

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

Лабораторна робота з фізики №1

**ВНУТРІШНІЙ ОПІР ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА
УЗГОДЖЕННЯ ПОТУЖНОСТЕЙ**

Виконав:
студент групи ФІ-12
Завалій Олександр

Київ-2022

РОЗДІЛ ПЕРШИЙ

ТЕОРЕТИЧНА ДОВІДКА

Ключові поняття: джерело струму або напруги, електрорушійна сила, ЕРС, вихідна напруга, напруга на клемі джерела, холостий хід, робота без навантаження, коротке замикання, закон Ома, закони Кірхгофа, режими узгодження.

Мета роботи

1. Дослідити закон Ома для ділянки та всього кола.
2. Визначити внутрішній опір джерел електричної енергії.
3. Дослідити узгодження потужностей джерела та споживача.
4. Визначити, до якої групи відноситься те чи інше джерело за величиною внутрішнього опору – до джерел напруги або джерел струму.
5. Визначити за якого режиму джерело буде віддавати максимальну корисну потужність та матиме максимальний ККД.

Теоретичне підґрунтя

Розглянемо електричне коло (рис.1), яке складається з джерела електричної енергії зі своїм внутрішнім опором R_i та зовнішнім опором R_e – змінним опором навантаження. Струм в такому колі визначається за законом Ома рівнянням:

$$I = \frac{U_0}{R_i + R_e} \quad (1)$$

Ми отримаємо найменше значення $I = 0$ якщо $R_e = \infty$, та найбільше $I = I_{max}$, якщо $R_e = 0$.
Із всіх режимів роботи електричних кіл та елементів навантаження найхарактернішими є:

- Режим кола, коли опір навантаження $R_e = \infty$ визначається як режим холостого ходу, струм не протікає в колі, тому не має падіння напруги на R_i . Тобто на клемі джерела присутня напруга холостого ходу U_0 .
- Режим кола, коли $R_e = 0$ визначається як режим короткого замикання, струм в колі максимальний і визначається як $I_{kz} = \frac{U_0}{R_i}$
- Режим за $R_e = R_i$ – узгодження потужності (або узгодження опорів).

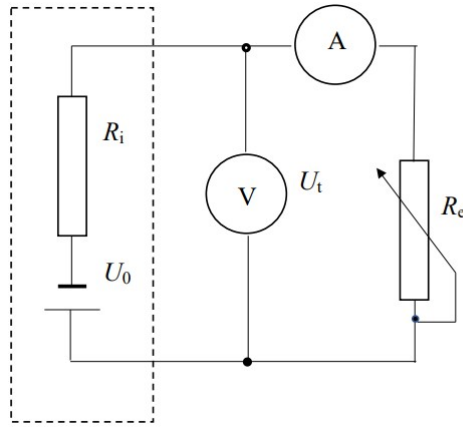


Рис. 1: Схема вимірювання вихідної напруги та струму, штриховою лінією позначено джерело енергії, в якому окремо виділено внутрішній опір.

Прослідкуємо як змінюються спад напруги на опорах R_i та R_e в залежності від струму в колі. Спад напруги на внутрішньому опорі дорівнює:

$$U_{R_i} = IR_i \quad (2)$$

Величина цього спаду пропорційна величині струму і змінюється від нуля до найбільшого значення. Спад напруги на зовнішньому опорі навантаження R_e згідно другого правила Кірхгофа, дорівнює:

$$U_{R_e} = U_0 - U_{R_i} \quad (3)$$

Цей спад напруги також знаходиться в лінійній залежності від струму. Так як опір навантаження під'єднаний до вихідних клем джерела, то спад напруги на опорі навантаження можна вважати як вихідну напругу джерела яка визначається за рівнянням:

$$U_t = U_0 - IR_i \quad (4)$$

Нормовані графіки, які показують залежність U_{R_i} та U_{R_e} від струму I наведені на рис. 2.

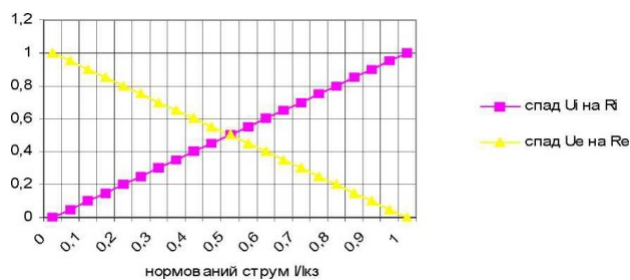


Рис. 2: Нормовані залежності спадів напруг від струму на внутрішньому і зовнішньому опорах.

За умови $R_i = R_e$ їхня сума дорівнюватиме $2R$, має місце співвідношення:

$$I = \frac{U_0}{2R} = \frac{I_{kz}}{2} \quad (5)$$

І спад напруг на опорах рівні між собою, тобто:

$$U_{R_i} = U_{R_e} = \frac{U_0}{2} \quad (6)$$

Такий режим називається, як було вище вказано, режимом узгодження внутрішнього опору джерела та опору споживача.

Визначимо співвідношення між потужностями, які виділяються на елементах електричного кола. Повна потужність електричного кола визначається за співвідношенням:

$$P_0 = U_0 I_{kz} \quad (7)$$

Повна потужність джерела складається з потужності, яка виділяється на внутрішньому опорі джерела і визначається за співвідношенням:

$$P_i = I^2 R_i \quad (8)$$

і змінюється пропорційно квадрату струму. Потужність, яка виділяється на опорі навантаження R_e

$$P_e = I^2 R_e \quad (9)$$

Визначається як різниця між повною потужністю P та потужністю, яка виділяється на внутрішньому опорі R_i , тобто

$$P_e = P_0 - P_i = U_0 - I^2 R_i \quad (10)$$

Потужність P_e дорівнює нулю, коли струм за $I = I_{xx} = 0$, $P_e(I) = U_0 - 2IR_i = 0$

Для визначення найбільшого значення потужності візьмемо першу похідну від минулої формули та прирівняємо її до 0. Звідти отримаємо співвідношення:

$$U_0 = 2IR_i \quad (11)$$

Але при будь-якому значенні опору R_e (у будь-якому режимі) згідно 2 правила Кірхгофа:

$$U_0 = IR_i + IR_e \quad (12)$$

Порівнюючи два останні вирази видно, що потужність P_e досягає найбільшого значення при $R_e = R_i$, коли струм в колі буде відповідати співвідношенням:

$$I = \frac{U_0}{2R_i} = \frac{I_{kz}}{2} \quad (13)$$

Тобто максимальна потужність P_e , яка виділяється на зовнішньому опорі навантаження, буде дорівнювати потужності P_i , яка виділяється на внутрішньому опорі і буде дорівнювати $\frac{1}{4}P_0$ – режим узгодження потужностей джерела та споживача:

$$P_e = I^2 R_e = \frac{U_0^2 R_i^2}{4R_i^2} = \frac{U_0 I_{kz}}{4} \quad (14)$$

Графіки, які виявляють залежність потужностей P , π , P_e від струму наведені на рис. 3.

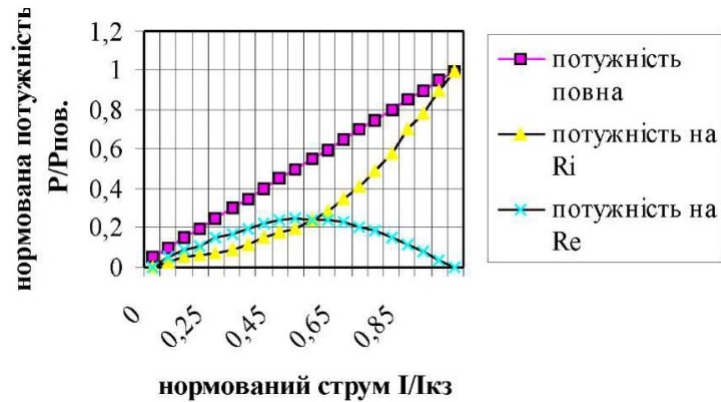


Рис. 3: Нормована залежність зміни потужностей від струму.

А залежність потужності від співвідношення опорів – на рис. 4.

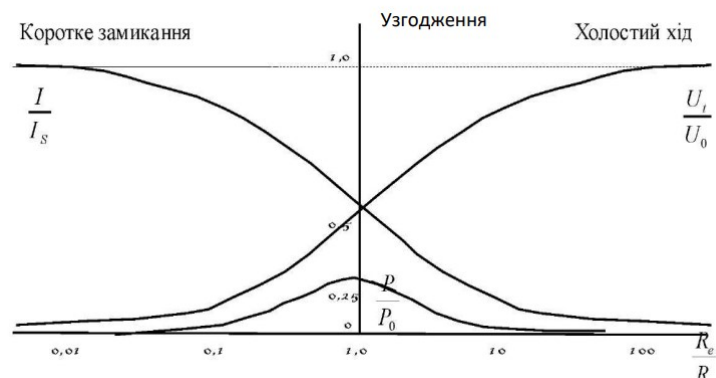


Рис. 4: Нормовані графіки залежності потужності джерела від навантаження (відношення опору навантаження до внутрішнього опору джерела).

З'ясуємо які режими роботи джерела електричної енергії найбільш доцільні:

- За яких умов джерело розвине максимальну корисну потужність.
- За якого режиму джерело матиме найбільший $KKD - \eta$

Корисна потужність в електричному колі – це потужність P_e , яка виділяється на опорі навантаження R_e . Потужність, яка виділяється на внутрішньому опорі R_i , це потужність втрат P_i . Режим, коли джерело розвиває найбільшу корисну потужність, має місце при $R_e = R_i$, в цьому випадку струм в колі $\beta = \frac{I_{kz}}{2}$, а корисна потужність і однакова з нею потужність втрат дорівнює:

$$P_i = P_e = \frac{U_0 I_{kz}}{2} \quad (15)$$

Максимальна потужність, яку може розвинути джерело:

$$P = P_i + P_e = U_0 I_{kz} \quad (16)$$

ККД – коефіцієнт корисної дії дорівнюватиме:

$$\eta = \frac{P_e}{P_0}$$

Окрім розглянутих режимів найбільш широко використовуваним є номінальний режим роботи. Це такий режим для якого розраховане джерело електричної енергії або електроприймач. Для електричних величин, що визначають номінальний режим, відносяться номінальна напруга, номінальний струм, номінальна потужність. Генератори, електроприймачі та інші елементи електричних установок виробляють не на будь-які напруги, а на обмежене число визначених напруг

Джерело напруги – джерело енергії, підтримує напругу на клеммах, величина якої якого не залежить від опору навантаження, а внутрішній опір набагато менший за опір навантаження $R_i \ll R_e$, зокрема за максимальне значення опору навантаження (наприклад, батареї, акумулятори, мережа).

Джерело струму – джерело енергії, струм якого не залежить від опору навантаження, а внутрішній опір набагато більший за опір навантаження $R_i \gg R_e$, зокрема за мінімальне значення опору навантаження (транзистори, котушки індуктивності).

Експериментальне обладнання:

Експериментальне обладнання складається з:

1. Трох джерел електричної енергії:

- Батарейка з трьох марганцево-цинкових елементів для кишенькових ліхтариків;
- Свинцевого кислого акумулятора;
- Електронного блока живлення;

2. Реостатів з максимальним опором 10 Ом, 45 Ом, 100 Ом.

3. Магнітоелектричного мультиметра.

4. Цифрового мультиметра.

В якості амперметра використовується магнітоелектричний мультиметр. Як вольтметр – цифровий мультиметр.

РОЗДІЛ ДРУГИЙ

Теоретичні основи експерименту

Дослід №1

1. Зберіть вимірювальну схему згідно рис.1 (в якості джерела використайте марганцево-цинкову батарейку для кишенькового ліхтарика)
2. В якості навантаження використати реостат з максимальним опором 45 або 100 Ом.
3. Виміряти напругу холостого ходу – U_0 (на клеммах джерела без навантаження)
4. За допомогою вольтметра виміряти залежності напруги U_{R_e} на опорі навантаження від струму I , тобто від величини опору навантаження (струм змінювати реостат з кроком 0.1А до максимального значення 2А, тобто зробити 15-20 вимірів).
5. Встановіть опір навантаження таким, щоб спад напруги на опорі навантаження U_{R_e} становить $\frac{1}{2}U_0$. В цьому випадку опір навантаження буде дорівнювати внутрішньому опору джерела $R_e = R_i$ (режим узгодження опорів або потужностей). Не змінюючи положення реостата за допомогою омметра виміряйте опір навантаження.
6. Отримані дані занесіть до таблиці.

Дослід №2

1. Зберіть вимірювальну схему згідно рис.1 (в якості джерела використайте свинцевий акумулятор)
2. В якості навантаження використати реостат з максимальним опором 45 або 100 Ом.
3. Виміряти напругу холостого ходу – U_0 (на клеммах джерела без навантаження).
4. Виміряти залежності напруги $U + R_e$ від струму I , тобто від величини о навантаження (струм змінювати).
5. Отримані дані занесіть до таблиці.

Дослід №3

1. Зберіть вимірювальну схему згідно рис.1(в якості джерела використайте блок живлення, який живиться від силової мережі).
2. В якості навантаження використати реостат з максимальним опором 45 або 100 Ом.
3. Виміряти напругу холостого ходу – U_0 (на клеммах джерела без навантаження).
4. За допомогою вольтметра для кожного значення струму виміряйте залежність спаду напруги на опорі навантаження $U + R_e$ від струму I , тобто від величини опору навантаження (струм змінювати реостат з кроком 0,1А до максимального значення 2А, тобто зробити 15-20 вимірів)
5. Отримані дані занесіть до таблиці.

Завдання

1. Побудуйте графік залежності $U(I)$ для всіх досліджуваних джерел. Зробіть апроксимацію для кожного побудованого графіка.
2. За апроксимацією графіків визначте внутрішній опір кожного джерела за різних режимів навантаження.
3. Побудуйте нормовані графіки залежності потужності від струму аналогічно рис.3 та рис.4
4. Визначте похибки, поясніть за яких факторів виникли ці похибки.
5. Зробіть відповідні висновки.
6. На підставі проведених дослідів та розрахунків дайте остаточну характеристику кожного з джерел (джерела струму та джерела напруги).
7. Визначте за яких умов джерело може бути джерелом напруги чи джерелом струму.

РОЗДІЛ ТРЕТІЙ

Експериментальні дані

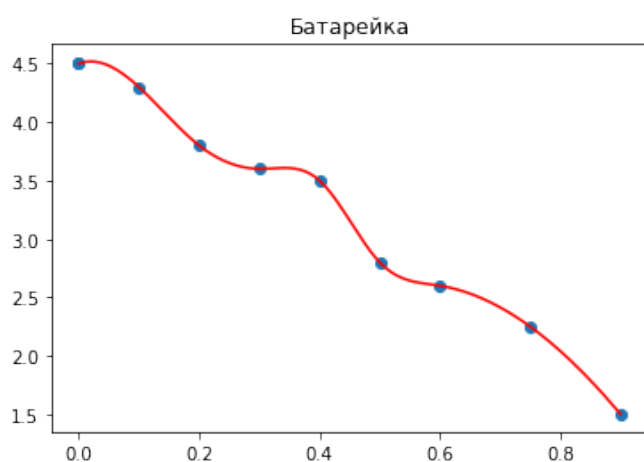


Рис. 5: Графік залежності U від I .

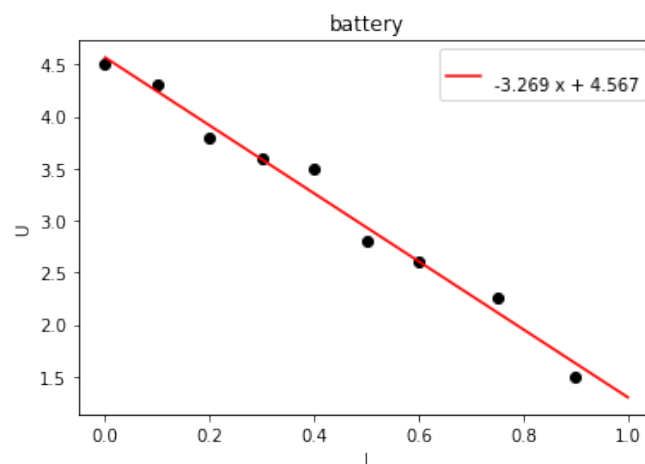


Рис. 6: Апроксимований графік залежності U від I .

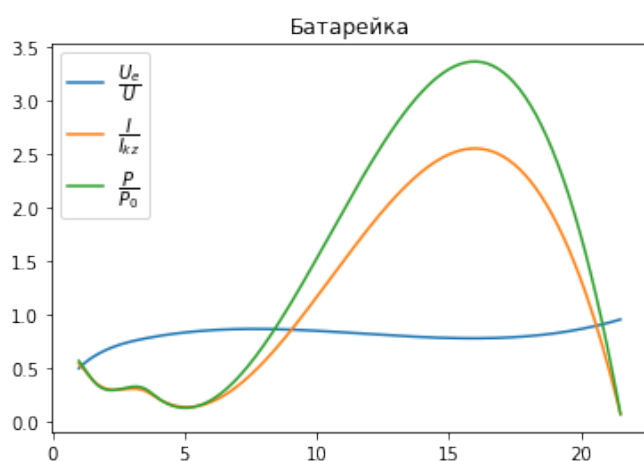


Рис. 7: Нормований графік залежності потужності джерела від навантаження

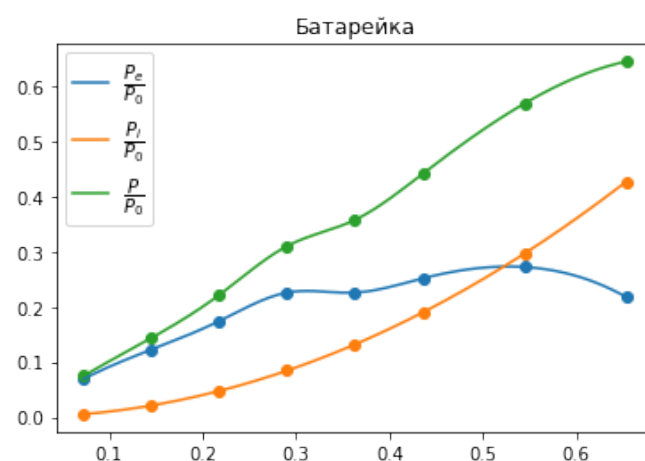


Рис. 8: Нормована залежність зміни потужностей від струму.

Внутрішній опір

З графіку бачимо, що лінійна апроксимація залежності U від I батареї має вигляд:

$$y = -3.329x + 4.604$$

А отже R_i апроксимоване дорівнює 3.329

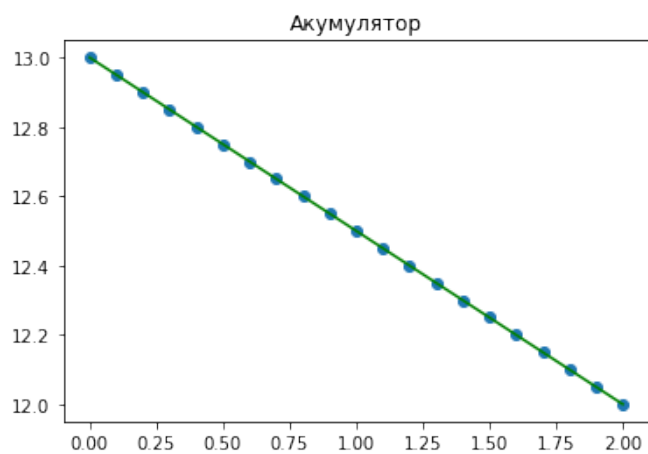
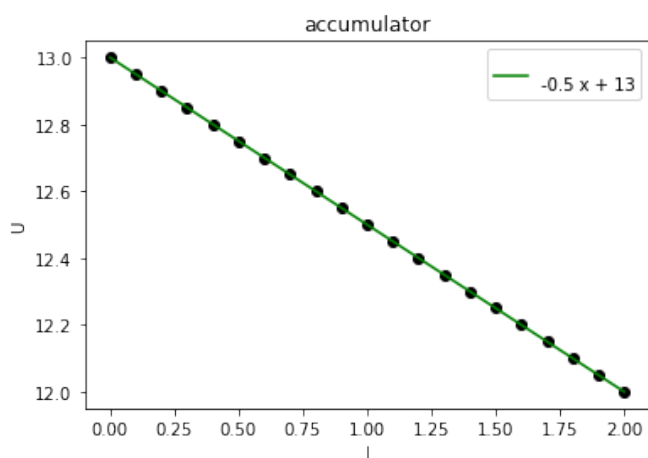


Рис. 9: Графік залежності U від I .



(b)

Рис. 10: Апроксимований графік залежності U від I .

Внутрішній опір

З графіку бачимо, що лінійна апроксимація залежності U від I акумулятора має вигляд:

$$y = -0.5x + 13$$

А отже R_i апроксимоване дорівнює 0.5



Рис. 11: Графік залежності U від I .

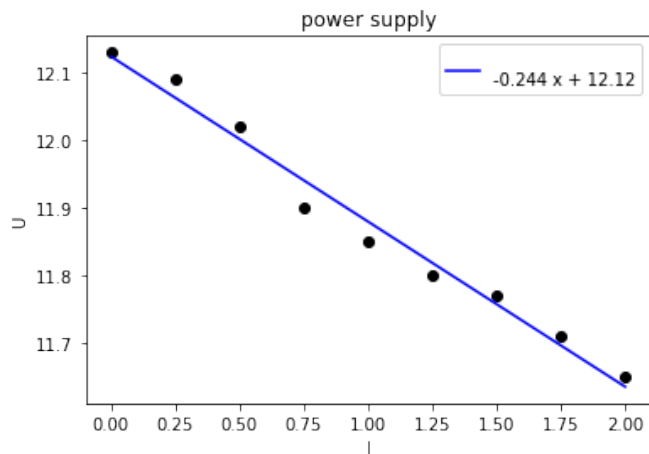


Рис. 12: Апроксимований графік залежності U від I .

Внутрішній опір

З графіку бачимо, що лінійна апроксимація залежності U від I блоку живлення має вигляд:

$$y = -0.2414x + 12.12$$

А отже R_i апроксимоване дорівнює 0.2414

Обчислення

Для різних джерел струму (акумулятора, блоку живлення та батарейки) було знято покази сили струму та напруги для вивчення залежності $U(I)$. Для визначення силових діаграм залежностей між напругою на клеммах та силою струму було побудовано відповідні рівняння прямих $y = kx + b$ де x – сила струму, y – напруга, а коефіцієнти k та b знаходяться за відповідними формулами:

$$k = \frac{\langle IU \rangle - \langle I \rangle \langle U \rangle}{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}; \quad b = \langle U \rangle - k \langle I \rangle$$

Отримані дані занесено до таблиць 4-9.

Похибки.

Формула для обчислення похибок:

$$\langle R_i \rangle = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n R_{ik} \quad (1)$$

$$\Delta R_i = \sqrt{(\Delta R_r)^2 + (\Delta R_s)^2}, \quad R_r = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (R_{ik} - R_i)^2}{n^2 - n}} \quad (2)$$

$$\varepsilon R_i = \frac{\Delta R_i}{R_i} \quad (3)$$

$$R_i = \frac{R_{i_1} + R_{i_2} + \dots + R_{i_n}}{n}$$

Підставляючи відповідні значення у відповідні формули отримаємо такі результати: Похиб-

Батарейка	$\langle R_i \rangle = 2.99$
Акумулятор	$\langle R_i \rangle = 0.5$
Блок живлення	$\langle R_i \rangle = 0.24$

Батарейка	$\Delta R_i = 17.92\%$
Акумулятор	$\Delta R_i = 0\%$
Блок живлення	$\Delta R_i = 1.54\%$

Батарейка	$\varepsilon R_i = 6\%$
Акумулятор	$\varepsilon R_i = 0\%$
Блок живлення	$\varepsilon R_i = 6.32\%$

ки з'являються через неточність вимірів. За відсутності систематичної похибки (R_r) можна дійти висновку, що це теж вплинуло на результат обчислень.

РОЗДІЛ ЧЕТВЕРТИЙ

Висновки

В ході виконання лабораторної роботи дослідив узгодження потужностей джерела та споживача, визначив режим роботи за якого джерело буде віддавати максимальну корисну потужність та матиме при цьому максимальне ККД. Метою ЛР було ознайомлення з такими поняттями: закон Ома, опір, сила струму, напруга, потужність, ККД в електричному полі.

Після обробки даних та необхідних підрахунків було визначено залежності напруг на клемах джерел струму від сили струму. Всього побудував три залежності: для батарейки, акумулятора та блоку живлення.

З графіків типу (а) на сторінка 9, 10 та 11 можна спостерігати лінійну залежність напруги від сили струму. Хочу зазначити, що експериментальні залежності можуть суттєво від них відрізнятись тобто вони мають криволінійну залежність. В нашому випадку такий характер залежності означає, що внутрішні опори R_i джерел струму є сталими.

З графіків типу (с) на сторінка 9, 10 та 11 бачимо, що нормовані залежності напруги та струму від зовнішнього навантаження є взаємно-протилежними, що цілком відповідає дійсності. Максимум потужності можна спостерігати за умови узгодженості потужностей.

За результатами обробки дослідних даних отримано:

Внутрішній опір джерела напруги обчислюємо за формулою $R_i = \frac{U_0}{I_{kz}}$:

- Батарейка: $R_i = \frac{4.5}{1.352} = 3.329 \text{ Ом}, U_0 = 4.5 \text{ В.}$

- Акумулятор: $R_i = \frac{13}{26} = 0.5 \text{ Ом}, U_0 = 13 \text{ В.}$

- Блок живлення: $R_i = \frac{12.13}{50.243} = 0.241 \text{ Ом}, U_0 = 12.13 \text{ В.}$

Таблиці

Таблиця 1: Батарейка

U_0, B	I, A	U, B	$R_i(approx), Om$	R_i, Om	R_e, Om	U_i, B	U_e, B	$P_e, Вт$	$P_i, Вт$	I_{kz}, A	$P_0, Вт$	P_e/P_0	P_i/P_0	$P, Вт$	P/P_0	ККД, %	$\langle R \rangle, Om$	$\Delta R, Om$	$\varepsilon R, Om$
4.5	0.1	4.3	3.33	2.0	43.0	0.33	4.17	0.43	0.03	1.35	6.08	0.07	0.01	0.46	0.08	7.07	2.99	17.92	6.0
	0.2	3.8		3.5	19.0	0.67	3.83	0.76	0.13			0.12	0.02	0.89	0.15	12.49			
	0.3	3.6		3.0	12.0	1.0	3.5	1.08	0.3			0.18	0.05	1.38	0.23	17.75			
	0.4	3.5		2.5	8.75	1.33	3.17	1.4	0.53			0.23	0.09	1.93	0.32	23.01			
	0.5	2.8		3.4	5.6	1.66	2.84	1.4	0.83			0.23	0.14	2.23	0.37	23.01			
	0.6	2.6		3.17	4.33	2.0	2.5	1.56	1.2			0.26	0.2	2.76	0.45	25.64			
	0.75	2.25		3.0	3.0	2.5	2.0	1.69	1.87			0.28	0.31	3.56	0.59	27.74			
	0.9	1.5		3.33	1.67	3.0	1.5	1.35	2.7			0.22	0.44	4.05	0.67	22.19			

Таблиця 2: Акумулятор

U_0, B	I, A	U, B	$R_i(approx), Om$	R_i, Om	R_e, Om	U_i, B	U_e, B	$P_e, Вт$	$P_i, Вт$	I_{kz}, A	$P_0,$	P_e/P_0	P_i/P_0	$P, Вт$	P/P_0	ККД, %	$\langle R \rangle, Om$	$\Delta R, Om$	$\varepsilon R, Om$
13	0.1	12.95	0.5	0.5	129.5	0.05	12.95	1.3	0.0	26.0	338.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.38	0.5	0.0	0.0
	0.2	12.9		0.5	64.5	0.1	12.9	2.58	0.02			0.01	0.0	2.6	0.01	0.76			
	0.3	12.85		0.5	42.83	0.15	12.85	3.86	0.04			0.01	0.0	3.9	0.01	1.14			
	0.4	12.8		0.5	32.0	0.2	12.8	5.12	0.08			0.02	0.0	5.2	0.02	1.51			
	0.5	12.75		0.5	25.5	0.25	12.75	6.38	0.12			0.02	0.0	6.5	0.02	1.89			
	0.6	12.7		0.5	21.17	0.3	12.7	7.62	0.18			0.02	0.0	7.8	0.02	2.25			
	0.7	12.65		0.5	18.07	0.35	12.65	8.86	0.24			0.03	0.0	9.1	0.03	2.62			
	0.8	12.6		0.5	15.75	0.4	12.6	10.08	0.32			0.03	0.0	10.4	0.03	2.98			
	0.9	12.55		0.5	13.94	0.45	12.55	11.3	0.4			0.03	0.0	11.7	0.03	3.34			
	1.0	12.5		0.5	12.5	0.5	12.5	12.5	0.5			0.04	0.0	13.0	0.04	3.7			
	1.1	12.45		0.5	11.32	0.55	12.45	13.7	0.6			0.04	0.0	14.3	0.04	4.05			
	1.2	12.4		0.5	10.33	0.6	12.4	14.88	0.72			0.04	0.0	15.6	0.05	4.4			
	1.3	12.35		0.5	9.5	0.65	12.35	16.06	0.84			0.05	0.0	16.9	0.05	4.75			
	1.4	12.3		0.5	8.79	0.7	12.3	17.22	0.98			0.05	0.0	18.2	0.05	5.09			
	1.5	12.25		0.5	8.17	0.75	12.25	18.38	1.12			0.05	0.0	19.5	0.06	5.44			
	1.6	12.2		0.5	7.62	0.8	12.2	19.52	1.28			0.06	0.0	20.8	0.06	5.78			
	1.7	12.15		0.5	7.15	0.85	12.15	20.65	1.44			0.06	0.0	22.1	0.07	6.11			
	1.8	12.1		0.5	6.72	0.9	12.1	21.78	1.62			0.06	0.0	23.4	0.07	6.44			
	1.9	12.05		0.5	6.34	0.95	12.05	22.9	1.8			0.07	0.01	24.7	0.07	6.77			
	2.0	12.0		0.5	6.0	1.0	12.0	24.0	2.0			0.07	0.01	26.0	0.08	7.1			

$$P_0 = U_0 I_{kz} = 4.5 \cdot 1.352 = 6.084$$

$$P_0 = U_0 I_{kz} = 13 \cdot 26 = 338$$

$$P_0 = U_0 I_{kz} = 12.13 \cdot 50.243 = 609.443$$

Таблица 3: Блок живлення																			
U_0, B	I, A	U, B	$R_i(approx), Om$	R_i, Om	R_e, Om	U_i, B	U_e, B	$P_e, \text{Вт}$	$P_i, \text{Вт}$	I_{kz}, A	$P_0, \text{Вт}$	P_e/P_0	P_i/P_0	$P, \text{Вт}$	P/P_0	ККД, %	$\langle R \rangle, Om$	$\Delta R, Om$	$\varepsilon R, Om$
12.13	0.25	12.09	0.24	0.16	48.36	0.06	12.07	3.02	0.02	50.24	609.44	0.0	0.0	3.04	0.0	0.5	0.24	1.54	6.32
	0.5	12.02		0.22	24.04	0.12	12.01	6.01	0.06			0.01	0.0	6.07	0.01	0.99			
	0.75	11.9		0.31	15.87	0.18	11.95	8.93	0.14			0.01	0.0	9.06	0.01	1.46			
	1.0	11.85		0.28	11.85	0.24	11.89	11.85	0.24			0.02	0.0	12.09	0.02	1.94			
	1.25	11.8		0.26	9.44	0.3	11.83	14.75	0.38			0.02	0.0	15.13	0.02	2.42			
	1.5	11.77		0.24	7.85	0.36	11.77	17.66	0.54			0.03	0.0	18.2	0.03	2.9			
	1.75	11.71		0.24	6.69	0.42	11.71	20.49	0.74			0.03	0.0	21.23	0.03	3.36			
	2.0	11.65		0.24	5.82	0.48	11.65	23.3	0.97			0.04	0.0	24.27	0.04	3.82			

Дані для побудови графіку апроксимації

Таблица 4: Батарейка								
$\langle I \rangle$	$\langle U \rangle$	I^2	$\langle I \rangle^2$	$\langle I^2 \rangle$	IU	$\langle IU \rangle$	k	b
0.4688	3.0438	0.01	0.2197	0.2853	0.43	1.2084	-3.3288	4.6041
		0.04			0.76			
		0.09			1.08			
		0.16			1.4			
		0.25			1.4			
		0.36			1.56			
		0.5625			1.6875			
		0.81			1.35			

Таблица 5: Акумулятор

$\langle I \rangle$	$\langle U \rangle$	I^2	$\langle I \rangle^2$	$\langle I^2 \rangle$	IU	$\langle IU \rangle$	k	b
1.05	12.475	0.01	1.1025	1.435	1.295	12.9325	-0.5	13.0
		0.04			2.58			
		0.09			3.855			
		0.16			5.12			
		0.25			6.375			
		0.36			7.62			
		0.49			8.855			
		0.64			10.08			
		0.81			11.295			
		1.0			12.5			
		1.21			13.695			
		1.44			14.88			
		1.69			16.055			
		1.96			17.22			
		2.25			18.375			
		2.56			19.52			
		2.89			20.655			
		3.24			21.78			
		3.61			22.895			
		4.0			24.0			

Таблица 6: Блок живлення

$\langle I \rangle$	$\langle U \rangle$	I^2	$\langle I \rangle^2$	$\langle I^2 \rangle$	IU	$\langle IU \rangle$	k	b
1.125	11.8487	0.0625	1.2656	1.5938	3.0225	13.2506	-0.2414	12.1204
		0.25			6.01			
		0.5625			8.925			
		1.0			11.85			
		1.5625			14.75			
		2.25			17.655			
		3.0625			20.4925			
		4.0			23.3			

Початкові дані

Таблиця 7: Батарейка

U_0, B	I, A	U, B
4.5	0.1	4.3
	0.2	3.8
	0.3	3.6
	0.4	3.5
	0.5	2.8
	0.6	2.6
	0.75	2.25
	0.9	1.5

Таблиця 8: Акумулятор

U_0, B	I, A	U, B
13	0.1	12.95
	0.2	12.9
	0.3	12.85
	0.4	12.8
	0.5	12.75
	0.6	12.7
	0.7	12.65
	0.8	12.6
	0.9	12.55
	1.0	12.5
	1.1	12.45
	1.2	12.4
	1.3	12.35
	1.4	12.3
	1.5	12.25
	1.6	12.2
	1.7	12.15
	1.8	12.1
	1.9	12.05
	2.0	12.0

Таблиця 9: Блок живлення

U_0, B	I, A	U, B
12.13	0.25	12.09
	0.5	12.02
	0.75	11.9
	1.0	11.85
	1.25	11.8
	1.5	11.77
	1.75	11.71
	2.0	11.65