

Електрика та магнетизм.

Лабораторна робота №3

Внутрішній опір та узгодження в джерелах струму

[Журавльова Софія, Познанський Тимур, Яковець Арина, Щербина Софія]

Мета роботи:

Виміряти напругу U_t на клеммах декількох джерел струму як функцію сили струму, змінюючи зовнішній опір R_e , та розрахувати напругу без навантаження (холостого ходу) U_0 і внутрішній опір R_i . Дослідити умови узгодження потужності.

Теоретичне підґрунтя.

Напруга джерела струму та сила струму залежать від навантаження (зовнішнього опору). Якщо джерело струму підключено до зовнішнього опору R_i , то згідно закону Ома буде протікати струм $I = U_0 / (R_i + R_e)$ (1). Вихідна напруга дорівнює $U_t = U_0 - R_i I$ (2). Зовнішній опір R_e визначає відношення напруги до струму в робочій точці. $R_e = U_0 / I$ (3). Тангенс куту нахилу залежності $U_0(I)$ дорівнює $tg(\varphi) = dU_t / dI = -R_i$ (4). Розрізняють 3 типи навантаження:

- Холостий хід (узгодження напруг): $R_e = \infty$. Струм не тече, тому немає падіння напруги на опорі R_i , $U_t = U_0$.
- Коротке замикання (узгодження струмів): $R_e = 0$. Падіння напруги на внутрішньому опорі складає U_0 , тому $U_t = 0$. Струм, який тече при короткому замиканні, визначається як $I_s = U_0 / R_i$ (5)
- Узгодження потужності (або узгодження опорів) $R_e = R_i$. В цьому випадку $U_t = U_0 / 2$, $I = I_0 / 2$.

З рівнянь (1) та (5) отримуємо $I / I_s = 1 / (1 + R_e / R_i)$ (6). Рівняння (2) дає $U_t / U_0 = 1 - 1 / (1 + R_e / R_i)$ (7). Враховуючи рівняння (6), $U_t / U_0 - I / I_s = 1$ (8). Потужність, що розсіюється на резисторі R_e , дорівнює $P = I^2 R_e$ (9). Її доречно нормалізувати на потужність, що розсіюється на опорі R_i у випадку короткого замикання, $P_0 = U_0^2 / R_i$ (10). Тоді $P / P_0 = U_t / U_0 * I / I_0 = (R_e / R_i) / (1 + R_e / R_i)^2$ (11)

Експериментальне обладнання:

Електронний стабілізований блок живлення, кислотно-свинцевий акумулятор, батарейка (4,5 В), реостати, цифровий мультиметр (вольтметр), магнітоелектричний мультиметр (амперметр).

Обробка та аналіз результатів

Ми провели дослідження трьох різних джерел струму. Нижче наведено дані вимірювань, графічні залежності та розрахунки для кожного з них окремо.

1. Батарейка

Дані вимірювань:

	U(0) = 4,45							Батарейка	
I, A	U _t , B	Re = U _t /I (Ом)	P = U _t * I (Вт)	Re / R _i	U _t / U ₀	I / I _s	P / P ₀	R _i , Ом	U _t = U ₀ / 2
0,25	4,05	16,200	1,013	11,655	0,927	0,080	0,074	1,39	2,185
0,5	3,77	7,540	1,885	5,424	0,863	0,159	0,137	U ₀ , B (з граф)	I
0,75	3,35	4,467	2,513	3,213	0,767	0,239	0,183	4,37	1,572
1	2,97	2,970	2,970	2,137	0,680	0,318	0,216	I _s , A	
1,25	2,49	1,992	3,113	1,433	0,570	0,398	0,227	3,144	
1,5	2,14	1,427	3,210	1,026	0,490	0,477	0,234	P ₀ , Вт	
1,75	1,87	1,069	3,273	0,769	0,428	0,557	0,238	13,739	
2	1,58	0,790	3,160	0,568	0,362	0,636	0,230		
2,25	1,3	0,578	2,925	0,416	0,297	0,716	0,213		
2,5	0,97	0,388	2,425	0,279	0,222	0,795	0,177		

Рис. 1: Таблиця вимірювань для батарейки

Вольт-амперна характеристика: Графік залежності напруги від струму має вигляд спадної прямої, що свідчить про сталість внутрішнього опору.

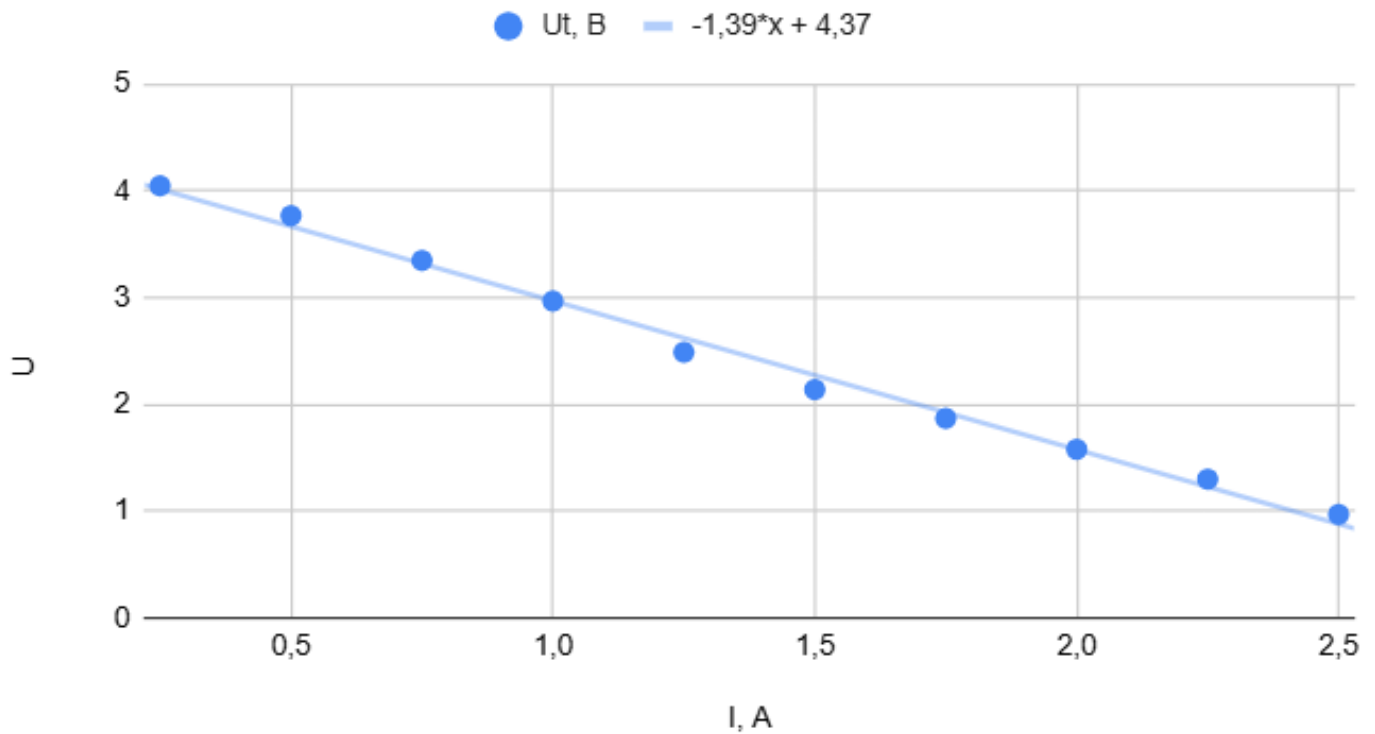


Рис. 2: Залежність $U_t(I)$ для батареї

З рівняння лінії тренду ($y = -1,39x + 4,37$) отримано параметри джерела:

- Напруга холостого ходу: $U_0 = 4,37$ В.
- Внутрішній опір: $R_i \approx 1,39$ Ом.
- Сила струму $I_s \approx 3,14$ А

Діаграма потужності: На графіку нижче зображено залежність нормованої потужності від навантаження. Максимум потужності досягається при узгодженні опорів ($R_e \approx R_i$).

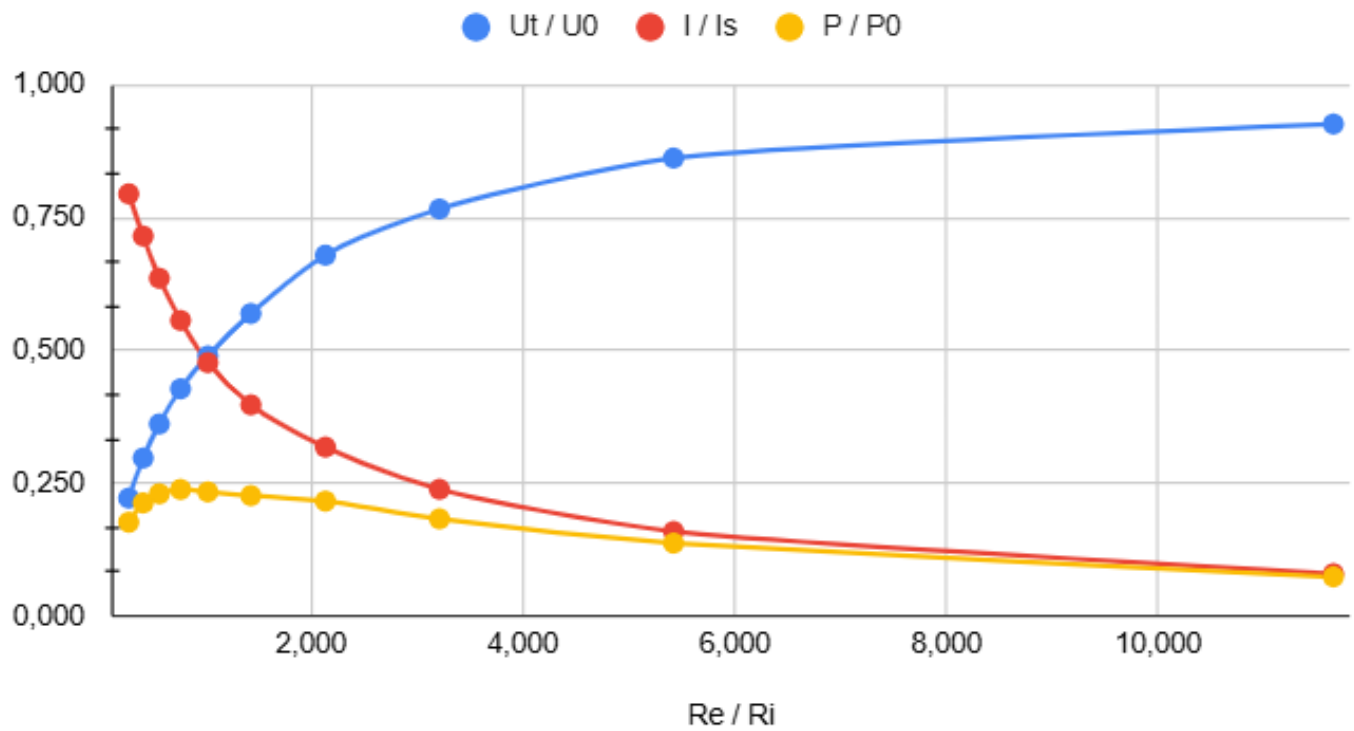


Рис. 3: Нормована діаграма потужності для батареї

2. Кисотно-свинцевий акумулятор

Дані вимірювань:

I, A	U _t , B	Re = U _t /I (Ом)	P = U _t * I (Вт)	Re / Ri	U _t / U ₀	I / I _s	P / P ₀	Ri, Ом	
2,5	11,62	4,648	29,050	35,212	0,976	0,028	0,027	0,132	
2,375	11,63	4,897	27,621	37,097	0,977	0,026	0,026	U ₀ , B (з граф)	U ₀ , B
2,25	11,64	5,173	26,190	39,192	0,978	0,025	0,024	11,9	12,400
2,125	11,65	5,482	24,756	41,533	0,979	0,024	0,023	I _s , A	
2	11,66	5,830	23,320	44,167	0,980	0,022	0,022	90,152	
1,875	11,67	6,224	21,881	47,152	0,981	0,021	0,020	P ₀ , Вт	
1,75	11,68	6,674	20,440	50,563	0,982	0,019	0,019	1072,803	
1,625	11,7	7,200	19,013	54,545	0,983	0,018	0,018		
1,5	11,71	7,807	17,565	59,141	0,984	0,017	0,016		
1,375	11,73	8,531	16,129	64,628	0,986	0,015	0,015		
1,25	11,74	9,392	14,675	71,152	0,987	0,014	0,014		
1,125	11,76	10,453	13,230	79,192	0,988	0,012	0,012		
1	11,78	11,780	11,780	89,242	0,990	0,011	0,011		
0,875	11,8	13,486	10,325	102,165	0,992	0,010	0,010		
0,75	11,82	15,760	8,865	119,394	0,993	0,008	0,008		
0,625	11,84	18,944	7,400	143,515	0,995	0,007	0,007		
0,5	11,86	23,720	5,930	179,697	0,997	0,006	0,006		
0,375	11,88	31,680	4,455	240,000	0,998	0,004	0,004		
0,25	11,91	47,640	2,978	360,909	1,001	0,003	0,003		
0,125	11,94	95,520	1,493	723,636	1,003	0,001	0,001		

Рис. 4: Таблиця вимірювань для акумулятора

Вольт-амперна характеристика: Залежність є лінійною, але падіння напруги під навантаженням трохи менше, ніж у батарейки.

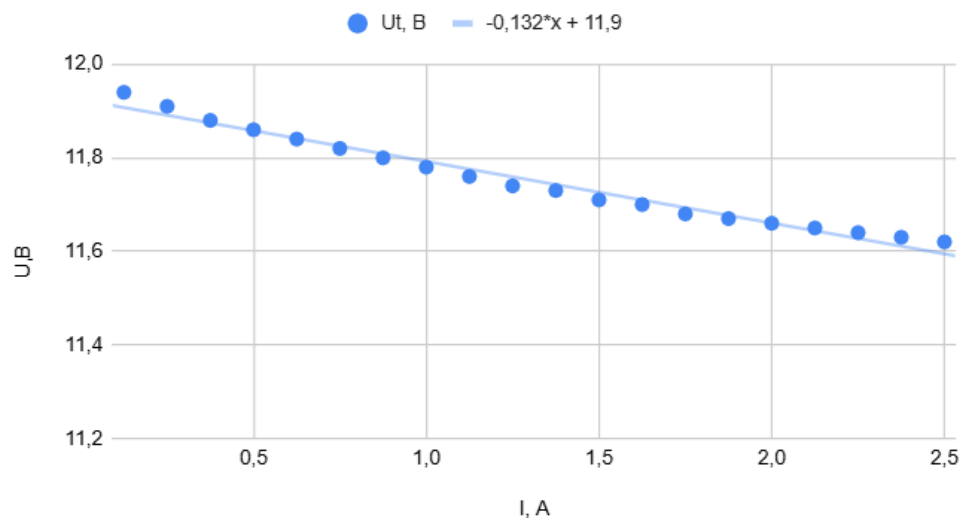


Рис. 5: Залежність $U_t(I)$ для акумулятора

Розраховані параметри: З рівняння лінії тренду ($y = -0,132x + 11,9$) отримано параметри джерела:

- Напруга холостого ходу: $U_0 = 11,9 \text{ В}$.
- Внутрішній опір: $R_i = 0,132 \text{ Ом}$.

Низький внутрішній опір свідчить про здатність акумулятора віддавати великі струми (розрахунковий струм короткого замикання $I_s \approx 90,152 \text{ А}$).

Діаграма потужності: Через дуже малий внутрішній опір наші виміри проводилися на правій гілці діаграми (режим, близький до холостого ходу).

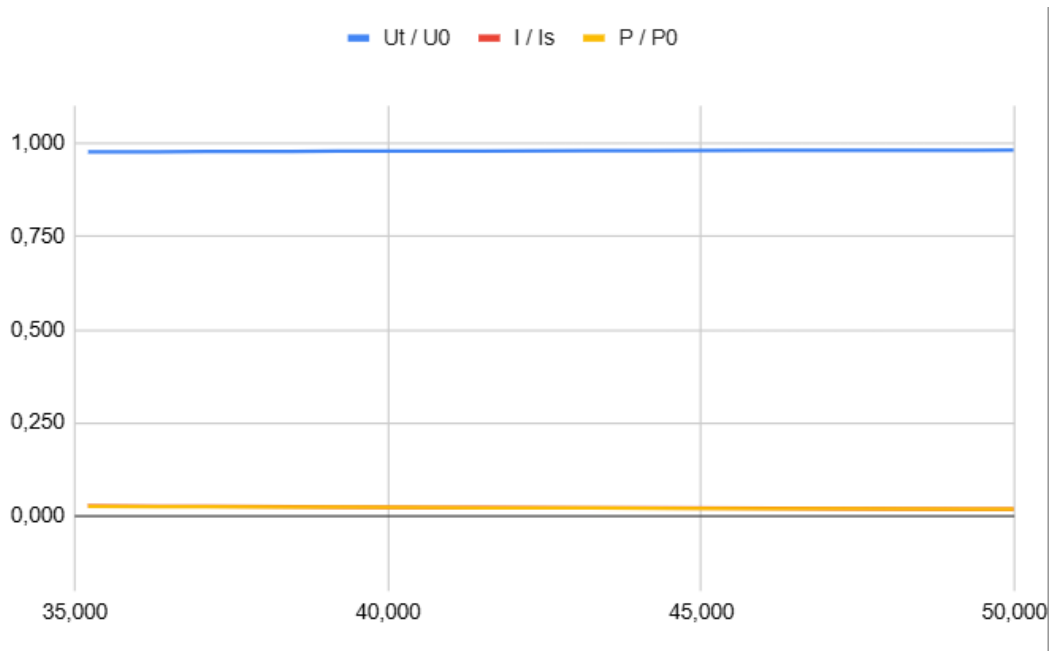


Рис. 6: Нормована діаграма потужності для акумулятора

3. Блок живлення (Джерело струму)

Дані вимірювань:

								Джерело струму
I, A	U _t , B	Re = U _t /I (Ом)	P = U _t * I (Вт)	Re / R _i	U _t / U ₀	I / I _s	P / P ₀	R _i , Ом
0,25	12,12	48,480	3,030	925,191	1,002	0,0011	0,0011	0,0524
0,5	12,08	24,160	6,040	461,069	0,998	0,0022	0,0022	U ₀ , B (з граф)
0,75	12,07	16,093	9,053	307,125	0,998	0,0032	0,0032	12,1
1	12,08	12,080	12,080	230,534	0,998	0,0043	0,0043	I _s , A
1,25	12,06	9,648	15,075	184,122	0,997	0,0054	0,0054	230,9160305
1,5	12,05	8,033	18,075	153,308	0,996	0,0065	0,0065	P ₀ , Вт
1,75	12,03	6,874	21,053	131,189	0,994	0,0076	0,0075	2794,084
2	12,01	6,005	24,020	114,599	0,993	0,0087	0,0086	
I, A	U _t , B	Re = U _t /I (Ом)	P = U _t * I (Вт)	Re / R _i	U _t / U ₀	I / I _s	P / P ₀	Змінили реостат
2,05	11,55	5,634	23,678	107,522	0,955	0,0089	0,0085	
2,05	10,55	5,146	21,628	98,213	0,872	0,0089	0,0077	
2,05	9,58	4,673	19,639	89,183	0,792	0,0089	0,0070	
2,05	8,51	4,151	17,446	79,222	0,703	0,0089	0,0062	
2,05	7,55	3,683	15,478	70,285	0,624	0,0089	0,0055	
2,05	6,55	3,195	13,428	60,976	0,541	0,0089	0,0048	
2,05								
2,05								

Рис. 7: Таблиця вимірювань для блока живлення

Вольт-амперна характеристика: Графік демонструє нелінійну поведінку приладу.

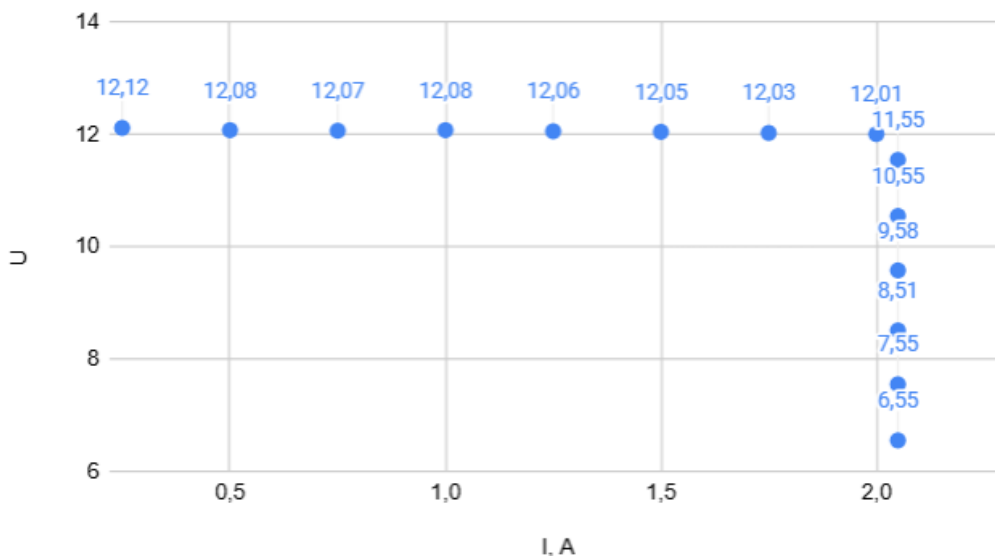


Рис. 8: Залежність $U_t(I)$ для блока живлення

Виявлено два режими роботи:

1. **Стабілізація напруги** ($0 - 2 \text{ A}$): $U_t \approx 12,1 \text{ В}$, $R_i = 0,0524 \text{ Ом}$.
2. **Обмеження струму** ($> 2 \text{ A}$): при досягненні $I = 2 \text{ А}$ напруга різко падає, а внутрішній опір джерела стрімко зростає.

Діаграма потужності: Графік ілюструє поведінку потужності в межах робочого діапазону стабілізації.

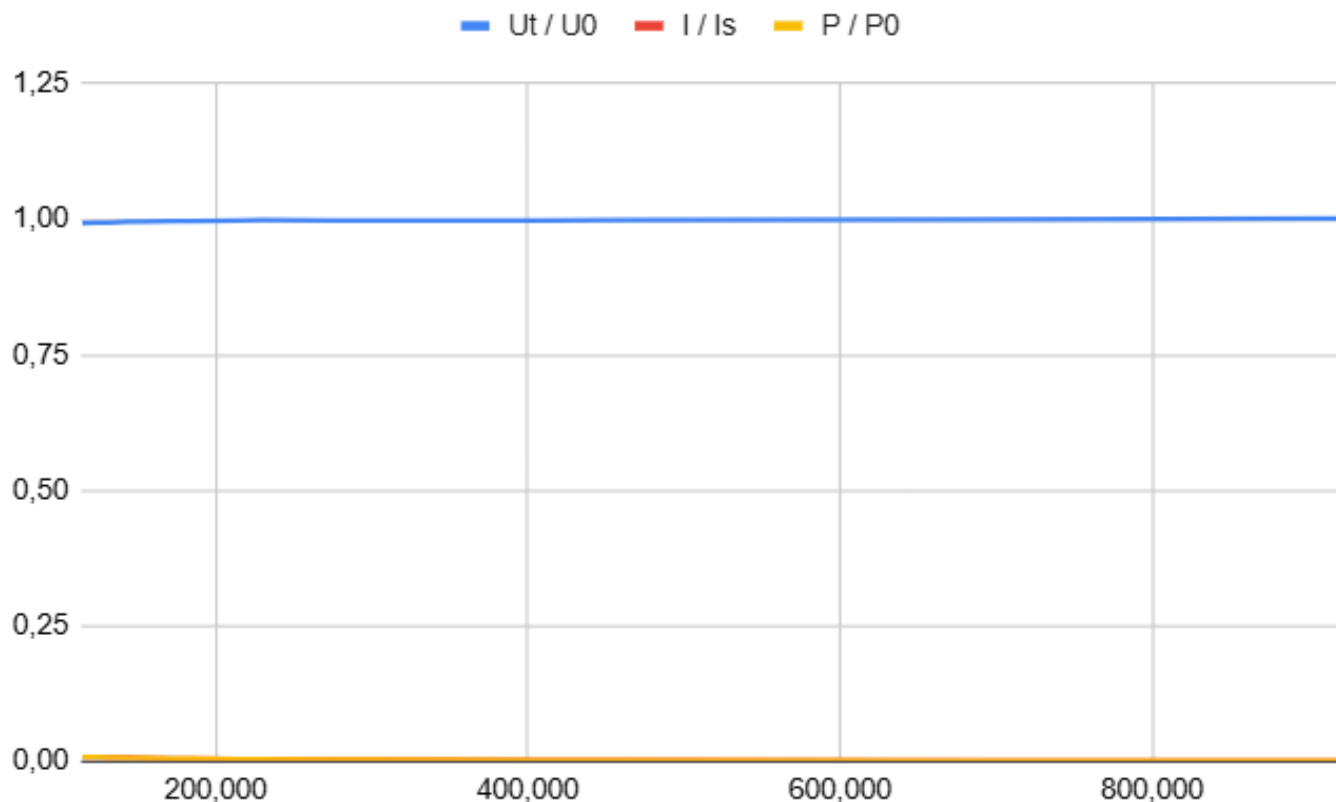


Рис. 9: Нормована діаграма потужності для блока живлення

Висновки

1. Експериментально підтверджено, що батарейка та акумулятор є лінійними джерелами напруги.
2. Визначено внутрішні опори: для батарейки $R_i = 1,39 \text{ Ом}$, для акумулятора $R_i \approx 0,132 \text{ Ом}$.
3. Для електронного блока живлення виявлено спрацювання захисту (обмеження струму) при $2,05 \text{ А}$, що робить його характеристику нелінійною.
4. Діаграми потужності підтверджують теорію узгодження джерела та навантаження.