

Українська державна академія залізничного транспорту

Кафедра „Фізика”

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3-7

„Визначення потужності електричного струму та коефіцієнта корисної дії джерела струму”

Роботу виконав: студент(ка)

_____ (прізвище, ім'я, по-батькові)

_____ (курс)

_____ (група)

” ” _____ 20 р.

Роботу прийняв:

_____ (прізвище та ініціали викладача)

_____ (посада)

Оцінка:

за знання теорії

_____ (оцінка, бал)

за провед. експер.

_____ (оцінка, бал)

підсумкова

_____ (оцінка, бал)

_____ (дата і підпис викладача)

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3-7

ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ ТА КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ ДЖЕРЕЛА СТРУМУ

Мета роботи: визначення залежності потужності електричного струму, корисної потужності та коефіцієнта корисної дії джерела струму від опору навантаження.

Прилади і матеріали: лабораторна установка.

Теоретичні відомості

Потужністю електричного струму називається скалярна фізична величина P , яка характеризує швидкість перетворення енергії електричного струму в інші форми і визначається як енергія, що перетворюється за одиницю часу:

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt}(V \cdot Q) = V \frac{dQ}{dt} = I \cdot V,$$

де W - енергія електричного струму,

V - різниця потенціалів,

Q - заряд,

I - електричний струм.

Використовувавши закон Ома для ділянки ланцюга

$$I = \frac{V}{R},$$

де R - електричний опір, одержуємо формули:

$$P = I \cdot V = \frac{V}{R} V = \frac{V^2}{R} = I \cdot I \cdot R = I^2 R.$$

Корисна потужність, це потужність яка виділяється на зовнішньому опорі (див. рис.1). Вона розраховується за формулою

$$P_a = I^2 R, \quad (7.1)$$

де I - струм який йде через опір R . Струм знайдемо за законом Ома для замкненого кола

$$I = \frac{E}{R + r}, \quad (7.2)$$

де E - ЕРС (електрорушійна сила) джерела струму,

r - внутрішній опір цього джерела.

Зробивши підстановку (7.2) в (7.1) отримуємо

$$P_a = \left(\frac{E}{R + r} \right)^2 R = \frac{E^2 R}{(R + r)^2}. \quad (7.3)$$

Для того щоб дослідити цю функцію $P_a = f(R)$ на екстремум візьмемо похідну по зовнішньому опорі R , тоді маємо:

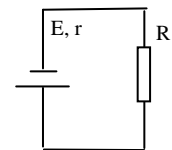


Рис.1

$$\begin{aligned} \frac{dP_a}{dR} &= \frac{d}{dR} \left(\frac{E^2 R}{(R+r)^2} \right) = \frac{E^2}{(R+r)^4} [(R+r)^2 - 2(R+r)R] = \frac{E^2(R+r)}{(R+r)^4} [(R+r) - 2R] = \\ &= \frac{E^2(R+r)}{(R+r)^4} [r - R] = \frac{E^2(r^2 - R^2)}{(R+r)^4}. \end{aligned}$$

Точка екстремуму знаходиться розв'язуванням рівняння $\frac{dP_a}{dR} = 0$, тобто

$$\frac{E^2(r^2 - R^2)}{(R+r)^4} = 0.$$

Очевидно, що рішення є $R^2 = r^2$, або

$$R = r. \quad (7.4)$$

Цей екстремум є максимумом. Це можна з'ясувати, якщо обчислити другу похідну, але можна зробити таким чином. З виразу (7.3) ми бачимо, що

$$P_a(0) = \frac{E^2 \cdot 0}{(0+r)^2} = 0;$$

$$P_a(R) \xrightarrow{R \rightarrow \infty} = \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{E^2 R}{(R+r)^2} = E^2 \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{R}{(R+r)^2} = E^2 \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{R}{R^2} = E^2 \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{1}{R} = 0.$$

З фізичних умов $P_a(R) > 0$, це означає, що ця функція починається з нуля і знову йде до нуля на нескінченності, а оскільки вона всюди позитивна і має екстремум, то цей екстремум є максимумом (рис.2).

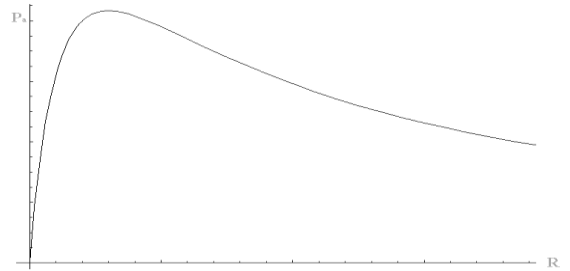


Рис. 2

Таким чином ми з'ясували, що корисна потужність максимальна якщо зовнішній опір дорівнює внутрішньому. Розрахуємо цю потужність.

$$P_a^{\max}(R) = P_a(r) = \frac{E^2 r}{(r+r)^2} = \frac{E^2 r}{4r^2} = \frac{E^2}{4r}. \quad (7.5)$$

Коефіцієнт корисної дії η джерела ЕРС визначається відношенням корисної роботи до повної роботи

$$\eta = \frac{W_a}{W}. \quad (7.6)$$

Оскільки потужність визначається швидкістю перетворення роботи то $P = W/t$, або $W = P \cdot t$ і ми отримуємо

$$\eta = \frac{P_a \cdot t}{P \cdot t} = \frac{P_a}{P}, \quad (7.7)$$

де

$$P = I \cdot E = I^2(R+r) \quad (7.8)$$

повна потужність у замкненому колі.

Таким чином, ми маємо

$$\eta = \frac{P_a}{P} = \frac{I^2 R}{I^2(R+r)} = \frac{R}{R+r}. \quad (7.9)$$

З виразу (7.8) одержуємо $\eta|_{R=0} = \frac{R}{R+r}|_{R=0} = 0$. При нескінченному зростанні

зовнішнього опору ККД прямує до одиниці (рис.3)

$$\eta = \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{R}{R+r} = \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{R}{R} = 1,$$

але струм і корисна потужність у цьому випадку прямує до нуля. Таким чином одночасне отримання максимальної корисної потужності при максимальному ККД не можливо.

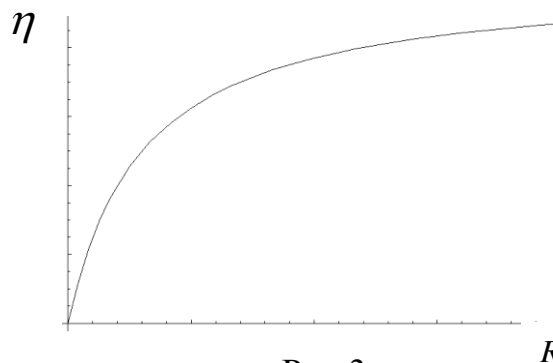


Рис.3

Коли корисна потужність досягає максимуму, то $\eta = 0,5$

(ККД =50%), коли ж ККД $\eta \rightarrow 1$, то корисна потужність зменшується, це означає, що для зростання ККД необхідно зменшувати внутрішній опір джерела ЕРС. Для ідеального джерела $r = 0$ і ККД завжди дорівнює одиниці.

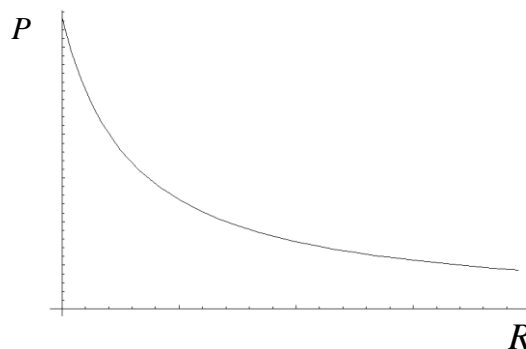


Рис. 4

Залежність повної потужності від зовнішнього опору зображена на рис. 4.

Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитися зі схемою на стенді (рис.5).
2. Установити за допомогою магазину опір 0 Ом.
3. Замкнути ключ К.
4. Виміряти силу електричного струму у колі послідовно змінюючи зовнішній опір від 0 Ом до 900 Ом через 100 Ом. Занести отримані данні до таблиці.
5. Вимкнути ключ К.
6. Обчислити для кожного значення R корисну потужність за формулою (7.1), повну потужність за формулою (7.8) та ККД за допомогою (7.7).
7. Побудувати залежності $P_a(R)$, $P(R)$, $\eta(R)$.
8. Обчислити відносну та абсолютну похибки.

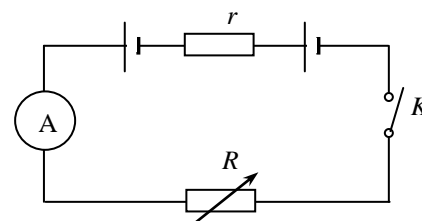


Рис.5

Контрольні питання

1. Що називається ККД джерела ЕРС?
2. Як визначається корисна потужність джерела ЕРС?
3. Чому дорівнює максимальна корисна потужність джерела ЕРС?
4. Коли корисна потужність максимальна?
5. Чому дорівнює ККД при максимальній корисній потужності?
6. Довести, що при $R = r$ функція $P_a(R)$ дійсно має максимум.
7. Пояснити залежність $\eta(R)$.
8. Що таке ЕРС джерела?
9. Які сили називають сторонніми, де вони діють?
10. Чому неприпустимо замкнення замкнення замкнення джерела ЕРС?

Звіт за виконану роботу

1. Робочі формули:

$$P_a = I^2 R - \text{корисна потужність,}$$

$$P = I^2(R + r) - \text{повна потужність,}$$

$$\eta = \frac{P_a}{P} - \text{ККД.}$$

- 1.1 Величина, що вимірюється:

I – Струм у ланцюгу $[I] = \text{А}$.

- 1.2 Табличні величини:

$$r = 300 \text{ Ом}; \quad \Delta r = 10 \text{ Ом.}$$

- 1.3 Величини, що обчислюються:

P_a - корисна потужність,

P - повна потужність,

$\eta = P_a / P$ - ККД.

2. Результати експерименту

- 3.

$R, \text{ Ом}$	$I, \text{ А}$	$P_a, \text{ Вт}$	$P, \text{ Вт}$	η
0				
100				
200				
300				
400				
500				
600				
700				
800				
900				

Результати експерименту підтверджую_____

3. Обробка результатів експерименту

Для кожного значення струму обчислити

$$\Delta I =$$

$$\ln P_a = 2 \ln I + \ln R$$

$$\frac{dP_a}{P_a} = 2 \frac{dI}{I} + \frac{dR}{R}$$

$$\frac{\Delta P_a}{P_a} = \sqrt{\left(2 \frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{\quad}{\quad}\right)^2 + \left(\frac{\quad}{\quad}\right)^2} =$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta P_a}{P_a} \cdot 100\% = \quad \cdot 100\% = \quad \%$$

$$\Delta P_a = \varepsilon \cdot P_a = \quad \text{Вт} = \quad \text{Вт}$$

$$P_a = (\quad \pm \quad) \text{Вт.}$$

$$\ln P = 2 \ln I + \ln (R + r)$$

$$\frac{dP}{P} = 2 \frac{dI}{I} + \frac{d(R+r)}{R+r}$$

$$\frac{\Delta P}{P} = \sqrt{\left(2 \frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R + \Delta r}{R}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{\quad}{\quad}\right)^2 + \left(\frac{\quad}{\quad}\right)^2} =$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta P}{P} \cdot 100\% = \quad \cdot 100\% = \quad \%$$

$$\Delta P = \varepsilon \cdot P = \quad \text{Вт} = \quad \text{Вт}$$

$$P = (\quad \pm \quad) \text{Вт.}$$

$$\ln \eta = \ln P_a - \ln P$$

$$\frac{d\eta}{\eta} = \frac{dP_a}{P_a} - \frac{dP}{P}$$

$$\frac{\Delta \eta}{\eta} = \sqrt{\left(\frac{\Delta P_a}{P_a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P}{P}\right)^2} =$$

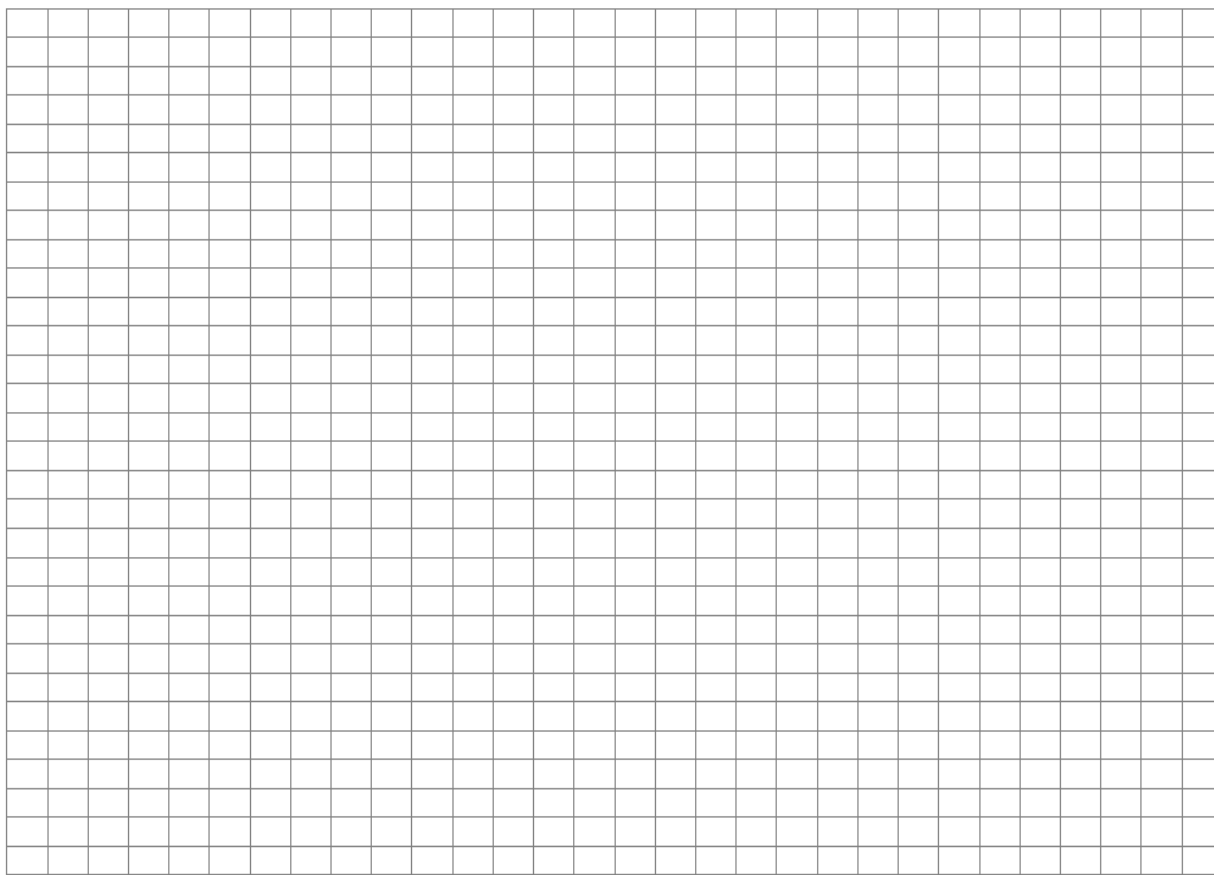
$$= \sqrt{\left(\frac{\quad}{\quad}\right)^2 + \left(\frac{\quad}{\quad}\right)^2} =$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta \eta}{\eta} \cdot 100\% = \quad \cdot 100\% = \quad \%$$

$$\Delta \eta = \varepsilon \cdot \eta = \quad =$$

$$\eta = (\quad \pm \quad).$$

Побудувати залежності $P_a(R)$, $P(R)$, $\eta(R)$.



4. Висновки:
