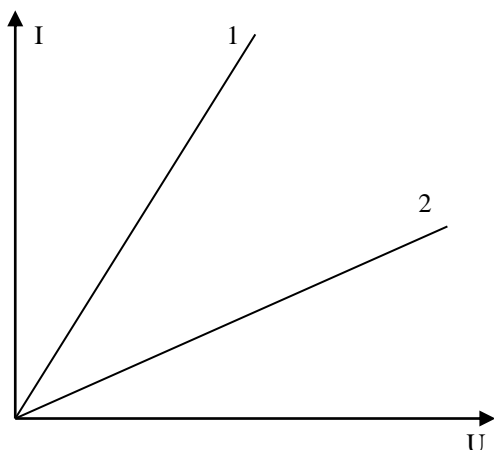


Problem komputerowy Nr 3.2.04 „Element nieliniowy w obwodzie - cz. I”

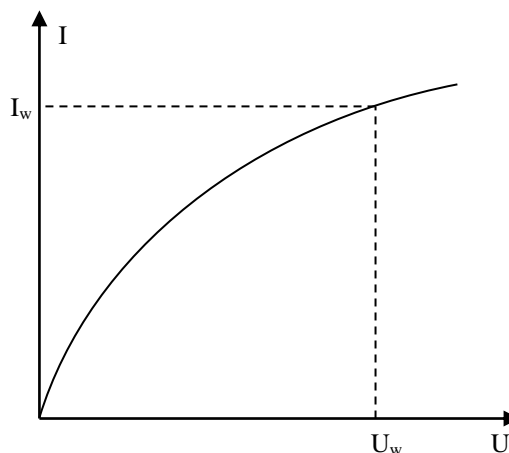
I. Z pracowni fizycznej.

1. Element nieliniowy obwodu.

W paragrafie 2.4 trzeciego tomu e-podręcznika opisano doświadczenie, w którym badana jest charakterystyka napięciowo-prądowa opornika. Uzyskana tam zależność $I(U)$ jest liniowa (rys. 1.). Oznacza to, że opór elektryczny R badanego opornika jest stały - nie zależy ani od napięcia ani od natężenia prądu. Nachylenie (stromizna) linii prostej informują nas o oporze elektrycznym badanego elementu - im nachylenie większe, tym opór ten jest mniejszy.



Rys. 1. Dwie liniowe charakterystyki. Różnice w nachyleniu pokazują, że opór elementu „1” (stroma linia) jest mniejszy od oporu elementu „2” (mniej stroma linia).



Rys. 2. Charakterystyka elementu nieliniowego. W miarę wzrostu napięcia, nachylenie linii maleje. Pokazuje to, że opór elementu wzrasta w miarę wzrostu napięcia i natężenia prądu. Napięcie U_w i natężenie I_w wyznaczają wzorcowy punkt na charakterystyce.

Nieco inny wynik uzyskano by, gdyby badanym elementem obwodu była żarówka. Jej włókno nagrzewa się w miarę zwiększania napięcia i natężenia prądu, co powoduje wzrost oporu elektrycznego włókna. W efekcie natężenie prądu rośnie, owszem, wraz z napięciem, ale wzrost ten jest nieliniowy i coraz słabszy (rys. 2.). Żarówka jest więc przykładem nieliniowego elementu obwodu.

2. Matematyczny opis charakterystyki $I(U)$ żarówki.

Najprostszy model osiągnięcia przez włókno żarówki równowagi termicznej z otoczeniem pozwala stwierdzić, że zależność natężenia prądu płynącego przez włókno od przyłożonego do niego napięcia ma postać funkcji potęgowej:

$$I(U) = I_w \cdot (U/U_w)^\alpha \quad (1)$$

Wielkości U_w i I_w to odpowiednio napięcie (dowolnie wybrane z obszaru charakterystyki) i zmierzone natężenie prądu odpowiadające temu napięciu. W praktyce najczęściej przyjmuje się dla U_w tzw. napięcie znamionowe (nominalne), podawane przez producenta żarówki. Przykładowo, dla żarówki przystosowanej do napięcia sieciowego w Polsce, $U_w = 230 \text{ V}$. Wtedy I_w to tzw. natężenie znamionowe; wynika ono z podawanej przez producenta mocy znamionowej P_w , zgodnie z równaniem:

$$P_w = I_w \cdot U_w \quad (2)$$

Wykładnik α w zależności (1) ma wartość 0,6 w sytuacji „włókna idealnego” (włókno jest traktowane jako ciało doskonale czarne, otoczone próżnią o temperaturze 0 K). W realnej sytuacji, zależnie od budowy żarówki, wartość wykładnika α może wynosić ok. 0,3-0,4. Wartość tę wyznacza się doświadczalnie - patrz „Problem komputerowy „Element nieliniowy w obwodzie - cz. II”.

Zależność (1) można odwrócić i wyrazić napięcie U zasilające żarówkę w funkcji natężenia prądu I przepływającego przez żarówkę; otrzymamy także funkcję potęgową:

$$U(I) = U_w \cdot (I/I_w)^{1/\alpha} \quad (3)$$

3. Szeregowe połączenie opornika i żarówki.

Jeśli połączymy szeregowo dwa oporniki (elementy liniowe) o stałych oporach R_1 i R_2 i podłączymy je do źródła napięcia o sile elektromotorycznej ε (patrz § 2.1 trzeciego tomu e-podręcznika), to II prawo Kirchhoffa (patrz § 2.8) pozwala w prosty sposób określić natężenie prądu I w takim obwodzie:

$$\varepsilon - U_1 - U_2 = 0 \Rightarrow I = \varepsilon / (R_1 + R_2) \quad (4)$$

Uwzględniamy przy tym, że napięcia na każdym z oporników są powiązane z ich oporami zależnością liniową:

$$U_1 = R_1 \cdot I \quad \text{oraz} \quad U_2 = R_2 \cdot I$$

Sprawa się nieco komplikuje, gdy łączymy szeregowo opornik z żarówką (rys. 3).

Równanie wynikające z II prawa Kirchhoffa przyjmuje wtedy postać:

$$\varepsilon - U_R - U = 0 \Rightarrow \varepsilon - R \cdot I - U = 0$$

Symbolem U oznaczono tu napięcie panujące na żarówce. Wyraża się ono poprzez natężenie prądu równaniem (3), co daje:

$$\varepsilon - R \cdot I - U_w \cdot (I/I_w)^{1/\alpha} = 0 \quad (5)$$

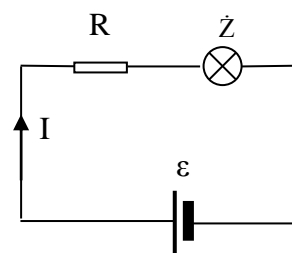
Wyznaczenie natężenia prądu I z tego równania w postaci algebraicznego wyrażenia jest dla dowolnego α niemożliwe!

4. Komputerowe rozwiązanie równania (5).

Równanie (5) można jednak rozwiązać tabelarycznie, graficznie oraz numerycznie. Można się przy tym posłużyć odpowiednio zaprogramowanym arkuszem kalkulacyjnym. Koncepcja rozwiązania tabelarycznego i graficznego wymaga zauważenia, że równanie to można przedstawić jako równość dwóch funkcji; argumentem obu jest natężenie prądu I :

$$\varepsilon - R \cdot I = U_w \cdot (I/I_w)^{1/\alpha} \quad (6)$$

Po lewej stronie znaku równości stoi liniowa funkcja I ; jej wartość dla $I = 0$ wynosi ε i jest ona malejąca. Po prawej stronie widzimy funkcję potęgową, której wartość dla $I = 0$ wynosi zero; jest ona rosnąca. Musi więc istnieć taka wartość I , dla której obie funkcje są sobie równe (ich wykresy się wtedy przetną) - ta właśnie wartość jest rozwiązaniem równania (5). Wartość tę znajdziemy - w przybliżeniu - porównując tabele wartości oraz wykresy obu funkcji.



rys. 3. Opornik i żarówka połączone szeregowo ze źródłem napięcia.

II. W pracowni informatycznej.

Rozwiązanie tabelaryczne i graficzne równania (5).

1. Ustaw parametry zadania:

- wykładnik α , domyślnie $\alpha = 0,6$;
- napięcie znamionowe żarówki U_w (w woltach), domyślnie $U_w = 230$ V;
- moc znamionowa żarówki P_w (w watach), domyślnie $P_w = 100$ W;
- natężenie znamionowe I_w (w amperach), obliczane przez program zgodnie ze wzorem (2);
- znamionowy opór elektryczny żarówki R_w (w omach), obliczane przez program zgodnie z prawem Ohma;
- siłę elektromotoryczną źródła napięcia ε (w woltach), domyślnie $\varepsilon = 230$ V;
- wartość oporu R (w omach), domyślnie $R = 500$ Ω .

	A	B
1		
2	α	
3	0,6	
4	U_w [V]	
5	230	
6	P_w [W]	
7	100	
8	I_w [A]	
9	0,43	
10	R_w [Ω]	
11	529,0	
12	ε [V]	
13	230	
14	R [Ω]	
15	500,0	

A9: $=A7/A5$

B11: $=A5/A9$

2. Przygotuj tabelę:

	A	B	C	D	E	F	G
1			U [V]	I[A]	U _R [V]	ε - U _R [V]	
2			10,0				
3			20,0				
4			30,0				
5			40,0				
6			50,0				
7			60,0				
8			70,0				
9			80,0				
10			90,0				
11			100,0				
12			110,0				
13			120,0				
14			130,0				
15			140,0				
16			150,0				
17			160,0				
18			170,0				
19			180,0				
20			190,0				
21			200,0				
22			210,0				
23			220,0				
24			230,0				
25							

3. Pierwszą kolumnę tabeli wypełnij wartościami napięcia. Zaczynij od wartości rzędu 5% U_w (około 10V). W kolejnych wierszach zwiększaj ją równomiernie co 10 tak, by uzyskać około 20 wartości, kończących się na U_w. W kolumnie tej znajdują się wartości funkcji po prawej stronie równości (6).

4. W następnej kolumnie (I) przygotuj tabelę z wartościami natężenia prądu, odpowiadającymi napięciom z kolumny „U” zgodnie ze wzorem (1). Ta kolumna będzie zawierała argumenty odkładane na osi odciętych (oś „x”)

$$I[A] \quad D1: =C2/5^A3$$

5. Kolejne dwie kolumny („U_R” i „ε - U_R”) zawierają: napięcia na oporniku, zgodnie z formułą U_R = R·I oraz funkcję po lewej stronie równości (6).

$$U_R[V] \quad E1: =D2*15$$

$$\epsilon - U_R [V] \quad F1: =13-E2$$

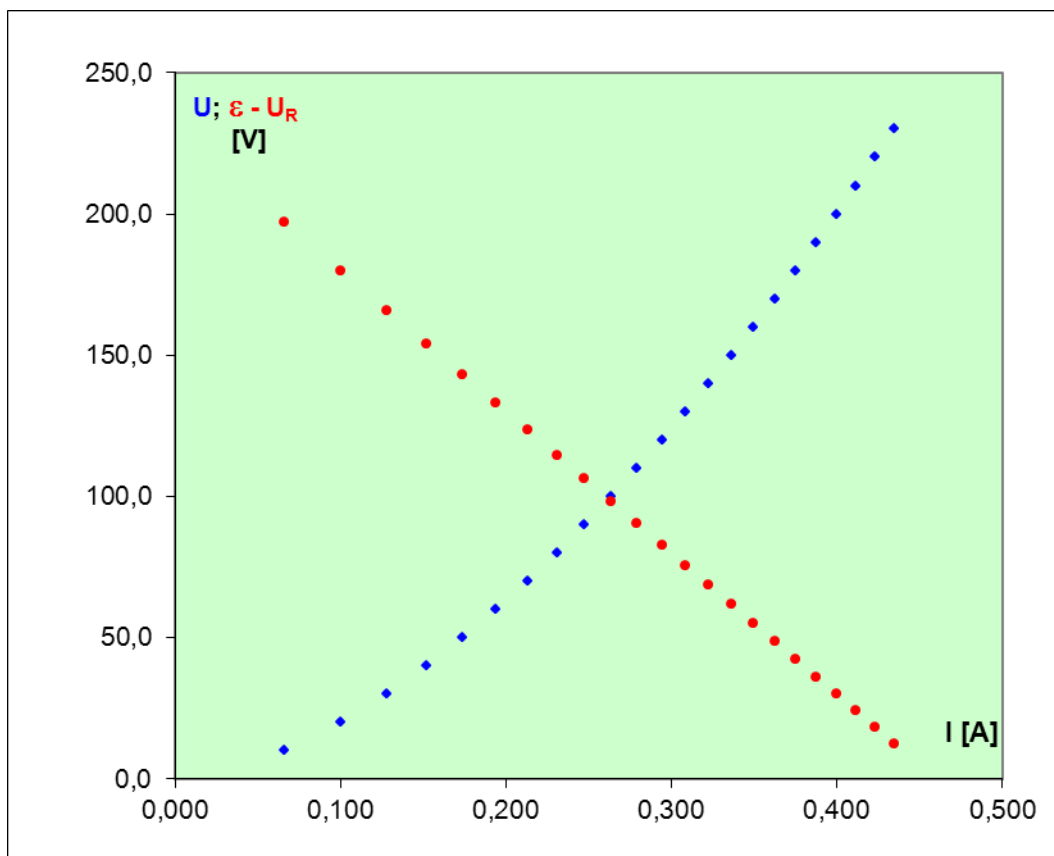
Zablokuj przy tym możliwość zmiany przez użytkownika parametrów obliczanych przez program.



Wypełniona tabela

	A	B	C	D	E	F
1			U [V]	I[A]	U _R [V]	$\varepsilon - U_R$ [V]
2	α		10,0	0,066	33,1	196,9
3	0,6		20,0	0,100	50,2	179,8
4	U _w [V]		30,0	0,128	64,0	166,0
5	230		40,0	0,152	76,1	153,9
6	P _w [W]		50,0	0,174	87,0	143,0
7	100		60,0	0,194	97,1	132,9
8	I _w [A]		70,0	0,213	106,5	123,5
9	0,43		80,0	0,231	115,4	114,6
10	R _w [Ω]		90,0	0,248	123,8	106,2
11	529,0		100,0	0,264	131,9	98,1
12	ε [V]		110,0	0,279	139,7	90,3
13	230		120,0	0,294	147,1	82,9
14	R [Ω]		130,0	0,309	154,4	75,6
15	500,0		140,0	0,323	161,4	68,6
16			150,0	0,336	168,2	61,8
17			160,0	0,350	174,9	55,1
18			170,0	0,363	181,3	48,7
19			180,0	0,375	187,7	42,3
20			190,0	0,388	193,8	36,2
21			200,0	0,400	199,9	30,1
22			210,0	0,412	205,8	24,2
23			220,0	0,423	211,7	18,3
24			230,0	0,435	217,4	12,6

6. Przedstaw na wspólnym wykresie funkcje $U(I)$ oraz $\varepsilon - U_R(I)$.



7. Znajdź na wykresie punkt przecięcia obu funkcji i odczytaj - orientacyjnie - wartość natężenia prądu I tego punktu. Wartość ta jest rozwiązaniem równania (5) - określa ona natężenie prądu płynącego w obwodzie z rys. 3 z zadanymi przez Ciebie parametrami. Możesz także znaleźć wiersz, w którym wartości z kolumn „U” i „ $\varepsilon - U_R$ ” są najbardziej do siebie zbliżone. Wartość z kolumny „I” w tym wierszu jest rozwiązaniem równania (5).
8. Zaproponuj i wykonaj modyfikację (uzupełnienie) arkusza, dzięki któremu będzie można odczytać tabelaryczne i graficzne rozwiązanie równania (5) z lepszą dokładnością.

Rozwiązanie numeryczne równania (5).

Do dokładnego wyznaczenia dokładnego rozwiązania użyj narzędzia *Solver*

1. Przygotuj tabelę:

	H	I	J	K	L	M	N
1							
21							
22							
23		U [V]	I [A]	UR [V]	$\varepsilon - U_R$ [V]	$\varepsilon - U_R - U$	
24							
25							
26							

2. Do komórek wprowadź wzory:

J24: $=\$A\$9*(I24/\$A\$5)^{\$A\$3}$

K24: $=J24*\$A\15

L24: $=\$A\$13-K24$

M24: $=L24-I24$

Komórkę I24 pozostaw pustą. Tu zostanie wpisany wynik rozwiązania

3. Z Dane/Analiza uruchom *Solver* i wprowadź parametry:

Parametry dodatku Solver

Ustaw cel:

Na: Maks Mjn Wartość:

Przez zmienianie komórek zmiennych:

Podlegających ograniczeniom:

Ustaw wartości nieujemne dla zmiennych bez ograniczeń

Wybierz metodę rozwiązywania:

Metoda rozwiązywania

W przypadku gładkich nieliniowych problemów dodatku Solver wybierz aparat nieliniowy GRG. Dla liniowych problemów dodatku Solver wybierz aparat LP simpleks, natomiast w przypadku problemów, które nie są gładkie, wybierz aparat ewolucyjny.

Pomoc Rozwiąż Zamknij

Otrzymane rozwiązanie:

	A	G	H	I	J	K	L	M	N
1									
21									
22									
23				$U [V]$	$I[A]$	$U_R [V]$	$\epsilon - U_R [V]$	$\epsilon - U_R [V] - U$	
24				98,9	0,262	131,1	98,9	0,0	
25									
26									



KAPITAŁ LUDZKI
CZŁOWIEK – NAJLEPSZA INWESTYCJA!



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

III. Do pracowni fizycznej.

Wykorzystaj przygotowany arkusz do rozwiązania następujących dwóch problemów.

1. Żarówka ma nominalne parametry $U_w = 230 \text{ V}$ i $P_w = 100 \text{ W}$. Wykładnik zależności $I(U)$ tej żarówki $\alpha = 0,6$. Żarówkę tę włączono do domowej instalacji w Stanach Zjednoczonych, gdzie napięcie sieciowe wynosi 110 V .
 - a) Oblicz moc P z jaką świecić będzie ta żarówka.
 - b) Oblicz opór elektryczny R żarówki podłączonej do napięcia 110 V i porównaj ten opór z jej oporem nominalnym R_w .
 - c) Porównaj moc P z mocą P' obliczoną przy założeniu, że opór żarówki nie zmienia się wraz z napięciem.
2. Żaróweczka do latarki ma nominalne parametry $U_w = 6 \text{ V}$ i $P_w = 6 \text{ W}$. Wykładnik zależności $I(U)$ tej żarówki $\alpha = 0,4$. Żarówkę tę zasilono płaską baterią o SEM $\varepsilon = 4,5 \text{ V}$ i oporze wewnętrznym $r = 0,8 \Omega$.
 - a) Oblicz moc P z jaką świeci ta żaróweczka.
 - b) Użytkownik, niezadowolony z uzyskanego efektu, połączył szeregowo dwie identyczne płaskie baterie i zasilił nimi żaróweczkę. Zbadaj, czy uzyskał on w ten sposób świecenie z nominalną mocą.

Rozwiązania i komentarze

Zadanie 1

Dane zapisane w tabeli w arkuszu kalkulacyjnym mogą być przydatne do analizy różnych problemów. Spróbujmy obliczyć jaka będzie moc żarówki 100 W gdy podłączymy ją do sieci energetycznej w USA. Wykorzystamy znane wzory na moc:

$$P = U^2/R \text{ oraz } P = U \cdot I$$

i zaczerpniemy dane z tabeli.

	A	B	C	D	E	F	G
1			U [V]	I[A]	UR [V]	e - UR [V]	P[W]
2	α		10,0	0,066	33,1	196,9	0,66258
3	0,6		20,0	0,100	50,2	179,8	2,00855
4	Uw [V]		30,0	0,128	64,0	166,0	3,84264
5	230		40,0	0,152	76,1	153,9	6,0888
6	Pw [W]		50,0	0,174	87,0	143,0	8,70137
7	100		60,0	0,194	97,1	132,9	11,6487
8	Iw [A]		70,0	0,213	106,5	123,5	14,9071
9	0,43		80,0	0,231	115,4	114,6	18,4578
10	Rw [Ω]		90,0	0,248	123,8	106,2	22,2856
11	529,0		100,0	0,264	131,9	98,1	26,3776
12	e [V]		110,0	0,279	139,7	90,3	30,723
13	230		120,0	0,294	147,1	82,9	35,3123
14	R [Ω]		130,0	0,309	154,4	75,6	40,137
15	500,0		140,0	0,323	161,4	68,6	45,1898
16			150,0	0,336	168,2	61,8	50,464
17			160,0	0,350	174,9	55,1	55,9535
18			170,0	0,363	181,3	48,7	61,6529
19			180,0	0,375	187,7	42,3	67,5572
20			190,0	0,388	193,8	36,2	73,6616
21			200,0	0,400	199,9	30,1	79,962
22			210,0	0,412	205,8	24,2	86,4542
23			220,0	0,423	211,7	18,3	93,1347
24			230,0	0,435	217,4	12,6	100
25			98,9	0,262	131,1	98,9	25,9346
26							

	A	B	C	D	E	F	G
1			U [V]	I[A]	UR [V]	e - UR [V]	P[W]
2	α		10,0	0,066	33,1	196,9	0,66258
3	0,6		20,0	0,100	50,2	179,8	2,00855
4	Uw [V]		30,0	0,128	64,0	166,0	3,84264
5	230		40,0	0,152	76,1	153,9	6,0888
6	Pw [W]		50,0	0,174	87,0	143,0	8,70137
7	100		60,0	0,194	97,1	132,9	11,6487
8	Iw [A]		70,0	0,213	106,5	123,5	14,9071
9	0,43		80,0	0,231	115,4	114,6	18,4578
10	Rw [Ω]		90,0	0,248	123,8	106,2	22,2856
11	529,0		100,0	0,264	131,9	98,1	26,3776
12	e [V]		110,0	0,279	139,7	90,3	30,723
13	230		120,0	0,294	147,1	82,9	35,3123
14	R [Ω]		130,0	0,309	154,4	75,6	40,137
15	500,0		140,0	0,323	161,4	68,6	45,1898
16			150,0	0,336	168,2	61,8	50,464
17			160,0	0,350	174,9	55,1	55,9535
18			170,0	0,363	181,3	48,7	61,6529
19			180,0	0,375	187,7	42,3	67,5572
20			190,0	0,388	193,8	36,2	73,6616
21			200,0	0,400	199,9	30,1	79,962
22			210,0	0,412	205,8	24,2	86,4542
23			220,0	0,423	211,7	18,3	93,1347
24			230,0	0,435	217,4	12,6	100
25			98,9	0,262	131,1	98,9	25,9346
26							



KAPITAŁ LUDZKI
CZŁOWIEK – NAILEPSZA INWESTYCJA!



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Policzmy teraz opór elektryczny podłączonej żarówki do instalacji o napięciu 110 V:

100,0	0,264	131,9	98,1	26,3776	R[Ω]
110,0	0,279	139,7	90,3	30,723	393,842
120,0	0,294	147,1	82,9	35,3123	
130,0	0,309	154,4	75,6	40,137	
140,0	0,323	161,4	68,6	45,1898	
150,0	0,336	168,2	61,8	50,464	
160,0	0,350	174,9	55,1	55,9535	
170,0	0,363	181,3	48,7	61,6529	
180,0	0,375	187,7	42,3	67,5572	
190,0	0,388	193,8	36,2	73,6616	
200,0	0,400	199,9	30,1	79,962	
210,0	0,412	205,8	24,2	86,4542	
220,0	0,423	211,7	18,3	93,1347	
230,0	0,435	217,4	12,6	100	529
98,9	0,262	131,1	98,9	25,9346	

Widać stąd, że opór żarówki podłączonej do instalacji o napięciu 230 V jest większy niż opór żarówki podłączonej do instalacji 110 V. Jest to zgodne z tym, co napisaliśmy wcześniej: żarówka ma nieliniową charakterystykę prądowo - napięciową. Zwróćmy uwagę, że zwiększając napięcie od 110 V do 230 V czyli 2,09 razy, obserwujemy wzrost natężenia prądu tylko 1,56 razy. Spowodowane jest to tym, że wskutek przepływu prądu elektrycznego przez włókno żarówki wzrasta temperatura włókna, zatem wzrasta opór:

$$528,7 \Omega > 393,8 \Omega$$

c) Gdyby żarówka miała charakterystykę liniową, czyli opór jej włókna nie ulegał zmianie pomimo zmiany napięcia, to moc żarówki powinna zmieniać się kwadratowo wraz z napięciem, zgodnie z równaniem:

$$\frac{P_w}{P'} = \frac{U_w^2 / R_w}{U'^2 / R'} = \left(\frac{U_w}{U'} \right)^2 = 4,37$$

W powyższym równaniu przyjęliśmy $R' = R_w$, $U_w = 230 \text{ V}$ i $U = 110 \text{ V}$. Uzyskany wynik oznacza, że moc P' wynosiłaby ok. 22,9 W.

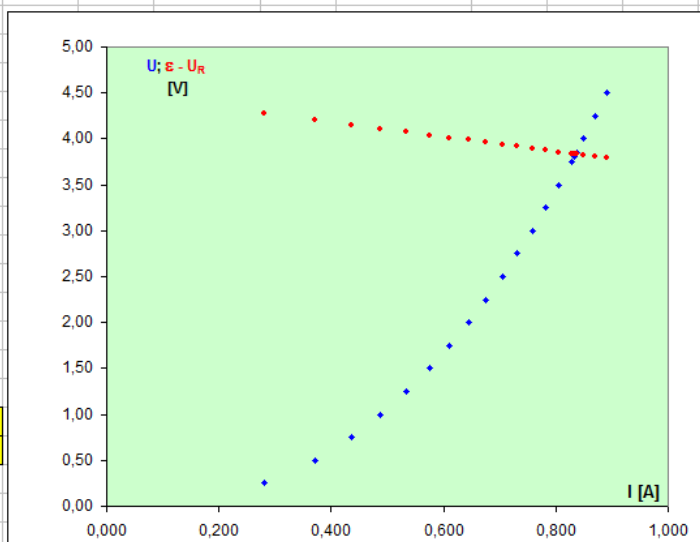
Obliczona przy założeniu zadania moc jest więc mniejsza od mocy obliczonej w tabeli, która wynosi ok. 30,7 W. Przy stałej wartości oporu, moc malałaby więc silniej wraz ze spadkiem napięcia zasilającego żarówkę niż ma to miejsce w rzeczywistości, gdy jej opór także maleje wraz ze spadkiem napięcia.

Zadanie 2

W tym zadaniu rolę opornika szeregowo połączonego z żaróweczką odgrywa wewnętrzny opór r użytej baterii płaskiej.

a) Zbudujmy w arkuszu tabelę analogiczną jak poprzednio, ale uwzględnijmy podane wartości wielkości fizycznych.

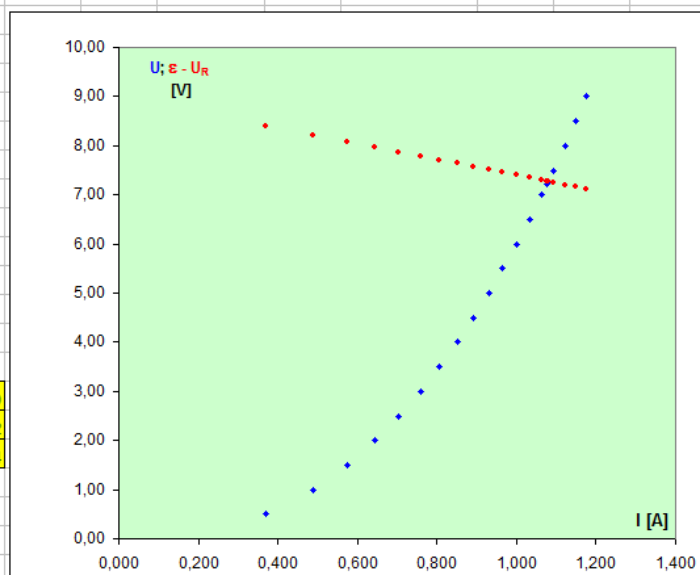
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
			U [V]	I[A]	U _r [V]	$\varepsilon - U_r$ [V]	P _z [W]	R _z [Ω]								
1																
2	α		0,25	0,280	0,22	4,28										
3	0,4		0,50	0,370	0,30	4,20										
4	U _w [V]		0,75	0,435	0,35	4,15										
5	6		1,00	0,488	0,39	4,11										
6	P _w [W]		1,25	0,534	0,43	4,07										
7	6		1,50	0,574	0,46	4,04										
8	I _w [A]		1,75	0,611	0,49	4,01										
9	1,00		2,00	0,644	0,52	3,98										
10	R _w [Ω]		2,25	0,675	0,54	3,96										
11	6,0		2,50	0,705	0,56	3,94										
12	ε [V]		2,75	0,732	0,59	3,91										
13	4,5		3,00	0,758	0,61	3,89										
14	r [Ω]		3,25	0,783	0,63	3,87										
15	0,8		3,50	0,806	0,64	3,86										
16			3,75	0,829	0,66	3,837										
17			3,80	0,833	0,67	3,834	3,17	4,56								
18			3,85	0,837	0,67	3,830	3,22	4,60								
19			4,00	0,850	0,68	3,82										
20			4,25	0,871	0,70	3,80										
21			4,50	0,891	0,71	3,79										
22																



Jak widać, żaróweczka o parametrach podanych w zadaniu, zasilana płaską baterią, świecić będzie z mocą około 3,2 W, czyli niewiele ponad połowę mocy nominalnej. Jest to zrozumiałe - efektywne napięcie zasilające tę żarówkę wynosi ok. 3,82 V, podczas gdy nominalne jej napięcie wynosi 6 V. Stan ten zachęca do „eksperymentu” polegającego na zasileniu tej żarówki dwiema bateriami płaskimi. Musimy jednak pamiętać, że może się to skończyć przewoltowaniem żarówki (zasilenie jej napięciem większym od nominalnego), co może doprowadzić do jej przepalenia.

b) Aby dowiedzieć się jaka będzie moc żarówki, gdy SEM ε zwiększymy do 9 V, należy zmodyfikować tabelę. Pamiętajmy, że druga bateria ma także opór wewnętrzny, więc wypadkowy $r = 1,6 \Omega$.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
			U [V]	I[A]	U _r [V]	$\varepsilon - U_r$ [V]	P _z [W]	R _z [Ω]								
1																
2	α		0,50	0,370	0,59	8,41										
3	0,4		1,00	0,488	0,78	8,22										
4	U _w [V]		1,50	0,574	0,92	8,08										
5	6		2,00	0,644	1,03	7,97										
6	P _w [W]		2,50	0,705	1,13	7,87										
7	6		3,00	0,758	1,21	7,79										
8	I _w [A]		3,50	0,806	1,29	7,71										
9	1,00		4,00	0,850	1,36	7,64										
10	R _w [Ω]		4,50	0,891	1,43	7,57										
11	6,0		5,00	0,930	1,49	7,51										
12	ε [V]		5,50	0,966	1,55	7,45										
13	9		6,00	1,000	1,60	7,40										
14	r [Ω]		6,50	1,033	1,65	7,35										
15	1,6		7,00	1,064	1,70	7,30										
16			7,22	1,077	1,72	7,277	7,77	6,70								
17			7,25	1,079	1,73	7,274	7,82	6,72								
18			7,28	1,080	1,73	7,271	7,87	6,74								
19			7,50	1,093	1,75	7,25										
20			8,00	1,122	1,80	7,20										
21			8,50	1,149	1,84	7,16										
22			9,00	1,176	1,88	7,12										



Uzyskana tabela oraz wykres pokazują, że teraz żarówka jest zasilana prądem o natężeniu ok. 1,08 A, przy efektywnym napięciu zasilającym ok. 7,28 V. Świeci więc ona z mocą około 7,87 W,

czyli ok. 30% większą od mocy nominalnej. Należy zatem przypuszczać, że „życie” owej żarówki będzie krótsze, niż przewidział to producent, choć nie powinno dojść do gwałtownego jej przepalenia natychmiast po włączeniu latarki.



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego