



Politechnika Wrocławska
Wydział Techniczno-Przyrodniczy

MD-585L

Badanie modułów fotowoltaicznych

Stanowisko 1

Spis treści

1. Charakterystyka stanowiska.....	3
1.1. Wstęp.....	3
1.2. Specyfikacja stanowiska.....	3
1.3. Schemat układu pomiarowego.....	5
2. Obsługa stanowiska.....	7
2.1. Wskazówki ogólne.....	7
2.2. Oświetlacz halogenowy.....	7
2.3. Ogniwa fotowoltaiczne.....	8
2.4. Obciążenie regulowane.....	8
2.5. Bezpieczeństwo pracy z urządzeniami elektrycznymi.....	8
2.6. Konserwacja i przechowywanie stanowiska.....	9
2.7. Oprogramowanie.....	9
3. Oprogramowanie MD-Lab: MD-585L.....	11
3.1. Opis interfejsu.....	11
3.2. Uruchomienie programu.....	12
4. Ćwiczenia.....	13
4.1. Przygotowanie stanowiska do pracy.....	13
4.2. Ćwiczenie 1 – Badanie charakterystyki prądowo-napięciowej przy połączeniu szeregowym ogniw fotowoltaicznych.....	13
4.3. Ćwiczenie 2 - Badanie charakterystyki prądowo-napięciowej przy połączeniu równoległym ogniw fotowoltaicznych.....	15
4.4. Ćwiczenie 3 - Badanie charakterystyki prądowo-napięciowej przy połączeniu równoległo- szeregowym ogniw fotowoltaicznych.....	17

1. Charakterystyka stanowiska

1.1. Wstęp

Stanowisko dydaktyczne MD-585 służy do zapoznania się z zagadnieniami związanymi z ogniwami fotowoltaicznymi.

Stanowisko wyposażone jest w 4 ogniwa fotowoltaiczne krzemowe wraz z obejściami diodowymi, które mogą być łączone na różne sposoby, a także moduł Peltiera z możliwością regulacji – do sterowania temperaturą ogniw fotowoltaicznych.

Stanowisko przeznaczone jest do pracy w laboratorium/pracowni z oświetlaczem o regulowanej mocy (max. 1 kW).

Dedykowane oprogramowanie narzędziowe służy do wizualizacji i eksportu danych eksperymentalnych; zawierających m.in. informacje o profilach obciążenia do wyznaczenia charakterystyk prądowo-napięciowych.

1.2. Specyfikacja stanowiska

- Ogniwa fotowoltaiczne – krzem monokrystaliczny - 4 szt.:
- Moduł Peltiera: zakres temperatur 20°C - 60 °C – 1 kpl.
- Pyranometr analogowy – 1 szt.
- Wbudowany moduł pomiaru prądu (amperomierz) – 1 szt.
- Wbudowany moduł pomiaru napięcia (woltomierz) – 1 szt.
- Multimetr cyfrowy ręczny – 2 szt.
- Konstrukcja (stelaż) stanowiska z profili aluminiowych wykonanie mobile (wyposażone w kółka jezdne) – 1 szt.
- Panel wyprowadzeń elektrycznych ze schematem stanowiska – 1 szt.
- Obciążenie rezystancje – rezystor suwakowe:
 - 10 Ω/4A, BXD160
 - 1,60 Ω /20A BXD600
- Moduł oświetlacza: oświetlacz halogenowy o mocy 1 kW z możliwością regulacji natężenia światła – 1 kpl.
- Elementy konstrukcyjne i wykonawcze niezbędne do prawidłowej i bezawaryjnej pracy stanowiska badawczego

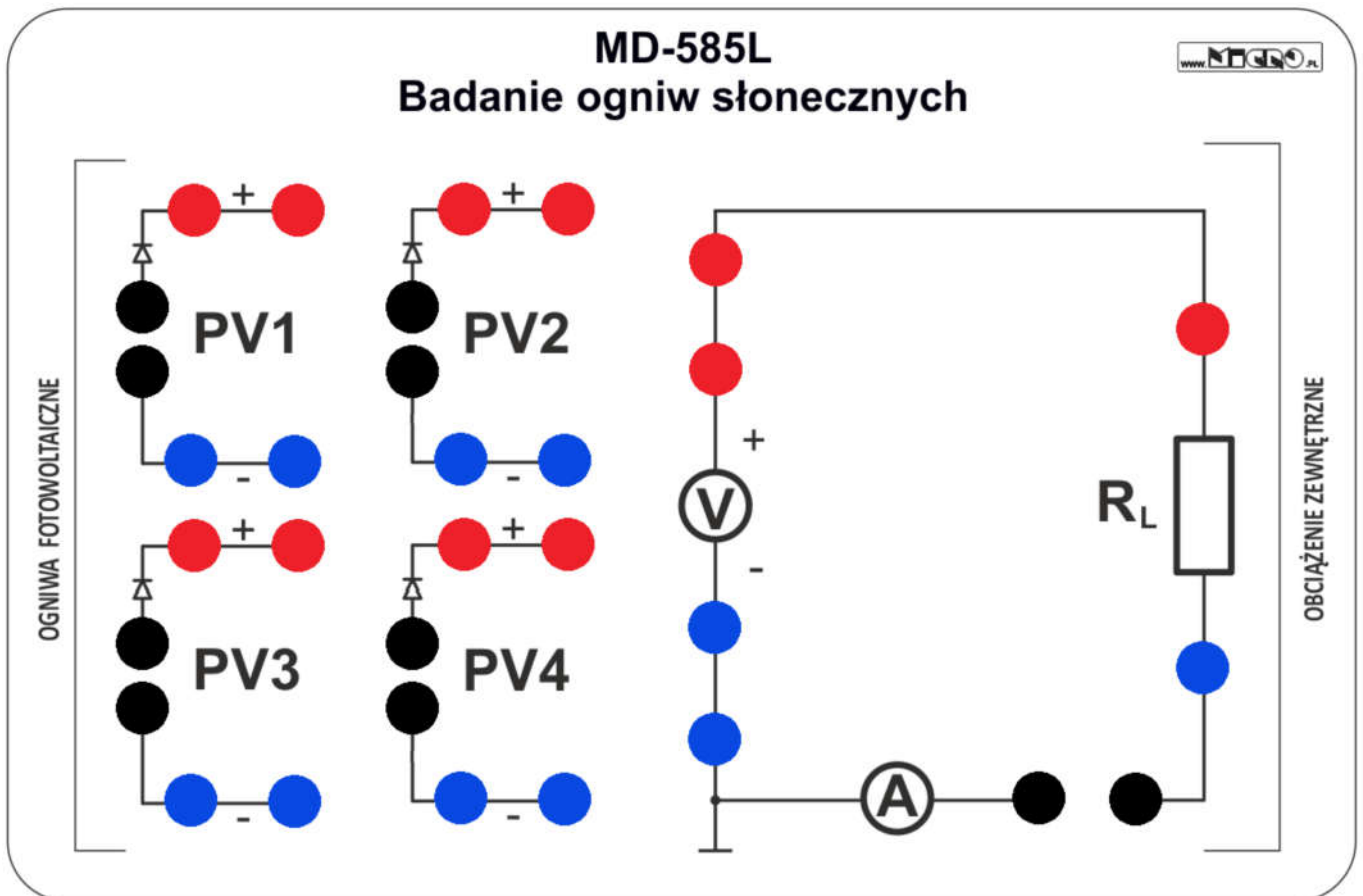
- Zasilanie stanowiska: sieciowe 1-fazowe, 230 V AC, 50 Hz
- Oprogramowanie MD-Lab: dedykowane oprogramowanie umożliwiające wizualizację i eksport danych eksperymentalnych;
- Konwerter USB do podłączania stanowiska z PC wraz z zestawem przewodów;

Parametry ogniw fotowoltaicznych:

- Typ: krzem monokrystaliczny
- Napięcie w punkcie mocy maks. (U_m) 0,5 V
- Prąd w punkcie mocy maks. (I_m) 1,6 A
- Rozmiar (L x W): 96 x 132 mm
- Temperatura pracy: -20 – 80°C
- Sprawność: ok. 14%

Dane dla warunków 1000 W/m², 25 °C, AM 1.5

1.3. Schemat układu pomiarowego



Rys. 1: Schemat układu pomiarowego

Legenda:

PV1	Ogniwo fotowoltaiczne 1	PV3	Ogniwo fotowoltaiczne 3
PV2	Ogniwo fotowoltaiczne 2	PV4	Ogniwo fotowoltaiczne 4
V	Woltomierz elektroniczny		
A	Amperomierz elektroniczny		
R_L	Obciążenie regulowane		

Opis układu pomiarowego:

1. Ogniw fotowoltaiczne 1 – 4 są trwale podłączone z układem pomiarowym i są wyprowadzone na gniazda bananowe PV1 – PV4.
2. Woltomierz V i amperomierz A są trwale podłączone zgodnie ze schematem na Rys. 1.
3. Pomiar automatyczny charakterystyk z wykorzystaniem oprogramowania MD-Lab wymaga zamknięcia obwodu elektrycznego zwórką (czarne banany).

4. Stanowisko umożliwia pracę z ręcznymi multimetrami cyfrowymi. W tym celu należy wpiąć amperomierz (czarne gniazda bananowe) w miejsce zworki oraz woltomierz (czerwone i niebieskie gniazda bananowe).

2. Obsługa stanowiska

2.1. Wskazówki ogólne

1. Należy zapoznać się ze schematem technologicznym stanowiska, jego rzeczywistą budową oraz rolą jego poszczególnych elementów.
2. Stanowisko należy użytkować jedynie przy zablokowanych kółkach.
3. Nie wolno stawać na konstrukcji profilowej stanowiska.
4. Nie wolno demontować urządzeń, ich części oraz osłon, ani wykonywać innych czynności zagrażających bezpieczeństwu własnemu oraz innych osób przebywających przy stanowisku.
5. Wszelkie zauważone nieprawidłowości (np. uszkodzenia urządzeń, uszkodzenie izolacji elektrycznej, uszkodzenia osłon, nieszczelności itp.) należy natychmiast zgłaszać osobie prowadzącej zajęcia.
6. Nie wolno zmieniać ustawień roboczych stanowiska bez instruktażu i zezwolenia osoby prowadzącej zajęcia dydaktyczne.
7. Podczas wykonywania ćwiczeń należy zachować szczególną ostrożność, ze względu na pracę z urządzeniami elektrycznymi.
8. Podczas pracy stanowiska nie należy dotykać powierzchni panelu fotowoltaicznego i powierzchni bocznych oświetlacza.

Ważne!

Nie wolno stawać na konstrukcji profilowej stanowiska!

2.2. Oświetlacz halogenowy

1. Oświetlacz halogenowy jest zasilany z sieci napięciem 230 V AC. Załączanie/wyłączenie oświetlacza odbywa się za pomocą ściemniacza umieszczonego na obudowie.
2. Należy unikać oślepiania innych uczestników zajęć.
3. **Obudowa oświetlacza oraz moduł ogniw fotowoltaicznych nagrzewa się podczas pracy. Należy zachować szczególną ostrożność podczas ich obsługi.**
4. **Gorące powierzchnie oznaczono symbolem:**



5. Maksymalna moc oświetlacza wynosi 1 kW.
6. Regulacja natężenia oświetlenia jest dokonywana potencjometrem umieszczonym w tylnej części obudowy oświetlacza.
7. **Nie wolno dotykać żarówki oświetlacza – zarówno podczas pracy, jak i przy wyłączonym stanowisku.**

2.3. Ogniwa fotowoltaiczne

Podczas pracy stanowiska nie wolno dotykać powierzchni ogniw fotowoltaicznych, ze względu na wysoką temperaturę powierzchni.

2.4. Obciążenie regulowane

Obciążenie regulowane występuje w postaci rezystorów suwakowych:

1. Rezystor suwakowy BXD160: zakres regulacji – 10 Ω , obciążenie dopuszczalne: 4A
- do badania ogniw połączonych szeregowo.
2. Rezystor suwakowy BXD600: zakres regulacji – 1,6 Ω , moc dopuszczalna: 20A
- do badania ogniw połączonych równolegle.

2.5. Bezpieczeństwo pracy z urządzeniami elektrycznymi

1. Należy przestrzegać ogólnych przepisów użytkowania instalacji oraz szczegółowych zaleceń eksploatacyjnych urządzeń elektrycznych i elektronicznych.
2. Zasilanie główne stanowiska: 230 V AC, 50/60 Hz: stanowisko pomiarowe oraz oświetlacze posiadają niezależne wtyki zasilające.
3. Zasilanie stanowiska pomiarowego należy włączyć łącznikiem głównym na elewacji stanowiska.
4. Napięcie bezpieczne (robocze i dotyku) w zależności od warunków środowiskowych wynosi:

- a) dla prądu przemiennego:
- 50 V (pomieszczenia suche),
 - 25 V (pomieszczenia mokre i gorące);
- b) dla prądu stałego:
- 120 V (pomieszczenia suche),
 - 60 V (pomieszczenia mokre i gorące).
5. Skutki oddziaływania prądu przemiennego na człowieka:
- $I > 25$ mA – początek skurczów mięśni;
 - $I > 70$ mA – początek migotania komórek sercowych;
 - $I > 200$ mA – migotanie komórek serca (skurcz mięśni sercowych – ograniczenie krążenia krwi);
 - $I > 3$ A – paraliż i zatrzymanie pracy serca;
 - $I > 5$ A – zwęglenie tkanek organizmu.
6. **Osobie, która uległa porażeniu prądem elektrycznym, należy bezzwłocznie udzielić pierwszej pomocy!**

2.6. Konserwacja i przechowywanie stanowiska

1. Stanowisko należy przechowywać w pomieszczeniu zamkniętym.
2. Nie wolno bez wyraźnej potrzeby dotykać powierzchni ogniw fotowoltaicznych ze względu na powstawanie zabrudzeń.
3. Powierzchnie ogniw fotowoltaicznych czyścić roztworem alkoholu izopropylowego.
4. W celu zabezpieczenia stanowiska przed nadmiernym zabrudzeniem, należy regularnie przecierać konstrukcję delikatnie zwilżoną szmatką/gąbką lub przedmuchiwać sprężonym powietrzem.

2.7. Oprogramowanie

1. Do pracy na stanowisku MD-585L wymagane jest oprogramowanie MD-585L.
2. Do stanowiska MD-585L **nie wolno podłączać innego oprogramowania** niż MD-585L. Niespełnienie tego warunku grozi uszkodzeniem stanowiska.
3. Wymagania sprzętowe: komputer klasy PC z systemem operacyjnym Windows 7 lub nowszym, monitor o rozdzielczości min. 1600 x 900.
4. Wymagania pozostałe: zainstalowane bezpłatne środowisko uruchomieniowe *LabVIEW Run-Time Engine* oraz *NI-VISA Run-Time Engine*, dostarczone razem ze

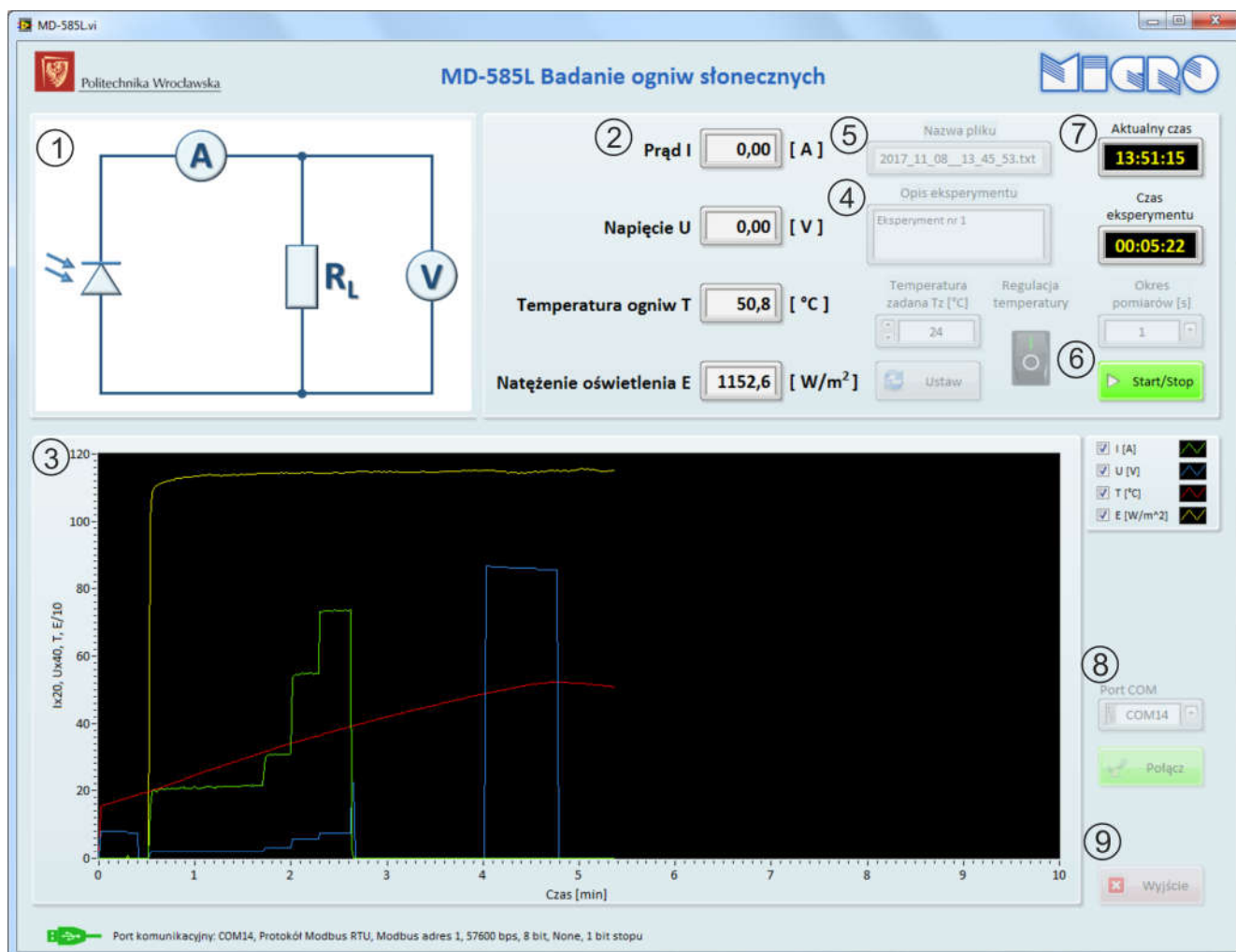
stanowiskiem (oprogramowanie jest także dostępne do pobrania na stronie producenta: <http://www.ni.com>).

Ważne!

Do stanowiska MD-585L nie wolno podłączać oprogramowania innego niż przeznaczone.

3. Oprogramowanie MD-Lab: MD-585L

3.1. Opis interfejsu



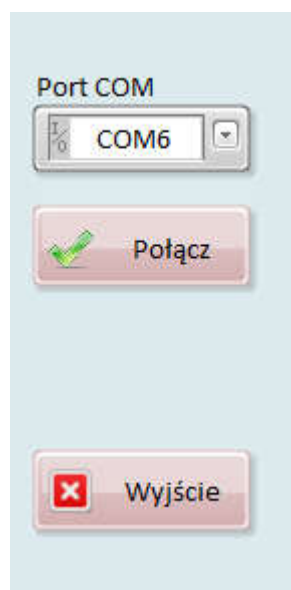
Rys. 2: Okno startowe programu MD-Lab dla stanowiska MD-585L

Lp.	Nazwa	Opis
1.	Schemat	Schemat układu pomiarowego
2.	Pomiary	Prezentacja liczbowa danych pomiarowych ze stanowiska
3.	Wykres i legenda	Graficzna prezentacja danych pomiarowych
4.	Opis eksperymentu	Umożliwia dodanie komentarza użytkownika do pliku z danymi pomiarowymi.
5.	Nazwa pliku	Nazwa pliku – generowana automatycznie – zawiera datę i godzinę

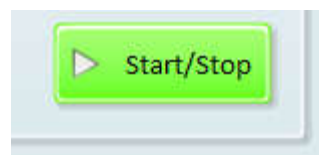
6.	Przycisk Start/Stop	Rozpoczęcie/zakończenie pomiaru – zapisu do pliku
7.	Czas eksperymentu, aktualny czas, Okres pomiarów	Informacje o czasie trwania eksperymentu i okresie próbkowania
8.	Ustawienia komunikacji	Opcje wyboru portu COM.
8.	Przycisk Połącz	Nawiązuje połączenie między programem sterującym a stanowiskiem.
9.	Przycisk Zakończ	Zamyka program.

3.2. Uruchomienie programu

1. Uruchomić aplikację MD-585L.
2. Program domyślnie uruchamia się w trybie oczekiwania, bez nawiązywania połączenia ze stanowiskiem.
3. Wybrać odpowiedni **port COM** (Rys. 3), a następnie nawiązać połączenie z regulatorem używając przycisku **Połącz** (Rys. 4).



Rys. 3: Ustawienia komunikacji



Rys. 4: Zapis do pliku

Po nawiązaniu komunikacji należy uruchomić zapis do pliku przyciskiem Start/Stop (Rys. 4), który po rozpoczęciu zapisu będzie podświetlony na zielono.

4. Ćwiczenia

4.1. Przygotowanie stanowiska do pracy

1. Należy sprawdzić poprawność wszystkich połączeń elektrycznych i mechanicznych. W razie jakichkolwiek oznak niepoprawnego połączenia elementów na stanowisku należy zgłosić ten fakt osobie prowadzącej zajęcia.
2. Zmierzyć i zanotować w Tabeli 2. powierzchnię ogniw fotowoltaicznych.
3. Włączyć do sieci (230 V AC) przewody zasilające oświetlacz.
4. Ograniczyć moc oświetlacza potencjometrem, a następnie włączyć oświetlacz wyłącznikiem głównym.

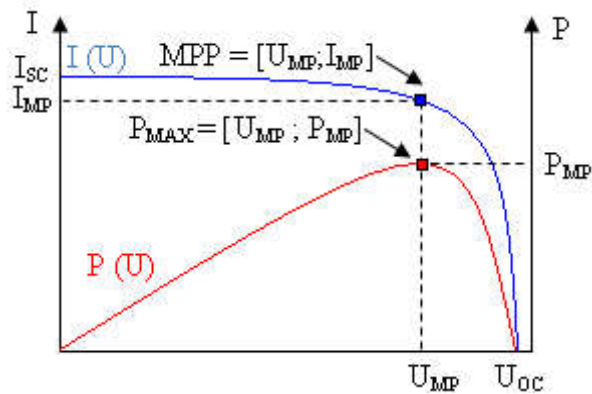
4.2. Ćwiczenie 1 – Badanie charakterystyki prądowo-napięciowej przy połączeniu szeregowym ogniw fotowoltaicznych

Celem ćwiczenia jest zbadanie pracy ogniw fotowoltaicznych w układzie szeregowym dla wybranych wartości obciążenia przy ustalonej wartości natężenia oświetlenia.

Program ćwiczenia:

1. Podłączyć szeregowo ogniwa fotowoltaiczne PV1-PV4 na panelu wyprowadzeń.
Badany schemat umieścić w sprawozdaniu.
2. Podłączyć obciążenie regulowane RL, np. rezystor suwakowy — 10 Ω .
3. Ustalić natężenie oświetlenia na oświetlaczu np. na wartość maksymalną.
4. Włączyć oprogramowanie pomiarowe i uruchomić zapis danych do pliku.
5. Zaczynając od maksymalnej wartości prądu płynącego przez obciążenie wykonać 10 – 15 pomiarów wartości prądu I , napięcia U ,
6. Zmierzone wartości umieścić w Tabeli 1.
7. Dla rezystancji $R \approx 0$ (potencjometr ustawiony na 0) zmierzyć i zanotować prąd zwarcia I_{sc} układu ogniw PV.
8. Dla rezystancji $R = \infty$ (obciążenie odłączone) zmierzyć i zanotować napięcie otwartego układu U_{oc} ogniwa PV.
9. Uzyskane wyniki pomiarów przedstawić na jednym wykresie w postaci krzywych $I = f(U)$ i $P = f(U)$. Przykład charakterystyki przedstawia Rys. 5.
10. Określić punkt mocy maksymalnej MPP (ang. *Maximum Power Point*), czyli punkt na charakterystyce I-U, w którym panel produkuje najwięcej mocy w danych warunkach oświetlenia.

Sposób określania punktu MPP przedstawia Rys. 5. Należy odczytać wartości I_{MP} i U_{MP} dla punktu mocy maksymalnej i podać wartość mocy maksymalnej P_{MAX} .



Rys. 5. Wyznaczanie punktu mocy maksymalnej MPP

Przykład Tabeli pomiarowej nr 1.

Tabela 1.

L.p.	Natężenie oświetlenia E [W/m ²]	Prąd obciążenia I [A]	Napięcie obciążenia U [V]	Moc wydzielona P=U·I [W]	Rezystancja obciążenia R=U/I [Ω]
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
9.					
10.					
11.					
12.					
13.					
14.					
15.					

11. Wyznaczyć sprawność układu η , korzystając z zależności:

$$\eta = \frac{I_{MP} U_{MP}}{S E} 100,$$

Gdzie:

I_{MP} [A] – prąd w punkcie mocy maksymalnej,

U_{MP} [V] – napięcie w punkcie mocy maksymalnej,

S [m²] – powierzchnia układu ogniw PV,

E [W/m²] – natężenie oświetlenia.

Podsumowanie wyników – Tabela 2.

Tabela 2.

Powierzchnia panelu PV	Prąd zwarcia	Napięcie otwartego układu	Prąd w punkcie MPP	Napięcie w punkcie MPP	Moc maksymalna	Sprawność
S [m ²]	I_{sc} [A]	U_{oc} [V]	I_{MP} [A]	U_{MP} [V]	P_{MAX} [W]	η [%]

12. Powyższe pomiary można wykonać dla kilku wybranych wartości natężenia oświetlenia i wykreślić rodzinę krzywych $I = f(U)$ oraz $P = f(U)$.

Przy opisywaniu krzywych podać wartości natężenia oświetlenia E .

4.3. Ćwiczenie 2 - Badanie charakterystyki prądowo-napięciowej przy połączeniu równoległym ogniw fotowoltaicznych

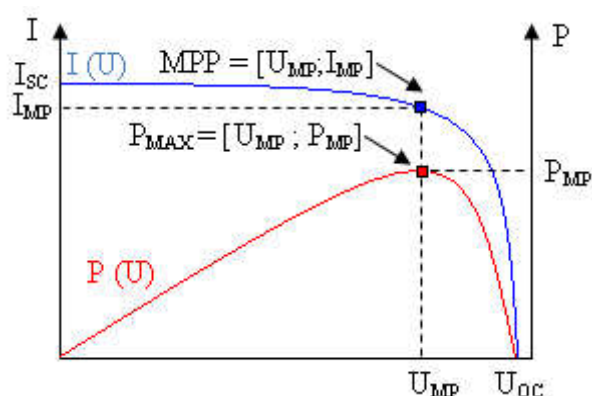
Celem ćwiczenia jest zbadanie pracy ogniw fotowoltaicznych w układzie równoległym dla wybranych wartości obciążenia przy ustalonej wartości natężenia oświetlenia.

Program ćwiczenia:

1. Podłączyć równolegle ogniwa fotowoltaiczne PV1-PV4 na panelu wyprowadzeń. Badany schemat umieścić w sprawozdaniu.
2. Podłączyć obciążenie regulowane RL, np. rezystor suwakowy – 1,6 Ω .
3. Ustalić natężenie oświetlenia na oświetlaczach np. na wartość maksymalną.
4. Włączyć oprogramowanie pomiarowe i uruchomić zapis danych do pliku.
5. Zaczynając od maksymalnej wartości prądu płynącego przez obciążenie wykonać 10 – 15 pomiarów wartości prądu I , napięcia U ,
6. Zmierzone wartości umieścić w Tabeli 1.
7. Dla rezystancji $R \approx 0$ (potencjometr ustawiony na 0) zmierzyć i zanotować prąd zwarcia I_{sc} układu ogniw PV.

8. Dla rezystancji $R = \infty$ (obciążenie odłączone) zmierzyć i zanotować napięcie otwartego układu U_{oc} ogniwa PV.
9. Uzyskane wyniki pomiarów przedstawić na jednym wykresie w postaci krzywych $I = f(U)$ i $P = f(U)$. Przykład charakterystyki przedstawia Rys. 6.
10. Określić punkt mocy maksymalnej MPP (ang. *Maximum Power Point*), czyli punkt na charakterystyce I-U, w którym panel produkuje najwięcej mocy w danych warunkach oświetlenia.

Sposób określania punktu MPP przedstawia Rys. 6. Należy odczytać wartości I_{MP} i U_{MP} dla punktu mocy maksymalnej i podać wartość mocy maksymalnej P_{MAX} .



Rys. 6. Wyznaczanie punktu mocy maksymalnej MPP

Przykład Tabeli pomiarowej nr 1.

Tabela 1.

L.p.	Natężenie oświetlenia E [W/m^2]	Prąd obciążenia I [A]	Napięcie obciążenia U [V]	Moc wydzielona $P=U \cdot I$ [W]	Rezystancja obciążenia $R=U/I$ [Ω]
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
9.					
10.					

11.					
12.					
13.					
14.					
15.					

13. Wyznaczyć sprawność układu η , korzystając z zależności:

$$\eta = \frac{I_{MP} U_{MP}}{S E} 100,$$

Gdzie:

I_{MP} [A] – prąd w punkcie mocy maksymalnej,

U_{MP} [V] – napięcie w punkcie mocy maksymalnej,

S [m²] – powierzchnia układu ogniw PV,

E [W/m²] – natężenie oświetlenia.

Podsumowanie wyników – Tabela 2.

Tabela 2.

Powierzchnia panelu PV S [m ²]	Prąd zwarcia I_{sc} [A]	Napięcie otwartego układu U_{oc} [V]	Prąd w punkcie MPP I_{MP} [A]	Napięcie w punkcie MPP U_{MP} [V]	Moc maksymalna P_{MAX} [W]	Sprawność η [%]

14. Powyższe pomiary można wykonać dla kilku wybranych wartości natężenia oświetlenia i wykreślić rodzinę krzywych $I = f(U)$ oraz $P = f(U)$.

Przy opisywaniu krzywych podać wartości natężenia oświetlenia E .

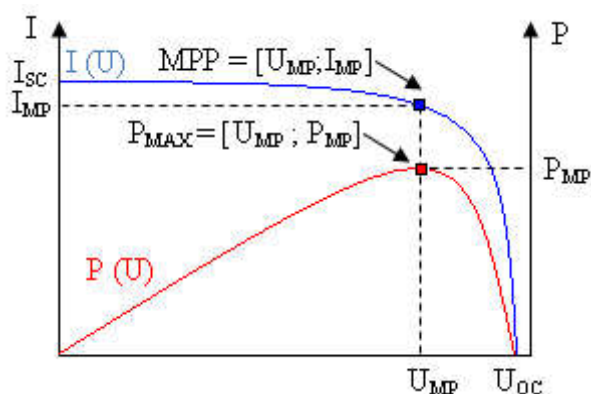
4.4. Ćwiczenie 3 - Badanie charakterystyki prądowo-napięciowej przy połączeniu równoległo-szeregowym ogniw fotowoltaicznych

Celem ćwiczenia jest zbadanie pracy ogniw fotowoltaicznych w układzie równoległo-szeregowym dla wybranych wartości obciążenia przy ustalonej wartości natężenia oświetlenia.

Program ćwiczenia:

1. Zaproponować własne połączenie równoległo-szeregowego ogniw fotowoltaicznych PV1-PV4. Badany schemat umieścić w sprawozdaniu.
2. Dobrać odpowiedni rezystor suwakowy jako obciążenie.
3. Ustalić natężenie oświetlenia na oświetlaczach np. na wartość maksymalną.
4. Włączyć oprogramowanie pomiarowe i uruchomić zapis danych do pliku.
5. Zaczynając od maksymalnej wartości prądu płynącego przez obciążenie wykonać 10 – 15 pomiarów wartości prądu I , napięcia U ,
6. Zmierzone wartości umieścić w Tabeli 1.
7. Dla rezystancji $R \approx 0$ (potencjometr ustawiony na 0) zmierzyć i zanotować prąd zwarcia I_{sc} układu ogniw PV.
8. Dla rezystancji $R = \infty$ (obciążenie odłączone) zmierzyć i zanotować napięcie otwartego układu U_{oc} ogniwa PV.
9. Uzyskane wyniki pomiarów przedstawić na jednym wykresie w postaci krzywych $I = f(U)$ i $P = f(U)$. Przykład charakterystyki przedstawia Rys. 7.
10. Określić punkt mocy maksymalnej MPP (ang. *Maximum Power Point*), czyli punkt na charakterystyce I-U, w którym panel produkuje najwięcej mocy w danych warunkach oświetlenia.

Sposób określania punktu MPP przedstawia Rys. 7. Należy odczytać wartości I_{MP} i U_{MP} dla punktu mocy maksymalnej i podać wartość mocy maksymalnej P_{MAX} .



Rys. 7. Wyznaczanie punktu mocy maksymalnej MPP

Przykład Tabeli pomiarowej nr 1.

Tabela 1.

L.p.	Natężenie oświetlenia E [W/m ²]	Prąd obciążenia I [A]	Napięcie obciążenia U [V]	Moc wydzielona P=U·I [W]	Rezystancja obciążenia R=U/I [Ω]
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
9.					
10.					
11.					
12.					
13.					
14.					
15.					

1. Wyznaczyć sprawność układu η , korzystając z zależności:

$$\eta = \frac{I_{MP} U_{MP}}{S E} 100,$$

Gdzie:

I_{MP} [A] – prąd w punkcie mocy maksymalnej,

U_{MP} [V] – napięcie w punkcie mocy maksymalnej,

S [m²] – powierzchnia układu ogniw PV,

E [W/m²] – natężenie oświetlenia.

Podsumowanie wyników – Tabela 2.

Tabela 2.

Powierzchnia panelu PV S [m ²]	Prąd zwarcia I _{sc} [A]	Napięcie otwartego układu U _{oc} [V]	Prąd w punkcie MPP I _{MP} [A]	Napięcie w punkcie MPP U _{MP} [V]	Moc maksymalna P _{MAX} [W]	Sprawność η [%]

2. Powyższe pomiary można wykonać dla kilku wybranych wartości natężenia oświetlenia i wykreślić rodzinę krzywych $I = f(U)$ oraz $P = f(U)$.

Przy opisywaniu krzywych podać wartości natężenia oświetlenia E .