

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 1

## ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою  
Державного університету  
«Житомирська політехніка»

протокол від \_\_ \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.  
№ \_\_

### МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ для проведення практичних занять з навчальної дисципліни «Електротехніка та електромеханіка. Ч.1»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»  
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології»  
факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки  
кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ім.  
проф. Б.Б. Самотокіна

Рекомендовано на засіданні  
кафедри автоматизації та  
комп'ютерно-інтегрованих  
технологій  
ім. проф. Б.Б. Самотокіна  
\_\_\_\_\_ 2020 р.,  
протокол № \_\_

Розробник: к.т.н., доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих  
технологій ім. проф. Б.Б. Самотокіна» ШАВУРСЬКИЙ Юрій,  
асистент кафедри «Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ім.  
проф. Б.Б. Самотокіна» ГРИНЕВИЧ Марія

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 2

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	3
<b>1. ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПРАКТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ</b> .....	4
<b>Задача 1. Розрахунок складного кола постійного струму</b> .....	4
<b>Задача 2 . Розрахунок послідовного кола змінного струму</b> .....	5
<b>Задача 3. Розрахунок кола трифазного струму</b> .....	6
<b>Задача 4. Розрахунок асинхронного трифазного двигуна з короткозамкненим ротором</b> .....	7
<b>2. ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ</b> .....	9
<b>2.1. Розрахунок кола постійного струму</b> .....	9
<b>2.1.1. Розрахунок струмів в електричному колі</b> .....	9
<b>2.1.1.1. Метод накладання</b> .....	9
<b>2.1.1.2. Метод рівнянь Кірхгофа</b> .....	11
<b>2.1.1.3. Метод вузлових потенціалів</b> .....	13
<b>2.1.1.4. Метод контурних струмів (МКС)</b> .....	14
<b>2.1.2. Режим роботи акумулятора <math>E_2</math></b> .....	16
<b>2.2. Розрахунок кола змінного струму</b> .....	17
<b>2.3. Розрахунок кола трифазного струму</b> .....	22
<b>2.4. Розрахунок асинхронного трифазного двигуна з короткозамкненим ротором</b> .....	24
<b>Додаток А</b> .....	29

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 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.

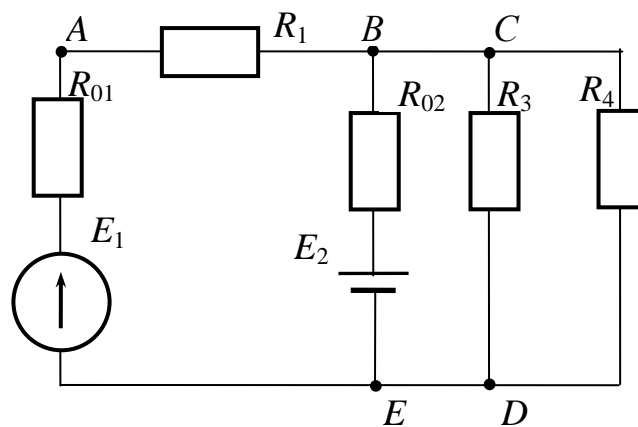


Рис. 1. Електричне коло постійного струму

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).

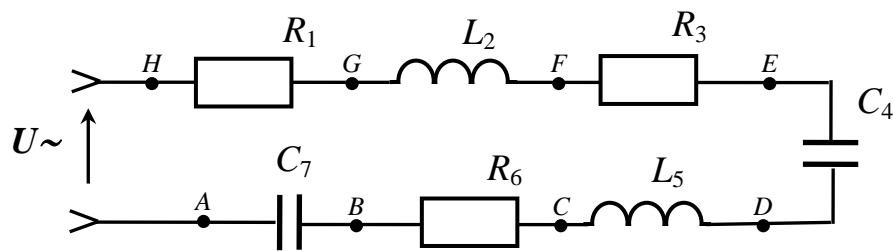


Рис. 2. Електричне коло змінного струму

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.

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	$\infty$	$\infty$	400	200	$\infty$	$\infty$	$\infty$	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).

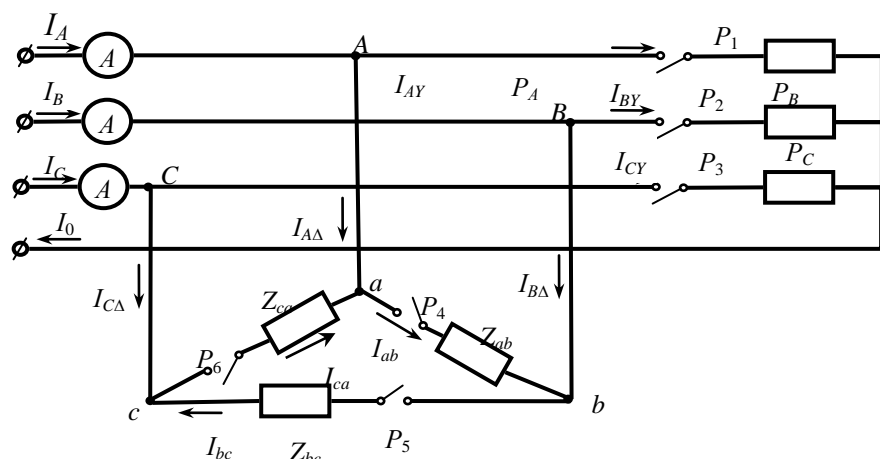


Рис. 3. Електричне коло трифазного струму

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 7

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

1. Лінійні струми споживачів, увімкнених трикутником –  $I_{A\Delta}, I_{B\Delta}, I_{C\Delta}$ ;
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- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 8

- коефіцієнт кратності пускового струму  $\alpha$ ;
- 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
$\gamma$	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
$\alpha$	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8	5,6	5,4	5,3	5,5	5,1
$\beta$	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- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 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.

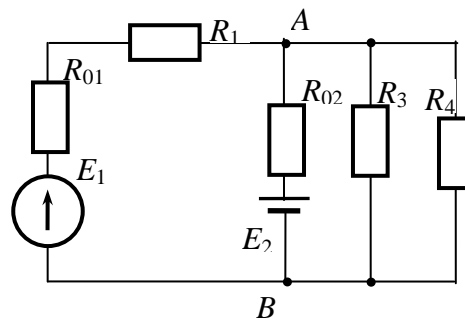


Рис.1.1

**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.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 10

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

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

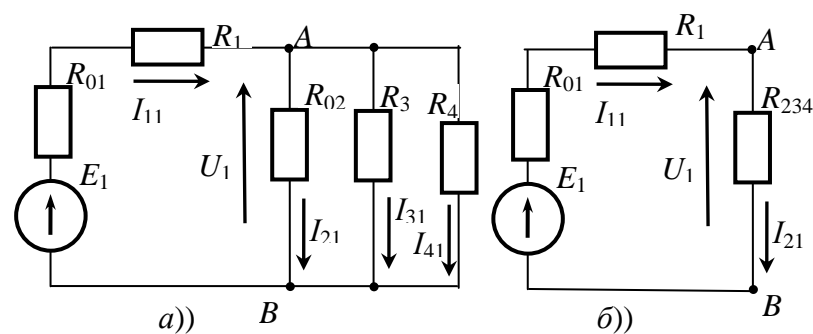


Рис. 1.2. Складне електричне коло за рис. 1.1 після вилучення джерела електричної енергії  $E_2$  – а, після спрощення – б

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

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

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

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

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. Спрощуємо 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- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 11

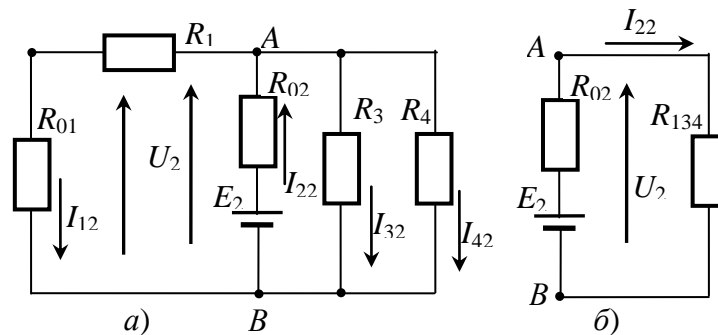


Рис. 1.3. Складне електричне коло за рис. 1.1 після вилучення джерела електричної енергії  $E_1$  – а, після спрощення – б

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

**І 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 І 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- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 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 напрям, 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.

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

$$3 \text{ 2 рівняння: } 2I_2 + 15I_3 = 120; \Rightarrow 2 \cdot 1,5 I_1 + 15 I_3 = 120;$$

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

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 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  $B$ .

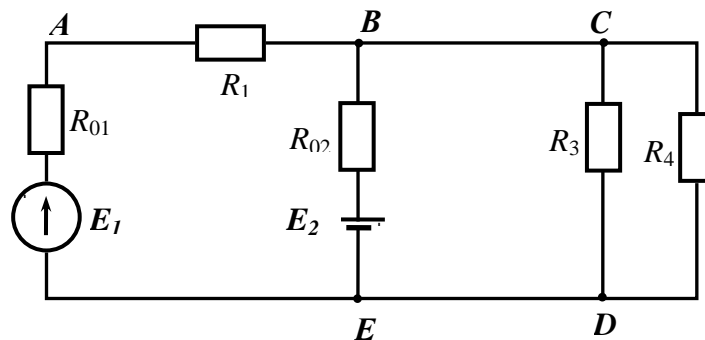


Рис. 1.3

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- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 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  $I_{11}$ ,  $I_{22}$ ,  $I_{33}$ .

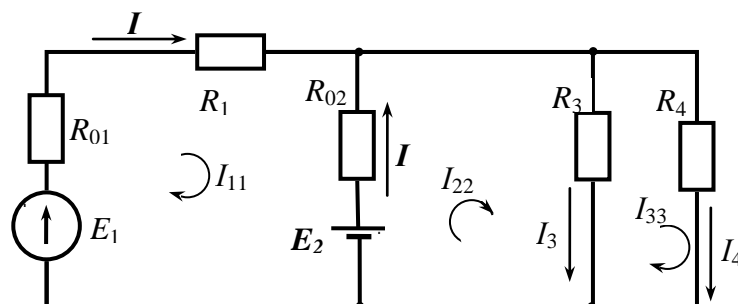


Рис. 1.4. Незалежні контури з контурними струмами

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- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 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  $\Delta$  – 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- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 16

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

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

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

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 :

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

## 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- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 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:

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

$$\text{Отже } P_{сп} = P_{джер}.$$

## 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- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 18

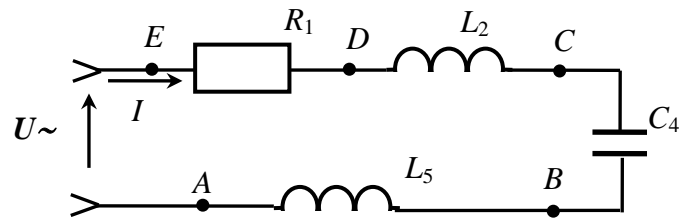


Рис. 2.2. Спрощена електрична схема кола однофазного змінного струму

### 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:

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

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

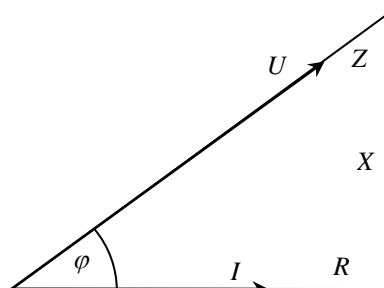


Рис.2.3. Трикутник опорів та векторна діаграма струму і напруги живлення

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  $\varphi$  є фазовий кут навантаження, він є кутом зсуву початкових фаз напруги живлення  $U$  і сили струму  $I$  в колі:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 19

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

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:

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

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
$\omega t$	$0^\circ$	$30^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$	$120^\circ$	$150^\circ$	$180^\circ$
$\alpha = \omega t + \psi_u$	$36,1^\circ$	$66,1^\circ$	$96,1^\circ$	$126,1^\circ$	$156,1^\circ$	$186,1^\circ$	$216,1^\circ$
$\sin \alpha$	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.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 20

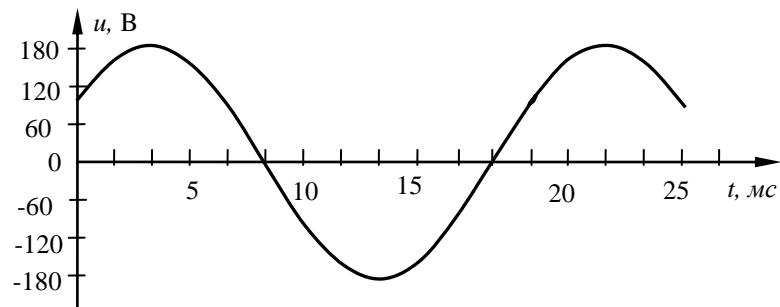


Рис. 2.4. Графік зміни напруги живлення

Визначаємо повну, активну та реактивну потужності в колі:

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

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

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

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  $90^\circ$  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  $m_i = 3 \text{ А/см}$ .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 21

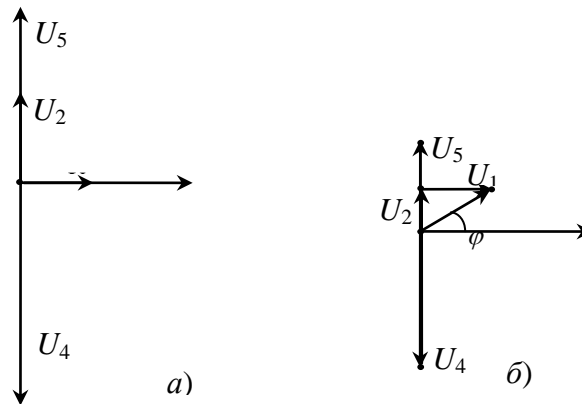


Рис. 2.5. Векторна діаграма струму і напруг на елементах кола – а та топографічна діаграма – б

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 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  $C$ .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 22

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.

## 2.3. Розрахунок кола трифазного струму

### Умова задачі:

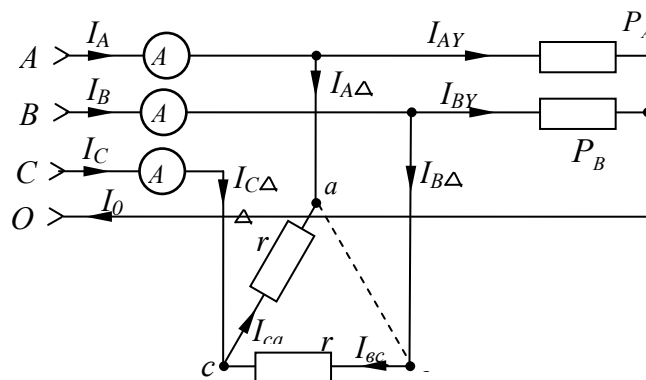


Рис.3.1. Трифазна лінія живлення з увімкненим навантаженням

### 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  $M_u = 100 \text{ В/см}$ ., масштаб струму  $M_i = 10 \text{ А/см}$ .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 23

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

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

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

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

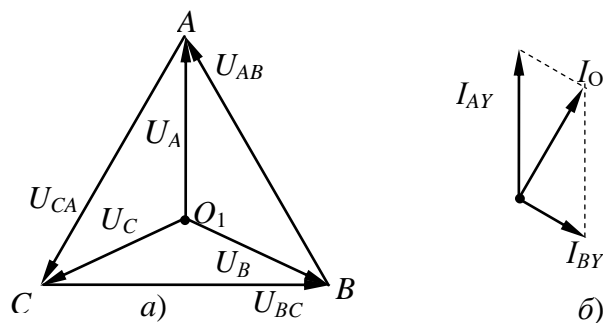


Рис. 3.2. Векторна діаграма напруг – а та струмів – б в навантаженнях, з'єднаних зіркою

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  $I_0 = L_0 \cdot M_i = 17,3 \text{ А}$ .

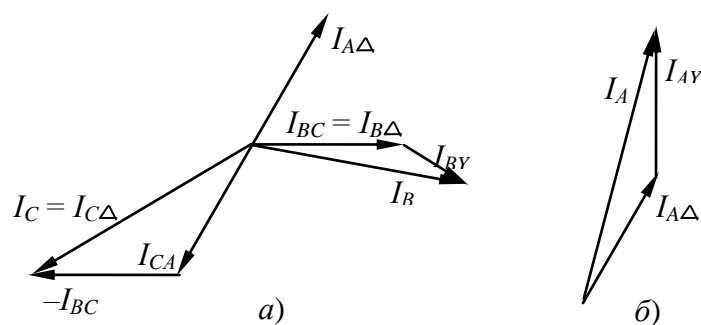


Рис. 3.3. Векторна діаграма струмів споживачів, з'єднаних трикутником, та струму фази В – а і струму фази А – б

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:

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 24

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 рівносторонній з кутом при вершині  $120^\circ$ , 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:

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

## 2.4. Розрахунок асинхронного трифазного двигуна з короткозамкненим ротором

### Умова задачі.

Трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором має такі параметри:

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

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

$$\text{ККД} = 90,5\%;$$

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

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

$$\beta = M_{\text{пуск}} / M_{\text{н}} = 1;$$

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

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



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 25

**Розв'язок:** За відомим значенням коефіцієнта корисної дії  $\eta$  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  $I_{\text{л}}$ :

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

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

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

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

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

За відомим значенням коефіцієнта  $\alpha$  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 векторна сума споживаного двигуном струму  $I_{\text{л}}$  та струму конденсаторів  $I_{\text{с}}$ , як зображено на векторній діаграмі рис. 4.1.

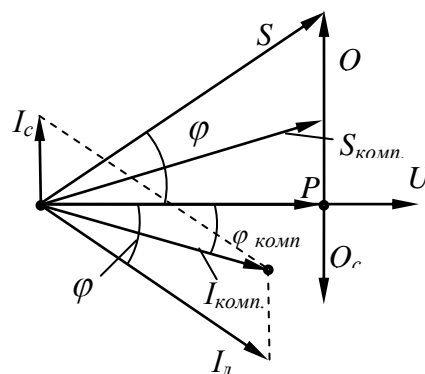


Рис. 4.1. Векторна діаграма напруги і струмів з трикутником потужностей

При вмиканні конденсаторів не змінюється споживана активна потужність, але зменшується реактивна потужність на величину потужності увімкнених

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 26

конденсаторів і, відповідно, повна потужність  $S_{\text{комп.}}$  і споживаний струм  $I_{\text{комп.}}$ :

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

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

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

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

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

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

Споживана конденсаторами реактивна потужність при їх з'єднанні зіркою:

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

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

Ємність кожного з конденсаторів:

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

При з'єднанні конденсаторів трикутником:

$$S_{\text{конд.}} = 3U_{\text{л}}I_c = 3U_{\text{л}}^2 / X_c.$$

Ємність кожного з конденсаторів:

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

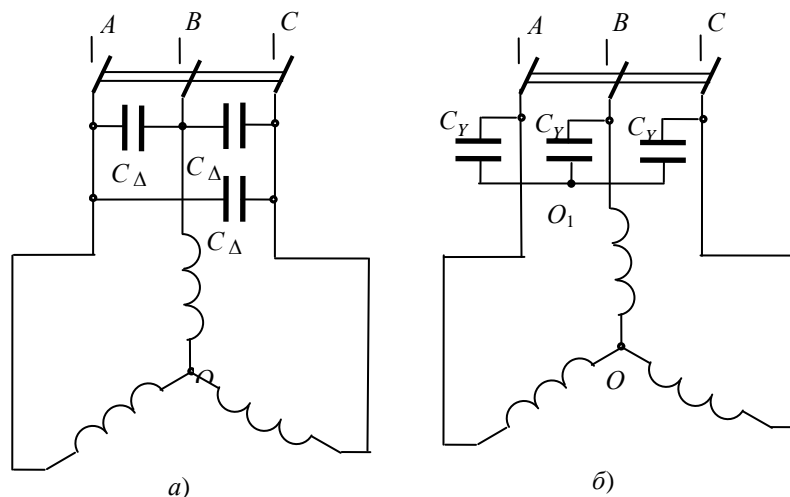


Рис. 4.2. Схема вмикаючого пристрою трифазного двигуна з компенсуючими конденсаторами, з'єднаними трикутником – а та зіркою – б

Визначаємо значення номінального, пускового і максимального обертаючих моментів:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 27

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

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

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

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

Номинальне 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:

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

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

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

Таблиця 4.1

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 28

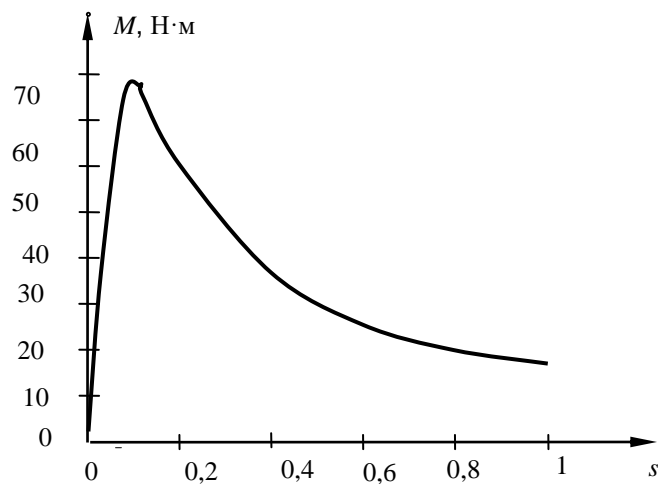


Рис. 4.3. Графік залежності обертаючого моменту від ковзання

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.02/2/151.00.1/Б -2021
	Екземпляр № 1	Арк 29 / 29

## Додаток А

Міністерство освіти і науки України  
Державний університет «Житомирська політехніка»

Кафедра автоматизації  
та комп'ютерно-інтегрованих  
технологій ім. проф. Б.Б. Самотокіна  
група \_\_\_\_\_

Електротехніка та електромеханіка Ч.1

**XXXX. XX XX XX. 000 РГ**  
Практичні роботи з електротехніки

Керівник (підпис) Шавурський Ю.О.

Виконавець (підпис) ПІБ студента

Житомир  
2021