Практична робота №2.
"Розрахунок бортової електричної мережі автомобіля"

Завдання. Розрахувати бортову електричну мережу автомобіля, схема заміщення якої зображена на рис.2.1 (в робочому режимі) і на рис.2.2 (в режимі стартерного пуску).

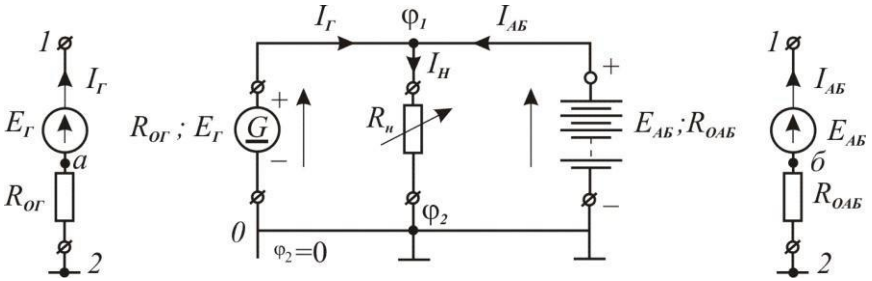


Рис.2.1.

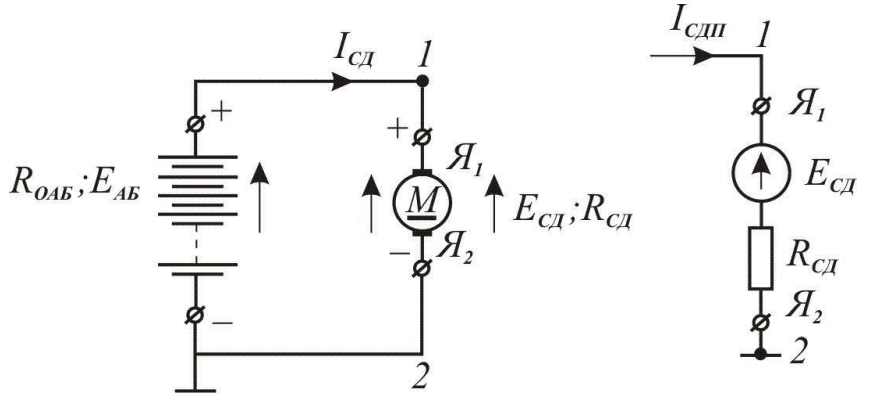


Рис.2.2.

На схемах заміщення позначено:

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

$E_Г$ - електрорушійна сила генератора;

$R_{ОГ}$ - внутрішній опір генератора;

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

електричної енергії постійного струму;

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

$R_{Н}$ - споживачі електричної енергії автомобіля;

M - стартерний електродвигун автомобіля;

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

$E_{СД}$ - електрорушійна сила стартерного двигуна (проти – Е.Р.С.), яка залежить від швидкості обертання його якоря n .

Вихідні значення:

$E_Г$; $В$	$R_{ОГ}$; $Ом$	$E_{АБ}$; $В$	$R_{ОАБ}$; $Ом$	$R_н$; $Ом$	$R_{ст.д}$; Ом	$n_{ст.д}$; об/хв	$C_е$; В/об/хв
13,8	0,11	11	0,01	1	12 10^{-3}	1000	10^{-2}

Необхідно виконати наступні розрахунки:

1. Скласти рівняння за законами Кірхгофа для визначення струмів у колі рис.1.
2. Розрахувати струми гілок кола: $I_Г$; $I_{АБ}$; $I_Н$.
3. Розрахувати напругу бортової мережі U_{12} методом двох вузлів.
4. Визначити в якому режимі працює акумуляторна батарея: в режимі заряджання чи в режимі розряджання.
5. Скласти баланс потужності в електричному колі рис.1.
6. Розрахувати коефіцієнт корисної дії генератора (механічними втратами генератора знехтувати).
7. Визначити струм якоря стартерного електродвигуна в двох режимах:

   а) в момент пуску $n_{n_Д} = 0$;

   б) при його обертанні з заданою швидкістю $n\, об/хв$.

8. Визначити напругу бортової мережі автомобіля при стартерному пуску в режимах „а” і „б”.

Розв'язок.

1. Рівняння за законом Кірхгофа складають відносно невідомих струмів: $I_Г$; I_H і $I_{АБ}$, тобто треба скласти три рівняння. Одне рівняння складається за першим законом Кірхгофа, а два інших за другим законом. Для цього схему, зображену на рис.2.1. перерисуємо у наступному вигляді:

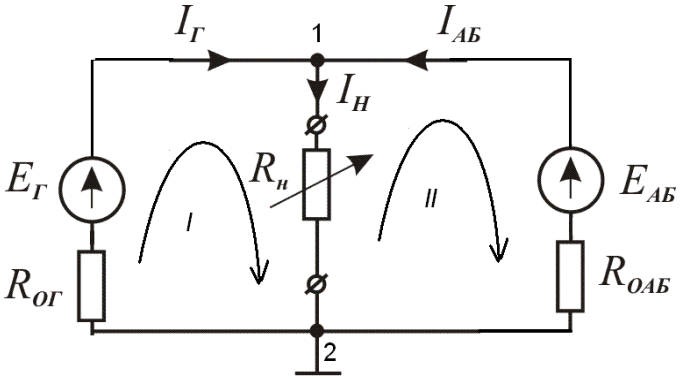


Рис.2.3.

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:

$I_Г + I_{АБ} - I_н = 0$;

для I-го контуру:

$I_Г \mathrm{R}_{\mathrm{ОГ}} + I_H \mathrm{R}_{\mathrm{Н}} = E_Г$;

для II-го контуру:

$-I_{АБ} \mathrm{R}_{\mathrm{0АА}} - I_H \mathrm{R}_{\mathrm{Н}} = -E_{АБ}$.

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

$$I_{\text{г}} + I_{АБ} - I_{Н} = 0$$

$$0{,}11Ir + 0 + 1 \cdot I_{Н} = 13{,}8$$

$$0 - 0{,}01I_{0АБ} - 1 \cdot I_{Н} = -11$$

або в матричному вигляді :

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

Розв'язавши рівняння (1), отримаємо: *Ir=26,9 (А); $I_{АБ}$=-16 (А); $I_{Н}$=10,8 (А).*

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 $E_1 = Er$; $E_2 = E_{АБ}$; $g_1 = \frac{1}{R_{0\text{г}}}$; $g_2 = \frac{1}{R_{0АБ}}$; $g_3 = \frac{1}{R_{Н}}$.

Таким чином $U_{12} = \dfrac{13{,}8 \cdot \frac{1}{0{,}11} + 11 \cdot \frac{1}{0{,}01}}{1/0{,}11 + 1/0{,}01 + 1} = 11{,}1\,(\text{В})$.

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

$$I_{Г} = \frac{E_{Г} - U_{12}}{R_{0Г}} ; \; I_{Н} = \frac{U_{12}}{R_{Н}} ; \; I_{АБ} = \frac{E_{АБ} - U_{12}}{R_{0АБ}} .$$

4. Знак "-" у значенні $I_{АБ}$ 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 $P=\sum EI$ 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

$$E_г \cdot I_г + E_{АБ} I_{АБ} = R_{0г} I_г^2 + R_{0.АБ} I_{АБ}^2 + R_Н I_Н^2$$

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 $P_{АБ} = E_{АБ} I_{АБ}$ і якщо $E_{АБ}$ і $I_{АБ}$ напрямлені однаково, то $P_{АБ} > 0$ (режим розряджання АБ), а коли $E_{АБ}$ і $I_{АБ}$ мають протилежні напрями, то $P_{АБ} < 0$ (режим заряджання АБ).

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

$$\eta_R = \frac{U_{12} I_Г}{E_Г \cdot I_Г} = \frac{11{,}1 \cdot 26{,}9}{13{,}8 \cdot 26{,}9} = 80{,}6\%$$

7. Електричне коло, яке відповідає стартерному пуску двигуна внутрішнього згорання від акумуляторної батареї, зображено 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:

$$I_{СД.П} = \frac{E_{АБ}}{R_{0.АБ} + R_{СД}} = \frac{11}{0{,}01 + 12 \cdot 10^{-3}} = 627{,}3\,(\text{А})$$

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

Тоді по закону Кірхгофа струм І *СД* при обертанні якоря стартера зі швидкістю $n_{СД}$ $об/хв$ дорівнює

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

Так як $E_{СД} = C_e n_{СД}$,

(де C_e $В/об/хв$ - коефіцієнт пропорційності між електрорушійною силою $E_{СД}$ і швидкістю обертання якоря $n_{СД}$), то по мірі розгону СД струм якоря $I_{СД}$, рівний струму АБ зменшується.

Напруга електричної мережі автомобіля в момент пуску СД $n_{СД} = 0$ дорівнює

$$U_{12П} = E_{АБ} - R_{ОАБ} \cdot I_{СДП} = 11 - 0{,}01 \cdot 627{,}3 = 4{,}72\,(\text{В})$$

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

Домашнє завдання.
Виконати розрахунки пунктів 1-8 по вихідних даних таблиці1 та таблиці 2.

Таблиця 1.

Одиниці у шифрі	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$E_Г$; $В$	14	14	13	13	14,2	14,2	14	14	13	13
$R_{ОГ}$; $Ом$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11
$E_{АБ}$; $В$	12,5	12,5	12,5	12,4	12,3	12,2	12	12	11,5	11,5
$R_{ОАБ}$; $Ом$	0,01	0,01	0,01	0,012	0,012	0,012	0,011	0,011	0,01	0,01
$R_н$; $Ом$	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,75	2	1,2	1,2

Таблиця 2

Десятки у шифрі	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$R_{ст.Д}$; Ом	$12\cdot10^{3}$	$16\cdot10^{3}$	$18\cdot10^{3}$	$20\cdot10^{3}$	$11\cdot10^{3}$	$13\cdot10^{3}$	$15\cdot10^{3}$	$14\cdot10^{3}$	$17\cdot10^{3}$	$12\cdot10^{3}$
$n_{ст.Д}$; об/хв	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$C_е$; В/об/хв	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}