



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства та  
природокористування

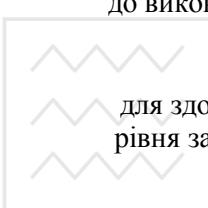
Навчально-науковий інститут автоматики, кібернетики та  
обчислювальної техніки

Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-  
інтегрованих технологій

**04-03-233**

### **Методичні вказівки**

до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни  
«Електротехніка та електропривод»  
(частина 1)



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського)  
рівня за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»  
денної та заочної форми навчання

Рекомендовано науково-методичною  
комісією зі спеціальності  
274 «Автомобільний транспорт»  
Протокол № 15 від 05.06.2019 р.

Рівне – 2019



Національний університет

водного господарства  
та природокористування

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Електротехніка та електропривод» (частина 1) для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт» денної та заочної форми навчання / Тарас Б. І. – Рівне : НУВГП, 2019 – 42 с.

Укладач: Тарас Б. І., старший викладач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Відповідальний за випуск – Древецький В. В., д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

© Тарас Б. І., 2019 р.  
© НУВГП, 2019 р.



	стор.
Вступ.....	4
1. Розрахунок бортової мережі автомобіля.....	5
2. Розрахунок кола змінного струму з паралельним з'єднанням віток.....	12
3. Розрахунок трифазної системи споживачів.....	17
4. Розрахунок реле.....	23
5. Розрахунок трифазного трансформатора.....	29
6. Розрахунок системи запалювання.....	35
Література.....	42





## Вступ

Грунтовне і осмислене засвоєння теоретичного курсу «Електротехніка та електропривод» неможливе без надбання практичних навичок щодо рішення задач по курсу в реальних величинах і параметрах електротехнічних пристройів.

Виконання запропонованих практичних робіт охоплює основні розділи курсу: кола постійного, змінного та трифазного струмів; електромеханіку та основи електроприводу; силову електроніку. Кожне з завдань включає в себе умову задачі, вихідні дані і методичні вказівки до виконання завдання з прикладом розрахунку в реальних величинах. Опанувавши методику розрахунку, студент виконує аналогічний розрахунок, оформляючи його у вигляді домашнього завдання, на форматі А4 або у окремому зошиті.

Вибір вихідних даних, для виконання самостійних розрахунків, вказані в умові до кожного завдання і обираються студентом згідно з варіантом. Довідниківі дані студент може знайти самостійно (у відповідній літературі або мережі Інтернет) або у таблицях, наведених у даних методичних вказівках.

Побудова графічних залежностей та графіків може здійснюватися на міліметровому папері у обраному масштабі або за допомогою прикладних програм (наприклад, Microsoft Excel). Побудова векторних діаграм може здійснюватися на міліметровому папері у обраному масштабі за допомогою лінійки та транспортира або у САПР (наприклад AutoCAD, Corel Draw, Компас).

Успішне, **самостійне** виконання запропонованих розрахунків сформує у студента інженерні навички у подальшій професійній діяльності, а також закріпить теоретичні знання з курсу «Електротехніка та електропривод».



## Практичне заняття 1. "Розрахунок бортової електричної мережі автомобіля"

**Завдання.** Розрахувати бортову електричну мережу автомобіля, схема заміщення якої зображена на рис.1.1 (в робочому режимі) і на рис.1.2 (в режимі стартерного пуску).

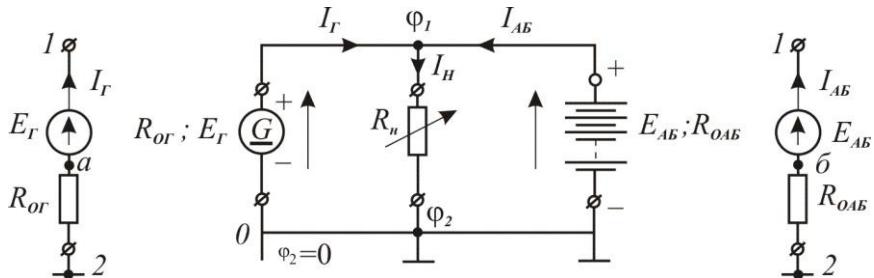


Рис.1.1.

Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

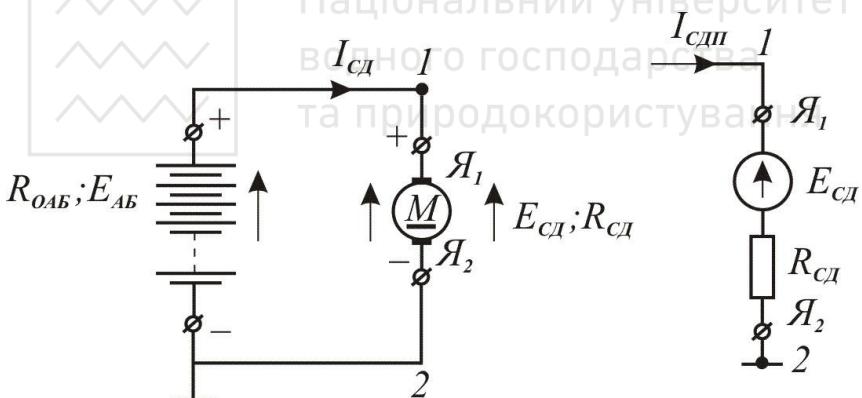


Рис.1.2.

На схемах заміщення позначено:

$G$  - автомобільний генератор, як електромеханічне джерело електричної енергії постійного струму;

$E_G$  - електрорушійна сила генератора;

$R_{OG}$  - внутрішній опір генератора;

$E_{AB}$  - акумуляторна батарея, як електрохімічне джерело



електричної енергії постійного струму;

$R_{OAB}$  - внутрішній опір акумуляторної батареї;

$R_H$  - споживач електричної енергії автомобіля;

$M$  - стартерний електродвигун автомобіля;

$R_{CD}$  - опір кола якоря стартерного електродвигуна;

$E_{CD}$  - електрорушійна сила стартерного двигуна (проти

- Е.Р.С.), яка залежить від швидкості обертання його якоря  $n$ .

**Вихідні значення:**

$E_G$ ; $B$	$R_{OG}$ ; $Ом$	$E_{AB}$ ; $B$	$R_{OAB}$ ; $Ом$	$R_H$ ; $Ом$	$R_{ст.Д}$ ; $Ом$	$n_{ст.Д}$ ; $об/хв$	$C_e$ ; $В/об/хв$
13,8	0,11	11	0,01	1	$12 \cdot 10^{-3}$	1000	$10^{-2}$

**Необхідно виконати наступні розрахунки:**

- Скласти рівняння за законами Кірхгофа для визначення струмів у колі рис.1.
- Розрахувати струми гілок кола:  $I_G$ ;  $I_{AB}$ ;  $I_H$ .
- Розрахувати напругу бортової мережі  $U_{12}$  методом двох вузлів.
- Визначити в якому режимі працює акумуляторна батарея: в режимі заряджання чи в режимі розряджання.
- Скласти баланс потужності в електричному колі рис.1.
- Розрахувати коефіцієнт корисної дії генератора (механічними втратами генератора знехтувати).
- Визначити струм якоря стартерного електродвигуна в двох режимах:
  - в момент пуску  $n_{n_D} = 0$  ;
  - при його обертанні з заданою швидкістю  $n \text{ об/хв}$ .
- Визначити напругу бортової мережі автомобіля при стартерному пуску в режимах „а” і „б”.



## Розв'язок.

1. Рівняння за законом Кірхгофа складають відносно невідомих струмів:  $I_G$ ;  $I_H$  і  $I_{AB}$ , тобто треба скласти три рівняння. Одне рівняння складається за першим законом Кірхгофа, а два інших за другим законом. Для цього схему, зображену на рис.1. перерисуємо у наступному вигляді:

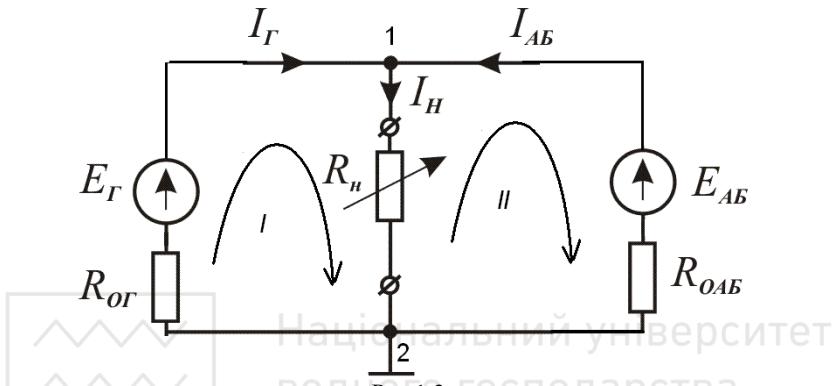


Рис.1.3.

при цьому позначивши на схемі вузли 1 і 2, та контури I і II, і вибравши довільно напрямки обходу контурів та напрямки протікання струмів.

Для 1-го вузла можемо записати:

$$I_G + I_{AB} - I_H = 0;$$

для I-го контуру:

$$I_G R_{OG} + I_H R_H = E_G;$$

для II-го контуру:

$$-I_{AB} R_{OAB} - I_H R_H = -E_{AB}.$$

2. Щоб знайти значення струмів, підставимо в записані рівняння (п.1) числові значення:



$$0,11I_G + 0 + 1 \cdot I_H = 13,8$$

або в матричному вигляді :

$$0 - 0,01I_{AB} - 1 \cdot I_H = -11$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 0,11 & 0 & 1 \\ 0 & 0,01 & -1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 13,8 \\ -11 \end{pmatrix} \quad (1.1)$$

Розв'язавши рівняння (1), отримаємо:  $I_G = 26,9$  (A);  $I_{AB} = -16$  (A);  $I_H = 10,8$  (A).

3. Згідно методу двох вузлів, напруга між вузлами 1 і 2 буде визначатися за формулою:

$$U_{12} = \frac{E_1 g_1 + E_2 g_2}{g_1 + g_2 + g_3} \quad (2)$$

де  $E_1 = E_G$ ;  $E_2 = E_{AB}$ ;  $g_1 = \frac{1}{R_{0G}}$ ;  $g_2 = \frac{1}{R_{0AB}}$ ;  $g_3 = \frac{1}{R_H}$ .

$$U_{12} = \frac{13,8 \cdot \frac{1}{0,11} + 11 \cdot \frac{1}{0,01}}{\frac{1}{0,11} + \frac{1}{0,01} + 1} = 11,1 \text{ (B).}$$

Даним методом можна також визначити струми у вітках за законом Ома:

$$I_G = \frac{E_G - U_{12}}{R_{0G}}; \quad I_H = \frac{U_{12}}{R_H}; \quad I_{AB} = \frac{E_{AB} - U_{12}}{R_{0AB}}.$$

4. Знак "-" у значенні  $I_{AB}$  означає, що в дійсності напрям протікання струму протилежний від обраного. Тобто акумуляторна батарея працює в режимі заряджання.

5. В любому електричному колі повинен підтверджуватися баланс потужностей (як частковий випадок загального закону природи – закон збереження енергії), який полягає в тому, що алгебраїчна сума потужностей всіх джерел енергії  $P_E = \sum EI$  дорівнює



арифметичній сумі потужностей, які розсіюються на всіх резистивних елементах кола  $P_Q = \sum RI^2$  ( $P_Q$  - електрична потужність на резистивних елементах кола, яка перетворюється в тепло відповідно до закону Джоуля-Ленца).

Рівняння балансу потужностей для кола рис.1 має вигляд

$$E_r \cdot I_r + E_{AB} I_{AB} = R_{0r} I_r^2 + R_{0AB} I_{AB}^2 + R_H I_H^2$$

Потужність джерел:  $13,8 \cdot 26,9 - 11 \cdot 16 = 194,5$  (Вт);

Потужність споживачів:  $26,9^2 \cdot 0,11 + 16^2 \cdot 11 + 10,8^2 \cdot 1 = 199$  (Вт);

Таким чином,  $194,5 \approx 199$  баланс потужностей виконується.

Потужність АБ дорівнює  $P_{AB} = E_{AB} I_{AB}$  і якщо  $E_{AB}$  і  $I_{AB}$  напрямлені однаково, то  $P_{AB} > 0$  (режим розрядження АБ), а коли  $E_{AB}$  і  $I_{AB}$  мають протилежні напрями, то  $P_{AB} < 0$  (режим зарядження АБ).

6. Коефіцієнт корисної дії генератора (без врахування механічних втрат в генераторі) визначається за формулою:

$$\eta_G = \frac{U_{12} I_\Gamma}{E_\Gamma \cdot I_\Gamma} = \frac{11,1 \cdot 26,9}{13,8 \cdot 26,9} = 80,6\%$$

7. Електричне коло, яке відповідає стартерному пуску двигуна внутрішнього згорання від акумуляторної батареї, зображене на рис.2, як просте коло постійного струму, яке можна розрахувати за законом Ома.

7 а) В момент вмикання стартерного двигуна ( $n = 0$ ) за законом Ома пусковий струм:

$$I_{CD.P} = \frac{E_{AB}}{R_{0AB} + R_{CD}} = \frac{11}{0,01 + 12 \cdot 10^{-3}} = 627,3 \text{ (A)}$$

7 б) Коли стартерний двигун приходить в рух, маючи оберти „ $n_{CD}$ ”, в обмотці якоря відповідно за законом електромагнітної індукції Фарадея наводиться (індукується) електрорушійна сила  $E_{CD}$ , яка направлена проти електрорушійної сили акумуляторної батареї  $E_{AB}$ .



Тоді по закону Кірхгофа струм I СД при обертанні якоря стартера

зі швидкістю  $n_{CD} \frac{o\delta}{x\vartheta}$  дорівнює

$$I_{CD} = \frac{E_{AB} - E_{CD}}{R_{0AB} + R_{CD}} = \frac{E_{AB} - C_e n_{CD}}{R_{0AB} + R_{CD}} = \frac{11 - 10 \cdot 1000}{0,01 + 0,012} = 45,45 \text{ (A)}$$

Так як  $E_{CD} = C_e n_{CD}$ ,

(де  $C_e \frac{B}{o\delta} \frac{1}{x\vartheta}$  - коефіцієнт пропорційності між електрорушійною

силою  $E_{CD}$  і швидкістю обертання якоря  $n_{CD}$ ), то по мірі розгону

СД струм якоря  $I_{CD}$ , рівний струму АБ зменшується.

Напруга електричної мережі автомобіля в момент пуску СД

$n_{CD} = 0$  дорівнює

$$U_{12II} = E_{AB} - R_{OAB} \cdot I_{CD} = 11 - 0,01 \cdot 627,3 = 4,72 \text{ (В)}$$

Після розгону СД напруга мережі залежить від швидкості обертання статерного двигуна ( $n_{cd}$ ) і коефіцієнта  $C_e$  ( $n_{cd}$  і  $C_e$  задані в табл.2).

### Домашнє завдання.

Виконати розрахунки пунктів 1-8 по вихідних даних таблиці 1.1 та таблиці 1.2.



Таблиця 1.1.

Одиниці у шифрі	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$E_G; B$	14	14	13	13	14,2	14,2	14	14	13	13
$R_{OG}; \text{Ом}$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11
$E_{AB}; B$	12,5	12,5	12,5	12,4	12,3	12,2	12	12	11, 5	11, 5
$R_{OAB};$ $\text{Ом}$	0,01	0,01	0,01	0,012	0,012	0,012	0,011	0,011	0,01	0,01
$R_h; \text{Ом}$	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,75	2	1,2	1,2

Таблиця 1.2.

Десятки у шифрі	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$R_{ст.Д}; \text{Ом}$	$12 \cdot 10^3$	$16 \cdot 10^3$	$18 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$11 \cdot 10^3$	$13 \cdot 10^3$	$15 \cdot 10^3$	$14 \cdot 10^3$	$17 \cdot 10^3$	$12 \cdot 10^3$
$n_{ст.Д}; \text{об/хв}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$C_e; \text{В/об/хв}$	$10^{-2}$	$10^{-2}$	$10^{-2}$	$10^{-2}$	$10^{-2}$	$10^{-2}$	$10^{-2}$	$10^{-2}$	$10^{-2}$	$10^{-2}$



## Практичне заняття 2. "Розрахунок кола змінного струму з паралельним з'єднанням віток"

**Завдання.** Для кола з паралельним з'єднанням елементів, яке під'єднане до змінної синусоїдної напруги  $u = U_m \sin \omega t$  з лінійною частотою  $f = 50\text{Гц}$  (рис.1) необхідно:

1. Накреслити розрахункову електричну схему (рис.2.1).
2. Визначити струм джерела живлення і струми в окремих вітках кола.
3. Побудувати векторну діаграму струмів і розкласти вектори струмів на їхні активні і реактивні складові.
4. Визначити активну  $P$ , реактивну  $Q$  і повну потужність кола.
5. Визначити коефіцієнт потужності  $\cos \varphi$  кожної гілки, коефіцієнт потужності джерела енергії і відповідні фазові кути струмів  $\varphi; \varphi_1; \varphi_2$  і  $\varphi_3$ .

Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

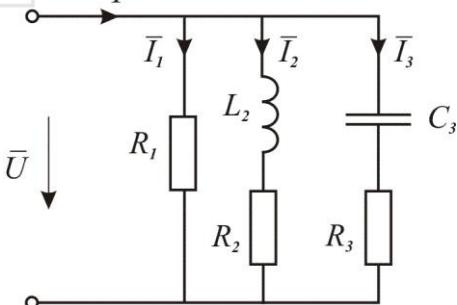


Рис.2.1.

**Вихідні значення:**

$U_o; B$	$R_1, \Omega$	$R_2, \Omega$	$R_3, \Omega$	$L_2, \text{Гн}$	$C_3, \mu\Phi$
110	50	30	25	0,17	220



## Розв'язок.

2. Загальний струм в електричному колі при паралельному з'єднані гілок визначають за формулою

$$I = UY = U \sqrt{\sum g_i^2 + \sum \epsilon_{Li} - \sum \epsilon_{Ci}^2},$$

де  $Y = \frac{1}{Z}$  - загальна повна провідність кола;

$$\sum g_i = g_1 + g_2 + g_3 = \frac{1}{R_1} + \frac{R_2}{R_2^2 + X_{L2}^2} + \frac{R_3}{R_3^2 + X_{C3}^2};$$

Для цього спочатку знайдемо реактивні опори віток:

$$X_{L2} = 2\pi f L_2 = 2\pi \cdot 50 \cdot 0,17 = 53,4 \text{ (Ом);}$$

$$X_{C3} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 220 \cdot 10^{-6}} = 14,47 \text{ (Ом);}$$

Тоді активні провідності віток будуть рівні:

$$g_1 = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ (См);} \quad g_2 = \frac{30}{30^2 + 53,4^2} = 0,008 \text{ (См);}$$

$$g_3 = \frac{25}{25^2 + 14,47^2} = 0,03 \text{ (См);}$$

$$g_{екв} = \sum g = 0,02 + 0,008 + 0,03 = 0,058 \text{ (См).}$$

а реактивні провідності віток будуть рівні:

$$\sum \epsilon_{Ci} = \frac{X_{C2}}{R_3^2 + X_{C3}^2} \quad \sum \epsilon_{Li} = \frac{X_{L2}}{R_2^2 + X_{L2}^2}$$

або:

$$b_{L2} = \frac{53,4}{30^2 + 53,4^2} = 0,0142 \text{ (См);} \quad b_{C3} = \frac{14,47}{25^2 + 14,47^2} = 0,017 \text{ (См);}$$

$$b_{екв} = b_L - b_C = 0,0142 - 0,017 = 0,0031 \text{ (См).}$$

Тоді повна провідність другої вітки буде рівною:

$$Y_2 = \sqrt{g_2^2 + b_{L2}^2} = 0,016 \text{ (См).}$$

А повна провідність третьої вітки:

$$Y_3 = \sqrt{g_3^2 + b_{C3}^2} = 0,035 \text{ (См).}$$

Повна провідність всього кола:



$$Y = \sqrt{g_{екв}^2 + b_{екв}^2}$$

Тоді струми віток будуть визначатися за формулами:

$$I_1 = U \cdot Y_1 = U \cdot g_1 = 2,2 \text{ (A)}; I_2 = U \cdot Y_2 = 1,8 \text{ (A)};$$

$$I_3 = U \cdot Y_3 = 3,8 \text{ (A)}.$$

А струм у нерозгалуженій ділянці кола буде рівний:

$$I = U \cdot Y = 6,38 \text{ (A)}.$$

3. Для побудови векторної діаграми струмів необхідно визначити фазові кути струмів віток за формулами:

$$\cos \varphi_1 = \frac{g_1}{Y_1} = 1 \rightarrow \varphi_1 = 0^\circ;$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{g_2}{Y_2} = 0,49 \rightarrow \varphi_2 = \arccos(0,49) = -60,7^\circ;$$

$$\cos \varphi_3 = \frac{g_3}{Y_3} = 0,86 \rightarrow \varphi_3 = \arccos(0,86) = 30^\circ;$$

$$\cos \varphi = \frac{g_{екв}}{Y} = 0,99 \rightarrow \varphi = \arccos(0,99) = 3^\circ.$$

Побудову можна спростити, якщо струми в вітках розкласти на активну і реактивну складові:

$$I_{1a} = I_1 = 3,8 \text{ (A)};$$

$$I_{2a} = I_2 \cdot \cos \varphi_2 = 0,88 \text{ (A)}; I_{2p} = I_2 \cdot \sin \varphi_2 = -1,57 \text{ (A)}.$$

$$I_{3a} = I_3 \cdot \cos \varphi_3 = 3,3 \text{ (A)}; I_{3p} = I_3 \cdot \sin \varphi_3 = 1,9 \text{ (A)}.$$

$$I_a = I \cdot \cos \varphi = 6,37 \text{ (A)}; I_p = I \cdot \sin \varphi = 0,34 \text{ (A)}.$$

Тоді за виконаними розрахунками побудуємо векторну діаграму струмів:

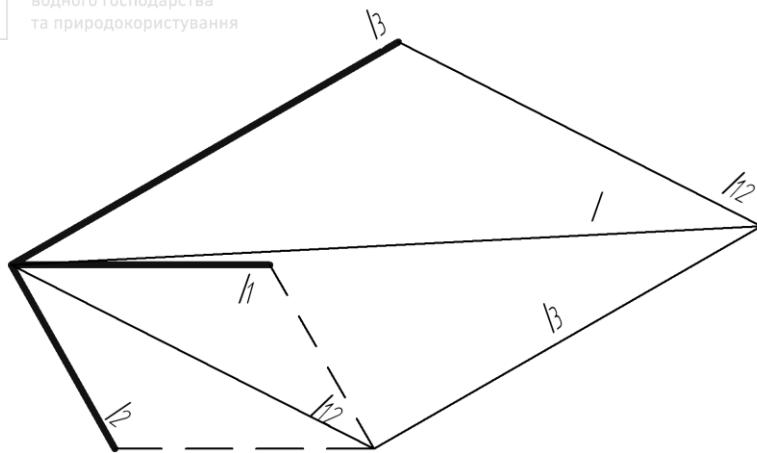


Рис.2.2. Векторна діаграма струмів.

4. Визначасмо потужності кола:

а) Активну:  $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 701,3(Bm)$ ;

б) Реактивну:  $Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = 37,6(BAp)$ ;

в) Повну:  $S = U \cdot I = 702,3(BA)$ .

Для наочності зобразимо трикутник потужностей:



Рис.2.3. Трикутник потужностей

**Домашнє завдання.** Виконати розрахунки пунктів 1-5 по вихідних даних таблиці 2.1. та таблиці 2.2.

Таблиця 2.1.

Одиниці у шифрі	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Діюче значення напруги $U, B$	127	220	380	660	220	380	127	660	220	380



Таблиця 2.2.

Десятк и в шифрі	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$R_1, \text{Om}$	30	2	15	25	35	40	60	55	55	45
$R_2, \text{Om}$	80	70	60	50	40	30	75	65	45	55
$R_3, \text{Om}$	20	40	50	45	65	75	15	25	30	55
$L_2, \text{Гн}$	0,1 5	0,2 5	0,2 5	0,3	0,2	0,2 5	0,3	0,1 5	0,3 5	0,2 5
$C_3, \text{мкФ}$	200	25 0	300	70 0	40	350	45 0	150	100	200



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування



### Практичне заняття 3. "Розрахунок трифазної системи споживачів"

**Завдання.** Для трифазної лінії промислової частоти  $f = 50\text{Гц}$  (рис.3.1.) напругою  $380/220B$  з допомогою вимикачів  $SA1$ ,  $SA2$ ,  $SA3$  під'єднуються споживачі – лампи розжарювання з загальною потужністю кожної з фаз  $P_A$ ,  $P_B$  і  $P_C$  і номінальною напругою  $U_H = 220B$ .

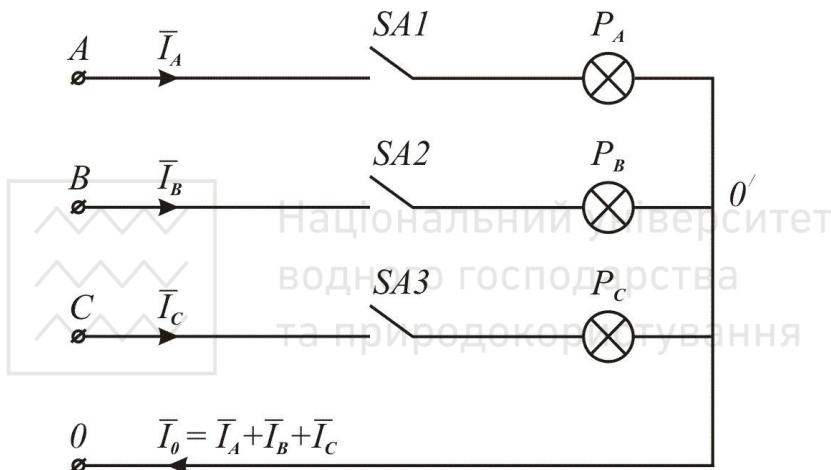


Рис.3.1.

Необхідно:

1. Накреслити електричну схему рис.3.1.
2. Визначити лінійні (фазні) струми споживачів  $P_A$ ,  $P_B$  і  $P_C$
3. Побудувати в масштабі векторну діаграму напруг і струмів фаз і визначити графічно струм  $I_0$  в нейтральному (нульовому) проводі.
4. побудувати векторну діаграму і визначити напругу і струм кожної з фаз при:
  - а) рівномірному навантаженні фаз  $P_A = P_B = P_c = 2200Bm$ ;
  - б) обриві одної із фаз;
  - в) при обриві нульового провідника.



Вихідні значення:

$$P_A = 2300 \text{ (Вт);}$$

$$P_B = 3300 \text{ (Вт);}$$

$$P_C = 4300 \text{ (Вт);}$$

### Розв'язок.

2. Лампочки розжарювання номінальною напругою  $U_h = 220V$  вмикаються в трифазну чотирьохпроводну мережу  $380/220$  на фазну напругу  $U_\phi = 220V$ .

Наявність четвертого (нейтрального) провідника забезпечує симетрію фазних напруг навіть при заданому несиметричному навантаженні окремих фаз і тому струм кожної фази може бути визначений за формулами

$$I_A = \frac{P_A}{U_\phi}; \quad I_B = \frac{P_B}{U_\phi} \text{ і } I_C = \frac{P_C}{U_\phi}.$$
$$I_A = \frac{2300}{220} = 10,45(A); \quad I_B = \frac{3300}{220} = 15(A); \quad I_C = \frac{4300}{220} = 19,55(A).$$

3. Векторна діаграма напруг зображена на рис.2. Де  $U_A = U_B = U_C = U_\phi$  - фазні напруги ( $220 V$ );  $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_\pi$  - лінійні напруги ( $380 V$ ).

Векторна діаграма струмів зображена на рис.3. Де  $I_A, I_B, I_C$  - фазні струми споживачів;

$I_0$  - струм нейтрального провідника. З векторної діаграми визначаємо  $I_0 = 7,88 (A)$ .

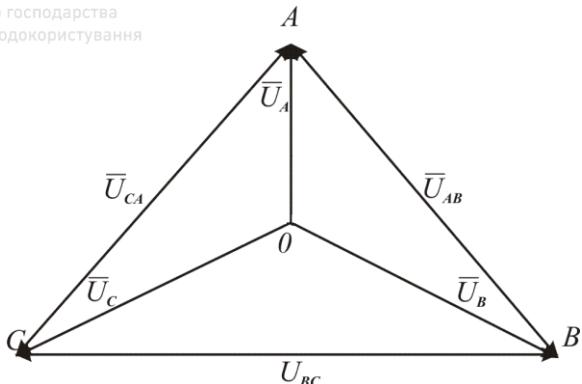


Рис.3.2. Векторна діаграма напруг з нульовим провідником.

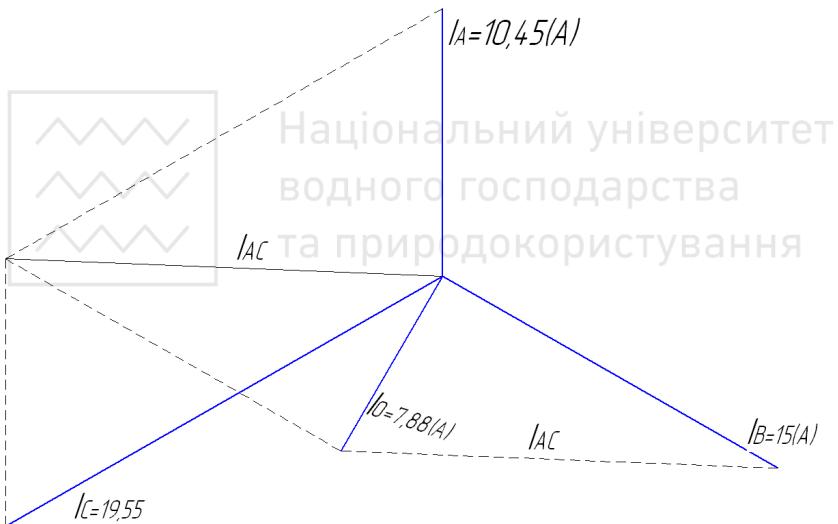


Рис.3.3. Векторна діаграма струмів при нерівномірному навантаженні з нульовим провідником.

4а). У випадку рівномірного навантаження усі фазні струми будуть рівними  $I_A = I_B = I_C = \frac{2200}{220} = 10(A)$ . А їх сума (струм нульового провідника  $I_0$ ) буде рівна нулю (рис.3.4)

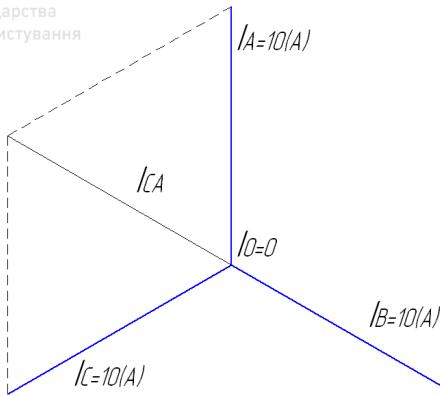


Рис.3.4. Векторна діаграма струмів при симетричному навантаженні.

Тобто при такому навантаженні нульовий провідник не обов'язковий.

4б). У випадку обриву одного з фазних провідників, відповідний фазний струм буде рівний нулю. А струм нульового провідника значно зросте. Зобразимо цей випадок при обриві фази А (рис.3.5).

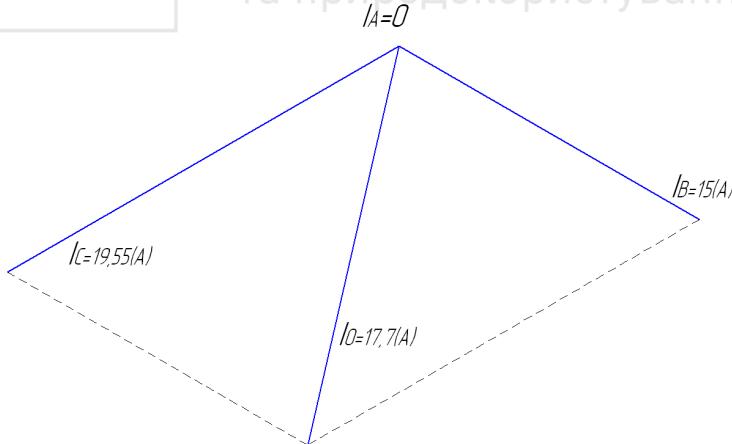


Рис.3.5. Векторна діаграма струмів при обриві фази "А".

З векторної діаграми рис.3.5. знаходимо струм нульового провідника  $I_0=17,74$ .



4.в.) При нерівномірному навантаженні і обриві нульового провідника виникає так зване явище "Перекосу фаз". Для побудови векторної діаграми в такому випадку, спочатку необхідно визначити напругу  $\dot{U}_0$  між нейтральними точками генератора N та споживачів N' за формулою:

$$\dot{U}_0 = \frac{\dot{U}_A Y_A + \dot{U}_B Y_B + \dot{U}_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_0},$$

де  $Y_A, Y_B, Y_C$  – повні провідності споживачів;  $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$  - фазні напруги генератора.

$$Y_A = \frac{1}{R_A} = \frac{P}{U^2} = \frac{2300}{220^2} = 0,0475 \text{ (Сім);}$$

$$Y_B = \frac{3300}{220^2} = 0,0682 \text{ (Сім);}$$

$$Y_C = \frac{4300}{220^2} = 0,0888 \text{ (Сім).}$$

Тоді  $\dot{U}_0 = \frac{220 \cdot 0,0475 + 220 \cdot 0,0682 + 220 \cdot 0,0888}{0,0475 + 0,0682 + 0,0888 + 1} = 38,45 \text{ (В).}$

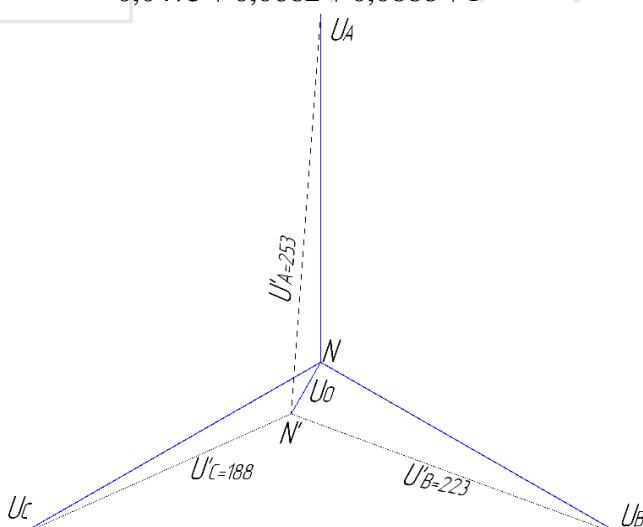


Рис.3.6. Векторна діаграма напруг при нерівномірному навантаженні без нульового провідника.



З векторної діаграми рис.6. знаходимо напруги на споживачах:  
 $U'_A = 253(B); U'_B = 223(B); U'_C = 188(B)$ .

Та струми:  $I_A = U'_A \cdot Y_A = 12(A); I_B = 15,2(A); I_C = 16,7(A)$ .

### Домашнє завдання.

Виконати розрахунки пунктів 1-4 та побудувати векторні діаграми по вихідних даних таблиці 3.1. Числові значення  $P_A, P_B, P_C$  визначають, як середнє значення, що відповідають десяткам і одиницям шифру.

Наприклад, для шифру 13

$$P_A = \frac{3100 + 3300}{2} = 3200; P_B = \frac{1100 + 1300}{2} = 1200;$$

$$P_C = \frac{2100 + 2300}{2} = 2200.$$

Таблиця 3.1.

Варіант	$P_A$	$P_B$	$P_C$
0	3000	1000	2000
1	3100	1100	2100
2	3200	1200	2200
3	3300	1300	2300
4	3400	1400	2400
5	3500	1500	2500
6	3600	1600	2600
7	3700	1700	2700
8	3800	1800	2800
9	3900	1900	2900



## Практичне заняття 4. "Розрахунок реле"

**Завдання.** Магнітне коло тягового електромагніта зображене на рис.4.1 і рис.4.2. Магнітопровід електромагніта, виконаний з електротехнічної сталі, крива намагнічування якої  $B = f(H)$  задана графічно (додаток 4.1.). На рис.4.1. через  $B_0$  позначена магнітна індукція в повітряному проміжку між ярмом і якорем. Розміри магнітопроводу задані через розмір „ $\alpha$ ”, а повітряний проміжок між ярмом і якорем магнітопроводу позначений буквою „ $\delta$ ”. Кількість витків катушки електромагніта дорівнює  $W_k = 1000$ . Для спрощення розрахунку магнітного потоку кола  $\Phi$  магнітне коло зображене його схемою заміщення рис.4.2.

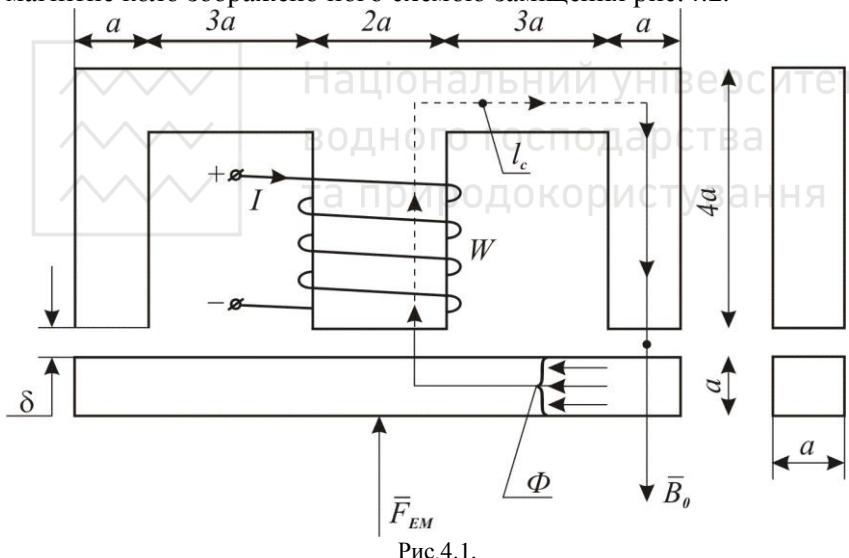


Рис.4.1.

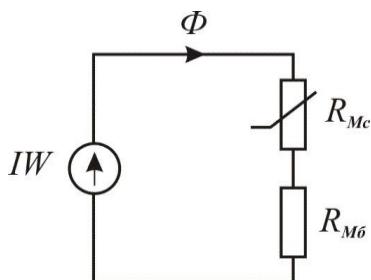


Рис.4.2.

$$L=a+3a+0,5a+3,5a=8a$$

Необхідно:

1. Визначити вихідні дані для свого варіанту (числові значення  $B_0$  і „ $\alpha$ ” взяти з таблиці 4.1):

Таблиця 4.1.

Варіант	$B_0$ , Гс	$\alpha$ , мм
0	5000	20
1	6000	30
2	7000	40
3	8000	50
4	9000	60
5	10000	70
6	11000	80
7	12000	90
8	13000	100
9	14000	110

Числові значення  $B_0$  і „ $\alpha$ ” визначають, як середнє значення, що відповідають десяткам і одиницям шифру.

Наприклад, для шифру 04.

$$B_0 = \frac{5000 + 9000}{2} = 7000 \text{ Гс}$$

$$d = \frac{20 + 60}{2} = 40 \text{ мм}$$

2. Визначити магніторушійну силу катушки  $I_1 W$  і струм  $I_1$  в катушці, при якому магнітна індукція в повітряних проміжках дорівнює  $B_0$  при  $\delta = 1 \text{ мм}$ .
3. Визначити струм  $I_2$  в катушці при  $\delta = 0$  і  $B = B_0$ .
4. Визначити магнітні опори ділянок магнітного кола в сталі  $R_{Mc}$  і в повітрі  $R_{M\delta}$  при  $\delta = 1 \text{ мм}$  і  $B = B_0$ .



5. Нехтуючи магнітним опором сталі визначити магнітну індукцію в повітряних проміжках при зазорах  $\delta = 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4 \text{ i } 5 \text{ mm}$  і магніторушійній силі катушки  $I_1 W$ . Дані розрахунку внести в таблицю  $B_\delta = f(\delta)$ .
6. Розрахувати електромагнітну силу  $F_{EM}$  протягування якоря до ярма магнітопроводу в залежності від повітряного проміжку  $\delta$  використавши залежність  $B_\delta = f(\delta)$  П.5. Розрахункові дані звести в таблицю по П.5.
7. Побудувати тягову характеристику електромагніта по рис.1  $F_{EM} = f(\delta)$  використовуючи розрахункові дані таблиці по П.5 і П.6.

### Вихідні значення:

$$B_0=8000(\text{Гс})=0,8(\text{Тл});$$

$$d=50(\text{мм})=0,05(\text{м});$$

$$W=1000 \text{ витків};$$

$$\delta=1(\text{мм})=0,001(\text{м});$$

$$\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}(\text{Н}\cdot\text{А}^{-2})=1,25664 \cdot 10^{-6}(\text{Н}\cdot\text{А}^{-2})$$

$$a=10(\text{мм})=0,01\text{м}$$

### Розв'язок.

2. Знайдемо напруженість магнітного поля в зазорі

$$H_\delta = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{B_0}{4\pi \cdot 10^{-7}} A/M = 636619,7724 \text{ (A/m)}$$

З кривої намагнічення сталі (додаток 1) знаходимо напруженість магнітного поля в сталі:

$$H_c=160(\text{A/m});$$

Магніторушійна сила  $I_1 W$  буде визначатися за формулою:

$$I_1 W = 2 \cdot \delta H_\delta + l_c H_c = 1,401239545 \text{ (A)} - \text{з повітряним проміжком};$$

3. Знайдемо довжину сталі:  $L=800(\text{мм})=0,8(\text{м})$ . Тоді



$$I_2 = \frac{H_c \cdot l_c}{W} = 0,128(A).$$

4. Для визначення магнітного опору повітряного проміжку, знайдемо поперечний переріз ярма:

$$Sc = S_\delta = (\pi d^2)/4 = 0,001963495(m^2).$$

Тоді магнітний опір повітряного проміжку буде рівний:

$$R_{\mu\delta} = \frac{2 \cdot \delta}{\mu_0 \cdot S_\delta} = 810569,5(\Gamma \text{H}^{-1})$$

Для знаходження магнітоопору сталі знайдемо її магнітну проникність при

$$\mu_c = B_0/H_c = 0,005$$

$$\text{Тоді } R_{\mu c} = L/\mu_c \quad S_c = 81487,33086 (\Gamma \text{H}^{-1})$$

5. Магнітна індукція в повітряному проміжку:

$$B_\delta = \mu_0 H_\delta = \mu_0 \frac{I_1 W}{2 \cdot \delta} = 0,88 (\text{Tл}) - \text{для проміжку 1 мм.}$$

Аналогічно знайдемо магнітну індукцію для проміжків 1,5 2 2,5 3 4 і 5 мм. Дані розрахунків занесемо в таблицю:

$\delta, \text{мм}$	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
$B, \text{Tл}$	0,880	0,587	0,440	0,352	0,293	0,252	0,220	0,196	0,176

За розрахунковими даними побудуємо залежність  $B_\delta = f(\delta)$  :

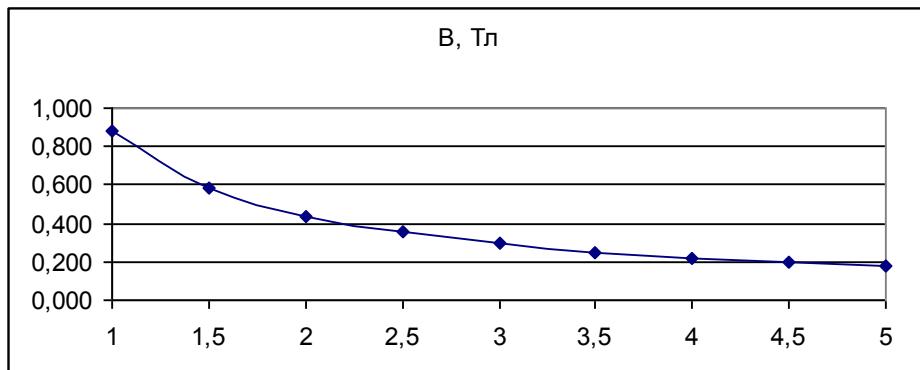


Рис.4.3. Графік залежності  $B_\delta = f(\delta)$



6. Електромагнітна сила буде визначатися за формулою:

$$F_{EM} = \frac{B_\delta^2}{2\mu_0} \cdot 4S_\delta = 2422(H) \text{ - для проміжку 1 мм.}$$

Аналогічно знайдемо електромагнітну силу для проміжків 1,5 2 2,5 3 4 і 5 мм. Дані розрахунків занесемо в таблицю:

$\delta$ , мм	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
B, Тл	0,880	0,587	0,440	0,352	0,293	0,252	0,220	0,196	0,176
$F_{EM}$ , Н	2422	1077	606	388	269	198	151	120	97

За розрахунковими даними побудуємо залежність  $F_{EM} = f(\delta)$ :

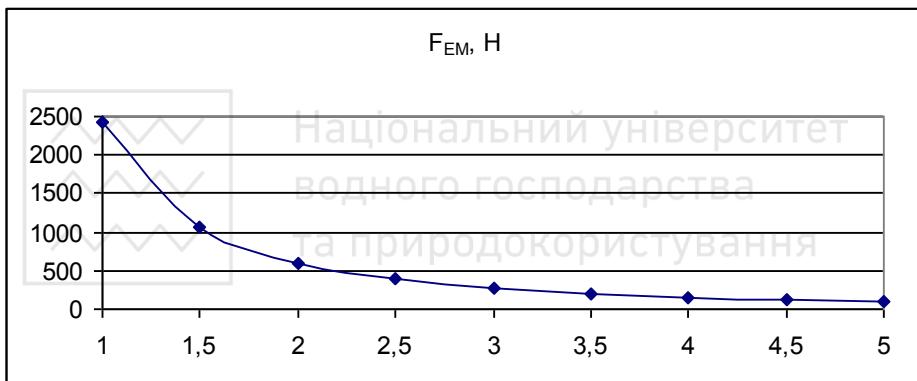
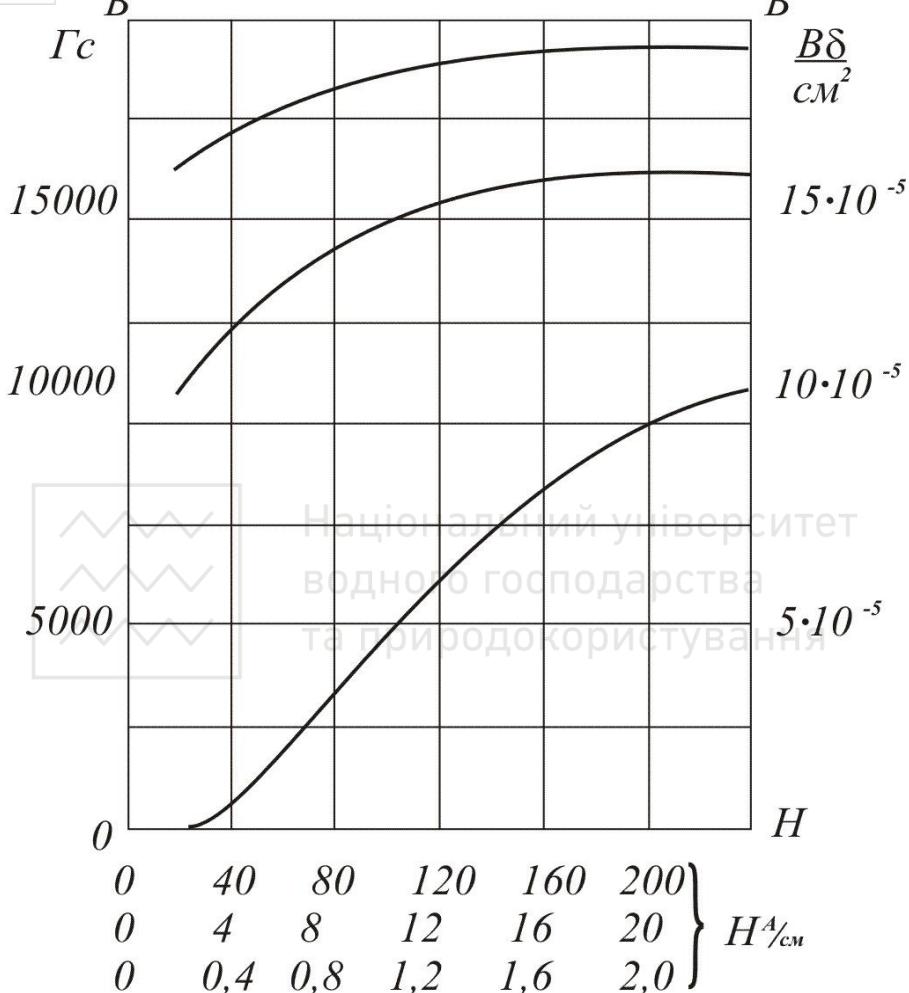


Рис.4.5. Тягова характеристика електромагніту  $F_{EM} = f(\delta)$

### Домашнє завдання.

Виконати розрахунки і побудови пунктів 1-7 по вихідних даних таблиці 4.1.





## Практичне заняття 5. "Розрахунок трифазного трансформатора"

**Завдання.** Трифазний трансформатор має номінальну потужність  $S_n \text{ кВА}$ ; номінальні лінійні напруги: вища  $U_1$ , нижча  $U_2$ ,  $B$ , потужності втрат: холостого ходу  $p_0$ , короткого замикання  $p_k$ ; напругу короткого замикання  $U_k$ .

Необхідно визначити:

1. Номінальні струми у первинній і вторинній обмотках.
2. К.К.Д трансформатора при  $\cos\varphi_2 = 0,8$  і коефіцієнтах навантаження  $\beta = 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25$ . при номінальній потужності  $S_n$  і  $\cos\varphi_2 = 0,8$ . З'єднання обмоток трансформатора «зірка – зірка».
3. Відносні втрати напруги при коефіцієнтах навантаження  $\beta = 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25$ . при номінальній потужності  $S_n$  і  $\cos\varphi_2 = 0,8$ .
4. Побудувати залежності  $U_2 = f(\beta)$  і  $\eta = f(\beta)$ .

### Вихідні дані:

Вища напруга, кВ:	6;
Нижча напруга, В:	220 В;
Номінальна потужність $S_n$ , кВА:	9;
Напруга к.з. $U_k$ , % :	4,5;
Потужність $p_0$ , Вт :	100;
Потужність $p_k$ , Вт :	290;
Струм х. ходу $I_0$ , % :	4.

### Розв'язок.

Номінальні струми первинної і вторинної обмотки трансформатора визначають за формулами:

$$I_{1n} = \frac{S_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{1n}} = 0,87 \text{ (A)};$$



$$I_{2n} = \frac{S_n \cdot 10^3}{\sqrt{3}U_{2n}} = 23,6 \text{ (A)}$$

2. Коефіцієнт корисної дії трансформатора розраховують за формулокою:

$$\eta = \frac{\beta P_n \cdot 10^3}{\beta p_n \cdot 10^3 + p_0 + \beta^2 p_k} \cdot 100 \%,$$

де  $\beta$  - відношення фактичного навантаження до номінального (коефіцієнт навантаження);  $P_n = S_n \cdot \cos \varphi_2$  - номінальна активна потужність трансформатора.

$$P_n = S_n \cdot \cos \varphi_2 = 9000 \cdot 0,8 = 7,2 \text{ kWm};$$

Для  $\beta=0,25$ :

$$\eta = \frac{\beta P_n \cdot 10^3}{\beta p_n \cdot 10^3 + p_0 + \beta^2 p_k} \cdot 100 = \frac{0,25 \cdot 7200}{0,25 \cdot 7200 + 100 + 0,25^2 \cdot 290} \cdot 100\% = 93,8\%;$$

Для  $\beta=0,5$ :

$$\eta = \frac{\beta P_n \cdot 10^3}{\beta p_n \cdot 10^3 + p_0 + \beta^2 p_k} \cdot 100 = \frac{0,5 \cdot 7200}{0,5 \cdot 7200 + 100 + 0,5^2 \cdot 290} \cdot 100\% = 95,4\%;$$

Для  $\beta=0,75$ :

$$\eta = \frac{\beta P_n \cdot 10^3}{\beta p_n \cdot 10^3 + p_0 + \beta^2 p_k} \cdot 100 = \frac{0,75 \cdot 7200}{0,75 \cdot 7200 + 100 + 0,75^2 \cdot 290} \cdot 100\% = 95,3\%;$$

Для  $\beta=1$ :



$$\eta = \frac{\beta P_h \cdot 10^3}{\beta p_h \cdot 10^3 + p_0 + \beta^2 p_k} \cdot 100 = \frac{1 \cdot 7200}{1 \cdot 7200 + 100 + 1^2 \cdot 290} \cdot 100\% = 94,9\% ;$$

Для  $\beta=1,25$ :

$$\eta = \frac{\beta P_h \cdot 10^3}{\beta p_h \cdot 10^3 + p_0 + \beta^2 p_k} \cdot 100 = \frac{1,25 \cdot 7200}{1,25 \cdot 7200 + 100 + 1,25^2 \cdot 290} \cdot 100\% = 94,2\% .$$

Результати обчислень запишемо в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1.

$\beta$	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25
$\eta, \%$	0	93,8	95,4	95,3	94,9	94,2

3. Відносний (%) спад напруги в обмотці трансформатора обчислюють за формулою:

$$\Delta U, \% = \beta \Delta U_a \cos \varphi_2 + \Delta U_p \sin \varphi_2 , \%$$

де  $\Delta U_{a\%} = \frac{p_k}{S_h \cdot 10^3} \cdot 100\%$  - активна складова напруги короткого замикання;

$\Delta U_p = \sqrt{U_k^2 - \Delta U_a^2}$  - реактивна складова напруги короткого замикання.

$$\Delta U_{a\%} = \frac{p_k}{S_h \cdot 10^3} \cdot 100\% = \frac{290}{9000} \cdot 100\% = 3,22\% .$$

$$\Delta U_p = \sqrt{U_k^2 - \Delta U_a^2} = \sqrt{4,5^2 - 3,22^2} = 5,53\% .$$

Для  $\beta=0,25$ :



$$\Delta U, \% = \beta \Delta U_a \cos \varphi_2 + \Delta U_p \sin \varphi_2 = \\ 0,25(3,22 \cdot 0,8 + 5,53 \cdot 0,6) = 1,47\%.$$

Для  $\beta=0,5$ :

$$\Delta U, \% = \beta \Delta U_a \cos \varphi_2 + \Delta U_p \sin \varphi_2 = \\ 0,5(3,22 \cdot 0,8 + 5,53 \cdot 0,6) = 2,95\%.$$

Для  $\beta=0,75$ :

$$\Delta U, \% = \beta \Delta U_a \cos \varphi_2 + \Delta U_p \sin \varphi_2 = \\ 0,75(3,22 \cdot 0,8 + 5,53 \cdot 0,6) = 4,42\%.$$

Для  $\beta=1$ :

$$\Delta U, \% = \beta \Delta U_a \cos \varphi_2 + \Delta U_p \sin \varphi_2 = \\ 1(3,22 \cdot 0,8 + 5,53 \cdot 0,6) = 5,9\%.$$

Для  $\beta=1,25$ :

$$\Delta U, \% = \beta \Delta U_a \cos \varphi_2 + \Delta U_p \sin \varphi_2 = \\ 1,25(3,22 \cdot 0,8 + 5,53 \cdot 0,6) = 7,37\%.$$

Результати обчислень запишемо в таблицю 5.2.



$\beta$	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25
$\Delta U, \%$	0	1,47	2,95	4,42	5,9	7,37

4. За даними таблиць 1 та 2 побудуємо відповідні графіки:

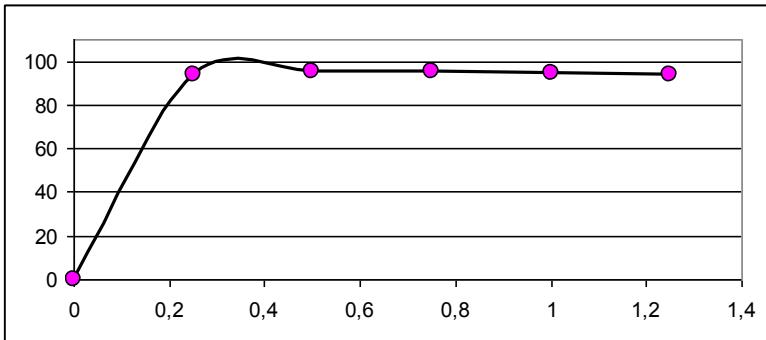


Рис.5.1. Графік залежності  $\eta=f(\beta)$

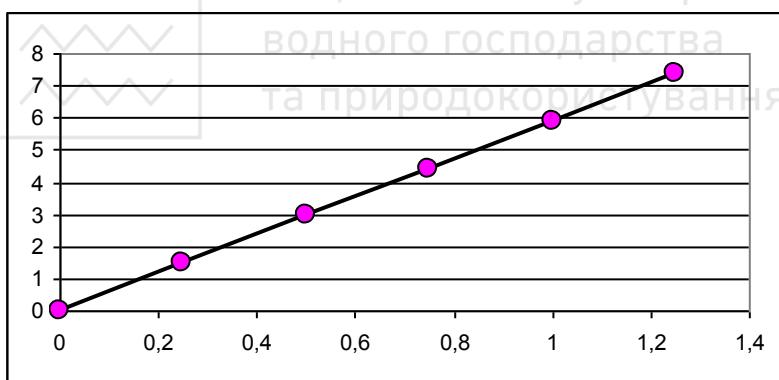


Рис.5.2. Графік залежності  $\Delta U=f(\beta)$

**Домашнє завдання.** Виконати розрахунки пунктів 1-4 та побудувати графіки залежностей по вихідних даних таблиць 5.3 та 5.4.



Таблиця 5.3.

Одиниці у шифру	Напруга	
	Вища кВ	Нижча В
1	6,3	230
2	6,3	400
3	6,3	525
4	10	230
5	10	525
6	10	10500
7	35	6300
8	35	525
9	20	400
0	20	230

Таблиця 5.4.

Десятки у шифрі	Номінальна потужність $S_n, kVA$	Напруга к.з. $U_k, \%$	Потужність $p_0, Bm$	Потужність $p_k, Bm$	Струм х. ходу $I_0, \%$
1	10	4,5	105	335	4,0
2	16	4,5	125	500	3,4
1	2	3	4	5	6
3	25	4,5	135	690	3,2
4	40	4,7	175	1880	3,0
5	63	4,5	240	1280	2,8
6	100	4,5	330	1970	2,6
7	160	4,5	510	2650	2,4
8	250	4,7	740	370	2,3
9	400	4,5	950	5500	2,1
0	630	5,5	1310	7600	2



## Практичне заняття 6. "Розрахунок системи запалювання"

**Завдання.** На рис.6.1. зображена схема заміщення батарейної системи запалювання бензинових двигунів. Первинна обмотка котушки запалення (КЗ) під'єднана до акумуляторної батареї  $G$  через переривач  $SA$ , який шунтований конденсатором  $C_1$ . Активний опір первинної обмотки  $R_1$ , її індуктивність  $L_1$ , число витків обмотки  $W_1$ .

K.3.

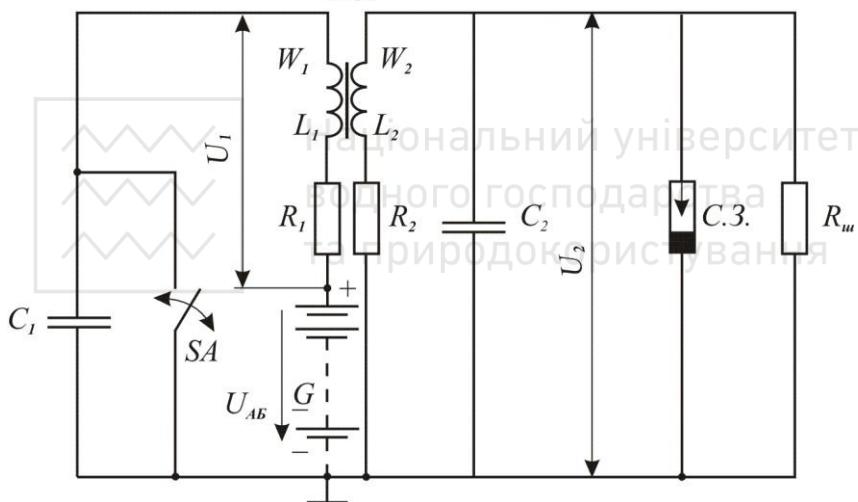


Рис.6.1

Вторинна обмотка котушки запалення з числовим витків  $W_2$ , активним опором  $R_2$  і індуктивністю  $L_2$ , зашунтована ємністю  $C_2$ , створює на свічках запалення (С3) напругу  $U_2$ .  $R_{us}$  - активний опір, обумовлений нагаром на поверхні свічки запалення, який шунтує іскровий проміжок свічок запалення. Котушка запалювання К.З являє собою своєрідний трансформатор, який підвищує напругу  $U_1$



первинної обмотки до напруги вторинної обмотки  $U_2$ .

В завданні необхідно:

1. Розрахувати перехідний струм первинної обмотки котушки запалення  $i_1(t)$  при вмиканні цієї обмотки на затискачі акумуляторної батареї (або автомобільного генератора)  $G$ . Розрахунок виконати відповідно до схеми заміщення системи запалення рис.6.2.

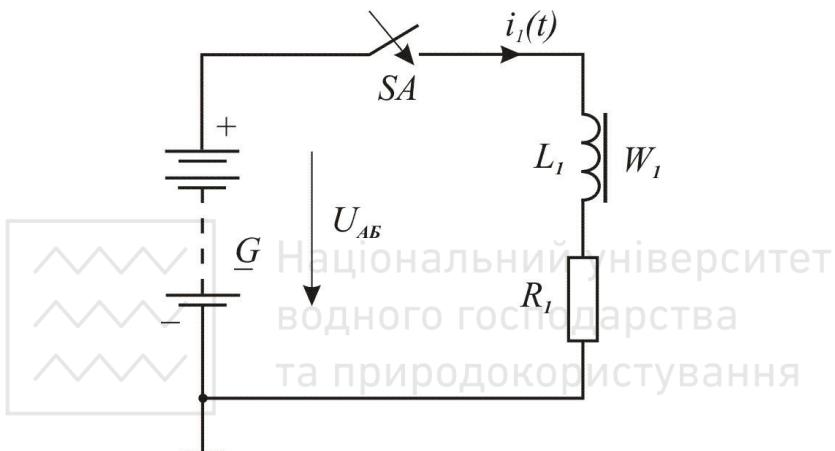


Рис.6.2

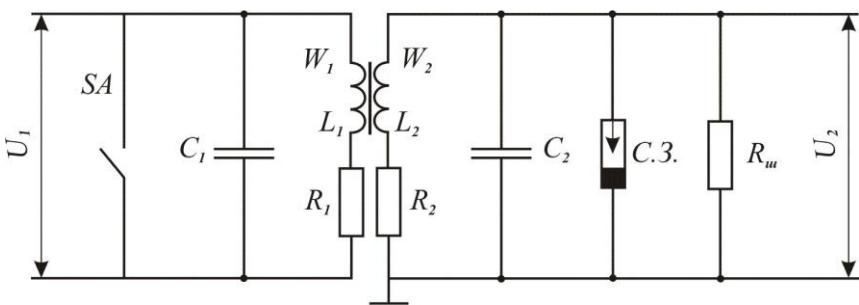


Рис.6.3

2. Розрахувати енергію магнітного поля  $W_{L1}(t)$ , створеного струмом  $i_1(t)$ .



3. Побудувати графіки залежностей  $i_l \ t$  і  $W_{L1} \ t$ .

4. Визначити період часу  $T$ , що відповідає частоті спрацювання циліндрів двигуна (оберти колінчастого валу  $n$  і кількість циліндрів  $Z$  задані в табл.6.2).

5. Визначити час замкнутого стану контактів переривача SA при заданій швидкості обертання  $n$

6. Визначити величину струму в первинній обмотці  $i_p$  і енергію магнітного поля  $W_{L1} \ t$  в момент розриву контакту SA (див. рис.6.2).

7. Розрахувати сумарну енергію електричного поля ємнісних елементів  $C_1$  і  $C_2$  і вторинну напругу  $U_2$  котушки запалювання в момент розриву контактів переривача SA (див. рис. 6.3.).

8. Пояснити, чому напруга  $U_2 = 15 \div 30 \cdot 10^3 B$ , яка виникає на вторинній обмотці котушки запалення і на свічках запалення не являється небезпечною для людини, тоді як в електричних силових мережах небезпечною вважається напруга  $U_m \geq 42B$ .

### Вихідні дані.

E.P.C.; В	13,5
R <sub>1</sub> ; Ом	2,1
L <sub>1</sub> ; мГн	10,0
W <sub>1</sub>	330
R <sub>2</sub> ; кОм	8,0
L <sub>2</sub> ; мГн	46
W <sub>2</sub>	23000
C <sub>1</sub> ; мкФ	0,3
C <sub>2</sub> ; пФ	40
Число циліндрів, Z	4
Частота обертання колінвала, об/хв	1000

### Розв'язок.

1. Перехідний струм первинної обмотки котушки запалювання розраховується за формулою:



$$i_1(t) = \frac{U_{AB}}{R_1} \left( 1 - e^{-\frac{R_1}{L_1}t} \right) = 6,43(1 - e^{-210t}), \text{ (A)}$$

2. Енергія магнітного поля  $W_{L1}(t)$ , створеного струмом  $i_1(t)$  буде визначатися за формулою:

$$W_{L1} = L_1 \frac{i_1(t)^2}{2} \quad (6.1.)$$

Максимального значення енергія магнітного поля буде досягти після завершення перехідного процесу (при  $\left[ e^{-\frac{R_1}{L_1}t} \right] = 1$ ) і чисельно

буде рівною:

$$W_{L1\max} = \frac{L \left( \frac{U_{AB}}{R_1} \right)^2}{2} = 0,2066(\text{Дж})$$

3. Графіки  $i_1(t)$  і  $W_{L1}(t)$  будуємо для значень часу  $t$  в межах від  $t = 0$  до  $t = 5 \cdot \frac{L_1}{R_1}$ , оскільки протягом даного часу триває

перехідний процес перетворення електричного струму в енергію магнітного поля котушки запалювання. Тоді час перехідного процесу буде рівний:

$$t = 5L_1/R_1 = 0,0238\text{ с.}$$

Підставляючи в формулу (6.1) значення часу від 0 до 0,0238 с, будуємо графіки  $i_1(t)$  і  $W_{L1}(t)$  (рис.6.1., рис.6.2.)

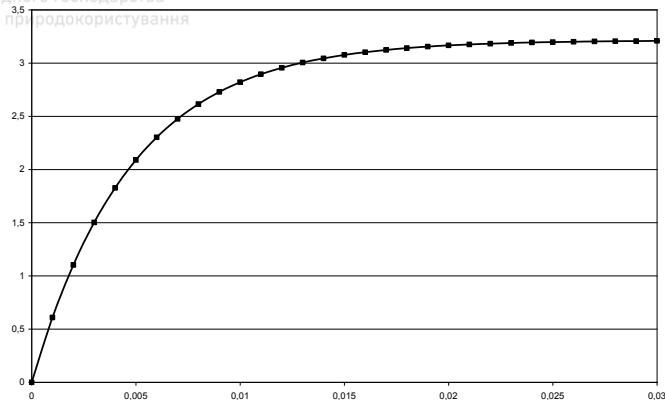


Рис.6.1. Графік перехідного процесу нарощання струму в котушці запалювання  $i_1$   $t$ .

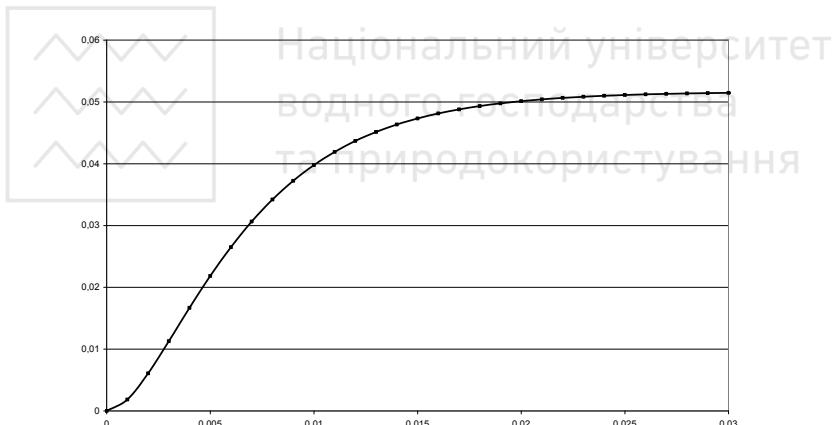


Рис.6.1. Графік перехідного процесу нарощання енергії магнітного поля в котушці запалювання  $W_{L1}$   $t$ .

4. Тривалість періоду  $T$ , що відповідає частоті спрацювання циліндрів можна визначити за формулою:

$$T = \frac{120}{nZ} = 0,03, \text{ с}$$



або  $f = \frac{Z \cdot n}{2 \cdot 60} = 33,3$ , ( $\text{Гц}$ ).

$$f = \frac{1}{T}$$

де  $n \text{ об} / \text{хв}$  - частота обертання колінчастого вала двигуна;

$Z$  - число циліндрів двигуна;

$f$  - частота замикань контактів переривача  $SA$ .

5. Час замкнутого стану контактів переривача  $t_3$  приймаємо рівним:

$$t_3 = 0,6 \div 0,65 \cdot T = 0,0188, (\text{s}).$$

6. Величина струму  $i_p$  первинної обмотки КЗ в момент розмикання контактів  $SA$  визначаємо за формулою:

$$i_p = \frac{U_{AB}}{R_1} \left( 1 - e^{-\frac{R_1}{L_1} t_3} \right) = 6,3 (\text{A}).$$

7. Сумарну енергію електричного поля ємнісних елементів  $C_1$  і  $C_2$  і вторинну напругу  $U_2$  котушки запалювання в момент розриву контактів переривача  $SA$  розраховуємо за формулами:

$$W_{C1} + W_{C2} = W_{L1P}$$

$$C_1 \frac{U_1^2}{2} + C_2 \frac{U_2^3}{2} = L_1 \frac{i_{1p}^2}{2} \text{ де } U_1 = \frac{W_1}{W_2} U_2;$$

$$U_{2p} = i_{1p} \cdot \sqrt{\frac{L_1}{C_1 \left( \frac{W_1}{W_2} \right)^2 + C_2}} \cdot \eta, \text{ де } i_{1p} - \text{струм первинної обмотки}$$

котушки запалення в момент її розмикання.



$\frac{W_1}{W_2} = K_T$  - коефіцієнт трансформації котушки запалення,

$\eta = 0,75 - 0,85$  - коефіцієнт, який враховує зменшення вторинної напруги  $U_2$ , яка прикладена до свічки запалення, внаслідок теплових втрат в котушці запалення.

$$U_{2p} = 6,3 \sqrt{\frac{10 \cdot 10^{-3}}{0,3 \cdot 10^{-6} (330/23000)^2 + 40 \cdot 10^{-9}}} \cdot 0,8 = 50000(B);$$

Сумарна енергія електричного поля ємнісних елементів:

$$W_{C1} + W_{C2} = \frac{10 \cdot 10^{-3} \cdot 6,3^2}{2} = 0,2(\text{Дж}).$$

### Домашнє завдання.

Виконати розрахунки пунктів 1-7 по вихідних даних таблиць 6.1. та 6.2.

Таблиця 6.1.

Одиниці в шифрі	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Е.Р.С акумуляторної батареї або генератора	12,5	12,5	14	24	13,8	24	24	24	14	14
$R_1$ ; Ом	1,9	3,2	1,55	0,8	0,5	0,72	0,4	0,72	0,45	0,45
$L_1$ ; мГн	9,5	10,5	7,5	5,5	4,3	5,7	3,1	5,7	5,8	3,75
$W_1$	330	302	268	260	225	260	180	260	115	198
$R_2$ ; кОм	8,6	7,7	6,5	15,6	11	15,7	22	15,7	6,35	4,5
$L_2$ ; мГн	47	45	34	87	28	84	180	84	29	23,5
$W_2$	22500	23600	20800	38600	20250	30000	41000	30000	3000	16300
$C_1$ ; мкФ	0,3	0,2	0,25	0,35	0,17	0,2	0,35	0,4	0,3	0,2
$C_2$ ; пФ	40	45	50	56	37,3	56	34	56	24,4	31,3

Таблиця 6.2.

Десятки в шифрі	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Число циліндрів $Z$	4	4	4	4	6	6	6	6	8	8
Частота обертання колінвалу, об/хв	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	2000



## Література

1. Дмитрів В.Т., Шиманський В.М. Електроніка та мікросхемотехніка. Львів, 2007.
2. Коруд В. І., Гамола О. Є., Малинівський С. М. Електротехніка : підручник / За заг. ред. В. І. Коруда. 3-те вид., переробл. і доп. Львів : "Магнолія плюс"; видавець СПД ФО В. М. Піча, 2005. 447 с.
3. Малинівський С. М. Загальна електротехніка. Львів : Бескид Біт, 2003р. 640 с.
4. Паначевний Б. І., Свергун Ю.Ф. Загальна електротехніка Підручник. К.: Каравела, 2018. 296 с. 2006.
5. Стаків П. Г., Коруд В. І., Гомола О. Е. Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування. Львів, 2004.



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування