Схема кола до задачі 1.3: а - вихідна, б - перетворена

Таблиця 1.3

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E, B	50	40	40	50	50	60	60	60	70	70	70
$R_1, Ом$	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6
$R_2, Ом$	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6
$R_3, Ом$	20	20	30	30	30	30	30	25	25	25	25
$R_4, Ом$	30	30	30	35	35	35	35	35	40	40	40
$R_5, Ом$	50	50	50	50	50	60	60	60	60	60	60
$R_6, Ом$	100	100	100	90	90	90	90	80	80	80	80
$R_7, Ом$	5	5	5	5	5	8	8	8	8	8	8
$R_8, Ом$	1,8	1	1	2	2	3	3	2	2	3	3

Розв'язання задачі для варіанта К.

Перетворивши «трикутник» опорів R_3, R_4, R_5 (рис.1.4,а) на еквівалентну «зірку» (рис.1.4,б), одержимо:

$$R_{34} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4 + R_5} = \frac{20 \cdot 30}{20 + 30 + 50} = 6 \text{ Ом}, \quad R_{45} = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_3 + R_4 + R_5} = \frac{30 \cdot 50}{20 + 30 + 50} = 15 \text{ Ом},$$

$$R_{35} = \frac{R_3 \cdot R_5}{R_3 + R_4 + R_5} = \frac{20 \cdot 50}{20 + 30 + 50} = 10 \text{ Ом}.$$

Сумарний (еквівалентний) опір послідовно включених резисторів R_{45} і R_7 : $R_{екв1} = R_{45} + R_7 = 15 + 5 = 20 \text{ Ом}$. Сумарний (еквівалентний) опір послідовно включених резисторів R_{35} і R_6 : $R_{екв2} = R_{35} + R_6 = 10 + 10 = 20 \text{ Ом}$. Еквівалентний опір гілок з резисторами $R_{екв1}$ і R_{34} і $R_{екв2}$:

$$R_{екв3} = R_{34} + \frac{R_{екв1} \cdot R_{екв2}}{R_{екв1} + R_{екв2}} = 6 + \frac{20 \cdot 20}{20 + 20} = 16 \text{ Ом}.$$

Загальний опір всього кола:

$$R_{заг} = R_1 + R_8 + \frac{R_2 \cdot R_{екв3}}{R_2 + R_{екв3}} = 5 + 1,8 + \frac{4 \cdot 16}{4 + 16} = 10 \text{ Ом}.$$

Струм у нерозгалуженій частині кола: $I = E/R_{заг} = 50/10 = 5 \text{ А}$.

Падіння напруги на резисторах R_1, R_2 і R_8 :

$$\Delta U_1 = R_1 \cdot I = 5 \cdot 5 = 25 \text{ В}; \quad \Delta U_8 = R_8 \cdot I = 1,8 \cdot 5 = 9 \text{ В};$$

$$\Delta U_2 = I \cdot \frac{R_2 \cdot R_{екв2}}{R_2 + R_{екв2}} = 5 \cdot \frac{20 \cdot 20}{20 + 20} = 16 \text{ В}.$$

Перевірка. На підставі другого закону Кірхгофа маємо:

$$E = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 \text{ або } 50 \text{ В} = 25 + 9 + 16 = 50 \text{ В}.$$

Задача 1.4. Для електричного кола (рис. 1.4) визначити струми в гілках, напруги на всіх елементах кола, напругу U_{13} між вузлами 1-3, потужність і режим роботи джерела з ЕРС E_1 , потужність приймача з опором R_3 . Вихідні дані наведені в табл.1.4.

Таблиця 1.4

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$E_1, \text{ В}$	12	10	10	12	12	10	12	13	14	15	10
$E_2, \text{ В}$	13,5	12	14	14	12	10	10	11	12	10	15
$R_{01}, \text{ Ом}$	0,05	0,1	0,1	0,05	0,05	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	0,1
$R_{02}, \text{ Ом}$	0,1	0,1	0,2	0,1	0,05	0,1	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1
$R_3, \text{ Ом}$	3	4	5	4	4	3	4	4	5	6	4
$R_4, \text{ Ом}$	4	4	3	5	4	3	5	5	5	4	6
$R_5, \text{ Ом}$	4	3	3	5	4	3	5	5	5	4	6

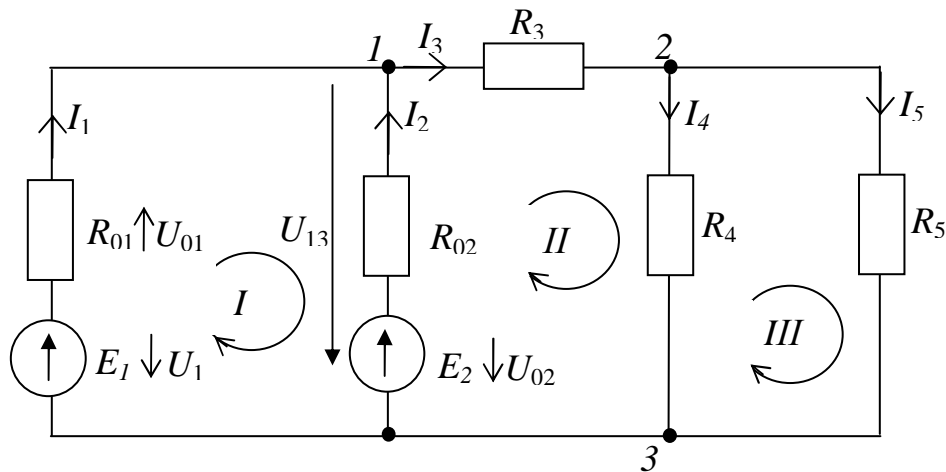


Рис.1.4 - Схема кола до задачі 1.4

Розв'язання задачі для варіанта К.

Схема кола має три вузли й п'ять гілок. Для знаходження струмів у гілках потрібно скласти п'ять рівнянь: два рівняння за 1-м законом Кірхгофа й три рівняння за 2-м законом Кірхгофа.

Задаємося напрямками струмів у гілках і обходу контурів (I, II і III) і наносимо їх на схему.

Записуємо рівняння за 1-м законом Кірхгофа для вузлів 1 і 2 і за 2-м законом Кірхгофа для обраних контурів. Система має вигляд:

$$\begin{aligned} \text{для вузла 1} & \quad I_1 + I_2 - I_3 = 0, \\ \text{для вузла 2} & \quad I_3 - I_4 - I_5 = 0, \\ \text{для контура I} & \quad R_{01} \cdot I_1 + R_{02} \cdot I_2 = E_1 - E_2, \\ \text{для контура II} & \quad R_{02} \cdot I_2 + R_3 \cdot I_3 + R_4 \cdot I_4 = E_2, \\ \text{для контура III} & \quad -R_4 \cdot I_4 + R_5 \cdot I_5 = 0. \end{aligned}$$

Розв'язання системи дає значення струмів у гілках:

$$I_1 = -7,93 \text{ А}; I_2 = 11,03 \text{ А}; I_3 = 3,1 \text{ А}; I_4 = I_5 = 1,55 \text{ А}.$$

Оскільки струм I_1 вийшов зі знаком мінус, то його дійсний напрямок протилежний прийнятому на схемі (рис. 1.4).

Напруги на резисторах визначаємо за законом Ома:

$$\begin{aligned} U_3 = R_3 \cdot I_3 = 2 \cdot 3,1 = 6,2 \text{ В}; & \quad U_4 = R_4 \cdot I_4 = 4 \cdot 1,55 = 6,2 \text{ В}; \\ U_5 = R_5 \cdot I_5 = 4 \cdot 1,55 = 6,2 \text{ В}. & \end{aligned}$$

Напругу між вузлами 1 і 3 знаходимо, використовуючи другий закон Кірхгофа:

$$E_2 = U_{02} + U_{13}; \quad U_{13} = E_2 - U_{02} = E_2 - R_{02} \cdot I_2 = 13,5 - 0,1 \cdot 11 = 12,4 \text{ В}.$$

Потужність джерела ЕРС E_2

$$P_2 = E_2 \cdot I_2 = 13,5 \cdot 11 = 148,5 \text{ Вт}.$$

Потужність приймача

$$P_3 = R_3 \cdot I_3^2 = U_3 \cdot I_3 = 6,2 \cdot 3,1 = 19,2 \text{ Вт}.$$

У джерелі ЕРС E_1 струм і ЕРС спрямовані назустріч. Це означає, що при заданих умовах завдання, воно споживає електричну енергію.

Оскільки джерело ЕРС E_1 працює в режимі споживання електричної енергії, тобто є електроприймачем, то рівняння балансу потужностей має вигляд

$$E_2 \cdot I_2 = E_1 \cdot I_1 + R_{01} \cdot I_1^2 + R_{02} \cdot I_2^2 + R_3 \cdot I_3^2 + R_4 \cdot I_4^2 + R_5 \cdot I_5^2.$$

Після підстановки отриманих значень маємо

$$13,5 \cdot 11 = 12 \cdot 7,9 + 0,05 \cdot 7,9^2 + 0,1 \cdot 11^2 + 2 \cdot 3,1^2 + 4 \cdot 1,55^2.$$

$$148,5 \text{ Вт} = 148,5 \text{ Вт}.$$

Отримана рівність підтверджує правильність розрахунку.

2. ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ОДНОФАЗНОГО ЗМІННОГО СТРУМУ

Задача 2.1. Струм змінюється за законом $i = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi_i)$ А. Визначити його комплексну амплітуду й комплексний діючий струм. Вихідні дані наведені в табл. 2.1

Таблиця 2.1

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_m , А	8	6	4	2	3	5	7	9	5	4	3
ψ_i , рад	$\pi/18$	$-\pi/24$	$\pi/30$	$\pi/40$	$\pi/10$	$\pi/16$	$\pi/20$	$\pi/26$	$-\pi/14$	$\pi/22$	$\pi/28$

Розв'язання задачі для варіанта К.

Для синусоїдального струму з амплітудою $I_m = 8$ А і початковою фазою $\psi_i = \pi/18$ комплексна амплітуда струму й комплексний струм відповідно дорівнюють

$$I_m = 8e^{j\frac{\pi}{18}} = 8\left(\cos\frac{\pi}{18} + j\sin\frac{\pi}{18}\right) = 7,88 + j1,39;$$

$$\dot{I} = \frac{8}{\sqrt{2}}e^{j\frac{\pi}{18}} \cong 5,7\left(\cos\frac{\pi}{18} + j\sin\frac{\pi}{18}\right) = 5,57 + j0,98.$$

Задача 2.2. Комплексна амплітуда струму $\dot{I}_m = I_m e^{j\psi_i}$. Записати вираз для синусоїдального струму, що змінюється з частотою f . Вихідні дані наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_m , А	25	23	21	19	17	15	13	9	7	5	3
ψ_i , рад	$-\pi/12$	$-\pi/18$	$-\pi/22$	$\pi/20$	$\pi/30$	$\pi/26$	$-\pi/20$	$\pi/16$	$\pi/24$	$\pi/14$	$\pi/18$
f , Гц	50	50	50	60	60	60	60	50	50	50	50

Розв'язання задачі для варіанта К.

Кутова частота струму $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 50 = 314 \text{ 1/с}$.

Для переходу від комплексної амплітуди до миттєвого значення струму

треба комплексну амплітуду $\dot{I}_m = 25e^{-j\frac{\pi}{12}}$ помножити на $e^{j\omega t} = e^{j314t}$ й взяти уявну частину отриманого комплексного числа

$$i = \text{Im}(25e^{-j\pi/12} \cdot e^{j314t}) = \text{Im}(25e^{j(314t - \pi/12)}) = 25 \cdot \sin(314 \cdot t - \pi/12).$$

Задача 2.3. У мережу змінного струму при напрузі U і частоті f включені ідеальна котушка з індуктивністю L ($R_k = 0$). Визначити реактивну потужність Q котушки й енергію W_{Lm} , що запасається у магнітному полі котушки, записати вираз для миттєвих значень напруги u , струму i , ЕРС самоіндукції e , миттєвої потужності p і середньої потужності P за період, якщо початкова фаза напруги ψ_u . Побудувати часову й векторну діаграми. Вихідні дані наведені в табл. 2.3

Таблиця 2.3

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U, \text{В}$	120	110	100	90	80	70	120	110	100	90	80
$f, \text{Гц}$	50	50	50	50	50	60	60	60	60	50	50
$L, \text{мГн}$	9	7	5	6	8	9	7	5	6	8	10
$\psi_u, \text{рад}$	$\pi/2$	$\pi/2$	$\pi/4$	$\pi/4$	$\pi/4$	$\pi/2$	$\pi/2$	$\pi/2$	$\pi/4$	$\pi/4$	$\pi/4$

Розв'язання задачі для варіанта К.

Індуктивний опір котушки: $X_L = \omega L = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,009 = 3 \text{ Ом}$.

Діюче значення струму: $I = U/X_L = 120/3 = 40 \text{ А}$.

Реактивна потужність кола: $Q = U \cdot I = 120 \cdot 40 = 4800 \text{ Вар}$.

Максимальна енергія, що запасається в магнітному полі котушки:

$$W_{Lm} = L \cdot I^2 = 0,009 \cdot 40^2 = 14,4 \text{ Дж}$$

Амплітудне значення напруги $U_m = \sqrt{2} \cdot U = 1,41 \cdot 120 = 169,2 \text{ В}$ і струму $I_m = \sqrt{2} \cdot I = 1,41 \cdot 40 = 56,4 \text{ А}$.

Миттєві значення:

напруги $u = u_L = U_m \cdot \sin(\omega t + \pi/2) = 169,2 \sin(3,14t + \pi/2) \text{ В}$;

струму $i = I_m \cdot \sin \omega t = 56,4 \cdot \sin 314 \text{ А}$;

ЕРС самоіндукції котушки $e = -u = 169,2 \cdot \sin(3,14t - \pi/2) \text{ В}$;

потужності кола $p = u \cdot i = U_m \cdot \sin(\omega t + \pi/2) \cdot I_m \cdot \sin \omega t = U_m \cdot \cos \omega t \cdot I_m \cdot \sin \omega t = = U_m \cdot I_m \cdot \sin 2\omega t / 2$, внаслідок $\sin(\omega t + \pi/2) = \cos \omega t$, а $\sin 2\omega t = 2 \sin \omega t \cdot \cos \omega t$.

Для діючих значень напруги й струму:

$p = u \cdot i = U \cdot I \cdot \sin 2\omega t = 120 \cdot 40 \cdot \sin(2 \cdot 314 \cdot t) = 4800 \cdot \sin 628t \text{ ВА}$.

Середня потужність за період:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p \cdot dt = \frac{1}{T} \int_0^T U \cdot I \cdot \sin 2\omega t \cdot dt = 0.$$

Векторна діаграма для діючих значень напруги й струму наведена на рис.2.1,а.

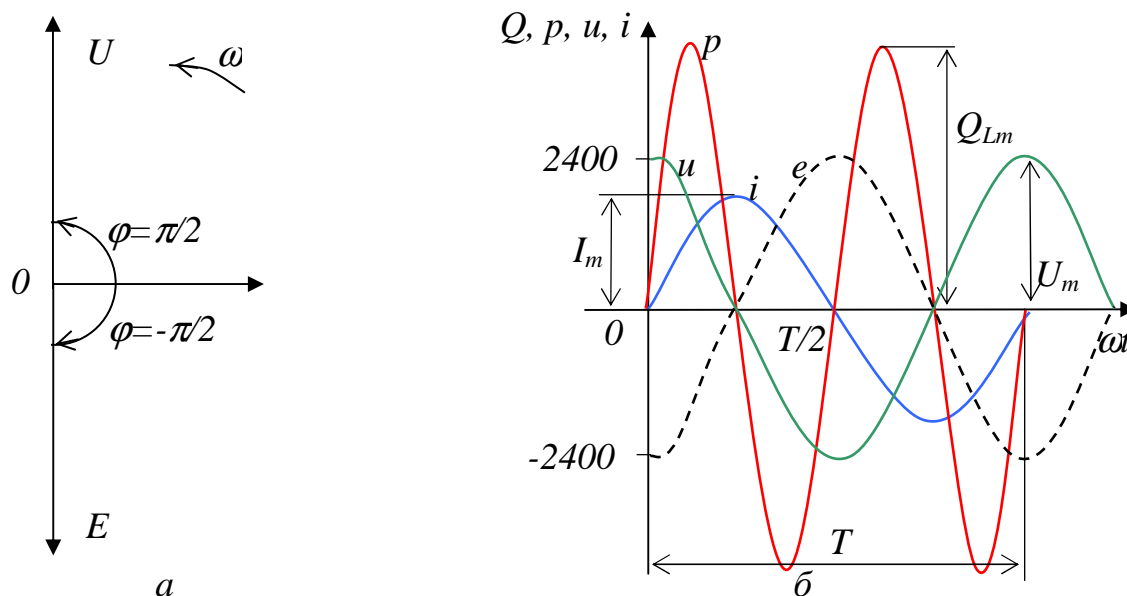


Рис.2.1 - Векторна діаграма (а) і графіки миттєвих значень (б) до задачі 2.3

Графік зміни миттєвої потужності являє собою синусоїду з подвійною частотою й амплітудою Q_{Lm} (рис. 2.1,б). При цьому реактивна потужність

$$Q_L = \frac{U_m \cdot I_m}{2} = \frac{\sqrt{2}U \cdot \sqrt{2}I}{2} = U \cdot I = 120 \cdot 40 = 4800 \text{ Вар.}$$

Задача 2.4. До мережі змінного струму при напрузі U і частоті f включено конденсатор з ємністю C ($R_C = 0$). Визначити реактивний опір конденсатора X_C , струм i , реактивну потужність Q_C , максимальну енергію W_{Cm} , що запасається в електричному полі конденсатора. Записати вирази для миттєвих значень струму i і миттєвої потужності p . Побудувати часову й векторну діаграми. Вихідні дані наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U, B	220	220	220	210	210	210	127	127	127	120	120
$f, \text{Гц}$	50	50	50	60	60	60	60	50	50	50	50
$C \text{ мкф}$	20	18	14	10	20	18	14	10	16	20	30
$\psi_u, \text{рад}$	0	0	0	30	30	30	60	60	60	157	157

Розв'язання задачі для варіанта К.

Реактивний опір конденсатора:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 20 \cdot 10^{-6}} = 160 \text{ Ом.}$$

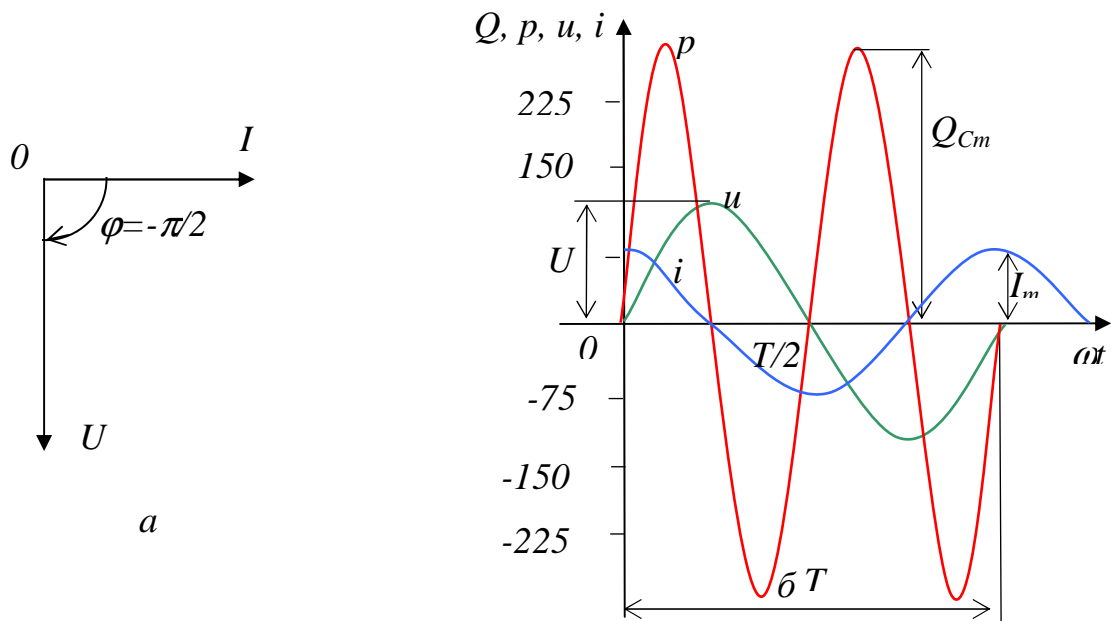


Рис.2.2 - Векторна діаграма (а) і графіки миттєвих значень (б) до задачі 2.4

Струм у колі конденсатора: $I = U / X_C = 220 / 160 = 1,37$ А.

Реактивна потужність кола: $Q_C = U \cdot I = 220 \cdot 1,37 = 302$ Вар.

Максимальна енергія, що запасється в електричному полі конденсатора:
 $W_{Cm} = C \cdot U^2 = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 220^2 = 968 \cdot 10^{-3}$ Дж.

Миттєве значення струму в колі:

$$i = C \frac{du}{dt} = C \frac{d(U_m \sin \omega t)}{dt} = C \cdot U_m \cdot \omega \cdot \sin(\omega t + \pi/2) = I_m \cdot \cos \omega t.$$

Миттєва потужність кола $p = u \cdot i = U_m \sin \omega t \cdot I_m \cos \omega t = U_m \cdot I_m \frac{\sin 2\omega t}{2}$,

або для діючих значень струму й напруги

$$p = U \cdot I \cdot \sin 2\omega t = 220 \cdot \frac{220}{160} \cdot \sin(2 \cdot 314t) = 302 \sin 628t.$$

Векторна діаграма струму й напруги наведена на рис.2.2,а.

Часові графіки напруги, струму й потужності наведені на рис.2.2,б. Графік зміни миттєвої потужності в часі являє собою синусоїду з подвійною частотою й амплітудою, яка дорівнює реактивній потужності:

$$Q_{cm} = \frac{U_m \cdot I_m}{2} = \frac{\sqrt{2}U \cdot \sqrt{2}I}{2} = U \cdot I = 220 \cdot 1,37 = 302 \text{ Вар.}$$

Задача 2.5. Для електричного кола змінного струму (рис. 2.3,а) визначити показання амперметрів А, А₁, А₂, кути зрушення фаз φ , φ_1 і φ_2 між відповідними струмами \dot{I} , \dot{I}_1 і \dot{I}_2 й напругою \dot{U} , побудувати векторну діаграму струмів і

напруг. Вихідні дані (напруга живлення U , активні й реактивні опори кола) наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Параметр	Варіант завдання											
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
U , В	120	110	100	90	80	86	94	104	114	124	136	
R_1 , Ом	2	1,6	1,4	1,4	1,8	2	2,1	2,2	2,6	2,9	3,2	
R_2 , Ом	1	0,8	0,6	0,7	0,9	1,3	1,5	1,6	1,4	1,1	2,0	
X_L , Ом	6	5	4	5	6	7	6	5	4	7	8	
X_C , Ом	9,95	9	8	7	10	12	8	9	7	10	9	

Розв'язання задачі для варіанта К.

Повний опір гілок кола:

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{2^2 + 6^2} = 6,32 \text{ Ом}; \quad Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2} = \sqrt{1^2 + 9,95^2} = 10 \text{ Ом}.$$

Кути зрушення фаз між струмами й напругами відповідних паралельних гілок:

$$\cos \varphi_1 = \frac{R_1}{Z_1} = \frac{2}{6,32} = 0,316; \quad \varphi_1 = 71^\circ 35';$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{1}{10} = 0,1; \quad \varphi_2 = -84^\circ 15'.$$

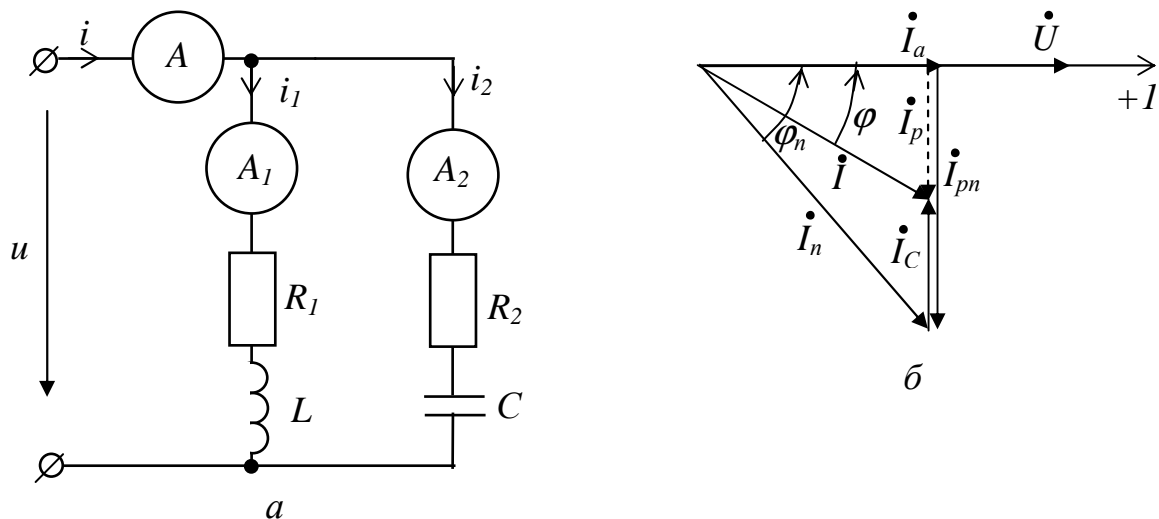


Рис.2.3 - До задачі 2.5: а - схема кола; б – векторні діаграми для варіанта К

Показання амперметрів A_1 і A_2 у паралельних гілках:

$$I_1 = U/Z_1 = 120/6,32 = 19 \text{ А}; \quad I_2 = U/Z_2 = 120/10 = 12 \text{ А}.$$

Активні складові струмів у паралельних гілках:

$$I_{a1} = I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 19 \cdot 0,316 = 6,01 \text{ А}, \quad I_{a2} = I_2 \cdot \cos \varphi_2 = 12 \cdot 0,1 = 1,2 \text{ А}.$$

Реактивні складові струмів у паралельних гілках:

$$I_{p1} = I_1 \cdot \sin\varphi_1 = I_1 \cdot X_L / Z_1 = 19 \cdot 6 / 6,32 = 18,01 \text{ А};$$

$$I_{p2} = I_2 \cdot \sin\varphi_2 = I_2 \cdot X_C / Z_2 = 12 \cdot 9,95 / 10 = 11,93 \text{ А}.$$

Активна й реактивна складові загального струму:

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} = 6,01 + 1,2 = 7,21 \text{ А}; \quad I_p = I_{p1} + I_{p2} = 18,01 - 11,93 = 6,08 \text{ А}.$$

Загальний струм у колі:

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2} = \sqrt{7,21^2 + 6,08^2} = 9,43 \text{ А}.$$

Кут зрушення фаз між струмом I і прикладеною напругою U :

$$\cos\varphi = I_a / I = 7,21 / 9,43 = 0,756; \quad \varphi = 40^\circ 10'.$$

Векторна діаграма струмів і напруг для даного варіанта розрахунку наведена на рис.2.3,б.

Задача 2.6. Розв'язати задачу 2.5 методом провідностей.

Розв'язання задачі для варіанта К.

Значення величин повних опорів Z_1 , Z_2 , струмів I_1 , I_2 і коефіцієнтів потужності $\cos\varphi_1$, $\cos\varphi_2$, визначаємо за методом, викладеним у задачі 2.5.

Активні й реактивні провідності паралельних гілок

$$G = G_1 + G_2 = \frac{R_1}{Z_1^2} + \frac{R_2}{Z_2^2} = \frac{2}{6,32^2} + \frac{1}{10^2} = 0,06 \text{ См};$$

$$B = B_1 + B_2 = \frac{X_L}{Z_1^2} - \frac{X_C}{Z_2^2} = \frac{6}{6,32^2} - \frac{9,95}{10^2} = 0,05 \text{ См}.$$

Повна провідність всього кола:

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2} = \sqrt{0,06^2 + 0,05^2} = 0,0784 \text{ См}.$$

Загальний струм в колі: $I = U \cdot Y = 120 \cdot 0,0784 = 9,4 \text{ А}.$

Кут зрушення фаз між струмом I і прикладеною напругою U :

$$\cos\varphi = G / Y = 0,06 / 0,0784 = 0,765; \quad \varphi = 40^\circ 10'.$$

Задача 2.7. Визначити активну P , реактивну Q і повну S потужність електричного кола (рис. 2.4). Значення струмів I_1 , I_2 , I_3 , активних R_1 , R_2 , R_3 і реактивних X_L і X_C опорів наведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_1 , А	5	5	5	4	4	4	3	3	3	5	5
I_2 , А	3	3	3	2	2	2	1	1	1	2	2
I_3 , А	4	4	4	5	5	5	4	4	4	3	3
R_1 , Ом	10	10	10	9	9	9	8	8	8	7	7
R_2 , Ом	6	6	6	5	5	5	4	4	4	3	3
R_3 , Ом	5	5	5	6	6	6	7	7	7	5	5
X_L , Ом	8	8	8	7	7	7	6	6	6	8	8
X_C , Ом	5,6	5	5	6	6	6	7	7	7	5	5

Розв'язання задачі для варіанта К.

Активна потужність кола:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = I_1^2 \cdot R + I_2^2 \cdot R + I_3^2 \cdot R = 5^2 \cdot 10 + 3^2 \cdot 6 + 4^2 \cdot 5 = 384 \text{ Вт.}$$

Реактивна потужність кола:

$$Q = Q_L - Q_C = I_2^2 \cdot X_L - I_3^2 \cdot X_C = 3^2 \cdot 8 - 4^2 \cdot 5,6 = -17,6 \text{ Вар.}$$

$$\text{Повна потужність кола: } S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{384^2 + (-17,6)^2} = 385 \text{ ВА.}$$

Задача 2.8. Визначити показання ватметра W в електричному колі (рис. 2.5.) при замкнутих й розімкнених контактах K . Напряга джерела живлення U , активний R і реактивні X_{L1} , X_{L2} і X_C опори задані в табл. 2.8.

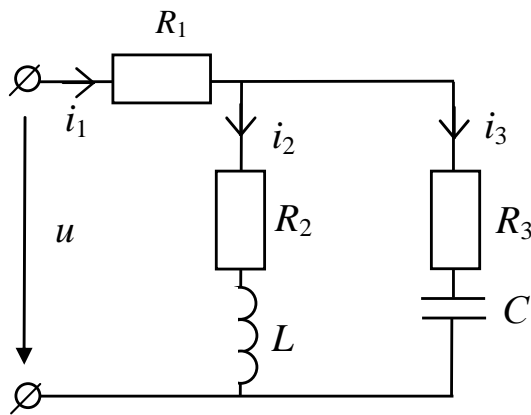


Рис.2.4 - Схема електричного кола до задачі 2.7

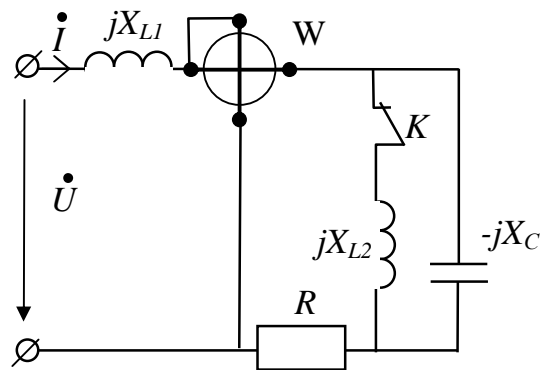


Рис.2.4 - Схема електричного кола до задачі 2.8

Таблиця 2.8

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U, \text{ В}$	100	100	110	110	120	120	130	130	90	90	90
$R, \text{ Ом}$	5	4	3	6	5	4	7	6	5	4	3
$X_{L1}, \text{ Ом}$	5	5	4	4	6	6	5	5	4	4	6
$X_{L2}, \text{ Ом}$	5	4	3	6	7	5	7	8	5	5	4
$X_C, \text{ Ом}$	5	5	4	4	6	6	5	6	5	4	3

Розв'язання задачі для варіанта К.

1. Контакти K розімкнені. У цьому випадку в електричному колі має місце резонанс напруг ($X_{L1} = X_C$) і повний опір кола:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_{L1} - X_C)^2} = \sqrt{5^2 + (5 - 5)^2} = 5 \text{ Ом.}$$

Струм у колі: $I = U/Z = 100/5 = 20 \text{ А.}$

Показання ватметра в цьому випадку: $P = R \cdot I^2 = 5 \cdot 20^2 = 2000 \text{ Вт} = 2 \text{ кВт.}$

2. Контакты К замкнені. У цьому випадку на паралельній ділянці має місце резонанс струмів ($X_{L2} = X_C$), тобто $\dot{I}_{L2} = \dot{I}_{C2}$ і струм $\dot{I} = 0$. Показання ватметра при замкнутих контактах К: $P = R \cdot I^2 = 5 \cdot 0 = 0$ Вт

3. ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ТРИФАЗНОГО СТРУМУ

Задача 3.1. До трифазного генератора підключені симетричний приймач електричної енергії (рис. 3.1). Визначити фазну напругу генератора, струми, фазні й лінійні напруги приймача, падіння напруги в лінійних проводах, потужність приймача. Побудувати векторну діаграму напруг і струмів. У табл. 3.1 наведені вихідні дані для розв'язання задачі: лінійна напруга генератора $U_{л}$, опір проводів $\underline{Z}_{np} = R_{np} + jX_{np}$, опір приймача $\underline{Z} = R + jX$.

Таблиця 3.1

Параметр	Варіант завдання											
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
$U_{л}, \text{В}$	220	220	220	220	220	220	380	380	380	380	380	
$R_{np}, \text{Ом}$	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,8	0,8	1	1,2	1,2	
$X_{np}, \text{Ом}$	1	1,2	1,4	1,2	1,4	1,2	1,2	1,4	1,2	1,0	1,4	
$R, \text{Ом}$	10	12	12	12	10	14	18	20	22	22	24	
$X, \text{Ом}$	6	6	8	6	8	8	10	12	14	16	16	

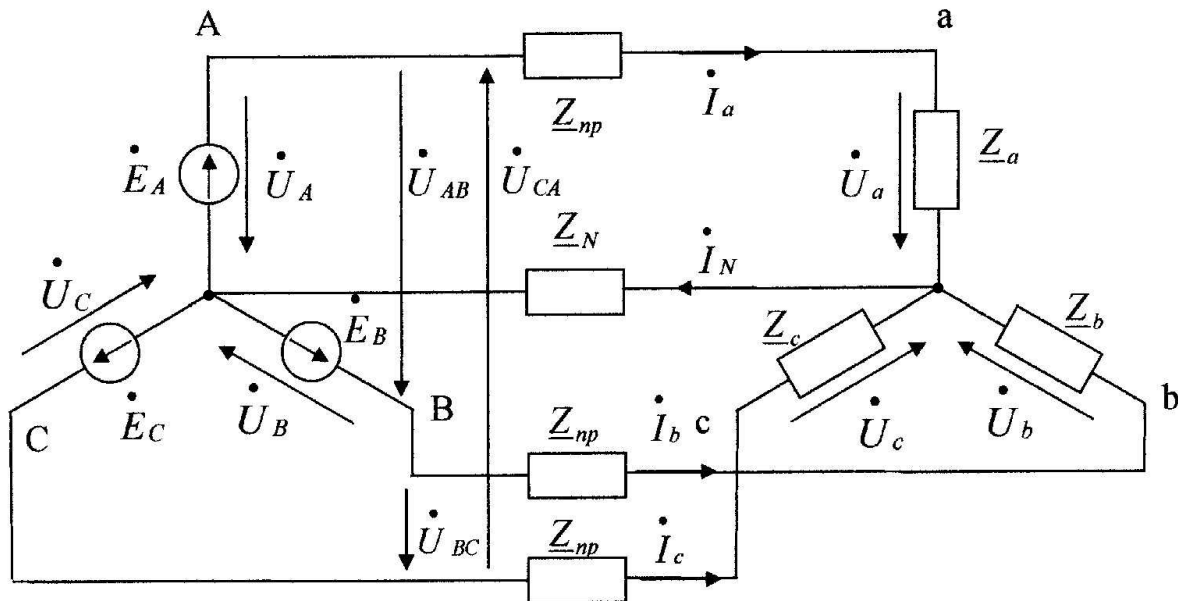


Рис.3.1 - Схема кола до задачі 3.1

Розв'язання задачі для варіанта К.

Задачу розв'язуємо методом комплексних чисел.

Режим роботи трифазного кола симетричний, тому напруга між нейтральними точками $U_n = 0$.

При симетричній системі лінійних напруг генератора фазна напруга дорівнює

$$U_{\phi} = U_{л} / \sqrt{3} = 220 / \sqrt{3} = 127 \text{ В.}$$

Система комплексних фазних напруг генератора, якщо прийняти напругу \dot{U}_A чисто дійсною:

$$\dot{U}_A = 127, \quad \dot{U}_B = 127e^{-j120^\circ}, \quad \dot{U}_C = 127e^{j120^\circ}.$$

Комплексні фазні опори й провідності

$$\underline{Z}_\phi = \underline{Z} + \underline{Z}_{np} = (10 + j6) + (0,5 + j1) = 10,5 + j7 = 12,6e^{j34^\circ},$$

$$\underline{Y}_\phi = \frac{1}{\underline{Z}_\phi} = \frac{1}{12,6e^{j34^\circ}} = 7,9 \cdot 10^{-2} \cdot e^{-j34^\circ} = (6,6 - j4,4) \cdot 10^{-2}.$$

Внаслідок того, що системи фазних і лінійних напруг генератора й приймача симетричні, трифазні системи струмів, фазних і лінійних напруг приймача також є симетричними.

Фазні струми приймача:

$$\dot{I}_a = \dot{U}_a \cdot \underline{Y}_a = 127 \cdot 7,9 \cdot 10^{-2} \cdot e^{-j34^\circ} = 10 \cdot e^{-j34^\circ},$$

$$\dot{I}_b = \dot{I}_a \cdot e^{-j120^\circ} = 10 \cdot e^{-j154^\circ}, \quad \dot{I}_c = \dot{I}_a \cdot e^{j120^\circ} = 10 \cdot e^{j86^\circ}.$$

Діючі значення фазних струмів $I_a = I_b = I_c = 10$ А.

Система фазних напруг приймача:

$$\dot{U}_a = \dot{I}_a \cdot \underline{Z}_a = 10 \cdot e^{-j34^\circ} (10 + j6) = 10 \cdot e^{-j34^\circ} \cdot 11,7 \cdot e^{j31^\circ} = 117 \cdot e^{-j3^\circ};$$

$$\dot{U}_b = \dot{U}_a \cdot e^{-j120^\circ} = 117 \cdot e^{-j123^\circ}; \quad \dot{U}_c = \dot{U}_a \cdot e^{j120^\circ} = 117 \cdot e^{j117^\circ}.$$

Діючі значення фазних напруг приймача $U_a = U_b = U_c = 117$ В.

Лінійні напруги на приймачі:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{ab} &= \dot{U}_a - \dot{U}_b = 117 \cdot e^{-j3^\circ} - 117 \cdot e^{-j123^\circ} = 116,8 - j6,1 - (64,8 - j98,1) = \\ &= 180 + j92 = 202 \cdot e^{j27^\circ}; \end{aligned}$$

$$\dot{U}_{bc} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j120^\circ} = 202 \cdot e^{j27^\circ} \cdot e^{-j120^\circ} = 202 \cdot e^{-j93^\circ};$$

$$\dot{U}_{ca} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{j120^\circ} = 202 \cdot e^{j27^\circ} \cdot e^{j120^\circ} = 202 \cdot e^{j147^\circ}.$$

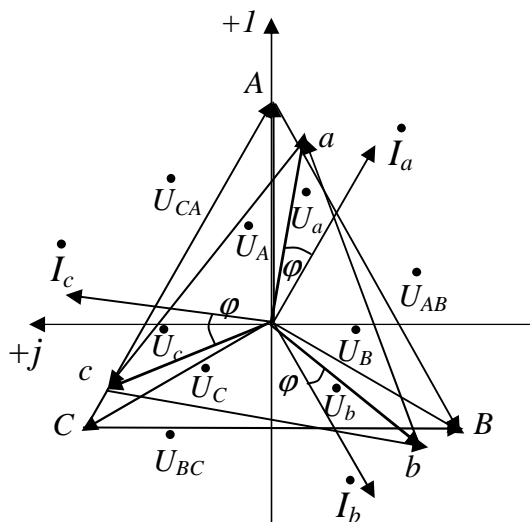


Рис.3.2 - Векторна діаграма струмів і напруг до задачі 3.1.

Падіння напруг на лінійних проводах:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{U}_a &= \dot{I}_a \cdot \underline{Z}_{np} = 10 \cdot e^{-j34^\circ} \cdot (0,5 + j1) = \\ &= 10 \cdot e^{-j34^\circ} \cdot 1,12 \cdot e^{j63^\circ} = 11,2 \cdot e^{j29^\circ}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta \dot{U}_b &= \dot{I}_b \cdot \underline{Z}_{np} = 10 \cdot e^{-j154^\circ} \cdot (0,5 + j1) = \\ &= 10 \cdot e^{-j154^\circ} \cdot 1,12 \cdot e^{j63^\circ} = 11,2 \cdot e^{-j91^\circ}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta \dot{U}_c &= \dot{I}_c \cdot \underline{Z}_{np} = 10 \cdot e^{j86^\circ} \cdot (0,5 + j1) = \\ &= 10 \cdot e^{j86^\circ} \cdot 1,12 \cdot e^{j63^\circ} = 11,2 \cdot e^{j149^\circ}. \end{aligned}$$

Фазні повна, активна й реактивна потужності приймача:

$$\underline{S}_\phi = \underline{S}_a = \underline{S}_b = \underline{S}_c = \dot{U}_a \cdot \dot{I}_a^* = 117 \cdot e^{-j3^\circ} \cdot 10 \cdot e^{j34^\circ} = 1170 \cdot e^{j31^\circ} = 1003 + j603;$$

$$S_\phi = 1170 \text{ ВА}; P_\phi = 1003 \text{ Вт}; Q_\phi = 603 \text{ Вар.}$$

Повна, активна й реактивна потужності приймача:

$$\underline{S} = \sum \underline{S}_\phi = 3 \sum \underline{S}_\phi = 3510 \cdot e^{j31^\circ} = 3010 + j1810.$$

$$S = 3510 \text{ ВА}; P = 3010 \text{ Вт}; Q = 1810 \text{ Вар.}$$

Векторна діаграма напруг і струмів наведена на рис.3.2.

Задача 3.2. Трифазний споживач електроенергії з активними й реактивними опорами R_{ab} , R_{bc} , R_{ca} , X_{ab} , X_{bc} , X_{ca} з'єднаними «трикутником» (рис. 3.3) і включеними до трифазної мережі з лінійною напругою U_π при симетричному живленні. Визначити фазні I_ϕ і лінійні I_π струми, активну P , реактивну Q і повну S потужності кожної фази й всього електричного кола. Побудувати векторну діаграму струмів і напруг. Вихідні дані наведені в табл. 3.2.

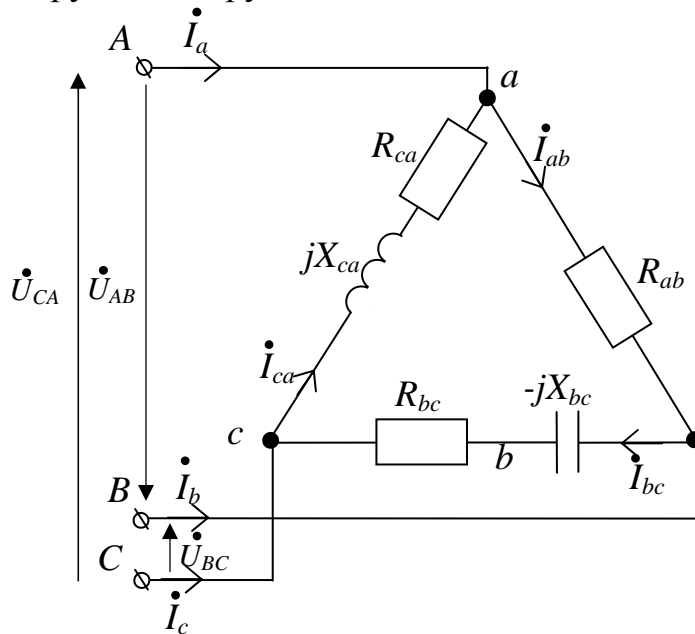


Рис.3.3 - Схема кола до задачі 3.2

Таблиця 3.2

Параметр	Варіант завдання											
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
$U_\pi, \text{ В}$	220	220	220	220	127	127	127	127	100	100	100	
$R_{ab}, \text{ Ом}$	10	12	14	10	10	14	14	10	8	10	10	
$X_{ab}, \text{ Ом}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
$R_{bc}, \text{ Ом}$	5	8	10	8	5	10	8	12	12	8	10	
$X_{bc}, \text{ Ом}$	5	8	10	8	5	10	8	12	12	8	10	
$R_{ca}, \text{ Ом}$	5	8	10	10	5	10	10	12	12	8	10	
$X_{ca}, \text{ Ом}$	5	8	10	10	5	10	10	12	12	8	10	

Розв'язання задачі для варіанта К.

Фазні струми споживача:

$$I_{ab} = \frac{U_{ab}}{Z_{ab}} = \frac{U_{ab}}{R_{ab}} = \frac{220}{10} = 22 \text{ А};$$

$$I_{bc} = \frac{U_{bc}}{Z_{bc}} = \frac{U_{bc}}{\sqrt{R_{bc}^2 + X_{bc}^2}} = \frac{220}{\sqrt{5^2 + 5^2}} = 31,11 \text{ А};$$

$$I_{ca} = \frac{U_{ca}}{Z_{ca}} = \frac{U_{ca}}{\sqrt{R_{ca}^2 + X_{ca}^2}} = \frac{220}{\sqrt{5^2 + 5^2}} = 31,11 \text{ А}.$$

Векторна діаграма струмів і напруг з урахуванням характеру навантаження показана на рис.3.4.

Активні складові фазних струмів:

$$I'_{ab} = I_{ab} \cos \varphi_{ab} = I_{ab} \frac{R_{ab}}{Z_{ab}} = I_{ab} \frac{R_{ab}}{\sqrt{R_{ab}^2 + X_{ab}^2}} = 22 \frac{10}{\sqrt{10^2 + 0}} = 22 \text{ А};$$

$$I'_{bc} = I_{bc} \cdot \cos \varphi_{bc} = I_{bc} \frac{R_{bc}}{Z_{bc}} = I_{bc} \frac{R_{bc}}{\sqrt{R_{bc}^2 + X_{bc}^2}} = 31,11 \frac{5}{\sqrt{5^2 + 5^2}} = 22 \text{ А};$$

$$I'_{ca} = I_{ca} \cdot \cos \varphi_{ca} = I_{ca} \frac{R_{ca}}{Z_{ca}} = 31,11 \frac{5}{\sqrt{5^2 + 5^2}} = 22 \text{ А}.$$

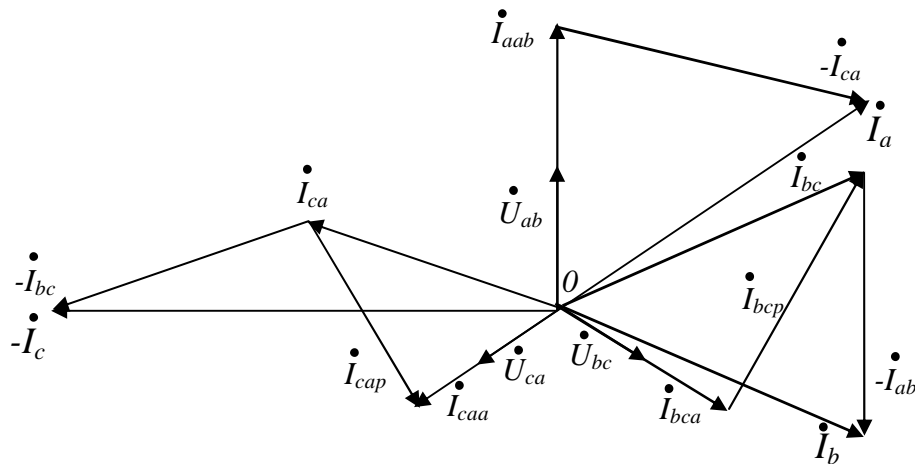


Рис.3.4 - Векторна діаграма струмів і напруг до задачі 3.2

Реактивні складові фазних струмів:

$$I''_{ab} = I_{ab} \cdot \sin \varphi_{ab} = I_{ab} \frac{X_{ab}}{Z_{ab}} = I_{ab} \frac{X_{ab}}{\sqrt{R_{ab}^2 + X_{ab}^2}} = 22 \frac{0}{\sqrt{5^2 + 0}} = 0;$$

$$I''_{bc} = I_{bc} \cdot \sin \varphi_{bc} = I_{bc} \frac{X_{bc}}{Z_{bc}} = I_{bc} \frac{X_{bc}}{\sqrt{R_{bc}^2 + X_{bc}^2}} = 31,11 \frac{5}{\sqrt{5^2 + 5^2}} = 22 \text{ А};$$

$$I''_{ca} = I_{ca} \cdot \sin \varphi_{ac} = I_{ca} \frac{X_{ca}}{Z_{ca}} = I_{ca} \frac{X_{ca}}{\sqrt{R_{ca}^2 + X_{ca}^2}} = 31,11 \frac{5}{\sqrt{5^2 + 5^2}} = 22 \text{ А}.$$

Лінійні струми споживача електроенергії визначаємо за векторною діаграмою (рис.3.4):

Активні потужності фаз споживача:

$$P_{ab} = U_{ab} \cdot I'_{ab} = 220 \cdot 22 = 4840 \text{ Вт};$$

$$P_{bc} = U_{bc} \cdot I'_{bc} = 220 \cdot 22 = 4840 \text{ Вт};$$

$$P_{ca} = U_{ca} \cdot I'_{ca} = 220 \cdot 22 = 4840 \text{ Вт}.$$

Реактивні потужності фаз споживача:

$$Q_{ab} = U_{ab} \cdot I''_{ab} = 220 \cdot 0 = 0;$$

$$Q_{bc} = U_{bc} \cdot I''_{bc} = 220 \cdot 22 = -4840 \text{ Вар};$$

$$Q_{ca} = U_{ca} \cdot I''_{ca} = 220 \cdot 22 = 4840 \text{ Вар}.$$

Повні потужності фаз споживача:

$$S_{ab} = P_{ab} = U_{ab} \cdot I'_{ab} = 220 \cdot 22 = 4840 \text{ ВА};$$

$$S_{bc} = U_{bc} \cdot I_{bc} = 220 \cdot 31,11 = 6844,2 \text{ ВА};$$

$$S_{ca} = U_{ca} \cdot I_{ca} = 220 \cdot 31,11 = 6844,2 \text{ ВА}.$$

Потужності всього кола:

активна $P = P_{ab} + P_{bc} + P_{ca} = 4840 + 4840 + 4840 = 14520 \text{ Вт};$

реактивна $Q = Q_{ab} + Q_{bc} + Q_{ca} = 0 - 4840 + 4840 = 0 \text{ Вар};$

повна $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{14520^2 + 0^2} = 14520 \text{ ВА} = 14,52 \text{ кВА}.$

4. ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

Задача 4.1. За даними табл. 4.1. визначити найбільшу абсолютну й відносну похибку результатів виміру напруги вольтметром класу точності КТ з верхньою межею вимірювання U_{\max} , якщо показання приладу U_x , В. Знайти найменше значення напруги, яке можна вимірювати даним вольтметром при найбільшій припустимій помилці вимірювання $\pm 10\%$.

Таблиця 4.1

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
КТ	2,5	1,5	1,0	0,5	2,5	1,5	1,0	0,5	0,2	0,2	1,0
U_{\max} , В	150	300	150	150	300	150	150	300	100	150	300
U_x , В	90	210	110	80	250	60	120	240	60	70	220

Розв'язання задачі для варіанта К.

Оскільки клас точності вольтметра, заданий у вигляді числа 2,5, визначається найбільшою приведеною похибкою, найбільшу абсолютну помилку визначимо за співвідношенням (8.4) [1]:

$$\Delta X = \frac{\gamma_m \cdot X_H}{100} = \pm \frac{2,5 \cdot 150}{100} = \pm 3,75 \text{ В}.$$

Найбільша відносна похибка вимірювання визначається співвідношенням (8.2) [1]:

$$\delta = \frac{\Delta X}{X} \cdot 100\% = \frac{\pm 3,75 \cdot 100\%}{90} = \pm 4,17\%.$$

Найменше значення напруги, що може бути виміряне даним вольтметром при найбільшій припустимій похибці $\pm 10\%$, знайдемо, користуючись співвідношенням (8.5) [1]:

$$X = \frac{\gamma_m \cdot X_H}{\delta} = \frac{2,5 \cdot 150}{10} = 37,5 \text{ В.}$$

Задача 4.2. Цифровим вольтметром класу точності c/d виміряна напруга U_x на межі виміру U_{\max} . Визначити найбільшу абсолютну й відносну похибки вимірювання. Записати результат з отриманою помилкою. Вихідні дані наведені в табл.4.2.

Таблиця 4.2

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
c/d	0,2/ 0,1	0,2/ 0,1	0,2/ 0,1	0,2/ 0,1	0,5/ 0,2	0,5/ 0,2	0,5/ 0,2	1,5/ 1,0	1,5/ 1,0	1,5/ 1,0	1,5/ 1,0
U_{\max} , В	99,99	100	100	150	150	150	150	300	300	300	300
U_x , В	50,2	64,8	78,4	110	69	135	48,3	179	246	261	285

Розв'язання задачі для варіанта К.

Найбільшу відносну похибку вимірювання приладом, клас точності якого заданий у вигляді співвідношення c/d , визначаємо за співвідношенням (8.6) [1]:

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\frac{U_H}{U} \right) - 1 \right] \% = \pm \left[0,2 + 0,1 \left(\frac{99,99}{50,2} - 1 \right) \right] \% = \pm 0,299\%.$$

Найбільшу абсолютну похибка вимірювання знаходимо за формулою (8.2) [1]:

$$\Delta U = \frac{\delta \cdot U}{100} = \pm \frac{0,299 \cdot 50,20}{100} = \pm 0,1501 \text{ В.}$$

Результат вимірювання із зазначеною похибкою матиме вигляд

$$U_0 = U - \Delta U = 50,20 \pm 0,15 \text{ В.}$$

Задача 4.3. Межа вимірювання струму амперметром із шунтом I_H . Він виконаний на основі магнітоелектричного міліамперметра з опором $R_{пр}$, межею вимірювань $I_{пр.мах}$ і шкалою α_H поділок. Визначити опір шунта $R_{ш}$ і струм кола I , до якого включений амперметр, якщо його стрілка відхилилася на α_X поділок. Вихідні дані наведені в табл.4.3.

Розв'язання задачі для варіанта К.

Коефіцієнт шунтування знаходимо з (7.13) [1]: $p = \frac{I_H}{I_{пр.мах}} = \frac{2,5}{500 \cdot 10^{-3}} = 5$.

Таблиця 4.3

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_H , А	2,5	2,5	2,5	5	5	5	5	10	10	10	10
$R_{пр}$, Ом	0,4	0,6	0,4	1	1	1	1	2	2	2	2
$I_{пр.мах}$, ма	500	250	500	250	250	500	500	250	250	500	500
α_H , поділок	50	50	100	50	50	100	100	75	75	150	150
α_X , поділок	40	30	60	40	45	60	80	50	60	80	120

Опір шунта знайдемо за формулою (7.14) [1]: $R_{ш} = \frac{R_{пр}}{p-1} = \frac{0,4}{5-1} = 0,1$ Ом.

Постійна амперметра із шунтом $C_i = \frac{I_H}{\alpha_H} = \frac{2,5}{50} = 0,05$ А/под.

Струм у колі $I = C_i \cdot \alpha_X = 0,05 \cdot 40 = 2$ А.

Задача 4.4. Двомежевий міліамперметр (рис. 4.1) виконаний на основі магнітоелектричного мікроамперметра із струмом повного відхилення $I_{пр.мах}$ і опором $R_{пр}$. Визначити опори резисторів R_1 і R_2 двомежевого шунта, якщо межі міліамперметра $I_{1.мах}$ і $I_{2.мах}$.

Вихідні дані наведені в табл.4.4.

Таблиця 4.4.

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I_{пр.мах}$, мкА	100	100	100	100	150	150	150	150	300	300	300
$R_{пр}$, Ом	2000	2400	2400	2000	2000	2400	2400	2000	2000	2400	2400
$I_{1.мах}$, мА	10	50	75	50	75	50	75	10	50	75	75
$I_{2.мах}$, мА	75	100	150	100	150	100	150	75	150	250	300

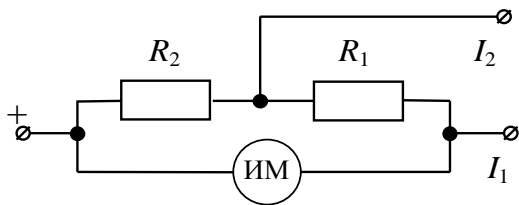


Рис.4.1 - Схема до задачі 4.4

Розв'язання задачі для варіанта К.

Коефіцієнти шунтування:

$$p_1 = \frac{I_{1.\max}}{I_{np.\max}} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-6}} = 100;$$

$$p_2 = \frac{I_{2.\max}}{I_{np.\max}} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-6}} = 750.$$

Можемо записати систему рівнянь:

$$\begin{cases} R_1 + R_2 = \frac{R_{np}}{p_1 - 1}; \\ R_2 = \frac{R_1 + R_{np}}{p_2 - 1}; \end{cases}$$

з якої знайдемо $R_2 = \frac{R_{np} \cdot p_1}{(p_1 - 1) \cdot p_2} = \frac{2000 \cdot 100}{(100 - 1) \cdot 750} = 2,69 \text{ Ом.}$

Тоді $R_1 = \frac{R_{np}}{p_1 - 1} - R_2 = \frac{2000}{100 - 1} - 2,69 = 17,51 \text{ Ом.}$

5. ТРАНСФОРМАТОРИ

Задача 5.1. Визначити коефіцієнт трансформації n трансформатора, число витків w_1 первинної обмотки при числі витків вторинної обмотки w_2 , а також номінальні струми $I_{1\text{НОМ}}$ і $I_{2\text{НОМ}}$ в обмотках однофазного трансформатора з номінальною потужністю $S_{1\text{НОМ}}$, підключеного до живильної мережі з напругою $U_{1\text{НОМ}} = 127 \text{ В}$, напруга на затискачах вторинної обмотки при холостому ході U_{20} . Вихідні дані для розрахунку наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
w_2 , витків	40	50	60	70	80	80	70	60	60	40	50
$S_{1\text{НОМ}}$, кВА	3	3,6	4	6	10	5	6,6	6	4,4	3,8	4,2
$U_{1\text{НОМ}}$, В	127	127	220	220	220	127	220	220	127	127	127
U_{20} , В	60	100	40	60	80	40	40	60	50	40	40

Розв'язання задачі для варіанта К.

Коефіцієнт трансформації трансформатора

$$n = \frac{w_1}{w_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_{20}} = \frac{127}{60} = 2,11 .$$

Оскільки $U_{20} = E_2$, при холостому ході трансформатора падіння напруги на первинній обмотці незначне, тому приблизно $U_1 \cong E_1$. Число витків первинної обмотки:

$$w_1 = n \cdot w_2 = 2,11 \cdot 40 = 84,4 .$$

Номінальний струм первинної обмотки (вважаючи повні потужності обмоток $S_1 \cong S_2$):

$$I_{1ном} = \frac{S_{1ном}}{U_{1ном}} = \frac{3 \cdot 1000}{127} = 23,6 \text{ А} .$$

Номінальний струм вторинної обмотки трансформатора (з врахуванням $U_{2ном} = U_{20}$)

$$I_{2ном} = \frac{S_{1ном}}{U_{20}} = \frac{3000}{60} = 50 \text{ А} .$$

Задача 5.2. Визначити коефіцієнт трансформації n трифазного трансформатора й номінальні діючі значення первинної й вторинної напруги, фазні $U_{1ф.ном}$, $U_{2ф.ном}$ і лінійні $U_{2л.ном}$, при з'єднанні обмоток за схемами «зірка – зірка» і «зірка – трикутник». Первинна обмотка має число витків на фазу w_1 , вторинна - w_2 . Номінальна лінійна напруга первинної обмотки $U_{1л.ном}$. Вихідні дані для розрахунку наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
w_1 , витків	2002	1980	1200	1600	1400	2300	2000	1900	1800	1700	1980
w_2 , витків	134	126	100	106	94	140	130	127	120	112	126
$U_{1л.ном}$, В	6000	6000	3300	3300	3300	10000	10000	6000	6000	6000	6000

Розв'язання задачі для варіанта К.

Коефіцієнт трансформації фазних напруг

$$n = \frac{w_1}{w_2} = \frac{2002}{134} = 15 .$$

Номінальна первинна фазна напруга трансформатора

$$U_{1ф.ном} = \frac{U_{1л.ном}}{\sqrt{3}} = \frac{6000}{1,73} = 3470 \text{ В} .$$

Номінальні вторинні напруги при з'єднанні обмоток трансформатора за схемою «зірка - зірка»:

$$\text{лінійна } U_{2л.ном} = U_{1л.ном} / n = 6000 / 15 = 400 \text{ В};$$

$$\text{фазна } U_{2ф.ном} = U_{2л.ном} / \sqrt{3} = 400 / 1,73 = 230 \text{ В}.$$

Коефіцієнти трансформації трансформатора при з'єднанні обмоток за схемою «зірка - зірка»:

$$\text{лінійних } n_{Y.l} = U_{1л.ном} / U_{2л.ном} = 6000 / 400 = 15;$$

$$\text{фазних } n_{Y.ф} = U_{1ф.ном} / U_{2ф.ном} = 3479 / 230 = 15.$$

Коефіцієнти трансформації трансформатора при з'єднанні обмоток за схемою «зірка - трикутник»:

$$\text{лінійний } n_{\Delta.l} = U_{1л.ном} / U_{2л.ном} = 6000 / 230 = 26;$$

$$\text{фазний } n_{\Delta.ф} = U_{1ф.ном} / U_{2ф.ном} = 3479 / 230 = 15.$$

Задача 5.3. Трифазний трансформатор має потужність $S_{ном}$, номінальні напруги первинної й вторинної обмоток $U_{1.ном}$, $U_{2.ном}$ при частоті мережі $f = 50$ Гц. Втрати холостого ходу при номінальній напрузі $P_{xx} = 180$ Вт, втрати короткого замикання $P_{кз} = 1000$ Вт. Визначити ККД трансформатора при заданих $\cos\varphi_2$ і коефіцієнті навантаження β , що змінюється в діапазоні від 0,4 до 1. Побудувати залежність ККД від коефіцієнта навантаження. Вихідні дані для розрахунку наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$S_{ном}$, кВа	40	63	25	100	100	160	160	250	250	400	400
$U_{1л.ном}$, кВ	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
$U_{2л.ном}$, кВ	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
P_{xx} , кВт	0,18	0,24	0,14	0,49	0,49	0,73	0,73	1,05	1,05	1,45	1,45
$P_{кз}$, кВт	1,0	1,4	0,8	1,97	1,97	2,65	2,65	3,7	3,7	5,5	5,5
$\cos\varphi_2$	0,9	0,8	0,84	0,74	0,86	0,76	0,88	0,73	0,87	0,68	0,84

Розв'язання задачі для варіанта К.

ККД при коефіцієнті навантаження $\beta = 1,0$

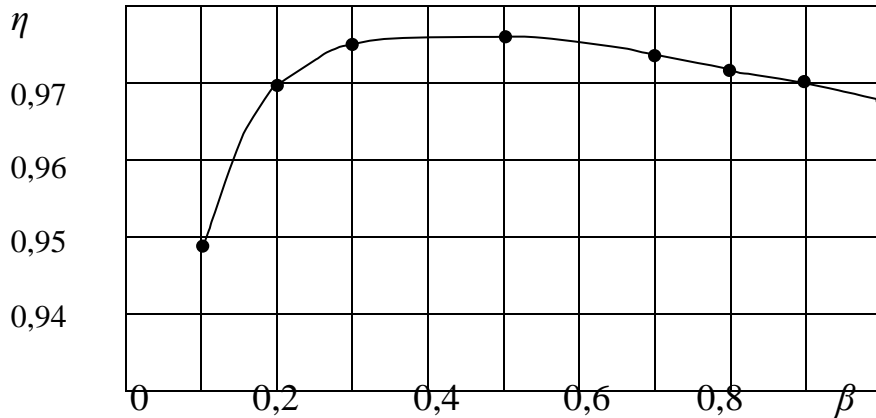
$$\eta = \frac{\beta \cdot S_H \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_H \cdot \cos \varphi_2 + \Delta P_C + \Delta P_{MH} \cdot \beta^2} = \frac{\beta \cdot S_H \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_H \cdot \cos \varphi_2 + P_{xx} + P_{кз} \cdot \beta^2} =$$

$$= \frac{1,0 \cdot 40 \cdot 0,9}{1,0 \cdot 40 \cdot 0,9 + 0,18 + 1 \cdot 1^2} = 0,968.$$

Результати розрахунку для інших значень коефіцієнта навантаження приведені в табл.5.4. На рис.5.1 побудована залежність ККД від коефіцієнта навантаження трансформатора.

Таблиця 5.4

β	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0
η	0,949	0,970	0,975	0,976	0,974	0,972	0,970	0,968

Рис.5.1 - Розрахункова залежність ККД від β

6. ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Задача 6.1. Машина постійного струму (МПС) в режимі двигуна має наступні номінальні дані: P_H ; U_H ; I_H ; $R_{я}$; $I_{зб}$; n_H .

Визначити необхідну швидкість обертання якоря МПС, що працює в режимі генератора з напругою U_G . Обчислити номінальну потужність цього генератора, якщо насичення сталі й нагрівання прийняти такими ж, як у двигуна. Вихідні дані наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1.

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_H , кВт	11	13	15	18	16	14	12	10	12	14	16
U_H , В	220	230	240	230	220	230	240	230	220	230	240
n_H , об/хв	1000	960	900	840	800	1100	1180	960	900	860	800
I_H , А	62	64	66	68	66	64	62	60	62	64	66
$R_{я}$, Ом	0,09	0,1	0,14	0,16	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,13	0,15
$I_{зб}$, А	3	3,4	3,6	3,8	4	3,8	3,6	3	3,2	3,4	3,6
U_G , В	230	240	230	240	230	240	230	240	230	240	230

Розв'язання задачі для варіанта К.

Визначаємо струм якоря двигуна й генератора

$$I_{я.дв} = I_H - I_{зб} = 62 - 3 = 59 \text{ А} = I_{н.г.}$$

Обчислюємо ЕРС двигуна й генератора без урахування падіння напруги в щітковому контакті:

$$E_{дв} = U_H - I_{ядв} \cdot R_{я} = 220 - 59 \cdot 0,09 = 214,7 \text{ В};$$

$$E_{г} = U_{г} + I_{яг} \cdot R_{я} = 230 + 59 \cdot 0,09 = 235,3 \text{ В}.$$

Швидкість обертання якоря генератора визначаємо із співвідношення

$$\frac{E_{г}}{E_{дв}} = \frac{c \cdot n_{г} \cdot \Phi_{г}}{c \cdot n_{дв} \cdot \Phi_{дв}} = \frac{n_{г}}{n_{дв}},$$

оскільки за умовою $\Phi_{г} = \Phi_{дв}$,

$$n_{г} = \frac{E_{г}}{E_{дв}} n_{дв} = \frac{235,3}{214,7} 1000 = 1096 \text{ об/хв}.$$

Якщо врахувати падіння напруги в щітковому контакті, наприклад при $\Delta U_{щ} = 2 \text{ В}$, тоді

$$E'_{дв} = U_H - I_{ядв} \cdot R_{я} - \Delta U_{щ} = 214,7 - 2 = 212,7 \text{ В},$$

$$E'_{г} = U_{г} + I_{яг} \cdot R_{я} + \Delta U_{щ} = 235,3 + 2 = 237,3 \text{ В},$$

і швидкість обертання повинна бути

$$n_{г} = \frac{E'_{г}}{E'_{дв}} n_{дв} = \frac{237,3}{212,7} 1000 = 1116 \text{ об/хв}.$$

Знаходимо номінальний струм і номінальну потужність:

$$I_{н,г} = I_{я,г} - I_{зб} = 59 - 3 = 56 \text{ А},$$

$$P_{нг} = U_{г} \cdot I_{нг} = 230 \cdot 56 = 12880 \text{ Вт} = 12,9 \text{ кВт}.$$

Задача 6.2. Визначити швидкість обертання якоря генератора з $P_{нг} = 16,5 \text{ кВт}$, $U_H = 230 \text{ В}$, $n_{н,г} = 1460 \text{ об/хв}$, $R_{я} = 0,18 \text{ Ом}$, $R_{зб} = 82 \text{ Ом}$ при роботі двигуном з $U_{дв} = 220 \text{ В}$, якщо насичення сталі й нагрівання двигуна прийняти такими ж, як у генератора. Обчислити електромагнітну потужність двигуна.

Вихідні дані наведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_{нг}$, кВт	16,5	18	20	22	21	19	17	15	16	18	20
$U_{н,г}$, В	230	240	230	240	230	240	230	240	230	240	230
$n_{н,г}$, об/хв	1460	1400	1540	1500	1460	1400	1540	1600	1500	1460	1400
$R_{я}$, Ом	0,18	0,2	0,22	0,21	0,2	0,19	0,18	0,17	0,16	0,18	0,2
$R_{зб}$, Ом	82	84	86	85	83	81	80	82	84	85	83
$U_{дв}$, В	220	220	220	230	210	220	210	220	210	220	220

Розв'язання задачі для варіанта К.

Знаходимо струм якоря генератора й двигуна:

$$\begin{aligned} I_{я,г} &= I_H + I_{зб} = P_{нг} / U_{н,г} + U_H / R_{зб} = \\ &= 16500 / 230 + 230 / 82 = 72 + 2,8 = 74,8 \text{ А} \end{aligned}$$

$$I_{я,дв} = I_{я,г} \text{ (за умовою завдання).}$$

Струм, споживаний двигуном з мережі, дорівнює

$$I_{\text{дв}} = I_{\text{я.дв}} + I_{\text{зб}} = 74,8 + 2,8 = 77,6 \text{ А.}$$

Обчислюємо ЕРС генератора й двигуна:

$$E_{\Gamma} = U_{\text{н.Г}} + I_{\text{я.Г}} \cdot R_{\text{я}} = 230 + 74,8 \cdot 0,18 = 243,5 \text{ В;}$$

$$E_{\text{дв}} = U_{\text{дв}} - I_{\text{я.дв}} \cdot R_{\text{я}} = 220 - 74,8 \cdot 0,18 = 206,5 \text{ В.}$$

Швидкість обертання якоря двигуна знаходимо із співвідношення

$$n_{\text{дв}} = \frac{E_{\text{дв}}}{E_{\Gamma}} n_{\text{н.Г}} = \frac{206,5}{243,5} 1460 = 1238 \text{ об/хв.}$$

Визначаємо електромагнітну потужність двигуна:

$$P_{\text{ем}} = E_{\text{дв}} \cdot I_{\text{я.дв}} = 206,5 \cdot 74,8 = 15446 \text{ Вт} = 15,5 \text{ кВт.}$$

Номинальна потужність двигуна буде трохи меншою.

7. АСИНХРОННІ МАШИНИ

Задача 7.1. Багатополосний двигун при номінальному навантаженні працює з ковзанням $s = 4\%$. Частота мережі $f_1 = 50$ Гц. Визначити швидкість обертання двигуна. Вихідні дані наведені в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число полюсів	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4	4
$s, \%$	4	3,6	3,2	2,8	4,4	4,8	3,3	3,5	3,8	4,2	4,5
$f_1 = 50$ Гц.	50	60	50	60	50	60	50	60	50	60	50

Розв'язання задачі для варіанта К.

Число пар полюсів $p = 6/2 = 3$; синхронна швидкість

$$n_1 = f_1 \cdot 60/p = 50 \cdot 60/3 = 1000 \text{ об/хв.}$$

Швидкість обертання ротора

$$n_2 = n_1 \cdot (1 - s) = 1000 \cdot (1 - 0,04) = 960 \text{ об/хв.}$$

Задача 7.2. Швидкість обертання асинхронного двигуна при номінальному навантаженні становить n_2 об/хв, при холостому ході - $n_{\text{хх}}$ об/хв. Визначити ковзання при навантаженні й холостому ході; $f_1 = 50$ гц. Шкала частот обертання: 3000, 2200, 1600, 1500, 1000, 850, 800, 750, 650, 600 об/хв.

Вихідні дані наведені в табл. 7.2.

Таблиця 7.2

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$n_{\text{хх}}, \text{ об/хв}$	2940	2160	1550	820	630	580	580	740	730	780	840
$n_2, \text{ об/хв}$	2850	2040	1320	740	560	510	490	680	660	690	760
$f_1 = 50$ Гц.	50	50	50	50	60	60	50	60	50	60	50

Розв'язання задачі для варіанта К.

Синхронна швидкість для даного двигуна $n_1 = 3000$ об/хв (найближча більша). Ковзання при навантаженні

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} 100 = \frac{3000 - 2850}{3000} 100 = 5\% ;$$

при холостому ході

$$s = \frac{3000 - 2940}{3000} 100 = 2\% .$$

Задача 7.3. Двигун з контактними кільцями включений до мережі з напругою U_H , В. На розімкнутих кільцях ротора обмірювана напруга U_2 , В. Число витків фазних обмоток статора – $w_1 = 60$, обмотувальний коефіцієнт - $k_1 = 0,94$, обмоток ротора – $w_2 = 36$, $k_2 = 0,96$. Обмотки з'єднані «зіркою». Частота мережі f_1 Гц.

Визначити потік, що проходить через полюси двигуна, і ЕРС статора E_1 . Вихідні дані наведені в табл. 7.3.

Таблиця 7.3

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U_H , В	380	380	220	220	400	400	400	390	390	380	380
U_2 , В	228	224	129	127	300	292	268	240	236	210	216
w_1 , витків	60	60	54	54	66	68	70	64	62	62	60
k_1	0,94	0,92	0,94	0,92	0,95	0,94	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93
w_2 , витків	36	35	32	30	40	38	42	40	38	38	36
k_2	0,96	0,94	0,96	0,92	0,93	0,96	0,96	0,96	0,95	0,96	0,94
f_1 , Гц	50	50	50	50	60	60	60	60	50	50	50

Розв'язання задачі для варіанта К.

Фазна ЕРС нерухомого ротора

$$E_{2H} = \frac{U_2}{\sqrt{3}} = \frac{228}{1,73} = 132 \text{ В.}$$

Потік

$$\Phi = \frac{E_{2H}}{4,44 f_1 \cdot w_2 \cdot k_2} = \frac{132}{4,44 \cdot 50 \cdot 36 \cdot 0,96} = 0,0173 \text{ Вб.}$$

ЕРС статора

$$E_1 = 4,44 \cdot f_1 \cdot w_1 \cdot k_1 \cdot \Phi = 4,44 \cdot 50 \cdot 60 \cdot 0,94 \cdot 0,0173 = 216 \text{ В.}$$

Задача 7.4. Визначити величину й фазу номінального струму ротора двигуна з контактними кільцями, при заданих E_{2H} , R_2 , X_{2H} і s_H .

Вихідні дані наведені в табл. 7.4.

Таблиця 7.4

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E_{2H} , В	132	130	126	122	136	140	138	135	133	137	131
R_2 , Ом	0,24	0,22	0,2	0,2	0,25	0,27	0,26	0,25	0,23	0,27	0,22
X_{2H} , Ом	1,2	1,1	1,0	1,2	1,3	1,4	1,35	1,3	1,1	1,4	1,1
s_H	0,035	0,03	0,04	0,02	0,04	0,06	0,05	0,02	0,03	0,04	0,035

Розв'язання задачі для варіанта К.

$$I_{2H} = \frac{E_{2H} \cdot s}{\sqrt{R_2^2 + X_{2H}^2 \cdot s_H^2}} = \frac{132 \cdot 0,035}{\sqrt{0,24^2 + 1,2^2 \cdot 0,035^2}} = 19 \text{ А};$$

$$\operatorname{tg} \psi_2 = \frac{X_{2H} \cdot s_H}{R_2} = \frac{1,2 \cdot 0,035}{0,24} = 0,175; \quad \psi_2 = 9055'.$$

Якщо при визначенні номінального струму ротора знехтувати індуктивним опором $X_2 = X_{2H} \cdot s$, матимемо

$$I_{2H} = \frac{E_{2H} \cdot s}{R_2} = \frac{132 \cdot 0,035}{0,24} = 19,2 \text{ А.}$$

Задача 7.5. Номінальна потужність двигуна P_H кВт, напруга U_H В, ККД η_H , коефіцієнт потужності $\cos \varphi_H$, втрати в сталі ΔP_c від P_H . Втрати потужності в обмотках статора в номінальному режимі $\Delta P_{e.c.}$ від P_H . Визначити споживаний струм і електромагнітну потужність двигуна в номінальному режимі.

Вихідні дані наведені в табл. 7.5.

Таблиця 7.5

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_H , кВт	10	11	7,5	7,5	5,5	5,5	4	4	3	2,2	2,2
U_H , В	380	380	380	380	380	380	380	220	220	220	220
η_H	0,88	0,9	0,78	0,84	0,86	0,88	0,86	0,85	0,84	0,84	0,82
$\cos \varphi_H$	0,87	0,84	0,87	0,86	0,85	0,84	0,8	0,84	0,82	0,8	0,76
ΔP_c	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,06	0,05	0,04	0,06	0,06	0,05
$\Delta P_{e.c.}$	0,03	0,05	0,03	0,03	0,02	0,05	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03

Розв'язання задачі для варіанта К.

Споживана потужність

$$P_1 = \frac{P_H}{\eta_H} = \sqrt{3} U_H \cdot I_H \cdot \cos \varphi_H.$$

Номінальний струм

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} U_H \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{10 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,87 \cdot 0,88} = 20 \text{ А.}$$

Електромагнітна потужність у номінальному режимі

$$P_{EM} = P_1 - P_C - P_{EC} = P_H/\eta_H - 0,05 \cdot P_H - 0,03 \cdot P_H = \\ = 10/0,88 - 0,05 \cdot 10 - 0,03 \cdot 10 = 10,55 \text{ кВт.}$$

8. ЕЛЕКТРИЧНИЙ ПРИВОД

Задача 8.1. Електродвигун навантажений постійним моментом опору $M_{оп}$, який не залежить від швидкості. Сумарний приведенний момент інерції J .

Визначити час розгону двигуна до номінальної швидкості n_H із стану спокою, якщо середній обертовий момент двигуна під час розгону M . Вихідні дані наведені в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$M_{оп}$, кГм	7	8	9	10	9	8	7	6	5	7	8
J , кГм·сек ²	0,3	0,4	0,5	0,25	0,34	0,44	0,52	0,48	0,4	0,3	0,4
n_H , об/хв	960	1200	1400	1600	1400	1300	1200	1100	1000	980	920
M , кГм	15	16	17	18	17	16	14	13	15	17	16

Розв'язання задачі для варіанта К.

Для визначення часу розгону скористаємося рівнянням руху електропривода (14.13) [1], з якого випливає

$$dt = \frac{J}{M - M_{он}} d\omega,$$

звідки виразимо час розгону

$$t = \int_{\omega=0}^{\omega_n} \frac{J}{M - M_{он}} d\omega = \frac{J}{M - M_{он}} \omega_n = \frac{J}{M_{дин}} \omega_n. \quad (8.1)$$

Середнє значення динамічного моменту на валу двигуна під час розгону визначимо з формули

$$M_{дин} = M - M_{оп} = 15 - 7 = 8 \text{ кГм.}$$

Номінальне значення кутової швидкості визначимо в такий спосіб:

$$\omega_n = \frac{2\pi \cdot n_H}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 960}{60} = 100,5 \text{ рад/сек.}$$

Підставляючи значення ω_n в (8.1), одержимо час розгону

$$t = \frac{0,3}{8} \cdot 100,5 = 3,8 \text{ с.}$$

Задача 8.2. Визначити приведені до вала двигуна M момент статичного опору й момент інерції механізму піднімальної лебідки з вантажем (рис. 8.1). Відомі: вага вантажу G , швидкість підйому вантажу V , швидкість обертання

двигуна n , момент інерції двигуна J_d , момент інерції муфти й механізму лебідки $J_{\text{мех}}$, ККД лебідки $\eta_{\text{леб}}$. Вихідні дані наведені в табл. 8.2.

Таблиця 8.2

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
G, кГ	1000	1100	1200	960	980	920	900	960	1000	1200	1000
V, м/хв	25	26	27	24	23	22	21	23	26	25	27
n, об/хв	730	760	800	840	800	760	730	700	750	770	800
J_d , кГм·сек ²	0,08	0,07	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06
$J_{\text{мех}}$, кГм·сек ²	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,03	0,04	0,05
$\eta_{\text{леб}}$	0,8	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6

Розв'язання задачі для варіанта К.

Приведений момент інерції елементів, що переміщуються поступально, визначається з рівності

$$\frac{mv^2}{2} = J \frac{\omega^2}{2},$$

звідки

$$J = m \left(\frac{v}{\omega} \right)^2.$$

Визначимо кутову швидкість двигуна й масу вантажу

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 730}{60} = 76,4 \text{ рад/с}; \quad m = \frac{G}{g} = \frac{1000}{9,81} = 101,94 \text{ кг.}$$

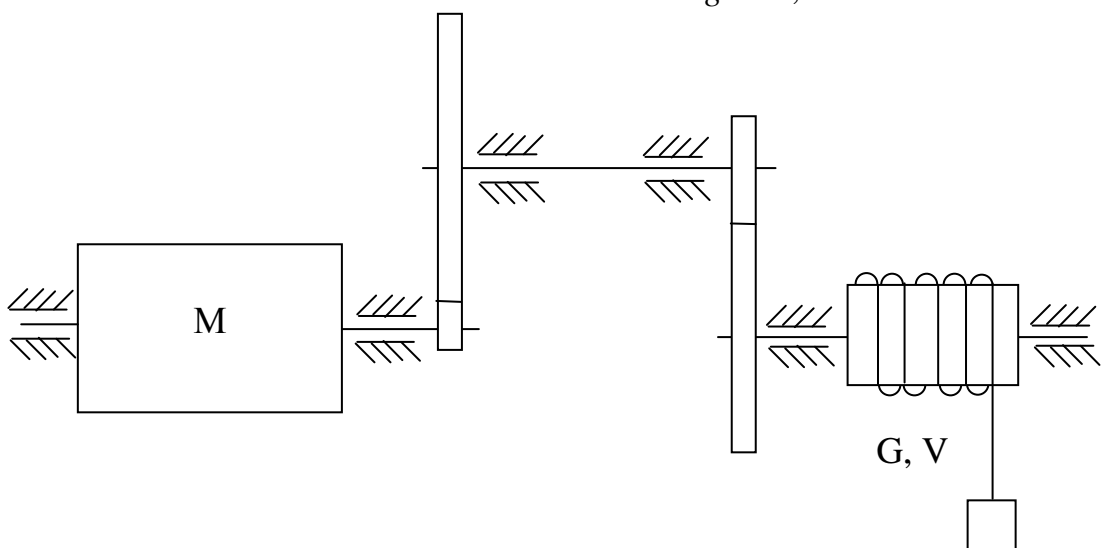


Рис.8.1 - Схема піднімального механізму

Тоді момент інерції вантажу, що переміщається поступально

$$J_n = 101,94 \cdot \left(\frac{25}{60 \cdot 76,4} \right)^2 = 0,0032 \text{ кГм} \cdot \text{сек}^2.$$

Сумарний приведений момент інерції

$$J_\Sigma = J_d + J_m + J_n = 0,08 + 0,02 + 0,0032 = 0,1032 \text{ кГм} \cdot \text{сек}^2.$$

Приведений статичний момент опору на валу двигуна дорівнює

$$M_{ст} = G \cdot \rho / \eta.$$

Визначимо ρ за формулою

$$\rho = \frac{v}{\omega} = \frac{25}{76,4 \cdot 60} = 0,0055 \text{ м},$$

тоді

$$M_{ст} = \frac{1000 \cdot 0,0055}{0,8} = 6,9 \text{ кГм}.$$

Задача 8.3. Механізм працює в тривалому режимі за графіком навантаження. Вибрати для даного привода асинхронний короткозамкнутий двигун кранової серії. Швидкість обертання n ., тривалість ступенів навантаження t , та відповідні величини моменту навантаження M , наведені в табл. 8.3.

Таблиця 8.3

Параметр	Варіант завдання											
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
n , об/хв	970	800	800	900	900	1000	1000	950	950	1000	800	
1 ступінь	t , с	20	10	15	20	30	35	20	40	35	80	90
	M , кГм	13	8	12	60	45	15	80	120	95	70	25
2 ступінь	t , с	120	90	80	60	120	70	150	180	20	30	50
	M , кГм	8	20	6	45	88	12	50	100	35	40	20
3 ступінь	t , с	60	30	45	120	80	60	30	20	120	180	30
	M , кГм	10	12	9	75	34	20	65	80	50	60	30

Розв'язання задачі для варіанта К.

На рис. 8.2 показаний графік моменту навантаження. Визначимо еквівалентний момент навантаження

$$M_{екв} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + \dots + M_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} = \sqrt{\frac{13^2 \cdot 20 + 8^2 \cdot 120 + 10^2 \cdot 60}{20 + 120 + 60}} = 9,4 \text{ кГм}.$$

Еквівалентна потужність двигуна визначається за формулою

$$P_{екв} = M_{екв} \cdot \omega = M_{екв} \frac{\pi \cdot n}{30} = 9,4 \cdot 9,81 \cdot \frac{3,14 \cdot 970}{30} = 9300 \text{ Вт} = 9,3 \text{ кВт}.$$

Змінами швидкості двигуна при змінах навантаження зневажаємо.

За каталогом (додаток 1) приймаємо крановий асинхронний двигун МТКВ311-6, $P_n = 11$ кВт; $n = 910$ об/хв, $M_k/M_n = 3,1$, $M_\pi/M_n = 2,8$.

Зробимо перевірку за перевантажувальною здатністю й пусковим моментом:

$$M_n = 975 \frac{P_n}{n} = 975 \frac{11}{910} \approx 11,8 \text{ кГм};$$

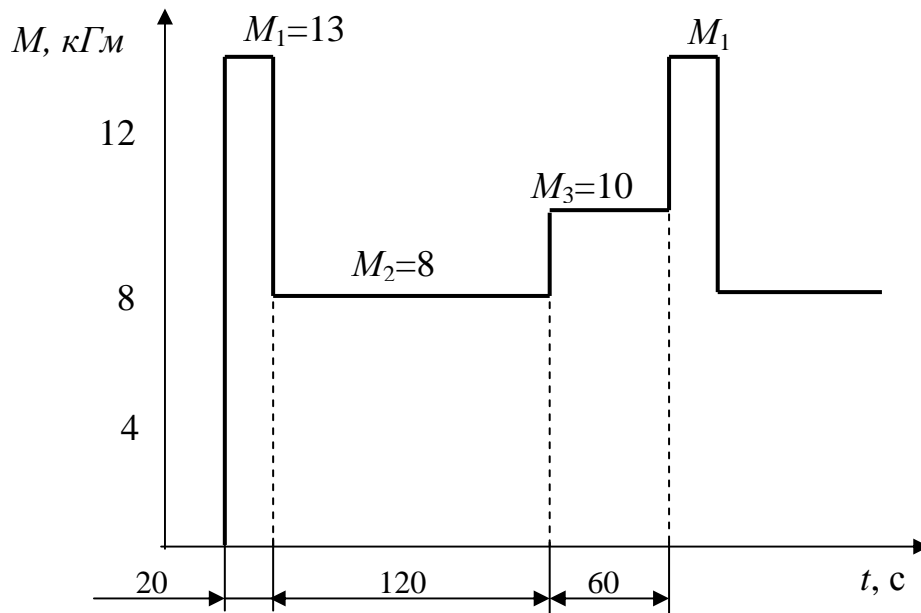


Рис.8.2 - Графік моменту навантаження

$$M_k = 11,8 \cdot 2,8 = 33 \text{ кГм};$$

$$M_n = 11,8 \cdot 1,8 = 21 \text{ кГм}.$$

За перевантажувальними і пусковими властивостями двигун підходить.

Задача 8.4. Користуючись каталогом (додаток 1), вибрати асинхронний короткозамкнутий двигун для піднімального механізму, що працює в повторно-короткочасному режимі за графіком навантаження. Швидкість обертання n , тривалість ступенів навантаження t , та відповідні величини потужності навантаження P наведені в табл. 8.4.

Таблиця 8.4

Параметр	Варіант завдання											
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
n , об/хв	900	800	800	900	900	1000	1000	950	950	1000	800	
1 сту- пінь	t , с	40	10	15	20	30	35	20	40	35	80	90
	M , кГм	5	8	12	60	45	15	80	120	95	70	25
2 сту- пінь	t , с	90	90	80	60	120	70	150	180	20	30	50
	M , кГм	2,1	4	6	45	88	12	50	100	35	40	20
3 сту- пінь	t , с	430	30	45	120	80	60	30	20	120	180	30
	M , кГм	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Розв'язання задачі для варіанта К.

Графік навантаження показаний на рис. 8.3. Визначимо еквівалентну потужність за робочий період

$$P_{екв} = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2}{t_1 + t_2}} = \sqrt{\frac{5^2 \cdot 40 + 2,7^2 \cdot 90}{40 + 90}} = 3,6 \text{ кВт}.$$

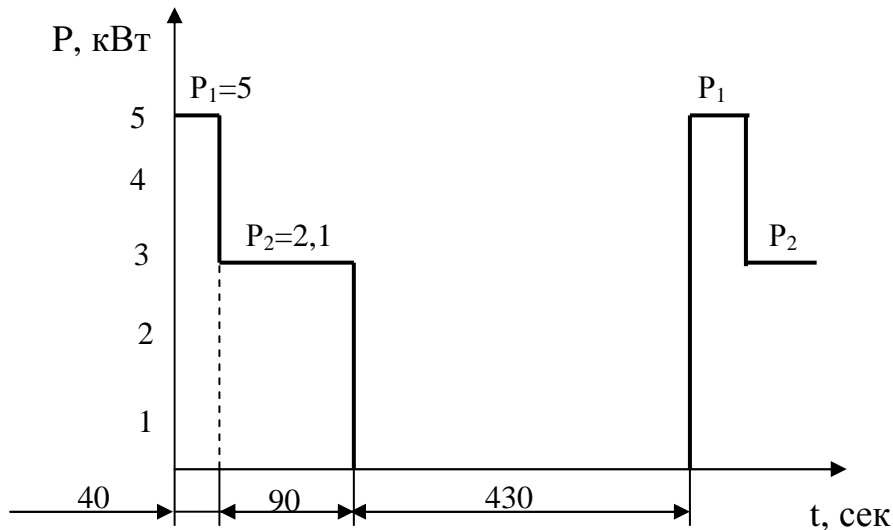


Рис.8.3 - Графік навантаження

Фактична тривалість включення

$$ПВ_1 = \frac{t_p}{t_p + t_0} \cdot 100 = \frac{t_1 + t_2}{t_1 + t_2 + t_0} \cdot 100 = \frac{40 + 90}{40 + 90 + 430} \cdot 100 = 23\%.$$

Перерахуємо еквівалентну потужність на стандартне значення $ПВ_2=25\%$

$$P_{екв}' = P_{екв} \sqrt{\frac{ПВ_1}{ПВ_2}} = 3,6 \sqrt{\frac{23}{25}} = 3,46 \text{ кВт}.$$

За величиною $P_{екв}'=3,46$ кВт з каталогу вибираємо асинхронний короткозамкнений двигун кранової серії типу МТК111-6 (див. додаток 1), для якого при $ПВ = 25\%$ $P_H = 3,5$ кВт, $n = 870$ об/хв:

$$\frac{M_k}{M_H} = 2,8; \quad \frac{M_n}{M_H} = 2,8.$$

Обраний двигун підходить також за перевантажувальними і пусковими властивостями.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Ачкасов А.Є., Лушкін В.А., Охріменко В.М. та інші. Електротехніка у будівництві: Навч. посібник. – Харків, ХНАМГ, 2009. – 363 с.
2. Паначевний Б.І., Свергун Ю.Ф.. Загальна електротехніка: теорія і практикум. - К.: Каравела, 2004. – 440 с.
3. Рекус Г.Г., Белоусов А.И. Сборник задач и упражнений по электротехнике и основам электроники.- М.: Высш. шк., 2001. – 416 с.
4. Титаренко М.В. Електротехніка: Навч. посібник. – К.: Кондор, 2004. – 240 с.
5. Электротехника: Учебник/ Под ред проф. В.Г. Герасимова.- М.: Высш. шк., 1985. – 480 с.

РЕСУРСИ ІНТЕРНЕТ

1. <http://www.eprints.ksame.kharkov.ua> - Цифровий репозиторій ХНАМГ.
2. <http://www.electrolibrary.narod.ru/> - Електронна електротехнічна бібліотека.
3. <http://www.ost-gost.ru/podrazdel-14.html> - Сайт нормативно-технічної документації. Розділ "Електротехніка".

**Кранові асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором типів МТК і МТКВ, 380 В, 50 Гц, ПВ = 25%
(ізоляція класів Е, В)**

Тип	$P_{нв}$, кВт	$n_{нв}$, об/хв	$M_{м}/M_{н}$	$M_{п}/M_{н}$	Статор							
					$I_{сн}/I_{сн}$	$\cos\phi$			$I_{с.н}$, А	$I_{с.хх}$, А	R_c , Ом	X_c , Ом
						пусковий	номінальний	холостого ходу				
МТК011-6	1,4	870	2,8	2,8	3,0	0,86	0,69	0,15	4,8	3,2	5,98	3,93
МТК012-6	2,2	875	2,8	2,8	3,1	0,85	0,7	0,13	7,2	4,6	3,6	2,58
МТК111-6	3,5	870	2,8	2,8	3,5	0,85	0,74	0,11	10,1	6,1	2,16	2,03
МТК112-6	5,0	890	3,0	3,0	3,9	0,80	0,75	0,12	13,5	8,4	1,32	1,39
МТК211-6	7,5	905	2,9	2,8	4,3	0,72	0,79	0,09	18,4	11,0	0,68	1,07
МТКВ311-6	11,0	910	3,1	2,8	4,9	0,72	0,8	0,09	26	15,7	0,54	0,575
МТКВ311-8	7,5	680	3,1	2,9	4,4	0,76	0,74	0,09	20	13,2	0,88	0,965
МТКВ312-6	16	905	3,1	2,8	4,9	0,70	0,79	0,08	37,8	19,8	0,33	0,41
МТКВ312-8	11	690	3,1	3,1	4,6	0,77	0,71	0,10	30,4	21,3	0,53	0,56
МТКВ411-6	22	935	3,0	2,8	5,2	0,61	0,78	0,07	50	29,7	0,19	0,31
МТКВ411-8	16	695	3,3	3,0	4,8	0,66	0,73	0,08	41	28,2	0,285	0,43
МТКВ412-6	28	945	3,3	2,8	5,6	0,60	0,81	0,06	62	35,1	0,125	0,23
МТКВ412-8	22	695	3,3	3,0	5,0	0,65	0,76	0,07	53,2	35,8	0,207	0,32
МТКВ511-6	28	700	3,4	3,1	5,4	0,61	0,75	0,06	68	40	0,123	0,245
МТКВ512-8	37	705	3,6	3,3	5,8	0,61	0,72	0,06	91	55	0,08	0,17

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

ОХРИМЕНКО В'ячеслав Миколайович

ВОРОНКОВА Тетяна Борисівна

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни „**Електротехніка у будівництві**” (для студентів 2 курсу та слухачів другої вищої освіти ФПО та ЗН напрямку підготовки 0921 (6.060101) Будівництво, спеціальностей ПЦБ, МБГ і ТГПіВ).

Редактор: *М. З. Аляб'єв*

Комп'ютерне верстання: *І. В. Волосожарова*

План 2010, поз. 503М

Підп. до друку 08.04.10

Формат 60x84 1/16

Друк на ризографі.

Ум. друк. арк. 1,6

Зам. №

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК №731 від 19.12.2001