

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 1

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»

протокол від 16 грудня 2022 р.
№13

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ для проведення практичних занять з навчальної дисципліни «Теорія електричних сигналів та кіл»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно вимірювальна техніка»
освітньо-професійна програма «Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні
системи»

факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
кафедра робототехніки, електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна

Схвалено на засіданні кафедри
РЕ та А
ім. проф. Б.Б. Самотокіна
28 серпня 2022 р.,
протокол № 6

Завідувач кафедри
_____ Андрій ТКАЧУК

Розробник: к.т.н., доцент, кафедри РЕ та А ім. проф. Б.Б. Самотокіна
ШАВУРСЬКИЙ Юрій

Житомир
2022

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 2

ЗМІСТ

Вступ	3
1. ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПРАКТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ	4
Задача 1. Розрахунок складного кола постійного струму	4
Задача 2 . Розрахунок послідовного кола змінного струму	5
Задача 3. Розрахунок кола трифазного струму	6
Задача 4. Розрахунок асинхронного трифазного двигуна з короткозамкненим ротором	7
2. ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ	9
2.1. Розрахунок кола постійного струму	9
2.1.1. Розрахунок струмів в електричному колі	9
2.1.1.1. Метод накладання	9
2.1.1.2. Метод рівнянь Кірхгофа	11
2.1.1.3. Метод вузлових потенціалів	13
2.1.1.4. Метод контурних струмів (МКС)	14
2.1.2. Режим роботи акумулятора E_2	16
2.2. Розрахунок кола змінного струму	17
2.3. Розрахунок кола трифазного струму	22
2.4. Розрахунок асинхронного трифазного двигуна з короткозамкненим ротором	24
Додаток А	28

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 3

Вступ

Курс „Електротехніка та електромеханіка. Ч.1” формує електротехнічну підготовку студентів, сприяє вивченню наступних дисциплін на сучасному науковому рівні.

Розрахунково-графічній роботі (РГР) надається важливе значення для закріплення знань студентів, вона є однією із форм самостійної роботи студентів. Виконання РГР сприяє засвоєнню студентами методів розрахунку лінійних електричних кіл постійного і змінного струму і дозволяє перевірити якість знань студентів.

РГР (частина перша) складається з чотирьох задач, для виконання яких необхідно вивчити відповідні розділи курсу. При розв’язуванні задач необхідно користуватися Міжнародною системою одиниць.

Варіант завдання визначається викладачем з врахуванням учбового шифру.

Вимоги до оформлення РГР. Схеми, графіки і векторні діаграми необхідно викреслювати в масштабі олівцем з використанням креслярських інструментів. Елементи схеми повинні бути зображені відповідно до діючих ДСТУ.

Кожний етап розв’язання задачі повинен мати короткі, але чіткі пояснення з приведенням розрахункових формул.

Виконана РГР подається в рукописному вигляді на листах формату А–4 з рамками та штампами з використанням чорнил чорного або синього кольору. В кінці тексту умови кожної задачі необхідно вписати дані, що відповідають варіанту завдання.

Зміст і структура розрахунково-графічної роботи:

1. Титульний лист. *Оформлюється відповідно до вимог (додаток А).*
2. Зміст.
3. Задача 1. Розрахунок складного кола постійного струму.
4. Задача 2. Розрахунок послідовного кола змінного струму.
5. Задача 3. Розрахунок кола трифазного струму.
6. Задача 4. Розрахунок асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.
7. Література.

1. ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПРАКТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ

Задача 1. Розрахунок складного кола постійного струму

На рис. 1 зображене коло постійного струму, що містить генератор, акумуляторну батарею та споживачі. За даними табл. 1.1 та 1.2 (відповідно до двох останніх цифр учбового шифру – номера залікової книжки) необхідно:

- Визначити струми у вітках кола:
 - методом накладання,
 - за допомогою законів Кірхгофа,
 - методом контурних струмів і
 - методом вузлових потенціалів. Результати розрахунків звести в таблицю і порівняти.
- Визначити, в якому режимі працює акумуляторна батарея (зарядки чи розрядки).
- Перевірити баланс потужностей в електричному колі.

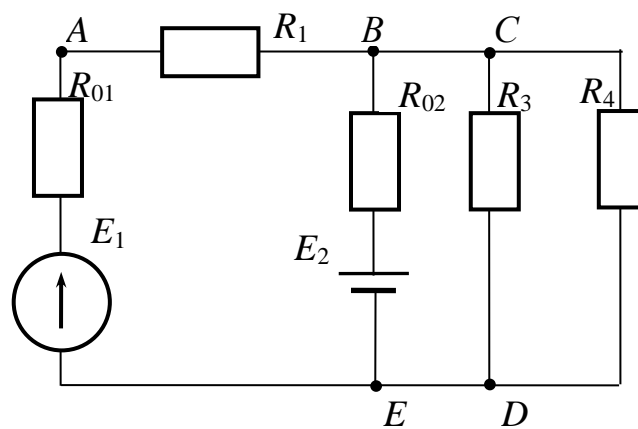


Рис. 1. Електричне коло постійного струму

Таблиця 1.1

Цифра одиниць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$E_1, \text{В}$	120	210	120	60	40	110	230	120	60	130
$E_2, \text{В}$	120	180	60	40	36	80	230	80	60	80

Таблиця 1.2

Цифра десятків	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$R_1, \text{Ом}$	2	2	5	5	1	1	10	5	15	0
$R_{01}, \text{Ом}$	0	1	0	2	0	1	0	2	0	1
$R_{02}, \text{Ом}$	1	2	1	4	2	1	1	2	4	1
$R_3, \text{Ом}$	10	15	40	20	30	30	20	40	10	60
$R_4, \text{Ом}$	8	10	50	10	40	10	30	50	5	20

Задача 2. Розрахунок послідовного кола змінного струму

До змінної синусоїдної напруги U з частотою $f = 50$ Гц приєднані послідовно з'єднані споживачі (рис. 2).

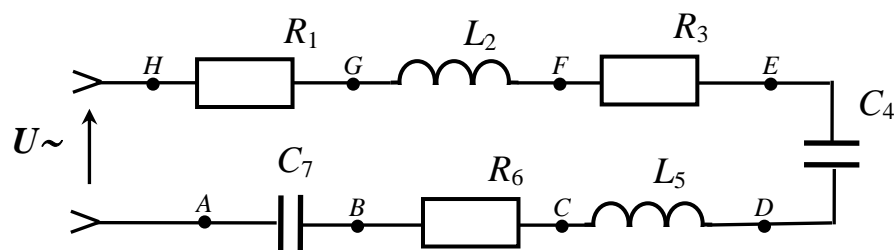


Рис. 2. Електричне коло змінного струму

1. Відповідно до даних табл. 2.1, табл. 2.2 накреслити спрощену схему, споживачі з нульовим значенням опору на схемі не показувати.
2. Визначити силу струму і напругу на затискачах окремих споживачів, а також активну та реактивну потужності, що споживаються.
3. Побудувати векторну діаграму струму та напруг і топографічну діаграму.
4. Обчислити значення частоти, індуктивності або ємності, при яких настане резонанс напруг, визначити силу струму при резонансі.
5. Порівняти результати обчислень, зробити висновки.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 6

Таблиця 2.1

Цифра одиниць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
U , В	127	220	380	500	127	220	380	500	127	220
R_1 , Ом	10	5	0	8	0	0	10	0	0	0
R_3 , Ом	15	0	0	0	12	0	0	0	5	15
R_6 , Ом	0	0	10	0	5	8	0	15	0	0

Таблиця 2.2

Цифра десятків	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
L_2 , Гн	0	0,03	0,01	0	0	0,05	0,03	0,1	0	0,02
C_4 , мкФ	300	200	300	400	500	600	700	800	300	300
L_5 , Гн	0,05	0,03	0,05	0,02	0,01	0,05	0,03	0,05	0,02	0,01
C_7 , мкФ	300	∞	∞	400	200	∞	∞	∞	200	400

Задача 3. Розрахунок кола трифазного струму

До лінії трифазного струму промислової частоти (рис. 3) з напругою 380/220 В за допомогою рубильників приєднуються споживачі – лампи розжарювання загальною потужністю P_A , P_B , P_C , з напругою живлення 220 В та нагрівачі з опором $R_{AB} = R_{BC} = R_{CA} = 19$ Ом на напругу 380 В. Рубильники увімкнені відповідно до таблиць варіантів (табл. 3.1, табл. 3.2).

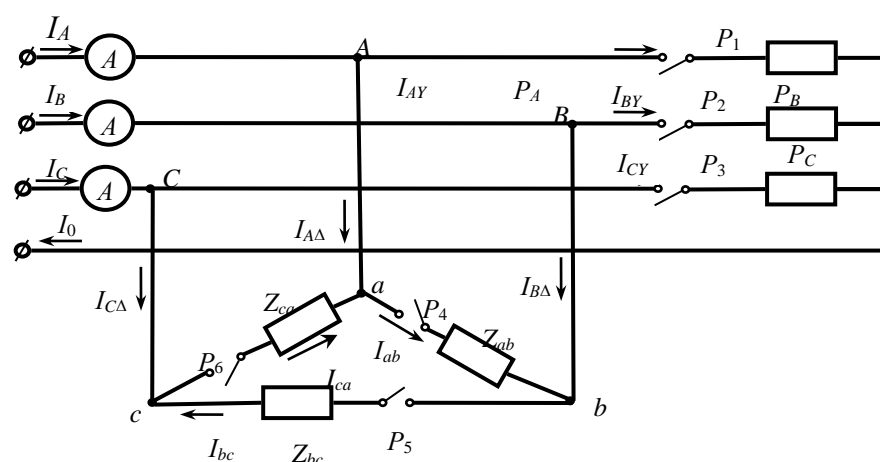


Рис. 3. Електричне коло трифазного струму

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 7

Зобразити спрощену схему без невключених навантажень та визначити за допомогою векторних діаграм:

1. Лінійні струми споживачів, увімкнених трикутником – I_{AA}, I_{BA}, I_{CA} ;
2. Лінійні струми споживачів, увімкнених зіркою – I_{AY}, I_{BY}, I_{CY} ;
3. Покази амперметрів і струм нульового проводу;
4. Зобразити окремо векторні діаграми:
 - для споживачів, увімкнених трикутником;
 - для споживачів, увімкнених зіркою;
 - суміщену векторну діаграму, вказавши на ній вектори всіх струмів, що протікають в розглядуваному колі.

Таблиця 3.1

Увімкнені рубильники (за цифрою одиниць № варіанту)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$P_1 P_2 P_4$ P_5	$P_1 P_2 P_3$ $P_5 P_6$	$P_1 P_3 P_5$ P_6	$P_2 P_3 P_5$ P_6	$P_1 P_3 P_4$ P_5	$P_2 P_3 P_5$ P_6	$P_1 P_3 P_5$ P_6	$P_1 P_2$ $P_3 P_4 P_5$	$P_2 P_3$ $P_4 P_5$	$P_2 P_3$ $P_4 P_6$

Таблиця 3.2

Цифра десятків	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$P_A, \text{Вт}$	2200	4400	4400	4400	4400	2200	2200	2200	2200	4400
$P_B, \text{Вт}$	2200	2200	4400	4400	2200	4400	4400	2200	4400	2200
$P_C, \text{Вт}$	2200	2200	2200	4400	4400	2200	4400	4400	2200	4400

Задача 4. Розрахунок асинхронного трифазного двигуна з короткозамкненим ротором

Трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором має такі параметри:

- напруга живлення 380/220 В;
- номінальна потужність на валу $P_{\text{ном.мех}}$;
- номінальна швидкість $n_{\text{ном}}$;
- коефіцієнт корисної дії ККД;
- коефіцієнт потужності $\cos\varphi_{\text{ном}}$;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 8

- коефіцієнт кратності пускового струму α ;
- коефіцієнт кратності пускового моменту $\beta = M_{\text{пуск}}/M_{\text{н}}$;
- коефіцієнт перенавантажної здатності $\gamma = M_{\text{max}}/M_{\text{н}}$.

Двигун увімкнено за схемою “зірка” до мережі з лінійною напругою $U_{\text{лін.}} = 380 \text{ В}$, частотою $f = 50 \text{ Гц}$.

З врахуванням даних табл. 4.1, табл. 4.2 визначити:

- споживану потужність: активну, реактивну, повну;
- споживаний струм, пусковий струм;
- ємність конденсаторів для підвищення $\cos\varphi$ до 0,95 при вмиканні їх за схемами “зірка” та “трикутник”, побудувати векторні діаграми напруги і струмів та трикутник потужностей;
- визначити обертаючі моменти двигуна: номінальний, пусковий, критичний;
- визначити номінальне і критичне значення ковзання;
- визначити обертаючий момент двигуна при значеннях ковзання $S = 0; S_{\text{ном.}}; 0,8S_{\text{кр.}}; S_{\text{кр.}}; 1,2S_{\text{кр.}}; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1$;
- побудувати графік $M(S)$ залежності обертаючого моменту двигуна від ковзання.

Таблиця 4.1

№ варіанту Параметри	Цифра десятків									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Потужність, кВт	1,0	2,8	7,0	10	20	28	40	75	100	125
$\cos\varphi$	0,86	0,88	0,89	0,89	0,9	0,91	0,91	0,91	0,92	0,92
Шв. оберт. $n_{\text{ном}}$, об/хв	2850	1440	970	730	2920	1460	975	730	2950	1460
γ	2,2	2,3	2,35	2,4	2,35	2,3	2,25	2,2	2,25	2,3

Таблиця 4.2

№ варіанту Параметри	Цифра одиниць									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ККД %	81	82	83	84	85	86	87	88	89	91
α	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8	5,6	5,4	5,3	5,5	5,1
β	2,3	2,35	2,4	2,45	2,4	2,2	2,25	2,3	2,4	2,35

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 9

2. ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

2.1. Розрахунок кола постійного струму

Умова задачі.

Дані: $E_1 = 120$ В, $E_2 = 120$ В, $R_{01} = 2$ Ом, $R_1 = 2$ Ом, $R_{02} = 2$ Ом, $R_3 = 15$ Ом, $R_4 = 10$ Ом.

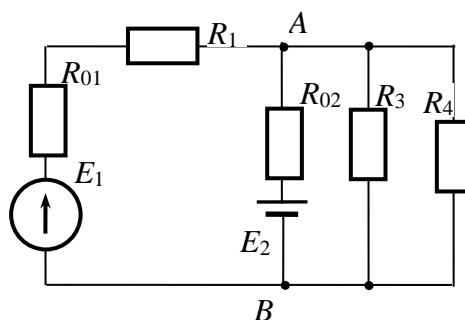


Рис.1.1

Розв'язок. В даному електричному колі 2 вузли – A і B .

Коло має 6 контурів, із них 3 незалежні (кожен із незалежних контурів повинен мати один або кілька елементів які не входять до складу інших незалежних контурів) та 4 вітки, в яких протікають 4 різні струми.

2.1.1. Розрахунок струмів в електричному колі

2.1.1.1. Метод накладання

Принцип накладання полягає в тому, що електричні струми в елементах складного лінійного електричного кола, зумовлені дією кількох джерел електричної енергії, визначаються алгебричною сумою часткових струмів, зумовлених кожним з джерел електричної енергії.

Для розрахунку складного лінійного електричного кола, яке має кілька джерел електричної енергії, методом накладання з електричного кола вилучають всі джерела електричної енергії крім одного, замінюють їх відповідними внутрішніми опорами і визначають часткові струми. Подібне перетворення і розрахунок виконують для кожного джерела електричної енергії. Алгебричні суми визначених часткових струмів для кожної з гілок є результат дії всіх джерел електричної енергії електричного кола.

Для визначення часткових струмів в колі рис. 1.1, зумовлених джерелом

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 10

електричної енергії E_1 , вилучаємо джерело електричної енергії E_2 , замінивши його внутрішнім опором R_{02} , як показано на рис. 1.2, а. Паралельно з'єднані резистори R_{02} , R_3 та R_4 замінюємо еквівалентним R_{234} , як показано на рис. 1.2, б.

$$1/R_{234} = 1/R_3 + 1/R_{02} + 1/R_4 = 1/15 + 1/2 + 1/10 = 0,667 \text{ Ом}^{-1},$$

$$R_{234} = 1/0,667 = 1,5 \text{ Ом}.$$

Повний опір кола, зображеного на рис. 1.2, а:

$$R_{заг} = R_{01} + R_1 + R_{234} = 4,5 \text{ Ом}.$$

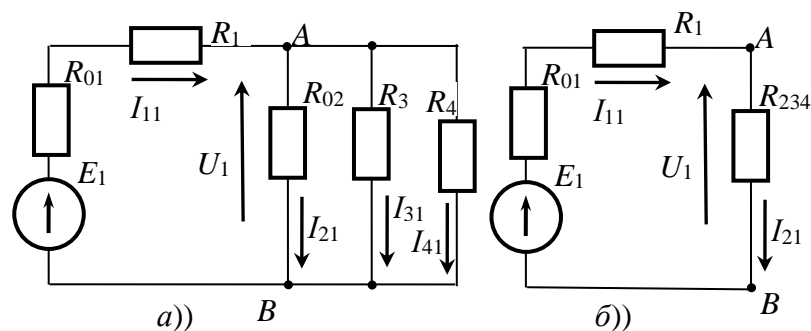


Рис. 1.2. Складне електричне коло за рис. 1.1 після вилучення джерела електричної енергії E_2 – а, після спрощення – б

$$\text{Частковий струм } I_{11} = E_1/R_{заг} = 120/4,5 = 26,667 \text{ А}.$$

$$\text{Часткова напруга } U_1 = I_{11} \cdot R_{234} = 40 \text{ В}.$$

$$\text{Часткові струми в інших вітках кола: } I_{21} = U_1/R_{02} = 20 \text{ А},$$

$$I_{31} = U_1/R_3 = 2,667 \text{ А}, I_{41} = U_1/R_4 = 4 \text{ А}.$$

Подібно визначаємо часткові струми, зумовлені дією джерела електричної енергії E_2 , для чого вилучаємо джерело електричної енергії E_1 , замінивши його внутрішнім опором R_{01} , як показано на рис. 1.3, а. Спростуємо електричне коло рис. 1.3, а, замінюючи послідовно з'єднані резистори R_{01} , R_1 та з'єднані паралельно з ними резистори R_3 та R_4 еквівалентним резистором R_{134} , як показано на рис. 1.3, б.

$$1/R_{134} = 1/(R_{01} + R_1) + 1/R_3 + 1/R_4 = 1/3 + 1/15 + 1/10 = 0,5 \text{ Ом}^{-1},$$

$$R_{134} = 2 \text{ Ом}.$$

Повний опір кола, зображеного на рис. 1.3, б:

$$R_{заг} = R_{02} + R_{134} = 4 \text{ Ом}.$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 11

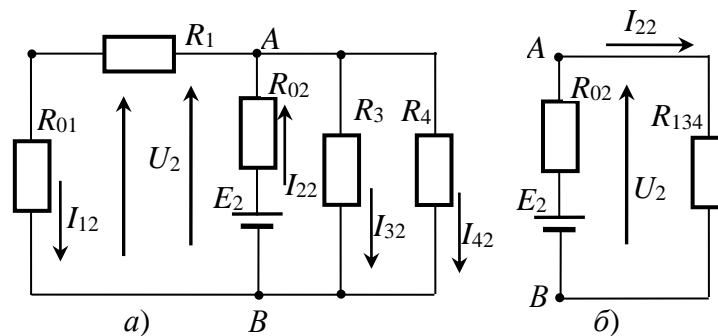


Рис. 1.3. Складне електричне коло за рис. 1.1 після вилучення джерела електричної енергії E_1 – а, після спрощення – б

Визначаємо часткові струми, зумовлені ДДЕ E_2 :

$$I_{22} = E_2 / R_{заг} = 30 \text{ A}, \quad U_2 = I_{33} \cdot R_{134} = 60 \text{ В},$$

$$I_{12} = U_2 / (R_{01} + R_1) = 20 \text{ A},$$

$$I_{32} = U_2 / R_3 = 4 \text{ A}, \quad I_{42} = U_2 / R_4 = 6 \text{ A}.$$

Струми, зумовлені дією обох джерел електричної енергії, є алгебрична сума часткових струмів від кожного джерела живлення:

$$I_1 = I_{11} - I_{12} = 6,667 \text{ A},$$

$$I_2 = -I_{21} + I_{22} = 10 \text{ A},$$

$$I_3 = I_{31} + I_{32} = 6,667 \text{ A},$$

$$I_4 = I_{41} + I_{42} = 10 \text{ A}.$$

2.1.1.2. Метод рівнянь Кірхгофа

I закон Кірхгофа: алгебрична сума струмів у вітках кола, що сходяться у будь-якому вузлі електричного кола, дорівнює нулю:

$$\sum I_k = 0, ,$$

(струми, спрямовані до вузла, беремо зі знаком «+», струми спрямовані від вузла беремо зі знаком «-»).

Або у будь-якому вузлі електричного кола сума струмів, спрямованих до вузла, дорівнює сумі струмів, спрямованих від вузла:

$$\sum_{k=1}^p I_k = \sum_{m=1}^q I_m .$$

За I законом Кірхгофа складаємо $n - 1$ незалежних рівнянь, тут n – кількість вузлів у колі.

Коло, що розглядається, має 2 вузли, за першим законом Кірхгофа можна

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 12

скласти 1 незалежне рівняння, наприклад для вузла A (C):

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0.$$

Неважко побачити, що рівняння для вузла D (E) тотожне рівнянню для вузла A (C) оскільки відносно цього вузла струми мають протилежні напрями:

$$-I_1 - I_2 + I_3 + I_4 = 0.$$

II закон Кірхгофа: алгебрична сума спадів напруги на елементах будь-якого замкнутого контуру електричного кола дорівнює алгебричній сумі ЕРС цього контуру:

$$\sum R_k \cdot I_k = \sum E_k.$$

Спад напруги $R_k \cdot I_k$ беремо зі знаком «+», якщо напрям цього струму співпадає з напрямом обходу контуру. Якщо напрям струму не співпадає з напрямом обходу контуру, то спад напруги беремо зі знаком «-».

Кількість незалежних рівнянь за II законом Кірхгофа відповідає числу незалежних контурів.

I контур включає елементи $E_1, R_{01}, R_1, R_{02}, E_2$. Рівняння для цього контуру:
 $I_1 \cdot R_{01} + I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_{02} = E_1 - E_2$.

Струм I_1 співпадає з напрямком обходу, тому відповідні спади напруг беремо зі знаком „+”, а струм I_2 не співпадає з напрямом обходу контуру, тому відповідні спади напруг беремо зі знаком „-”. ЕРС E_1 співпадає з напрямком обходу, тому беремо її зі знаком „+”, а E_2 – має протилежний напрямок, тому беремо її зі знаком „-”.

Для контурів II, III відповідно:

$$\begin{cases} I_2 \cdot R_{02} + I_3 \cdot R_3 = E_2, \\ -I_3 \cdot R_3 + I_4 \cdot R_4 = 0. \end{cases}$$

Повна система рівнянь:

$$\begin{cases} I_1 \cdot R_{01} + I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_{02} = E_1 - E_2, \\ I_2 \cdot R_{02} + I_3 \cdot R_3 = E_2, \\ -I_3 \cdot R_3 + I_4 \cdot R_4 = 0, \\ I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 2I_1 + I_1 - 2I_2 = 120 - 120, \\ 2I_2 + 15I_3 = 120, \\ -15I_3 + 10I_4 = 0, \\ I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0. \end{cases}$$

Значення струмів знаходимо методом підстановок.

$$\text{З 1 рівняння: } 3I_1 - 2I_2 = 0; \Rightarrow I_2 = 1,5I_1.$$

$$\text{З 2 рівняння: } 2I_2 + 15I_3 = 120; \Rightarrow 2 \cdot 1,5 I_1 + 15 I_3 = 120;$$

$$\Rightarrow I_3 = 8 - 0,2 I_1.$$

$$\text{З 3 рівняння: } 10I_4 - 15I_3 = 0; \Rightarrow 10I_4 - 15(8 - 0,2 I_1) = 0; \Rightarrow$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 13

$$\Rightarrow 10I_4 - 120 + 3I_1 = 0; \Rightarrow I_4 = 12 - 0,3I_1.$$

$$\text{З 4 рівняння: } I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0; \Rightarrow I_1 + 1,5I_1 - 8 + 0,2I_1 - 12 + 0,3I_1 = 0;$$

$$\Rightarrow 3I_1 = 20; \Rightarrow I_1 = 6,67 \text{ А.}$$

$$I_2 = 1,5I_1 = 10 \text{ А.}$$

$$I_3 = 8 - 0,2I_1 = 6,67 \text{ А.}$$

$$I_4 = 12 - 0,3I_1 = 10 \text{ А.}$$

$$\text{Перевірка: } I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0; \Rightarrow 6,67 + 10 - 6,67 - 10 = 0.$$

2.1.1.3. Метод вузлових потенціалів

Метод вузлових потенціалів дозволяє зменшити кількість рівнянь, необхідних для визначення струмів у вітках кола, до $n - 1$, (n – кількість вузлів у колі).

За методом вузлових потенціалів безпосередньо визначають потенціали вузлів кола. Потенціал одного з вузлів приймають за 0, потенціали інших вузлів є невідомими. Якщо коло має два вузли, невідомим є потенціал одного вузла, наприклад, вузла B , для його визначення складають одне рівняння:

$$\varphi_B \cdot g_B = \sum E_i \cdot g_i.$$

Тут $I_B = \sum E_i \cdot g_i$ – власний струм вузла B – алгебрична сума добутків ЕРС E_i та провідностей g_i гілок, що підходять до вузла B ,

g_B – провідність вузла B – сума провідностей g_i віток, що підходять до вузла B .

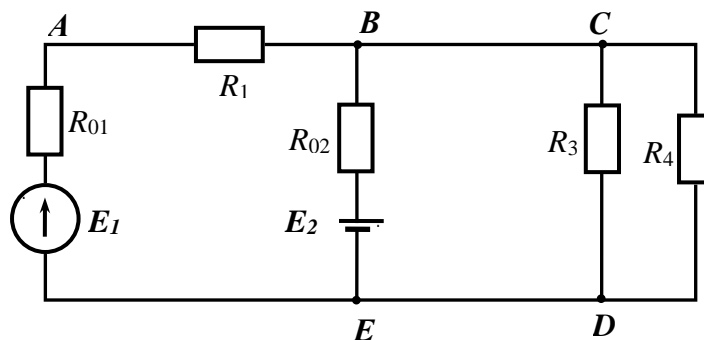


Рис. 1.3

Визначаємо власну провідність та власний струм вузла B :

$$g_B = \frac{1}{R_{01} + R_1} + \frac{1}{R_{02}} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{1+2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{15} + \frac{1}{10} = 1 \text{ См,}$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 14

$$I_B = \frac{E_1}{R_{01} + R_1} + \frac{E_2}{R_{02}} = \frac{120}{3} + \frac{120}{2} = 40 + 60 = 100 \text{ А.}$$

$$\text{Визначаємо потенціал вузла } B: \varphi_B = \frac{I_B}{g_B} = 100 \text{ В.}$$

За законом Ома для ділянки кола визначаємо струми у вітках кола:
Для даного кола значення струмів становлять:

$$I_1 = \frac{E_1 - \varphi_B}{R_{01} + R_1} = \frac{120 - 100}{1 + 2} = 6,67 \text{ А}; \quad I_2 = \frac{E_2 - \varphi_B}{R_{021}} = \frac{120 - 100}{2} = 10 \text{ А};$$

$$I_3 = \frac{\varphi_B}{R_3} = \frac{100}{15} = 6,67 \text{ А}; \quad I_4 = \frac{\varphi_B}{R_4} = \frac{100}{10} = 10 \text{ А.}$$

Вірність розрахунків перевіряємо за I законом Кірхгофа: $I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0 \Rightarrow 6,67 + 10 - 6,67 - 10 = 0$.

2.1.1.4. Метод контурних струмів (МКС).

Для розрахунку електричних кіл методом контурних струмів вважають, що в кожному з контурів протікає свій так званий контурний струм; струм кожної з гілок визначають як алгебричну суму контурних струмів, що протікають через дану гілку. Рівняння складають для незалежних контурів.

Відповідно з зазначеним вибираємо незалежні контури в колі, як зображено на рис. 1.4, позначивши довільно додатній напрям контурних струмів I_{11} , I_{22} , I_{33} .

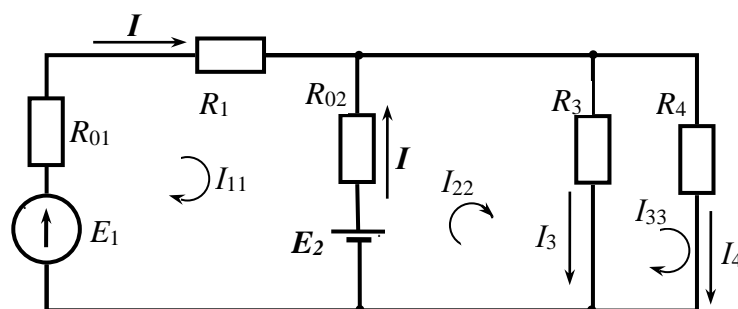


Рис. 1.4. Незалежні контури з контурними струмами

Рівняння для обчислення контурних струмів I_{11} , I_{22} , I_{33} мають вигляд:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 15

$$\begin{cases} I_{11}R_{11} + I_{22}R_{12} + I_{33}R_{13} = E_{11}, \\ I_{11}R_{21} + I_{22}R_{22} + I_{33}R_{23} = E_{22}, \\ I_{11}R_{31} + I_{22}R_{32} + I_{33}R_{33} = E_{33}, \end{cases}$$

або у матричному вигляді:

$$\begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} I_{11} \\ I_{22} \\ I_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} E_{11} \\ E_{22} \\ E_{33} \end{vmatrix}.$$

Тут R_{11}, R_{22}, R_{33} – власні опори відповідних контурів;

$R_{12}, R_{21}, R_{13}, R_{31}, R_{23}, R_{32}$ – взаємні опори відповідних контурів;

E_{11}, E_{22}, E_{33} – ЕРС контурів.

Взаємні опори визначаються сумою опорів, спільних для певних двох контурів. Вони мають знак „+”, якщо напрями обходу цих елементів в обох контурах співпадають, якщо напрями обходу не співпадають – знак „-”.

$$\begin{cases} R_{12} = R_{21} = -R_{02} = -2 \text{ Ом}; \\ R_{13} = R_{31} = 0 \text{ Ом}; \\ R_{23} = R_{32} = -R_3 = -15 \text{ Ом}. \end{cases}$$

Власний опір контуру визначається як сума опорів, що входять до складу даного контуру.

$$\begin{cases} R_{11} = R_{01} + R_1 + R_{02} = 1 + 2 + 2 = 5 \text{ Ом}; \\ R_{22} = R_{02} + R_3 = 2 + 15 = 17 \text{ Ом}; \\ R_{33} = R_3 + R_4 = 15 + 10 = 25 \text{ Ом}. \end{cases}$$

ЕРС контурів

$$\begin{cases} E_{11} = E_1 - E_2 = 120 - 120 = 0 \text{ В}; \\ E_{22} = E_2 = 120 \text{ В}; \\ E_{33} = 0 \text{ В}. \end{cases}$$

Після підстановки даних система рівнянь має вигляд:

$$\begin{cases} 5I_{11} - 2I_{22} = 0, \\ -2I_{11} + 17I_{22} - 15I_{33} = 120, \\ -15I_{22} + 25I_{33} = 0. \end{cases}$$

Значення контурних струмів обчислюємо за правилом Крамера:

$$I_{11} = \frac{\Delta_1}{\Delta}, \quad I_{22} = \frac{\Delta_2}{\Delta}, \quad I_{33} = \frac{\Delta_3}{\Delta}.$$

Тут Δ – визначник системи; $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ – визначники, у яких оди із стовпчиків замінено стовпчиком з вільних членів рівнянь:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 16

$$\Delta = \begin{vmatrix} 5 & -2 & 0 \\ -2 & 17 & -15 \\ 0 & -15 & 25 \end{vmatrix} = 5 \cdot 17 \cdot 25 - 5 \cdot 15 \cdot 15 - 2 \cdot 2 \cdot 25 = 2125 - 1125 - 100 = 900,$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 0 & -2 & 0 \\ 120 & 17 & -15 \\ 0 & -15 & 25 \end{vmatrix} = 6000, \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} 5 & 0 & 0 \\ -2 & 120 & -15 \\ 0 & 0 & 25 \end{vmatrix} = 15000, \quad \Delta_3 = 9000.$$

$$I_{11} = 6,67 \text{ А}, \quad I_{22} = 16,67 \text{ А}, \quad I_{33} = 10 \text{ А}.$$

Через вітку з елементами r_1 , E_1 зі струмом I_1 протікає контурний струм I_{11} в напрямі I_1 :

$$I_1 = I_{11} = 6,67 \text{ А}.$$

Через вітку з елементами r_2 , E_2 зі струмом I_2 протікає контурний струм I_{11} в напрямі струму I_2 та I_{22} в протилежному напрямі :

$$I_2 = -I_{11} + I_{22} = 10 \text{ А}.$$

Подібно визначаються струми інших віток :

$$I_3 = I_{22} - I_{33} = 6,67 \text{ А}, \quad I_4 = I_{33} = 10 \text{ А}$$

Результати розрахунків

Результати розрахунків зводимо в таблицю.

Метод розрахунку	I_1	I_2	I_3	I_4
Накладання	6,67	10	6,67	10
Рівнянь Кірхгофа	6,67	10	6,67	10
Вузлових потенціалів	6,67	10	6,67	10
Контурних струмів	6,67	10	6,67	10

Значення струмів у вітках кола, обчислені різними методами, співпадають.

2.1.2. Режим роботи акумулятора E_2

Акумулятор може працювати в режимі зарядки або в режимі розрядки. В режимі розрядки він є джерелом електричної енергії і створює в навантаженні струм I_2 в напрямі, показаному на рис. 1.4 – від додатного полюса джерела через навантаження до від'ємного. Від'ємне значення струму I_2 свідчить, що дійсний напрям струму протилежний до вказаного. Отже, акумулятор працює в режимі розрядки.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 17

Розрахунок балансу потужностей

Баланс потужностей полягає в тому, що в будь-якому електричному колі алгебрична сума потужностей всіх джерел живлення електричного кола дорівнює сумі потужностей споживачів. Рівняння балансу потужностей має вигляд:

$$\sum_{k=1}^n E_k I_k = \sum_{k=1}^n R_k I_k^2 .$$

Тут $\sum_{k=1}^n E_k I_k$ – алгебрична сума потужностей всіх джерел живлення,

$\sum_{k=1}^n R_k I_k^2$ – сума потужностей споживачів кола.

Якщо напрями ЕРС та струму збігаються, то джерело віддає енергію в навантаження. У цьому випадку добуток $E_k I_k$ має знак „+”. Якщо напрям ЕРС та струму протилежні, то джерело працює в режимі приймача (режим зарядки акумулятора). У цьому випадку добуток $E_k I_k$ має знак „-”.

Обчислюємо потужність джерел живлення:

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 = 120 \cdot 6,67 + 120 \cdot 10 = 2000 \text{ Вт.}$$

Обчислюємо потужність споживачів:

$$R_{01} I_1^2 + R_1 I_1^2 + R_{02} I_2^2 + R_3 I_3^2 + R_4 I_4^2 = 1 \cdot 6,67^2 + 2 \cdot 6,67^2 + 2 \cdot 10^2 + 15 \cdot 6,67^2 + 10 \cdot 10^2 = 2000 \text{ Вт.}$$

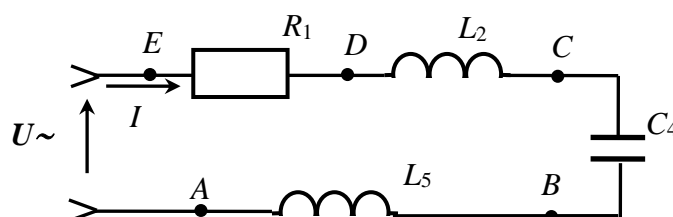
$$\text{Отже } P_{\text{сп}} = P_{\text{джер}} .$$

2.2. Розрахунок кола змінного струму

Умова задачі.

Дані для розрахунку: $f = 50$ Гц, $U = 127$ В, $R_1 = 10$ Ом, $L_2 = 0,1$ Гн, $R_3 = 0$ Ом, $C_4 = 80$ мкФ, $L_5 = 0,05$ Гн, $R_6 = 0$ Ом, $C_7 \rightarrow \infty$.

Спрощена схема електричного кола без елементів з нульовим опором наведена на рис. 2.2.



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 18

Рис. 2.2. Спрощена електрична схема кола однофазного змінного струму

Розрахунок сили струму і напруг на елементах кола

Обчислюємо значення опорів реактивних елементів:

$$X_2 = 2\pi \cdot f \cdot L_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,1 = 31,4 \text{ Ом},$$

$$X_4 = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_4} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 80 \cdot 10^{-6}} = 39,8 \text{ Ом},$$

$$X_5 = 2\pi \cdot f \cdot L_5 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,05 = 15,7 \text{ Ом}.$$

Загальний реактивний опір кола:

$$X = X_L - X_C = 31,4 + 15,7 - 39,8 = 7,3 \text{ Ом}.$$

$$\text{Повний опір кола: } Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{10^2 + 7,3^2} = 12,4 \text{ Ом}.$$

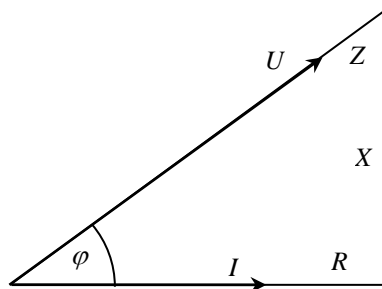


Рис.2.3. Трикутник опорів та векторна діаграма струму і напруги живлення

Властивості електричного кола визначаються трикутником опорів, що приведений на рис. 2.3. Катетами трикутника є активний опір R і реактивний опір X кола, а гіпотенузою – повний опір Z . Кут φ є фазовий кут навантаження, він є кутом зсуву початкових фаз напруги живлення U і сили струму I в колі:

$$\varphi = \arctg(X / R) = \arctg 0,73 = 36,1^\circ, \quad \varphi = \psi_u - \psi_i.$$

Якщо початкова фаза сили струму $\psi_i = 0$, то початкова фаза напруги живлення $\psi_u = \psi_i + \varphi = \varphi = 36,1^\circ$.

За відомою напругою живлення і повним опором кола визначаємо силу струму в колі:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 19

$$I = U/Z = 127/12,4 = 10,24 \text{ А.}$$

Будуємо векторну діаграму напруги живлення і сили струму в колі. Приймаємо масштаб напруги $m_u = 25 \text{ В/см}$, масштаб сили струму $m_i = 3 \text{ А/см}$.

$$\text{Амплітуда напруги } U_m = \sqrt{2} \cdot U = \sqrt{2} \cdot 127 = 180 \text{ В.}$$

Миттєві значення напруги:

$$u(t) = U_m \times \sin(\omega t + \psi_u) = 180 \times \sin(360^\circ \times 50 \times t + 36,1^\circ).$$

Напруга $U(t)$ є періодичною функцією з періодом $T = 1/f = 0,02 \text{ с} = 20 \text{ мс}$. Для побудови графіка $U(t)$ визначаємо миттєві значення напруги в моменти часу $0, T/12, 2T/12, 3T/12 \dots 6T/12$. В наступний півперіод значення напруги повторюються, але мають протилежні знаки.

Дані розрахунку приводимо у таблиці.

Таблиця 2.3

t	0	T/12	T/6	T/4	T/3	5T/12	T/2
ωt	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
$\alpha = \omega t + \psi_u$	$36,1^\circ$	$66,1^\circ$	$96,1^\circ$	$126,1^\circ$	$156,1^\circ$	$186,1^\circ$	$216,1^\circ$
$\sin \alpha$	0,590	0,915	0,994	0,807	0,405	-0,108	-0,590
$180 \cdot \sin \alpha$	106	165	179	145	73	-19,4	-106

Вибираємо масштаб:

часу – 20 мс в 6 см, і масштаб напруги –60 В в 1 см.

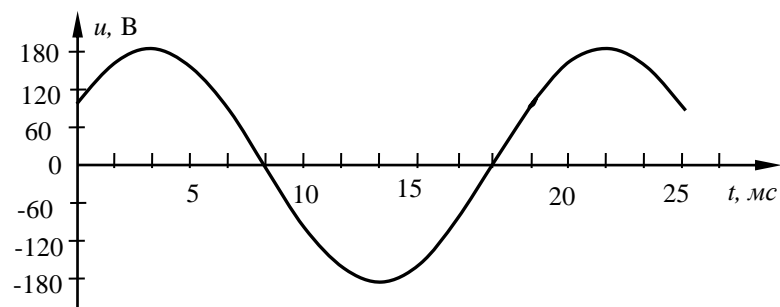


Рис. 2.4. Графік зміни напруги живлення

Визначаємо повну, активну та реактивну потужності в колі:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 20

$$S = U \cdot I = 127 \cdot 10,24 = 1300 \text{ ВА},$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 127 \cdot 10,24 \cdot 0,806 = 1048 \text{ Вт},$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = 127 \cdot 10,24 \cdot 0,589 = 766 \text{ ВАр}.$$

Розрахунок величини напруги на затискачах окремих споживачів:

$$U_1 = I \cdot R_1 = 10,24 \cdot 10 = 102,4 \text{ В},$$

$$U_2 = I \cdot X_2 = 10,24 \cdot 31,4 = 321,5 \text{ В},$$

$$U_4 = I \cdot X_4 = 10,24 \cdot 39,8 = 407,5 \text{ В},$$

$$U_5 = I \cdot X_5 = 10,24 \cdot 15,7 = 160,8 \text{ В}.$$

Будуємо векторну діаграму сили струму і напруг на окремих споживачах (рис.2.5, а). Вектор I сили струму на комплексній площині направлений вздовж осі дійсних чисел, оскільки $\psi_i = 0$. Такий же напрям має вектор напруги U_1 на резисторі R_1 . Вектори напруги U_2 і U_5 на котушках L_2 і L_5 випереджають силу струму на 90° і направлені вздовж осі уявних чисел, вектор напруги U_4 на конденсаторі C_4 має протилежний напрям.

Приймаємо масштаб напруги $m_u = 50 \text{ В/см}$, масштаб сили струму $m_i = 3 \text{ А/см}$.

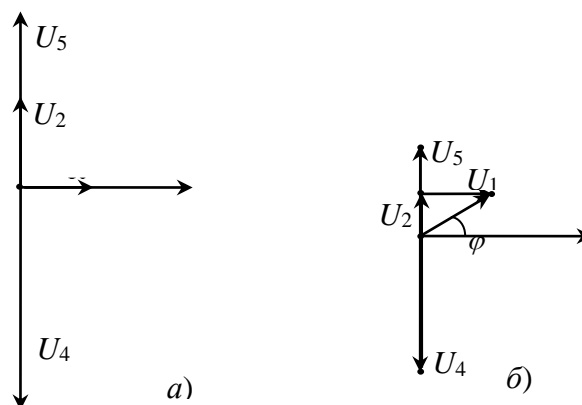


Рис. 2.5. Векторна діаграма струму і напруг на елементах кола – а та топографічна діаграма – б

Топографічна діаграма (рис.2.5, б) відображає значення потенціалів окремих точок електричного кола на комплексній площині. Потенціал точки E приймаємо нульовим $\varphi_E = 0$. Між точками E і D діє напруга U_5 , тому точка D зміщена

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 21

відносно точки E на величину вектора U_5 . Подібно до цього точка C зміщена відносно точки D на величину вектора U_4 , точка B відносно точки C на величину вектора U_2 , а точка A відносно точки B на величину вектора U_1 .

Побудову топографічної діаграми починаємо з точки E , розміщуємо її в центрі системи координат. Від точки E будуємо вектор U_5 , кінець якого є точкою D . Від точки D будуємо вектор U_4 , кінець якого є точкою C , а від точки C будуємо вектор U_2 , з кінця якого відкладаємо вектор U_1 , і отримуємо відповідно точки B і A .

Розрахунок значень частоти, ємності або індуктивності, при яких настане резонанс напруг

Умова резонансу напруг $X_L = X_C$.

Резонансу напруг можна досягти зміною ємності, індуктивності або частоти, оскільки реактивний опір котушки $X_L = 2\pi f L$ прямо пропорційний частоті f і індуктивності L , а опір конденсатора $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$ обернено пропорційний частоті f і ємності C .

Для досягнення резонансу напруг шляхом зміни ємності конденсатора, необхідно, щоб $X_{C_{рез}} = X_L = 47,1 \text{ Ом}$.

$$C_{рез} = \frac{1}{2\pi f X_L} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 47,1} = 67,6 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 67,6 \text{ мкФ}.$$

Повний опір кола при резонансі $Z_{рез} = R = 10 \text{ Ом}$.

Сила струму при резонансі $I_{рез} = U / Z_{рез} = 127 : 10 = 12,7 \text{ А}$.

Потужність кола при резонансі $S = P = U \cdot I = 127 \cdot 12,7 = 1613 \text{ Вт}$.

Реактивна потужність кола при резонансі $Q = 0$.

Висновки

При резонансі сила струму збільшилась в $\frac{I_{рез}}{I} = \frac{12,7}{10,24} = 1,24$ рази.

Активна потужність кола зросла в $\frac{P_{рез}}{P} = \frac{1613}{1048} = 1,54$ раз.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 22

2.3. Розрахунок кола трифазного струму

Умова задачі:

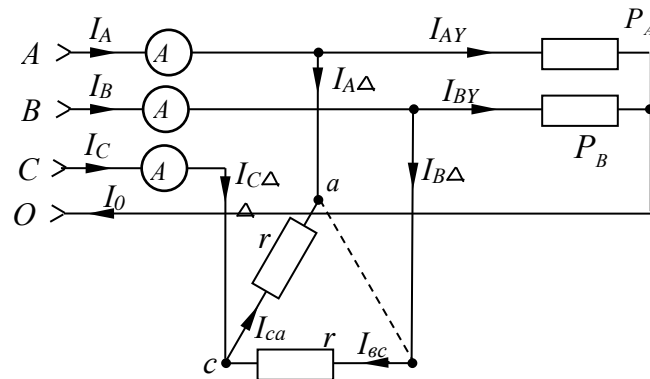


Рис.3.1. Трифазна лінія живлення з увімкненим навантаженням

Розв'язок:

Будуємо векторну діаграму рис. 3.2, а фазних напруг лінії живлення U_A , U_B , U_C з діючою напругою 220 В і зміщеними на $\pm 120^\circ$ початковими фазами.

Приймаємо масштаб напруги $M_u = 100$ В/см., масштаб струму $M_i = 10$ А/см.

Будуємо також вектори лінійних напруг U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} . Кожний з них визначається різницею векторів двох відповідних фазних напруг.

Наприклад: $U_{AB} = U_A - U_B = U_A + (-U_B)$.

Будуємо вектори сили струму ламп розжарення, паралельно до векторів відповідних фазних напруг. Довжина векторів на рис. 3.2, б. визначається значеннями відповідних сил струму:

$$I_{A.Y} = P_A / U_A = 4400 / 220 = 20 \text{ А}, \quad I_{B.Y} = P_B / U_A = 10 \text{ А}.$$

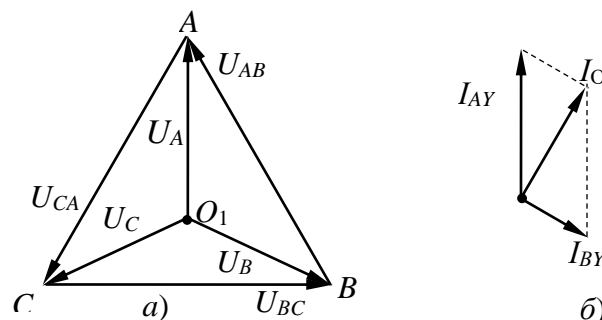


Рис. 3.2. Векторна діаграма напруг – а та струмів – б в навантаженнях, з'єднаних зіркою

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 23

Будуємо вектор струму нульового проводу $I_0 = I_{AY} + I_{BY}$, як суму векторів I_{AY} та I_{BY} . Визначаємо за діаграмою його довжину $L_0 = 1,73 \text{ см}$ і силу струму $I_0 = L_0 \cdot M_i = 17,3 \text{ А}$.

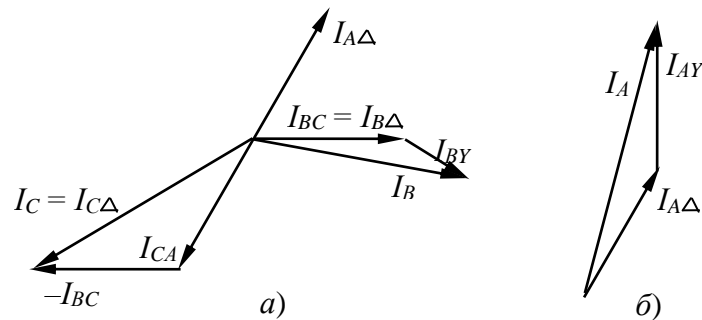


Рис. 3.3. Векторна діаграма струмів споживачів, з'єднаних трикутником, та струму фази В – а і струму фази А – б

Будуємо на рис 3.3, а вектори фазних струмів I_{CA} та I_{BC} . Вони паралельні векторам напруг U_{CA} та U_{BC} , довжина їх визначається значеннями відповідних сил струму:

$$I_{CA} = I_{BC} = U_n / r = 380 / 19 = 20 \text{ А.}$$

Вектор лінійного струму $I_{B\Delta}$ співпадає з фазним струмом I_{BC} , вектор $I_{A\Delta}$ – протилежний до вектора I_{CA} :

$$I_{B\Delta} = I_{BC}, I_{A\Delta} = -I_{CA}.$$

$$\text{Величина цих струмів } I_{A\Delta} = I_{B\Delta} = 20 \text{ А.}$$

Вектор лінійного струму $I_{C\Delta}$ знаходимо за першим законом Кірхгофа для вузла С:

$$I_{C\Delta} + I_{BC} - I_{CA} = 0, I_{C\Delta} = I_{CA} + (-I_{BC}).$$

Вектор $I_{C\Delta}$ на рис. 3.3, а будуємо, як суму вектора I_{CA} та вектора $-I_{BC}$. Побудований трикутник є рівностороннім з кутом при вершині 120° , основа трикутника – струм $I_{C\Delta}$:

$$I_{C\Delta} = 2 \cdot I_{BC} \cdot \cos 30^\circ = 34,6 \text{ А.}$$

Визначаємо значення споживаних струмів:

$$I_A = I_{A\Delta} + I_{AY}, I_B = I_{B\Delta} + I_{BY},$$

$$I_C = I_{C\Delta} = 34,6 \text{ А.}$$

Для визначення струмів I_A, I_B будуємо векторні діаграми, зображені на рис.3.3, а та 3.3, б. За довжинами векторів $L_A = 3,7 \text{ см}$ $L_B = 2,9 \text{ см}$ знаходимо силу струмів:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 24

$$I_A = 37 \text{ A}, \quad I_B = 29 \text{ A}.$$

2.4. Розрахунок асинхронного трифазного двигуна з короткозамкненим ротором

Умова задачі.

Трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором має такі параметри:

$$P_{\text{ном.мех.}} = 5,5 \text{ кВт};$$

$$n_{\text{ном}} = 2930 \text{ об/хв};$$

$$\text{ККД} = 90,5\%;$$

$$\cos \varphi_{\text{ном.}} = 0,88;$$

$$\alpha = I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}} = 5;$$

$$\beta = M_{\text{пуск}}/M_n = 1;$$

$$\chi = M_{\text{max}}/M_n = 2,2.$$

Двигун увімкнено за схемою “зірка” до мережі з лінійною напругою $U_{\text{лін}} = 380 \text{ В}$ частоти $f = 50 \text{ Гц}$.

Розв’язок: За відомим значенням коефіцієнта корисної дії η знаходимо величину споживаної потужності:

$$\eta = (P_{\text{ном.мех.}}/P_{\text{ном.ел.}}) \cdot 100\%,$$

$$P_{\text{ном.ел.}} = P_{\text{ном.мех.}}/\eta = 5,5/0,905 = 6,08 \text{ кВт}.$$

За величиною споживаної активної потужності $P_{\text{ном.ел}}$ знаходимо повну потужність двигуна $S_{\text{ном}}$, реактивну потужність $Q_{\text{ном}}$ та споживаний струм I_l :

$$P_{\text{ном.ел.}} = S_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_{\text{ном.}},$$

$$S_{\text{ном.}} = P_{\text{ном.мех.}}/\cos \varphi_{\text{ном.}} = 6,08/0,88 = 6,91 \text{ кВА},$$

$$Q_{\text{ном.}} = \sqrt{S_{\text{ном.}}^2 - P_{\text{ном.ел.}}^2} = 3,28 \text{ кВАр},$$

$$S_{\text{ном}} = 3U_{\phi}I_{\phi} = 3(U_{\text{л}}/\sqrt{3})I_{\text{л}},$$

$$I_{\text{л}} = S_{\text{ном.}}/(U_{\text{л}} \sqrt{3}) = 6,91 \cdot 10^3/(380 \sqrt{3}) = 10,5 \text{ А}.$$

За відомим значенням коефіцієнта α кратності пускового струму, знаходимо значення пускового струму:

$$I_{\text{пуск}} = \alpha I_{\text{ном}} = 52,5 \text{ А}.$$

Двигун споживає значну реактивну потужність. Для її зменшення і відповідного зменшення споживаного струму використовують компенсацію $\cos \varphi$ – паралельно до двигуна приєднують конденсатори. Конденсатори не змінюють режиму роботи двигуна, але зменшують споживаний струм шляхом часткової компенсації реактивної складової струму двигуна. Споживаний струм $I_{\text{комп}}$ є

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 25

векторна сума споживаного двигуном струму I_L та струму конденсаторів I_C , як зображено на векторній діаграмі рис. 4.1.

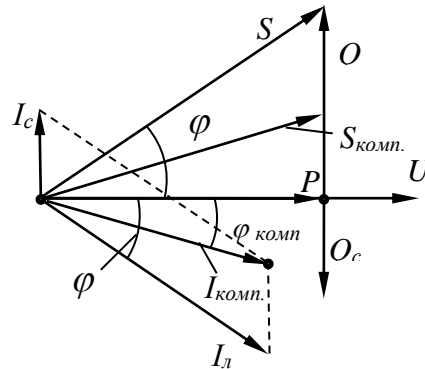


Рис. 4.1. Векторна діаграма напруги і струмів з трикутником потужностей

При вмиканні конденсаторів не змінюється споживана активна потужність, але зменшується реактивна потужність на величину потужності увімкнених конденсаторів і, відповідно, повна потужність $S_{комп.}$ і споживаний струм $I_{комп.}$:

$$S_{комп.} = P_{ном.ел.} / \cos\varphi_{комп.} = 6,08 / 0,95 = 6,4 \text{ кВА},$$

$$Q_{комп.} = \sqrt{S_{комп.}^2 - P_{ном.ел.}^2} = 2,0 \text{ кВАр},$$

$$I_{комп.} = S_{комп.} / (\sqrt{3} U_L) = 6400 / (380 \sqrt{3}) = 9,7 \text{ А}.$$

Для досягнення заданого $\cos\varphi_{комп.}$ конденсатори повинні споживати потужність:

$$Q_{конд.} = Q_{ном.} - Q_{комп.} = 3,28 - 2,0 = 1,28 \text{ кВАр} = 1280 \text{ ВАр}.$$

Конденсатори можуть бути з'єднані зіркою або трикутником, як показано на рис. 4.2.

Споживана конденсаторами реактивна потужність при їх з'єднанні зіркою:

$$S_{конд.} = 3U_{\phi}I_C = 3U_{\phi}^2/X_c.$$

Тут $X_c = 1/(2\pi f C_Y)$ – реактивний опір конденсатора, I_C – сила струму в конденсаторі.

Ємність кожного з конденсаторів:

$$C_Y = S_{конд.} / (2\pi f \cdot 3U_{\phi}^2) = 0,000028 \text{ Ф} = 28 \text{ мкФ}.$$

При з'єднанні конденсаторів трикутником:

$$S_{конд.} = 3U_L I_C = 3U_L^2 / X_c.$$

Ємність кожного з конденсаторів:

$$C_{\Delta} = S_{конд.} / (2\pi f \cdot 3U_L^2) = 0,000009 \text{ Ф} = 9 \text{ мкФ}.$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 26

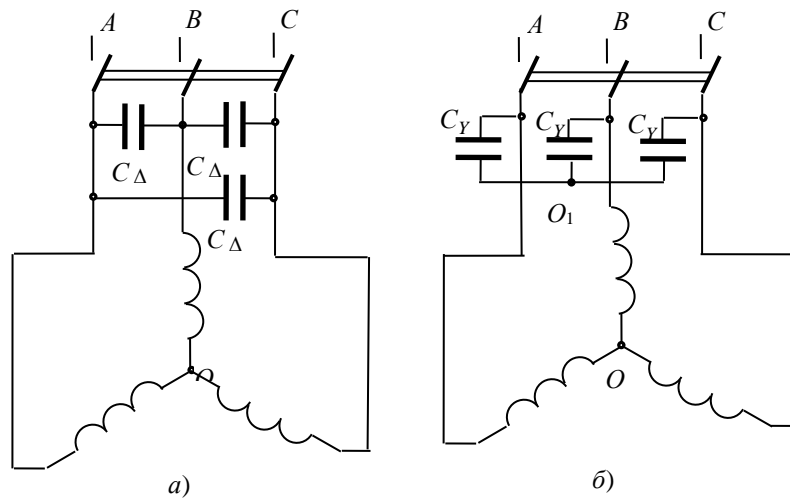


Рис. 4.2. Схема вмикання трифазного двигуна з компенсуючими конденсаторами, з'єднаними трикутником – а та зіркою – б

Визначаємо значення номінального, пускового і максимального обертаючих моментів:

$$M_{ном} = P_{ном.мех}/\Omega = P_{ном.мех}/[2\pi (n_{ном}/60)] = 60 \cdot 5,5 \cdot 10^3 / (2\pi \cdot 1465) = 35,9 \text{ Нм},$$

$$M_{пуск} = \beta M_{ном} = 1 \cdot 35,9 = 35,9 \text{ Нм},$$

$$M_{макс} = \gamma M_{ном} = 2,2 \cdot 35,9 = 79 \text{ Нм}.$$

Двигун має дві пари полюсів $p = 2$ магнітного поля, оскільки швидкість його обертання $n_{ном}$ і синхронна швидкість n_c повинні задовольняти умові: $n_{ном} \approx n_c = 60f:p = 1500$.

Номінальне значення ковзання:

$$s_{ном} = (n_{ном} - n_c)/n_c = (1500 - 1465)/1500 = 0,023.$$

Для визначення критичного ковзання використовуємо формулу залежності обертаючого моменту від ковзання в номінальному режимі роботи:

$$M_{ном} = 2M_{макс} / (s_{ном}/s_{кр} + s_{кр}/s_{ном}),$$

$$s_{ном}/s_{кр} + s_{кр}/s_{ном} = 2M_{макс}/M_{ном} = 2\gamma.$$

Якщо позначити $s_{ном}/s_{кр} = x$, маємо рівняння:

$$x + 1/x = 2\gamma, \rightarrow x^2 - 2\gamma x + 1 = 0.$$

Корені цього рівняння:

$$x = \gamma \pm \sqrt{\gamma^2 - 1} = 2,2 \pm 1,96; \quad x_1 = 0,24; \quad x_2 = 4,14.$$

На робочій ділянці залежності $M(s)$ $s < s_{кр}$. Це визначає, що

$$s_{ном}/s_{кр} = x_1 = 0,24.$$

Критичне ковзання має значення:

$$s_{кр} = s_{ном}/x_1 = 0,023/0,24 = 0,096.$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 27

За формулою залежності $M(s)$ визначаємо значення обертаючого моменту M при різних значеннях ковзання, заносимо їх в таблицю 4.1 і будемо графік залежності $M(s)$:

$$M = \frac{2M_{\text{макс}}}{\frac{s}{s_{\text{кр}}} + \frac{s_{\text{кр}}}{s}}$$

Таблиця 4.1

s	0	0,023	0,077	0,096	0,115	0,2	0,4	0,6	0,8	1
$s/s_{\text{кр}}$	0	0,24	0,8	1	1,2	2,08	4,16	6,25	8,33	10,4
$s_{\text{кр}}/s$	∞	4,14	1,25	1	0,83	0,48	0,24	0,16	0,12	0,097

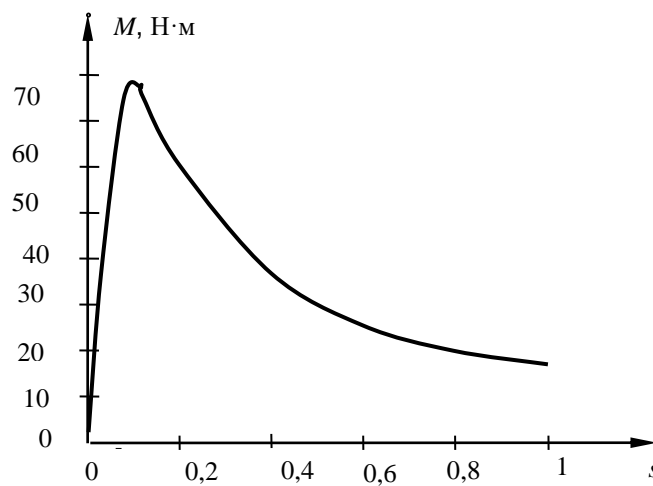


Рис. 4.3. Графік залежності обертаючого моменту від ковзання

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/152.00.1/Б/ОК14- 2022
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 28

Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Державний університет «Житомирська політехніка»

Кафедра Робототехніки,
електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна
група _____

Практична робота
Теорія електричних сигналів та кіл

Керівник Шавурський Ю.О.

Виконавець ПІБ студента

Житомир
2023