



## Laboratorium Fotoogniw dla NI

### IV. EFEKT FOTOWOLTAICZNY. OGNIWO SŁONECZNE

Cel ćwiczenia: 1. Zbadanie zależności fotoprądu zwarcia i fotonapięcia zwarcia od natężenia oświetlenia. 2. Wyznaczenie sprawności energetycznej ogniwa słonecznego

#### Opis stanowiska:

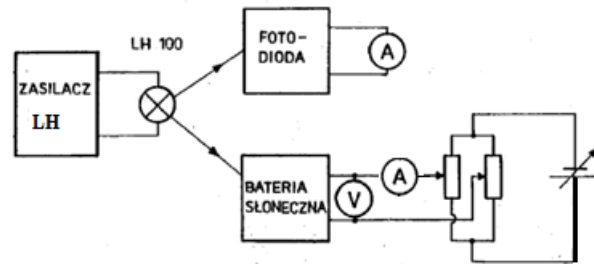
1. Autotransformator.
2. Zasilacz halogenowy ZH100.
3. Źródło światła - lampa halogenowa LH100.
4. Badane ogniwo słoneczne o powierzchni światłoczułej  $85 \text{ mm}^2$  i powierzchni przedniej  $100 \text{ mm}^2$ .
5. Fotodiody BPDP o czułości  $0.056 \text{ A/W}$  dla  $\lambda=0.85 \mu\text{m}$ . Przyjść  $0.056 \text{ A/W}$ . Powierzchnia światłoczuła  $5.8 \text{ mm}^2$ . Fotodiody te służą do pomiaru natężenia oświetlenia padającego na baterię słoneczną promieniowania (promieniowanie ze źródła LH100 pada jednocześnie na kalibrowaną diodę BPDP i badaną baterię słoneczną).
6. METEX 4630 - miernik służący do pomiaru prądu fotodiody BPDP 35.
7. METEX lub BRYMEN – mierniki cyfrowe do pomiaru prądu płynącego przez ogniwo oraz napięcia na ogniwie. Mierniki współpracują z komputerem umożliwiającym akwizycję danych pomiarowych.
8. Rezystor dekadowy.



## Laboratorium Fotoogniw dla NI

### Przebieg ćwiczenia:

1. Połączyć układ wg schematu przedstawionego na rys. 1.



Rys.1.

2. Wyznaczenie oporności różniczkowej upływu ogniwa słonecznego.

**Po sprawdzeniu układu przez prowadzącego** zmierzyć charakterystykę prądowo-napięciową nieoświetlonego ogniwa w zakresie napięć od  $-10\text{mV}$  do  $+10\text{mV}$ . Ten pomiar wykonać używając komputera, wykorzystując miernik BRYMEN ustawiony na zakres  $\mu\text{A}$ . Przed przystąpieniem do pomiarów należy w programie akwizycji danych wyłączyć tryb automatycznego zapisu wartości pomiarowych. Napięcie zmieniać z krokiem około  $1\text{mV}$  i zatwierdzać wyniki.

3. Zmierzyć charakterystykę prądowo-napięciową nieoświetlonego ogniwa w zakresie do  $15\text{mA}$  w kierunku przewodzenia i do  $2\text{V}$  w kierunku zaporowym. Pomiar wykonać z użyciem komputera.

4. Zmierzyć charakterystykę  $I-V$  dla ogniwa oświetlonego

a) Oświetlić ogniwo ustawiając je w położeniu przy którym odległość między konikami z uchwytami na źródło światła i ogniwo wynosi  $16\text{cm}$ . Pokrętkę regulatora napięcia zasilającego halogen ustawić w prawym skrajnym położeniu (maksymalne oświetlenie). Zmierzyć charakterystykę prądowo-napięciową oświetlonego ogniwa, ograniczając się do IV ćwiartki wykresu  $I - V$  (por. rys. 4), tzn. mierząc charakterystykę prądowo-napięciową w węższym zakresie prądów, np. w kierunku przewodzenia do ok.  $0.05\text{mA}$  i w kierunku zaporowym do ok.  $-0.05\text{V}$ .

b) Wyznaczyć natężenie światła padającego na fotoogniwo. W tym celu należy zmierzyć fotoprąd zwarcia fotodiody, która umieszczona jest w tym samym uchwycie, w którym jest umocowane ogniwo, przy takim samym ustawieniu pokrętki regulatora napięcia zasilającego halogen. Należy zwrócić uwagę, że optymalne oświetlenie ogniwa nie jest jednoznaczne z optymalnym oświetleniem fotodiody. Dlatego w celu wyznaczenia prawidłowej wartości prądu fotodiody, należy ją ustawić tak aby była na tej samej wysokości co ogniwo podczas pomiaru charakterystyki przy oświetleniu.



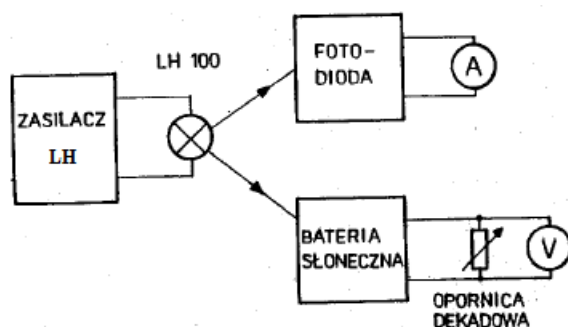
## Laboratorium Fotoogniw dla NI

5. Zmierzyć charakterystyki  $I-V$  w funkcji natężenia oświetlenia.

Powtórzyć pomiary 4a i 4b przy różnych natężeniach oświetlenia ogniwa. W tym celu pomiędzy ogniwo i źródło światła należy wstawić filtr szary. Gęstość optyczna filtra zmienia się wraz z jego długością. Zmianę natężenie oświetlenia uzyskuje się przesuważąc filtr (skokowo) względem środka żarówki oświetlacza halogenowego. Najpierw należy wykonać pomiary charakterystyk  $I - V$  (w IV ćwiartce) dla ogniwa a następnie ustawić fotodiodę tak aby była na tej samej wysokości co ogniwo i zmierzyć fotoprąd dla kolejnych pozycji filtra.

6. Połączyć układ wg schematu przedstawionego na rys. 2. Na opornicy dekadowej ustawić wartość rezystancji ok.  $1k\Omega$  dopiero potem podłączyć ogniwo. Zmierzyć zależność mocy wydzielanej na rezystancji obciążenia od wartości tej rezystancji przy maksymalnym natężeniu oświetlenia. Pomiary wykonać dla rezystancji większej od  $10\Omega$ .

7. Powtórzyć powyższe pomiary dla innego ogniwa, wskazanego przez prowadzącego.



Rys. 2. Schemat układu do pomiaru zależności mocy wydzielanej na oporności obciążenia od wartości tej oporności.

### Opracowanie wyników:

1. Wyznaczyć rezystancję różniczkową upływu na podstawie pomiarów charakterystyki  $I - V$  nieoświetlonego ogniwa zmierzonej w pp. 2, korzystając ze wzoru (1).

2. Wyznaczyć rezystancję szeregową ogniwa:

- Na podstawie pomiarów wykonanych w pp.3. Korzysta się wówczas również ze wzoru (1), ale wyznacza się przyrosty prądu i napięcia przy dużym napięciu w kierunku przewodzenia, w zakresie prostoliniowym charakterystyki  $I-V$ , w którym prąd płynący przez diodę jest ograniczony jedynie właśnie opornością szeregową (por. Instrukcja do ćwiczenia V)
- Korzystając z pomiarów charakterystyk  $I-V$  (IV ćwiartka) przy kilku różnych natężenia oświetlenia. Na każdej charakterystyce zaznacza się punkt odpowiadający wartości



## Laboratorium Fotoogniw dla NI

- prądu zwarcia powiększonemu o pewną stałą wartość  $\delta I$  a następnie łączy się te punkty linią prostą. Bezwzględna wartość współczynnika kierunkowego tej prostej jest szukaną opornością szeregową (wzór (9)).
3. Wyznaczyć współczynnik idealności oraz potencjał wbudowany ogniwa na podstawie pomiarów charakterystyki  $I - V$  nieoświetlonego ogniwa, zmierzonej w pp. 3 (por. Instrukcja do ćwiczenia V).
  4. Narysować charakterystykę  $I - V$  dla oświetlonego ogniwa w IV ćwiartce dla maksymalnego oświetlenia, korzystając z wyników pomiaru w pp. 4:
    - Wyznaczyć z odpowiednich prostych regresji fotoprąd zwarcia (tzn. prąd płynący przez ogniwo przy zerowej polaryzacji) i fotonapięcie rozwarcia (tzn. napięcie przy braku prądu płynącego przez ogniwo).
    - Narysować wykres mocy od napięcia
    - Wyznaczyć rezystancję różniczkową upływu korzystając ze wzoru (2).
    - Wyznaczyć współczynnik wypełnienia FF korzystając ze wzoru (3).
    - Obliczyć sprawność energetyczną baterii, korzystając ze wzoru (8).
  5. Na podstawie pomiarów wykonanych w pp. 5 wyznaczyć z odpowiednich prostych regresji prąd zwarcia i napięcie rozwarcia dla kolejnych natężeń oświetlenia. Następnie narysować:
    - a) zależność fotoprądu zwarcia  $I_{sc} = f(E)$  ( $E$ -natężenie oświetlenia)
    - b) zależność napięcia rozwarcia  $U_{oc} = f(E)$ . Natężenie oświetlenia wyznaczyć ze wzoru (7).
  6. Narysować zależność mocy wydzielającej się na oporności obciążenia od wartości tego obciążenia w skali  $P = \frac{U^2}{R} = f(\ln R_L)$ . Znaleźć oporność, dla której wydzielana moc jest maksymalna i zaznaczyć odpowiadający jej punkt na ch-ce  $I - V$  baterii.
  7. Przedyskutować otrzymane wyniki i porównać je z danymi literaturowymi dla ogniw krzemowych i innych. W szczególności :
    - sprawdzić, czy zależność prądu zwarcia  $I_{sc}$  i napięcia rozwarcia  $U_{oc}$  od oświetlenia są zgodne z przewidywaniami teoretycznymi;
    - sprawdzić, czy maksimum na charakterystyce  $P - V$  odpowiada mocy maksymalnej wyznaczonej w pp. 6.



## Laboratorium Fotoogniw dla NI

### WZORY KONIECZNE DO WYKONANIA SPRAWOZDANIA

1. R- rezystancja różniczkowa (oporność upływu) złącza półprzewodnikowego .

$$R = \left( \frac{dI}{dU} \right)_{U=0}^{-1} \cong \left( \frac{\Delta I}{\Delta U} \right)_{U=0}^{-1} , \quad (1)$$

lub - dla ogniwa:

$$R = \frac{U_{oc}}{I_{sc}} . \quad (2)$$

2. Współczynnik wypełnienia

$$FF = \frac{I_{sc} U_{oc}}{I_m U_m} , \quad (3)$$

$I_m$  i  $U_m$  – prąd i napięcie odpowiadające punktowi mocy maksymalnej na charakterystyce  $P - U$ ;  $I_{sc}$  i  $U_{oc}$  – prąd zwarcia i napięcie rozwarcia.

3. Sprawność energetyczna baterii

$$\eta = \frac{J_m U_m A_{cb}}{A_{pb} E} 100[\%] , \quad (4)$$

gdzie  $A_{cb}$  –powierzchnia czynna ogniwa,  $A_{pb}$ - powierzchnia przednia ogniwa,  $E$  – natężenie oświetlenia [ $W/m^2$ ],  $J_m$  – gęstość prądu odpowiadającemu punktowi mocy maksymalnej na charakterystyce  $I - V$ , [ $A/m^2$ ] ( $J_m A_{cb} = I_m$ ).

4. Natężenie oświetlenia ogniwa mierzy się przy pomocy kalibrowanej fotodiody o znanej czułości prądowej  $S_f$ . Jeśli ogniwo i fotodioda są ustawione w tej samej odległości od źródła i fotodioda jest oświetlona w takim samym stopniu co ogniwo, to natężenia oświetlenia obydwu są takie same i spełniają równość:

$$E = \frac{\Phi_f}{A_f} = \frac{\Phi_b}{A_{cb}} , \quad (5)$$

gdzie  $\Phi_f$  i  $\Phi_b$  to strumień promieniowania padające odpowiednio na fotodiode i na ogniwo.

Z drugiej strony strumień promieniowania padający na fotodiode można wyznaczyć znając jej czułość napięciową:

$$\Phi_f = I_f / S_f , \quad (6)$$

gdzie  $I_f$  jest prądem płynącym przez fotodiode. Po podstawieniu wzoru (6) do wzoru (5) otrzymuje się wzór na natężenie oświetlenia baterii w postaci:

$$E = \frac{I_f}{A_f S_f} . \quad (7)$$



## Laboratorium Fotoogniw dla NI

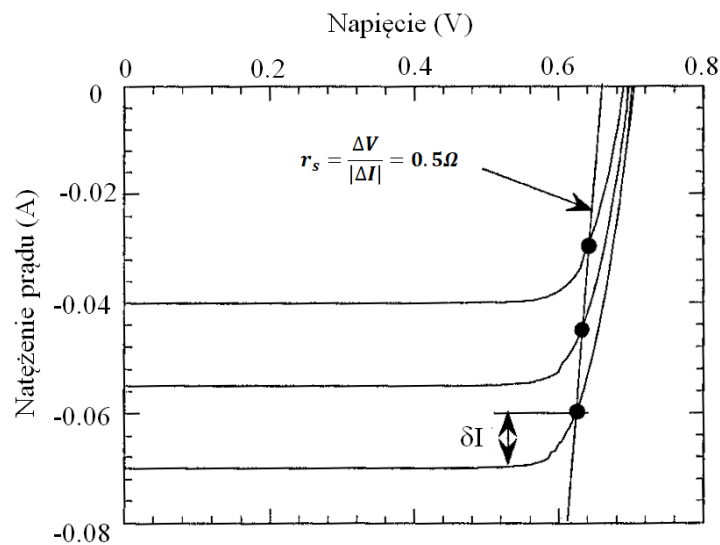
Po podstawieniu tego wzoru do wzoru (4) otrzymuje się ostatecznie:

$$\eta = \frac{J_m U_m A_{cb} A_f S_f}{A_{pb} I_f} 100[\%] = \frac{I_m U_m S_f A_f}{A_{pb} I_f} 100[\%] \quad (8)$$

### 5. Wyznaczenie oporności szeregowej ogniwa.

W przypadku oświetlonego ogniwa istnieje możliwość wyznaczenia oporności szeregowej przy wykorzystaniu charakterystyk prądowo - napięciowych zmierzonych przy różnych natężeniach oświetlenia. Różnemu oświetleniu odpowiadają różne wartości prądów zwarcia (rys. 3). Na charakterystykach  $I$ - $V$  zaznacza się punkty które odpowiadają wartościom prądu zwarcia powiększonym o pewną stałą wartość  $\delta I$ :  $I_1 = I_{sc1} - \delta I$  oraz  $I_2 = I_{sc2} - \delta I$  ( $\delta I$  jest z minusem, bo prądy  $I$  są ujemne). Oporność szeregowa jest współczynnikiem kierunkowym prostej, przechodzącej przez punkty o współrzędnych  $(I_1, V_1)$ ,  $(I_2, V_2)$ :

$$r_s = \frac{V_1 - V_2}{I_2 - I_1} = \frac{V_1 - V_2}{I_{sc2} - I_{sc1}} \quad (9)$$



Rys. 3. Ilustracja sposobu wyznaczenia oporności szeregowej ogniwa

### Literatura:

1. *Materiały dydaktyczne do laboratorium NLTK dla studentów Inżynierii Kwantowej. Część II. Rozdziały 1 i 2. (skrypt II.pdf na e-portalu).*

2. <https://www.pveducation.org>

### Pytania kontrolne

1. Efekt fotowoltaiczny.
2. Zasada działania i parametry charakteryzujące baterię słoneczną.
3. Zależność prądu zwarcia i napięcia rozwarcia od natężenia oświetlenia.