

Laboratorium Podstaw Fizyki

Ćwiczenie 104 „Efekt fotowoltaiczny - ogniwo słoneczne”

Prowadzący: mgr Karolina Paradowska

Imię i Nazwisko	Marcin Kotas
Nr indeksu	235098
Wydział	Elektroniki
Termin zajęć	7.11.2017, godz. 9.15
Numer grupy ćwiczeniowej	5
Data oddania sprawozdania	14.11.2017

1 Wstęp teoretyczny

Celem ćwiczenia było wyznaczenie charakterystyki prądowo napięciowej panelu fotowoltaicznego, wyznaczenie potencjału wbudowanego z charakterystyki ciemnej ogniwa oraz wyznaczenie współczynnika wypełnienia oświetlonej charakterystyki I-V. W tym celu zostały wykonane 3 serie pomiarów: przy zasłoniętym panelu, panelu oświetlonym mniejszym natężeniem światła oraz panelu oświetlonym większym natężeniem światła (dokładny opis w sekcji „2.1 Wykonanie pomiarów”).

Współczynnik wypełnienia pokazuje w jakim stopniu charakterystyka prądowo napięciowa ogniwa jest zbliżona do idealnej (prostokąt o bokach I_{mp} , V_{mp}). Określany jest też jako stosunek mocy rzeczywistej generowanej przez moduł do mocy pozornej (hipotetycznej) obliczonej na podstawie maksymalnych charakterystyk prądu i napięcia. Wyliczany jest z następującego wzoru:

$$FF = \frac{I_{mp} \cdot V_{mp}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} = \frac{P_{max}}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

2 Wyniki pomiarów

2.1 Wykonanie pomiarów

Najpierw zmierzona została charakterystyka prądowo napięciowa dla panelu zasłoniętego przysłoną. W kierunku zaporowym wyniki zapisywane były co $0,25V$ do wartości równej $4V$. W kierunku przewodzenia napięcie było zmieniane w ten sam sposób do osiągnięcia napięcia $2,50V$. Następnie zmieniany był prąd co $1mA$ do uzyskania prądu $10mA$. Od tego momentu prąd zmieniany był co $5mA$. Maksymalna wartość prądu uzyskana na używanym potencjometrze wyniosła $61,6mA$. Wyniki zostały umieszczone w Tabeli 1.

Następnie zmierzona została charakterystyka prądowo napięciowa dla panelu oświetlonego większym natężeniem oświetlenia. W kierunku zaporowym pomiary wykonywane były co $0,05V$ do wartości $-0,60V$. W kierunku przewodzenia wyniki zapisywane były co $0,1mA$ do osiągnięcia wartości prądu $0,2mA$. Wyniki zostały przedstawione w Tabelach 3 i 4.

Na koniec zmierzona została charakterystyka I-V dla mniejszego natężenia oświetlenia. W kierunku zaporowym pomiary wykonywane były co $0,1V$ do $-0,60V$, a w kierunku przewodzenia co $0,2mA$ do uzyskania prądu $0,2mA$. Wyniki zostały przedstawione w Tabeli 2.

2.2 Obliczenia

2.2.1 Charakterystyka ciemna

Najpierw sporządzony został wykres ciemnej charakterystyki I-V (Wykres 1). Prostopadłości niepewności zostały pominięte ponieważ wartości niepewności były zbyt niskie aby były czytelne. Do wykresu dopasowana dostała prosta w zakresie dużych prądów w kierunku przewodzenia (na wykresie 1 kolorem pomarańczowym). Do jej wyznaczenia użyte zostały pomiary od $30mA$. Jej przecięcie z Ośią X wyznacza potencjał wbudowany V_0 . Współczynniki prostej wyznaczonej metodą regresji liniowej wyniosły:

$$\begin{aligned}A &= 110,30 \\u(A) &= 3,99 \\B &= -397,1 \\u(B) &= 13,7\end{aligned}$$

Potencjał wbudowany został wyznaczony ze wzoru:

$$V_0 = -\frac{B}{A} = -\frac{-397,1}{110,30} \approx 3,60[V]$$

Niepewność $u(V_0)$ wyliczona została z następującego wzoru:

$$u(V_0) = \sqrt{\left(\frac{u(B)}{A}\right)^2 + \left(\frac{u(A) \cdot B}{A^2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{13,7}{110,30}\right)^2 + \left(\frac{3,99 \cdot (-397,1)}{110,30^2}\right)^2} \approx 0,17[V]$$

Błąd pomiarów napięcia oraz natężenia został wyliczony według wzorów podanych w specyfikacji miernika. Dla pomiaru nr.37 charakterystyki ciemnej:

$$\Delta V = \pm(0,9\%rdg + 2dgt) = 0,009 \cdot 3,62 + 2 \cdot 0,01 = 0,05258V$$

$$\Delta I = \pm(1,4\%rdg + 3dgt) = 0,014 \cdot 15,0 + 3 \cdot 0,1 = 0,51mA$$

Niepewność tych pomiarów jest niepewnością typu B. Przyrząd pomiarowy był elektroniczny, więc niepewność zaokrąglona jest do rozdzielczości wyświetlanego wyniku:

$$u(V) = \frac{\Delta V}{\sqrt{3}} = \frac{0,05258}{\sqrt{3}} = 0,030357 \approx 0,04V$$

$$u(I) = \frac{\Delta I}{\sqrt{3}} = \frac{0,51}{\sqrt{3}} = 0,29445 \approx 0,3A$$

2.2.2 Charakterystyka jasna

Najpierw sporządzone zostały dwa wykresy charakterystyki I-V panelu słonecznego dla różnych natężeń oświetlenia (Wykresy 2 i 3). Na wykresie dla mniejszego oświetlenia zaznaczone zostały:

$$\text{prąd zwarcia } I_{sc} = -3,24mA$$

$$\text{napięcie rozwarcia } V_{oc} = 2,74V$$

$$\text{prąd, który odpowiada maksymalnej mocy } I_{mp} = -2,80mA$$

$$\text{napięcie, które odpowiada maksymalnej mocy } V_{mp} = 2,00V$$

Na wykresie dla większego oświetlenia:

$$\text{prąd zwarcia } I_{sc} = -6,00mA$$

$$\text{napięcie rozwarcia } V_{oc} = 2,92V$$

$$\text{prąd, który odpowiada maksymalnej mocy } I_{mp} = -5,21mA$$

$$\text{napięcie, które odpowiada maksymalnej mocy } V_{mp} = 2,18V$$

Następnie w IV ćwiartce obu wykresów narysowane zostały wykresy mocy $P(V) = I \cdot V$. Niepewność wyznaczonej mocy obliczona została ze wzoru. Na przykładzie pomiaru nr.8 przy mniejszym natężeniu:

$$u_{cp}(P) = \sqrt{(u(I) \cdot U)^2 + (u(V) \cdot I)^2} = \sqrt{(-10^{-5} \cdot 1,62)^2 + (0,02 \cdot (-3,10) \cdot 10^{-3})^2} \approx 0,065 \cdot 10^{-3}[W]$$

Następnie wyliczone zostały współczynniki wypełnienia dla obu natężeń oświetlenia. Na przykładzie większego oświetlenia:

$$FF = \frac{I_{mp} \cdot V_{mp}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} = \frac{-5,21 \cdot 10^{-3} \cdot 2,18}{-6 \cdot 10^{-3} \cdot 2,92} \approx 0,6483 = 64,83\%$$

Niepewność wyliczonych współczynników wyznaczona została korzystając ze wzoru:

$$u_c(FF) = \sqrt{\left(\frac{u(I_{mp})V_{mp}}{I_{sc}V_{oc}}\right)^2 + \left(\frac{I_{mp}u(V_{mp})}{I_{sc}V_{oc}}\right)^2 + \left(\frac{u(I_{sc})I_{mp}V_{mp}}{I_{sc}^2V_{oc}}\right)^2 + \left(\frac{u(V_{oc})I_{mp}V_{mp}}{I_{sc}V_{oc}^2}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{-3 \cdot 10^{-5} \cdot 2,18}{-0,006 \cdot 2,92}\right)^2 + \left(\frac{-0,00521 \cdot 0,03}{-0,006 \cdot 2,92}\right)^2 + \left(\frac{4 \cdot 10^{-5} \cdot (-0,00521) \cdot 2,18}{(-0,006)^2 \cdot 2,92}\right)^2 + \left(\frac{0,03 \cdot (-0,00521) \cdot 2,18}{-0,006 \cdot 2,92^2}\right)^2} \approx 0,083 = 8,3[\%]$$

2.3 Tabele i wykresy

Tablica 1: Wyniki pomiarów dla charakterystyki ciemnej

Lp	U [V]	$u(U)$ [V]	I $\times 10^{-3}[A]$	$u(I)$ $\times 10^{-3}[A]$	Lp	U [V]	$u(U)$ [V]	I $\times 10^{-3}[A]$	$u(I)$ $\times 10^{-3}[A]$
1	-4,00	-0,01	0,0	0,2	25	2,00	0,03	0,1	0,2
2	-3,75	-0,01	0,0	0,2	26	2,25	0,03	0,4	0,2
3	-3,50	-0,01	0,0	0,2	27	2,50	0,03	1,0	0,2
4	-3,25	-0,01	0,0	0,2	28	2,77	0,03	2,0	0,2
5	-3,00	-0,01	0,0	0,2	29	2,97	0,03	3,0	0,2
6	-2,75	-0,01	0,0	0,2	30	3,12	0,03	4,0	0,3
7	-2,50	-0,01	0,0	0,2	31	3,24	0,03	5,0	0,3
8	-2,25	-0,01	0,0	0,2	32	3,32	0,03	6,0	0,3
9	-2,00	0,01	0,0	0,2	33	3,37	0,03	7,0	0,3
10	-1,75	0,01	0,0	0,2	34	3,42	0,03	8,0	0,3
11	-1,50	0,01	0,0	0,2	35	3,46	0,03	9,0	0,3
12	-1,25	0,01	0,0	0,2	36	3,49	0,03	10,0	0,3
13	-1,00	0,01	0,0	0,2	37	3,62	0,04	15,0	0,3
14	-0,75	0,01	0,0	0,2	38	3,71	0,04	20,0	0,4
15	-0,50	0,01	0,0	0,2	39	3,79	0,04	25,0	0,4
16	-0,25	0,02	0,0	0,2	40	3,86	0,04	30,0	0,5
17	0,00	0,02	0,0	0,2	41	3,92	0,04	35,0	0,5
18	0,25	0,02	0,0	0,2	42	3,97	0,04	40,1	0,5
19	0,50	0,02	0,0	0,2	43	4,02	0,04	45,1	0,6
20	0,75	0,02	0,0	0,2	44	4,06	0,04	50,1	0,6
21	1,00	0,02	0,0	0,2	45	4,10	0,04	55,1	0,7
22	1,25	0,02	0,0	0,2	46	4,14	0,04	60,0	0,7
23	1,50	0,02	0,0	0,2	47	4,15	0,04	61,6	0,7
24	1,75	0,03	0,0	0,2	V₀	3,60	0,17	-	-

Tablica 2: Wyniki pomiarów dla charakterystyki jasnej (mniejsze natężenie oświetlenia)

Lp	U [V]	$u(U)$ [V]	I $\times 10^{-3}[A]$	$u(I)$ $\times 10^{-3}[A]$	P $\times 10^{-3}[W]$	$u(P)$ $\times 10^{-3}[W]$
1	-0,60	0,01	-3,32	-0,01	1,992	0,034
2	-0,50	0,01	-3,32	-0,01	1,660	0,034
3	-0,40	0,01	-3,32	-0,01	1,328	0,034
4	-0,30	0,01	-3,31	-0,01	0,993	0,034
5	-0,20	0,02	-3,30	-0,01	0,660	0,067
6	-0,10	0,02	-3,27	-0,01	0,327	0,066
7	0,00	0,02	-3,24	-0,01	0,000	0,065
8	1,62	0,02	-3,10	-0,01	-5,022	0,065
9	1,93	0,03	-2,90	-0,01	-5,597	0,090
10	2,04	0,03	-2,74	-0,01	-5,590	0,085
11	2,17	0,03	-2,48	-0,01	-5,382	0,078
12	2,25	0,03	-2,26	-0,01	-5,085	0,072
13	2,33	0,03	-2,02	0,01	-4,707	0,065
14	2,40	0,03	-1,77	0,01	-4,248	0,059
15	2,45	0,03	-1,57	0,01	-3,847	0,054
16	2,51	0,03	-1,31	0,01	-3,288	0,047
17	2,55	0,03	-1,13	0,01	-2,882	0,043
18	2,59	0,03	-0,92	0,01	-2,383	0,038
19	2,64	0,03	-0,70	0,02	-1,848	0,057
20	2,67	0,03	-0,49	0,02	-1,308	0,056
21	2,70	0,03	-0,32	0,02	-0,864	0,055
22	2,73	0,03	-0,10	0,02	-0,273	0,055
23	2,76	0,03	0,07	0,02	0,193	0,056
24	2,77	0,03	0,19	0,02	0,526	0,056
I_{mp}	-	-	-2,80	-0,01	-	
V_{mp}	2,00	0,03	-	-		
I_{sc}	-	-	-3,24	-0,01	FF[%]	63,1
V_{oc}	2,74	0,03	-	-	$u(FF)$[%]	8,4

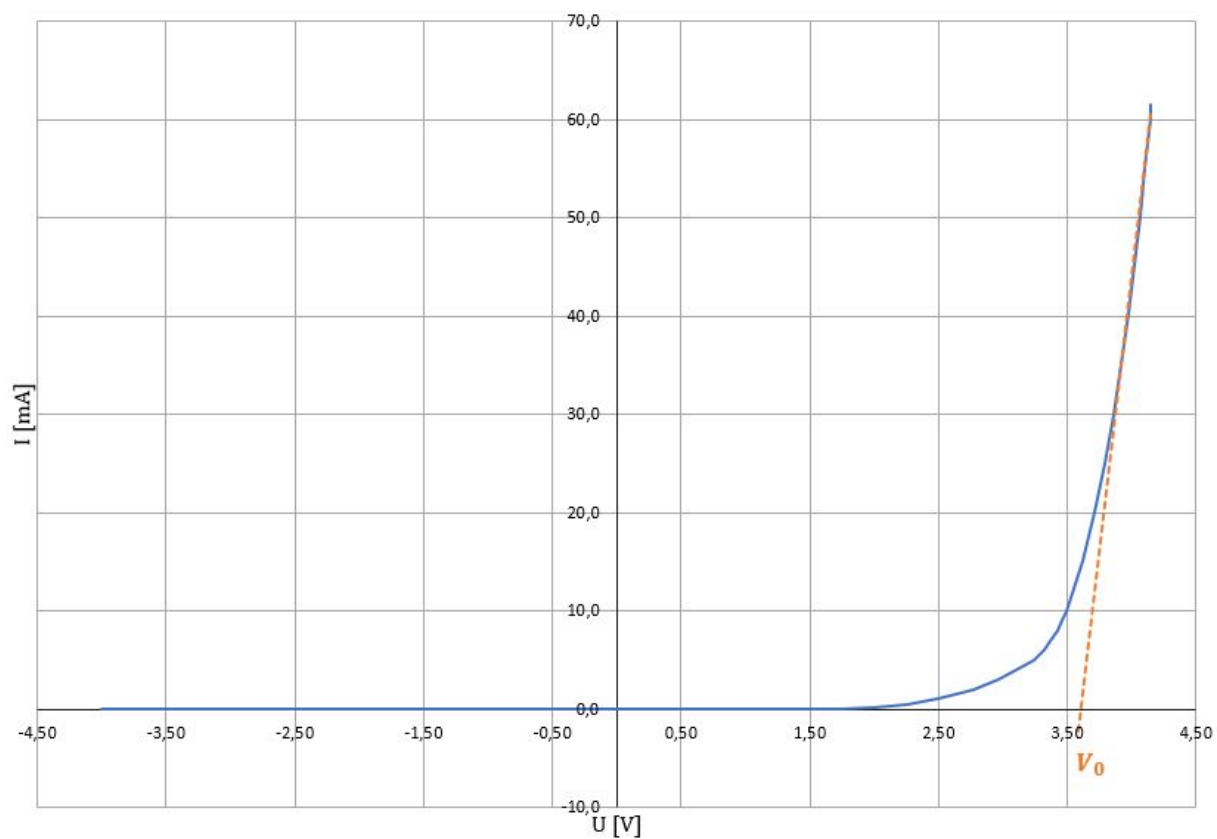
Tablica 3: Wyniki pomiarów dla charakterystyki jasnej (większe natężenie oświetlenia) cz.1

Lp	U [V]	$u(U)$ [V]	I $\times 10^{-3}$ [A]	$u(I)$ $\times 10^{-3}$ [A]	P $\times 10^{-3}$ [W]	$u(P)$ $\times 10^{-3}$ [W]
1	-0,60	0,01	-6,20	-0,04	3,720	0,067
2	-0,55	0,01	-6,19	-0,04	3,405	0,066
3	-0,50	0,01	-6,17	-0,04	3,085	0,065
4	-0,45	0,01	-6,16	-0,04	2,772	0,065
5	-0,40	0,01	-6,14	-0,04	2,456	0,064
6	-0,35	0,01	-6,14	-0,04	2,149	0,063
7	-0,30	0,01	-6,14	-0,04	1,842	0,063
8	-0,25	0,02	-6,13	-0,04	1,53	0,13
9	-0,20	0,02	-6,10	-0,04	1,22	0,13
10	-0,15	0,02	-6,07	-0,04	0,91	0,13
11	-0,10	0,02	-6,08	-0,04	0,61	0,13
12	-0,05	0,02	-6,05	-0,04	0,30	0,13
13	0,00	0,02	-6,00	-0,04	0,00	0,12
14	1,17	0,02	-5,90	-0,04	-6,90	0,13
15	1,67	0,03	-5,82	-0,03	-9,72	0,19
16	1,82	0,03	-5,70	-0,03	-10,37	0,18
17	1,90	0,03	-5,60	-0,03	-10,64	0,18
18	2,01	0,03	-5,51	-0,03	-11,08	0,18
19	2,07	0,03	-5,40	-0,03	-11,18	0,18
20	2,11	0,03	-5,30	-0,03	-11,18	0,18
21	2,18	0,03	-5,21	-0,03	-11,36	0,17
22	2,21	0,03	-5,10	-0,03	-11,27	0,17
23	2,24	0,03	-5,01	-0,03	-11,22	0,17
24	2,27	0,03	-4,89	-0,03	-11,10	0,17
25	2,30	0,03	-4,80	-0,03	-11,04	0,16
26	2,34	0,03	-4,70	-0,03	-11,00	0,16
27	2,37	0,03	-4,59	-0,02	-10,88	0,15
28	2,39	0,03	-4,50	-0,02	-10,76	0,15
29	2,40	0,03	-4,41	-0,02	-10,58	0,15
30	2,44	0,03	-4,31	-0,02	-10,52	0,14
31	2,46	0,03	-4,19	-0,02	-10,31	0,14
32	2,47	0,03	-4,09	-0,02	-10,10	0,14
33	2,49	0,03	-4,02	-0,02	-10,01	0,14
34	2,52	0,03	-3,91	-0,02	-9,85	0,13
35	2,54	0,03	-3,79	-0,02	-9,63	0,13
36	2,55	0,03	-3,71	-0,02	-9,46	0,13
37	2,57	0,03	-3,59	-0,02	-9,23	0,12

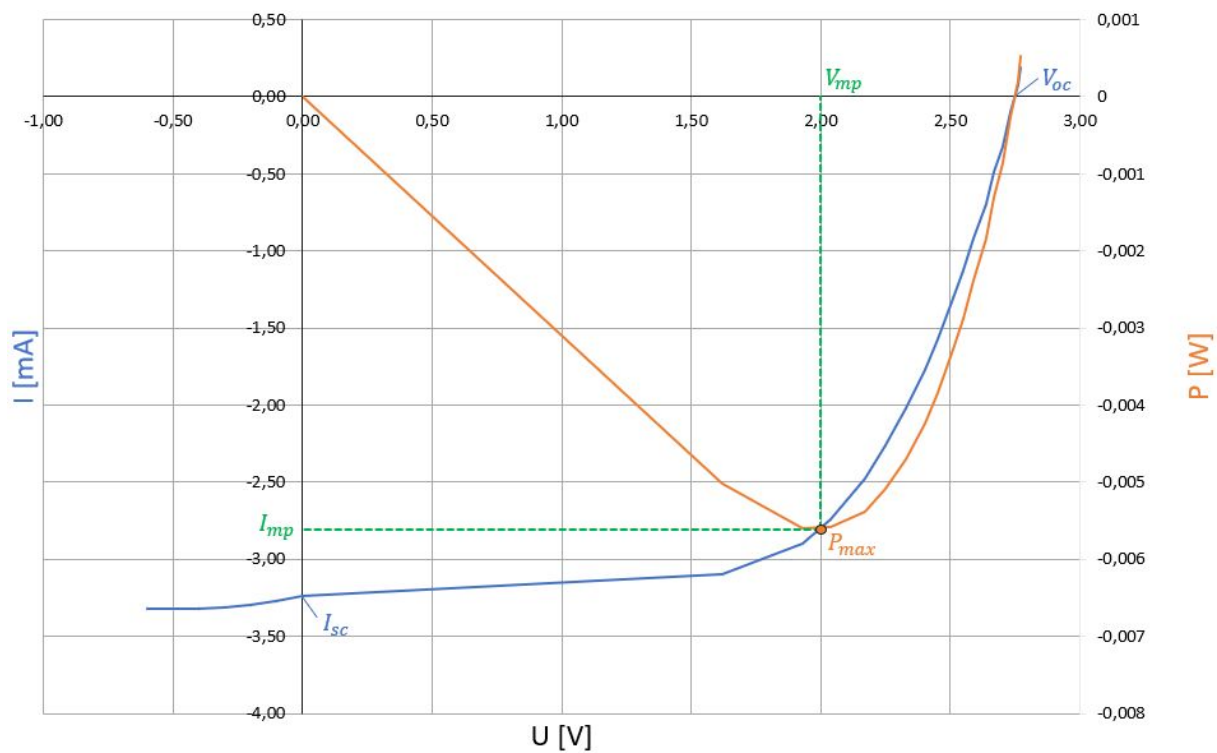
Tablica 4: Wyniki pomiarów dla charakterystyki jasnej (większe natężenie oświetlenia) cz.2

Lp	U [V]	$u(U)$ [V]	I $\times 10^{-3}[A]$	$u(I)$ $\times 10^{-3}[A]$	P $\times 10^{-3}[W]$	$u(P)$ $\times 10^{-3}[W]$
38	2,59	0,03	-3,49	-0,02	-9,04	0,12
39	2,59	0,03	-3,41	-0,02	-8,83	0,12
40	2,62	0,03	-3,28	-0,01	-8,59	0,11
41	2,64	0,03	-3,19	-0,01	-8,42	0,10
42	2,64	0,03	-3,10	-0,01	-8,184	0,097
43	2,66	0,03	-2,99	-0,01	-7,953	0,094
44	2,67	0,03	-2,90	-0,01	-7,743	0,092
45	2,68	0,03	-2,80	-0,01	-7,504	0,089
46	2,69	0,03	-2,70	-0,01	-7,263	0,086
47	2,70	0,03	-2,61	-0,01	-7,047	0,083
48	2,72	0,03	-2,50	-0,01	-6,800	0,080
49	2,73	0,03	-2,40	-0,01	-6,552	0,078
50	2,74	0,03	-2,32	-0,01	-6,357	0,075
51	2,75	0,03	-2,20	-0,01	-6,050	0,072
52	2,76	0,03	-2,09	0,01	-5,768	0,069
53	2,77	0,03	-1,99	0,01	-5,512	0,066
54	2,78	0,03	-1,90	0,01	-5,282	0,064
55	2,79	0,03	-1,80	0,01	-5,022	0,061
56	2,80	0,03	-1,70	0,01	-4,760	0,059
57	2,81	0,03	-1,60	0,01	-4,496	0,056
58	2,81	0,03	-1,51	0,01	-4,243	0,054
59	2,82	0,03	-1,40	0,01	-3,948	0,051
60	2,83	0,03	-1,29	0,01	-3,651	0,048
61	2,84	0,03	-1,20	0,01	-3,408	0,046
62	2,85	0,03	-1,09	0,01	-3,107	0,044
63	2,85	0,03	-1,00	0,01	-2,850	0,042
64	2,86	0,03	-0,90	0,02	-2,574	0,064
65	2,86	0,03	-0,79	0,02	-2,259	0,062
66	2,87	0,03	-0,71	0,02	-2,038	0,062
67	2,88	0,03	-0,60	0,02	-1,728	0,061
68	2,89	0,03	-0,45	0,02	-1,301	0,060
69	2,89	0,03	-0,33	0,02	-0,954	0,059
70	2,90	0,03	-0,13	0,02	-0,377	0,059
71	2,92	0,03	0,01	0,02	0,029	0,059
72	2,91	0,03	0,10	0,02	0,291	0,059
73	2,92	0,03	0,22	0,02	0,642	0,059
I_{mp}	-	-	-5,21	-0,03	-	
V_{mp}	2,18	0,03	-	-		
I_{sc}	-	-	-6,00	-0,04	FF[%]	64,8
V_{oc}	2,92	0,03	-	-	$u(FF)$[%]	8,3

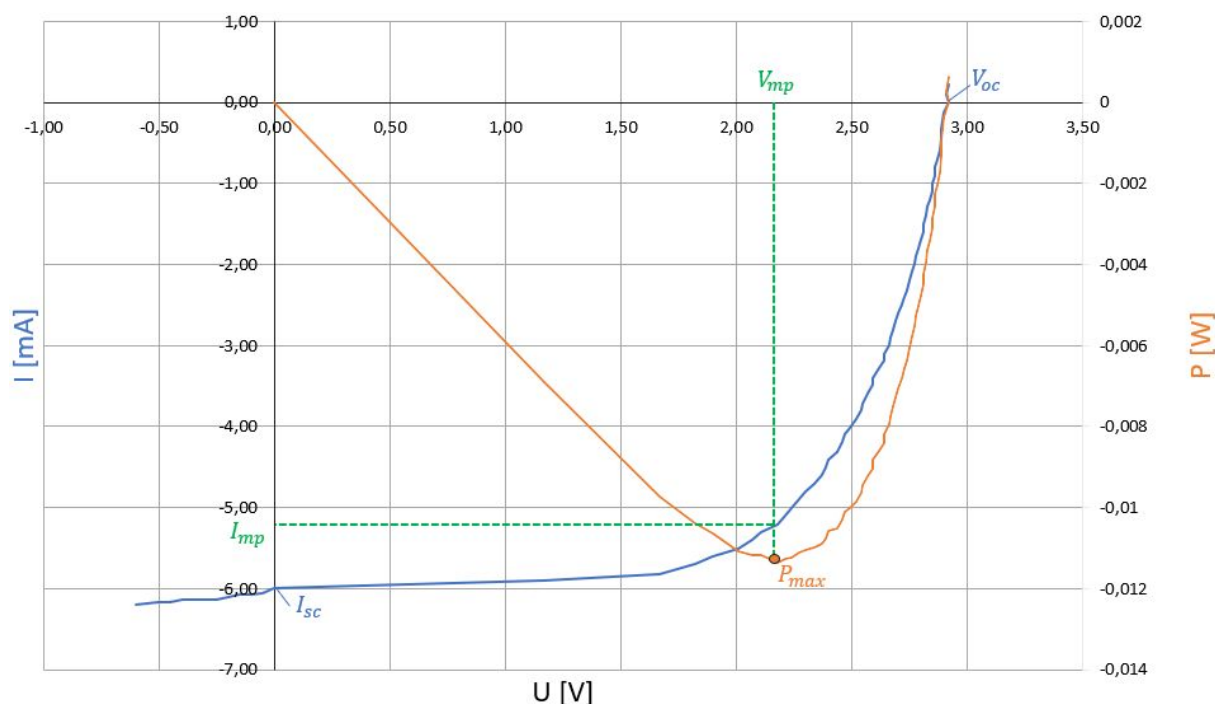
Wykres 1: Charakterystyka ciemna



Wykres 2: Charakterystyka jasna, mniejsze natężenie oświetlenia



Wykres 3: Charakterystyka jasna, większe natężenie oświetlenia



3 Ostateczne wyniki

Ostateczne wyniki wraz z zaokrągleniami:

Potencjał wbudowany: $(3,60 \pm 0,17)V$

Współczynnik wypełnienia przy mniejszym natężeniu oświetlenia: $(63,1 \pm 8,4)\%$

Współczynnik wypełnienia przy większym natężeniu oświetlenia: $(64,8 \pm 8,3)\%$

4 Dyskusja i wnioski

Narysowane zostały 3 wykresy charakterystyk I-V - charakterystyka ciemna, jasna przy mniejszym natężeniu oświetlenia oraz jasna przy większym natężeniu oświetlenia. Wyliczony potencjał wbudowany jest prawdopodobnie nieco niższy od prawdziwego, ponieważ maksymalny zmierzony prąd zestawem pomiarowym wynosił jedynie $61,6mA$. Wyznaczony współczynnik wypełnienia ogniwa jest równy $(64,8 \pm 8,3)\%$, co wskazuje na to, iż było to ogniwo niskiej klasy (60-70%).

5 Literatura

[1] <http://www.instsani.pl/513/parametry-pracy-paneli-pv>

[2] http://www.sanwa-meter.co.jp/prg_data/goods/img/PH41338255778.pdf, str.22-23