

LABORATORIUM

MATERIAŁOZNAWSTWO ELEKTROTECHNICZNE

Ćwiczenie nr 11

Badanie ogniw fotowoltaicznych wykonanych w różnych technologiach

Lublin 2025 r.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.
Utwór dostępny jest na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe.

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest szczegółowa analiza i porównanie sprawności ogniw fotowoltaicznych wykonanych w różnych technologiach, takich jak ogniwa monokrystaliczne, polikrystaliczne oraz wielozłączowe. Ćwiczenie ma na celu zbadanie wpływu zastosowanych materiałów i technologii produkcji na efektywność konwersji energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną.

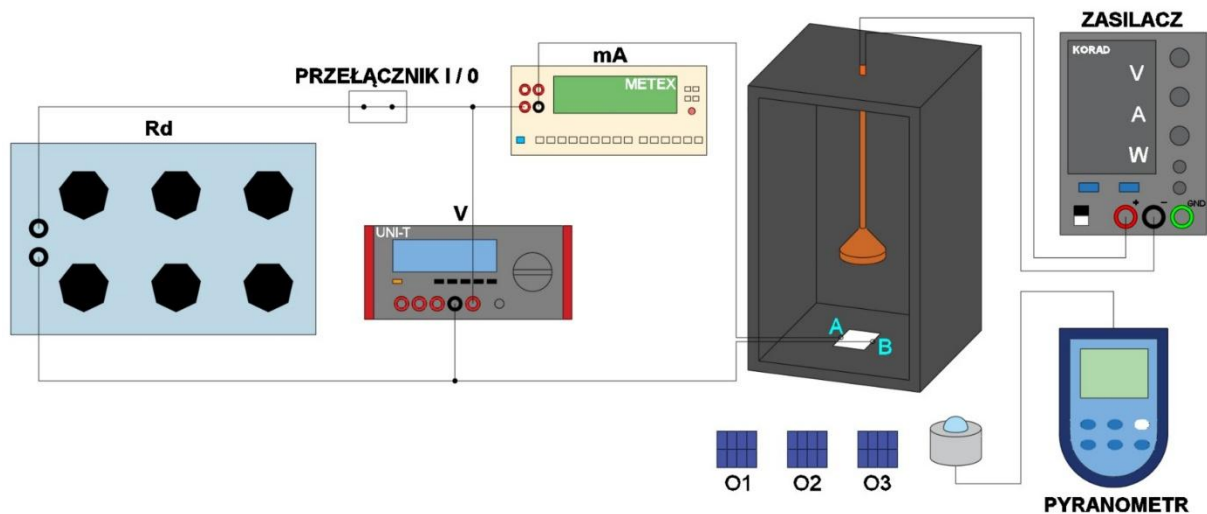
Zakres ćwiczenia

W ramach ćwiczenia przeprowadzone zostaną badania ogniw fotowoltaicznych wykonanych w różnych technologiach, takich jak ogniwa monokrystaliczne, polikrystaliczne oraz wielozłączowe. Badania obejmą pomiar kluczowych parametrów elektrycznych, w tym napięcia obwodu otwartego (V_{OC}), prądu zwarcowego (I_{SC}), mocy maksymalnej (P_{max}) oraz współczynnika wypełnienia (FF). Ćwiczenie uwzględni również analizę wpływu warunków pracy ogniw słonecznych, takich jak intensywność światła, na ich sprawność.

Na podstawie wykonanych pomiarów zostaną opracowane charakterystyki prądowo-napięciowe oraz mocy w zależności od rezystancji obciążenia R_d , co pozwoli na wyznaczenie optymalnej rezystancji dopasowania obciążenia R_{opt} . W szczególności analizie poddana zostanie efektywność konwersji energetycznej, w celu określenia, który typ ogniw fotowoltaicznych osiąga najlepsze wyniki w różnych warunkach oświetleniowych.

Uzyskane wyniki pomiarów i analizy umożliwią głębsze zrozumienie zależności pomiędzy strukturą materiałów a ich właściwościami elektrycznymi, co jest kluczowe dla optymalizacji wydajności systemów fotowoltaicznych oraz ich praktycznego zastosowania.

Stanowisko pomiarowe



Rysunek. 1. Schemat układu do pomiaru właściwości ogniw fotowoltaicznych.

W układzie pomiarowym zostały wykorzystane następujące elementy:

- Zasilacz KORAD U202
- miliwoltomierz cyfrowy Unit-T UT803,
- miliamperomierz cyfrowy Metex MXD-4660A,
- Foto-radiometr Delta OHM HD2302.0 z przetwornikiem promieniowania;
- Jako obciążenie w obwodzie pomiarowym wykorzystany został rezystor dekadowy o zakresie rezystancji $(0 \div 1) \text{ M}\Omega$.

Wykonanie ćwiczenia

Pomiar charakterystyk prądowo napięciowych

Pomiary należy przeprowadzić dla trzech ogniw fotowoltaicznych wykonanych w różnych technologiach, takich jak ogniwa monokrystaliczne, polikrystaliczne oraz wielozłączowe zgodnie z układem przedstawionym na rysunku 1. Dla trzech zadanych przez prowadzącego zajęcia napięć zasilających lampę halogenową (odpowiadającym trzem wartościom natężenia promieniowania słonecznego) w zakresie od 2V do 12V wykonać pomiary prądu i napięcia dla wartości rezystancji obciążenia R_d w zakresie od 10Ω do $1\text{M}\Omega$, podanych w tabeli 1. Następnie dla każdej zmierzonej wartości napięć zasilających (natężenia promieniowania), należy również

3



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.
Utwór dostępny jest na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe.

zmierzyć prąd zwarcia I_{ZF} oraz napięcie jałowe ogniwa U_{0F} . Aby wykonać ćwiczenie, należy wykonać następujące kroki:

1. Pomiary wykonywane są dla trzech napięć zasilania lampki halogenowej (U_{z1} , U_{z2} , U_{z3}) w zakresie od 2V do 12V. Wartości napięć określa prowadzący ćwiczenia przed wykonaniem ćwiczenia. Wartości napięć należy zapisać w tabeli 1.
2. Na zasilaczu ustawić zadaną wartość napięcia zasilania U_{z1} lampki halogenowej.
3. W miejscu zacisków **AB** (oznaczonych na rysunku 1) umieścić przetwornik promieniowania (czujnik pyranometru), tak aby źródło światła skierowane było prostopadle do czujnika pyranometru (żarówka halogenowa znajduje się nad czujnikiem). Odczytać wartość irradiancji w jednostkach W/m^2 i zapisać w tabeli 1.
4. Pomiary wykonać dla pozostałych wartości napięcia zasilania (U_{z2} , U_{z3}).
5. W miejsce zacisków **AB** (oznaczonych na rysunku 1) podłączyć ogniwo **O1** (ogniwo monokrystaliczne).
6. Na zasilaczu ustawić zadaną wartość napięcia zasilania U_{z1} lampki halogenowej.
7. Ustawić **przełącznik 1** w pozycji „1”.
8. Na rezystorze dekadowym R_d ustawić wymaganą wartość rezystancji, zgodnie z tabelą 1.
9. Odczytać wartość prądu I_1 na amperomierzu oraz wartość napięcia U_1 na woltomierzu, a następnie zapisać wynik w tabeli 1.
10. Powtórzyć pomiar dla wszystkich wartości rezystancji R_d .
11. Dla określonego napięcia zasilania lampki halogenowej U_{z1} , należy dokonać pomiaru prądu zwarcia I_{ZF} , ustawiając wartość rezystancji R_d na wartość „0”, ustawiając **przełącznik 1** w pozycji „1” (stan zwarcia). Należy odczytać wartość prądu zwarcia I_{ZF} na amperomierzu i zapisać wynik w tabeli 4.
12. Dla określonego napięcia zasilania lampki halogenowej U_{z1} , należy dokonać pomiaru napięcia jałowego U_{0F} , ustawiając wartość rezystancji R_d na wartość „0”, ustawiając **przełącznik 1** w pozycji „0” (stan jałowy). Odczytać wartość napięcia jałowego U_{0F} na woltomierzu i zapisać wynik w tabeli 4.

13. Powtórzyć pomiary dla pozostałych wartości napięcia zasilającego (U_{z2} , U_{z3}), wykonując czynności od punktu 6 i zapisując wyniki w tabelach 1 oraz 4.
14. Pomiary powtórzyć dla pozostałych ogniw fotowoltaicznych (**O2**, **O3**), zaczynając pomiary od punktu 5. Wyniki badań zapisać w tabelach 1-4.

Tabela 1. Charakterystyka prądowo napięciowa ogniwa monokrystalicznego

Ogniwo monokrystaliczne – O1										
Lp.	R_d	$U_{z1} = \dots\dots\dots V$ $E_1 = \dots\dots\dots W/m^2$			$U_{z2} = \dots\dots\dots V$ $E_2 = \dots\dots\dots W/m^2$			$U_{z3} = \dots\dots\dots V$ $E_3 = \dots\dots\dots W/m^2$		
		I_1	U_1	P_1	I_2	U_2	P_2	I_3	U_3	P_3
		mA	V	mW	mA	V	mW	mA	V	mW
1.	10									
2.	20									
3.	30									
4.	40									
5.	50									
6.	60									
7.	80									
8.	100									
9.	120									
10.	150									
11.	200									
12.	300									
13.	400									
14.	500									
15.	700									
16.	1 000									
17.	1 500									
18.	2 000									
19.	4 000									
20.	6 000									
21.	8 000									
22.	10 000									



Tabela 2. Charakterystyka prądowo napięciowa ogniwa polikrystalicznego

Ogniwo polikrystaliczne – O2										
Lp.		$U_{z1} = \dots\dots\dots V$ $E_1 = \dots\dots\dots W/m^2$			$U_{z2} = \dots\dots\dots V$ $E_2 = \dots\dots\dots W/m^2$			$U_{z3} = \dots\dots\dots V$ $E_3 = \dots\dots\dots W/m^2$		
	R_d	I_1	U_1	P_1	I_2	U_2	P_2	I_3	U_3	P_3
	Ω	mA	V	mW	mA	V	mW	mA	V	mW
1.	10									
2.	20									
3.	30									
4.	40									
5.	50									
6.	60									
7.	80									
8.	100									
9.	120									
10.	150									
11.	200									
12.	300									
13.	400									
14.	500									
15.	700									
16.	1 000									
17.	1 500									
18.	2 000									
19.	4 000									
20.	6 000									
21.	8 000									
22.	10 000									



Tabela 3. Charakterystyka prądowo napięciowa ogniwa wielozłączonego.

Ogniwo wielozłączone – O3										
Lp.		$U_{z1}=\dots\dots V$ $E_1=\dots\dots W/m^2$			$U_{z2}=\dots\dots V$ $E_2=\dots\dots W/m^2$			$U_{z3}=\dots\dots V$ $E_3=\dots\dots W/m^2$		
	R_d	I_1	U_1	P_1	I_2	U_2	P_2	I_3	U_3	P_3
	Ω	mA	V	mW	mA	V	mW	mA	V	mW
1.	10									
2.	20									
3.	30									
4.	40									
5.	50									
6.	60									
7.	80									
8.	100									
9.	120									
10.	150									
11.	200									
12.	300									
13.	400									
14.	500									
15.	700									
16.	1 000									
17.	1 500									
18.	2 000									
19.	4 000									
20.	6 000									
21.	8 000									
22.	10 000									

Tabela 4. Prąd zwarcia oraz napięcie jałowe badanych ogniw.

Napięcia zasilania	Ogniwo monokrystaliczne			Ogniwo polikrystaliczne			Ogniwo wielozłączone		
	I_{ZF}	U_{0F}	FF	I_{ZF}	U_{0F}	FF	I_{ZF}	U_{0F}	FF
	mA	V	-	mA	V	-	mA	V	-
$U_{z1}=\dots\dots V$									
$U_{z2}=\dots\dots V$									
$U_{z3}=\dots\dots V$									

Oznaczenia w tabelach:

- R_d - rezystancja obciążenia w obwodzie pomiarowym,
- U_z - napięcie zasilania żarówki halogenowej,
- I_1 - prąd płynący przez rezystancję obciążenia,
- U_1 - spadek napięcia na rezystancji obciążenia,
- P - moc w obwodzie.
- I_{ZF} - prąd zwarcia fotoogniwa,
- U_{OF} - napięcie jałowe fotoogniwa.
- E - natężenie promieniowania.
- FF - współczynnik wypełnienia (ang. *Fill Factor*).

Opracowanie wyników

Wyznaczanie charakterystyk prądowo-napięciowych i rezystancji dopasowania

Na podstawie uzyskanych wyników (tabele 1-3) należy wykreślić charakterystyki prądowo-napięciowe $I=f(U)$ dla trzech ogniw fotowoltaicznych tj. ogniwa monokrystaliczne, polikrystaliczne oraz wielozłączowe. Charakterystyki prądowo-napięciowe dla różnych napięć zasilających powinny być przedstawione na wspólnym wykresie w skali liniowej. Aby wyznaczyć charakterystyki mocy w zależności od rezystancji obciążenia R_d należy skorzystać ze wzoru:

$$P(R_d) = U \cdot I \quad (1)$$

Wyniki obliczeń mocy zapisać w tabelach 1-3. Na podstawie uzyskanych wyników obliczeń, na wspólnym wykresie, należy przedstawić zależność mocy od rezystancji obciążenia $P=f(R_d)$ dla każdej wartości natężenia promieniowania. Wykresy powinny być wykonane w skali logarytmicznej, ze względu na szeroki zakres zadanych rezystancji obciążenia. Na podstawie sporządzonych wykresów należy wyznaczyć wartość optymalnej rezystancji dopasowania obciążenia R_{opt} .

Wyznaczanie sprawności ogniw fotowoltaicznych

Dla uzyskanych wartości maksymalnych mocy należy policzyć sprawność poszczególnych ogniw korzystając ze wzoru (2) i zanotować w tabeli 5.

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{light}} \quad (2)$$

gdzie: P_{max} – najwyższa moc ogniwa P_{light} – moc świetlna padająca na ogniwo.

Moc świetlna padająca na ogniwo obliczamy ze wzoru (3):

$$P_{light} = E \cdot A \quad (3)$$

gdzie: E – natężenie promieniowania świetlnego, A – powierzchnia ogniwa

Współczynnik FF (ang. *Fill Factor*) w kontekście ogniw fotowoltaicznych jest miarą jakości ogniwa i wskazuje, jak efektywnie ogniwo fotowoltaiczne przekształca światło słoneczne na energię elektryczną. FF jest jednym z kluczowych parametrów charakteryzujących ogniwo fotowoltaiczne obok napięcia jałowego (U_{OC}), prądu zwarciovego (I_{SC}) oraz mocy maksymalnej (P_{max}).

Współczynnik FF możemy obliczyć ze wzoru i zapisać w tabeli 4 dla każdego napięcia zasilania lamki halogenowej:

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{ZF} \cdot U_{OF}} \quad (4)$$

gdzie: P_{max} - moc maksymalna ogniwa (moc uzyskana przy optymalnym obciążeniu), U_{OC} - napięcie jałowe (napięcie ogniwa, gdy nie jest obciążone), I_{SC} - prąd zwarciovowy.

Po obliczeniu współczynników FF dla różnych napięć zasilania lamką halogenową należy policzyć wartość średnią i zapisać w tabeli 5. Na podstawie uzyskanych wyników i charakterystyk opracować wnioski z wykonanego ćwiczenia.

Tabela 5. Powierzchnia i obliczenia sprawności ogniw fotowoltaicznych

Rodzaj ogniwa	A	FF _{sr}	Sprawność η
	m ²	-	-
Monokrystaliczne	0,00385		
Polikrystaliczne	0,00151		
Wielozłączowe	0,0001		

Opracowanie sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać:

- schematy układów pomiarowych,
- tabele wyników przeprowadzonych pomiarów,
- przykładowe obliczenia,
- wykresy zależności: $I = f(U)$, $P = f(R_d)$, dla wszystkich badanych ogniw fotowoltaicznych,
- obliczenia współczynnika FF oraz sprawności dla wszystkich badanych ogniw fotowoltaicznych,
- uwagi i wnioski odnośnie otrzymanych wyników.