

Ćwiczenie 4

Wpływ ukształtowania elastycznych modułów fotowoltaicznych na ich parametry pracy

Cel ćwiczenia

Wyznaczenie charakterystyk prądowo - napięciowych w warunkach zmiennego natężenia oświetlenia i różnych stopni ugięcia modułu oraz określenie sprawności modułu dachówki słonecznej składającej się z ogniw wykonanych z krzemu amorficznego.

Modyfikacja kąta ugięcia elastycznych modułów fotowoltaicznych skutkować będzie dużymi dysproporcjami pomiędzy wartościami irradiacji (nasłonecznienia) mierzonych w różnych częściach modułu. Zastosowane w modułach PV diody bocznikujące będą powodowały wyłączenie części ogniw z powodu powstawania lokalnych zacienień. Różne wartości gęstości mocy promieniowania słonecznego na powierzchni modułu przyczynią się do ograniczenia produkcji energii elektrycznej oraz zmiany (pogorszenie) ich parametrów charakterystycznych (sprawności, współczynnika wypełnienia, kształtu charakterystyki prądowo-napięciowej).

Elementy układu pomiarowego

- ✓ elastyczny moduł fotowoltaiczny
- ✓ nastawne obciążenie rezystancyjne,
- ✓ cyfrowe multimetry w postaci amperomierza, woltomierza, pyranometru,
- ✓ przewody łączeniowe i płytka.

Wstęp teoretyczny

Koncepcja określana jako Building Integrated Photovoltaics (BIPV) zakłada zastosowanie modułów fotowoltaicznych jako elementów alternatywnych dla tradycyjnych materiałów budowlanych. Moduły produkowane w technologii BIPV wyróżniają się, w porównaniu do tradycyjnych rozwiązań, większą funkcjonalnością. Jako integralne komponenty budynku, oprócz wytwarzania energii elektrycznej, mogą pełnić funkcje: zacienienia, izolacji termicznej czy akustycznej. Zaletą modułów BIPV, zarówno pod względem konstrukcyjnym jak i materiałowym, jest możliwość stosowania ich na fasadach, dachach, oknach, czy w formie markiz. Każde z tych rozwiązań skutkuje generowaniem energii elektrycznej w różnej ilości (w zależności od równomierności oświetlenia) [1,6,7,8].

Obecnie jednym z najczęściej stosowanych rozwiązań jest integracja fotowoltaiki z budynkiem przy użyciu dachówek fotowoltaicznych [4]. Zastosowanie komponentów wysokiej jakości czyni instalację niewyróżniającą się, przy jednoczesnym zachowaniu wszystkich właściwości hydroizolacyjnych zwykłych dachówek. Na rynku dostępne są zarówno solarne pokrycia dachowe zachowujące kształt tradycyjnych dachówek ceramicznych, jak i składające się z ciągu kilkunastu ogniw połączonych szeregowo – dachówki bitumiczne (rys.1) [1].

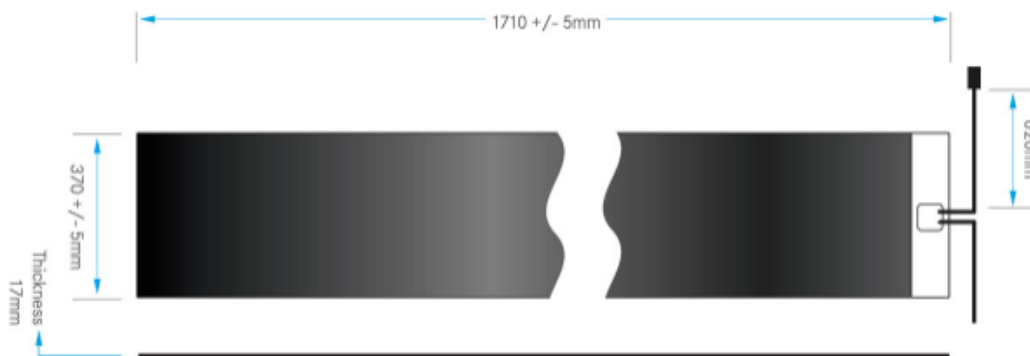


Rys. 1. Przykład zastosowania bitumicznej dachówki fotowoltaicznej [14]

Ważniejsze parametry badanej dachówki fotowoltaicznej przedstawione zostały w tabeli 1 a jej widok przedstawiono na rys. 2. Zamieszczone dane techniczne wyznaczone w ustandaryzowanych warunkach testowania STC (Standard Test Conditions), czyli dla natężenia promieniowania równego 1000 W/m^2 , temperatury pracy modułu $25 \text{ }^\circ\text{C}$ oraz masy powietrza 1,5.

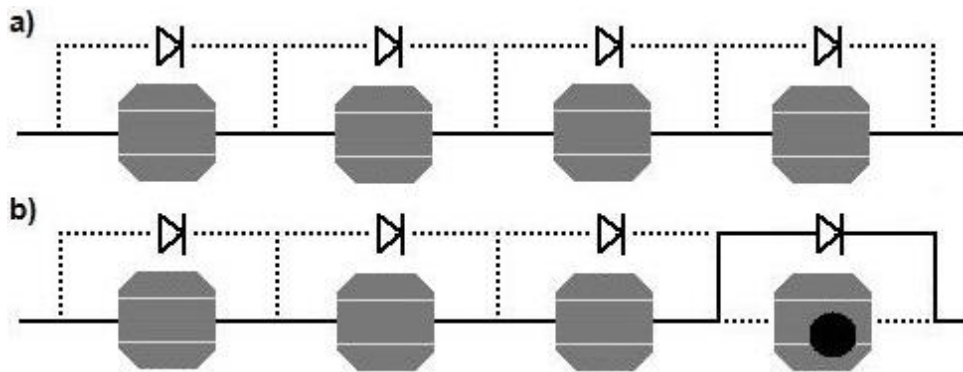
Tabela 1. Parametry dachówki CIGS MiaSolé FLEX-01 70N [13]

Parametr	Wartość
Wymiary	(1710 x 370 x 17) mm
Powierzchnia czynna	0,6327 m ²
Waga z podkładem klejącym	2,69 kg
Moc znamionowa	70 W
Tolerancja mocy	5 W
Napięcie obwodu otwartego	27,9 V
Prąd zwarcia	3,70 A
Napięcie w MPP	22,3 V
Prąd w MPP	3,25 A
Sprawność	11 %
Temperaturowy współczynnik mocy	-0,45 %/°C



Obecnie jedną z możliwości przeciwdziałania efektom zacienienia ogniwa jest zastosowanie diod by-pass w konstrukcji panelu, przy połączeniach ogniw fotowoltaicznych już na etapie produkcji paneli. Diodę tę, zwaną inaczej bocznikującą, umieszcza się równoległe do łańcucha ogniw, tak aby kierunek jej polaryzacji był do nich przeciwny. Dioda zaczyna działać w panelu wówczas, gdy jedna z jego partii zostanie przysłonięta. Głównym zadaniem diody by-pass jest umożliwienie przepływu prądu, pochodzącego z pozostałych niezacienionych ogniw fotowoltaicznych panelu [2,4,10].

Zasada działania diody by-pass została przedstawiona na rysunku 2, ilustrującym przepływ prądu przez ogniwa fotowoltaiczne (oznaczonym linią ciągłą) w przypadku pracy normalnej (rys.2 a) oraz zacienienia jednego z ogniw (rys.2 b).



Rys.2. Przepływ prądu przez ogniwa fotowoltaiczne w panelu podczas [2,9,10]:

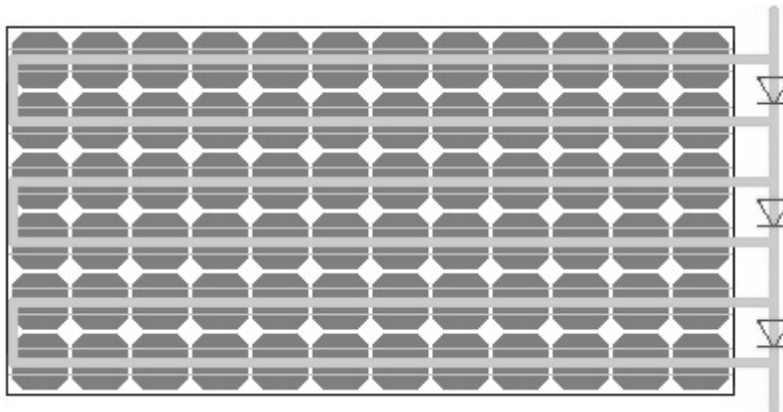
a) pracy normalnej
b) zacienienia czwartego ogniwa (łańcucha ogniw)

W układzie z rysunku 2a wszystkie diody spolaryzowane są w kierunku zaporowym, a prąd przepływa przez ogniwa spolaryzowane w kierunku przewodzenia. W drugim przypadku (rys. 2b) zasłonięte zostało czwarte ogniwo, które nie jest w stanie wygenerować takiej samej ilości prądu, co ogniwa niezacienione. Ponieważ ogniwa połączone są ze sobą szeregowo, to zacienione ogniwo dla całego układu staje się opornikiem, a przepływający przez nie z pozostałych ogniw prąd jest tracony w postaci wydzielanego ciepła. Obecność prądu wstecznego w tym ogniwie powoduje zmianę jego polaryzacji, a co za tym idzie pojawienie się ujemnego napięcia, które zmienia polaryzację diody by-pass. Kiedy dioda zaczyna przewodzić, prąd pochodzący z niezacienionych ogniw, przepływa przez nią, wyłączając w ten sposób z układu zacieniony fragment panelu i eliminując straty mocy w całej instalacji fotowoltaicznej. Oprócz tej najważniejszej funkcji dioda chroni także zacienione ogniwo przed uszkodzeniami powstałymi wskutek przepływu prądu wstecznego, powodującego jego bardzo mocne nagrzewanie się i powstawanie gorących punktów panelu, tzw. hot spot'ów. W efekcie, po ustąpieniu czasowego zacienienia, uszkodzone ogniwo nadal powodowałoby straty mocy w instalacji PV [2,9,11].

Warto zaznaczyć, że w najpopularniejszych panelach dostępnych obecnie na rynku, składających się z trzech łańcuchów po 20-24 ogniw, stosuje się trzy diody by-pass (rys. 3) [2,3,5,8,9,10].

Podzielenie panelu na trzy łańcuchy ogniw, w chwili wystąpienia zacienień, powoduje większe prawdopodobieństwo maksymalizacji uzysku energii, niż w przypadku panelu z jedną diodą lub jej brakiem. Wtedy w przypadku jakiegokolwiek zacienienia cały panel zostałby wyłączony z łańcucha paneli i wpływał na cały system. Dla paneli z trzema diodami bocznikującymi w przypadku wystąpienia zacienienia np. na jednym ogniwie, wyłączeniu

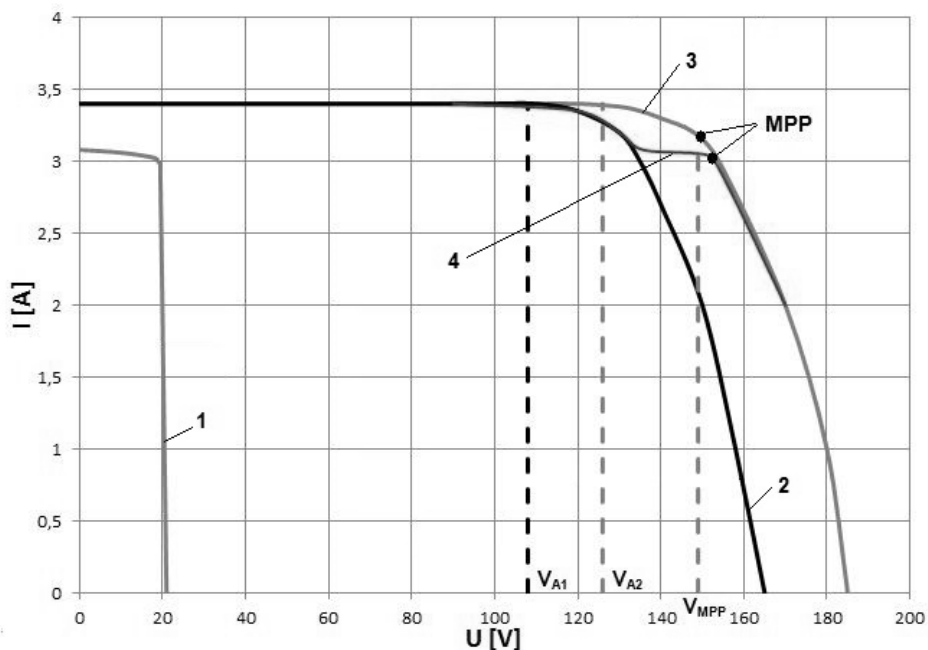
ulegnie tylko jeden łańcuch ogniw a nie cały panel, dzięki czemu strata mocy będzie wynosiła tylko 33 % [2].



Rys.3. Schemat ideowy panelu fotowoltaicznego z trzema łańcuchami ogniw PV i diodami bocznikującymi [2,9]

Na rysunku 4 przedstawiono wpływ obecności diody by-pass na charakterystykę prądowo-napięciową łańcucha paneli fotowoltaicznych złożonego z dziewięciu paneli M55 firmy Siemens, przy zacieleniu jednego z nich. Jest to panel monokrystaliczny o mocy znamionowej 55 W, składający się z 36 ogniw fotowoltaicznych. W celu wykonania tej charakterystyki przyjęto określone warunki: w panelach występują idealne diody by-pass (zerowa strata napięcia w paśmie przepustowym), temperatura paneli wynosi 40°C (odpowiada to średniej temperatur paneli uzyskanych zimą i latem) [2,3].

Analizując przedstawioną na rysunku 3 charakterystykę prądowo – napięciową panelu PV (oznaczoną numerem 1) można zauważyć obniżenie wartości prądu, spowodowane częściowym zacieleniem (mniejszą wartością gęstości mocy promieniowania wynoszącą $E = 900 \text{ W/m}^2$ zamiast $E = 1000 \text{ W/m}^2$ jak w normalnych warunkach pracy pozostałych paneli). Krzywe 2 i 3, to charakterystyki dla łańcucha odpowiednio 8 i 9 paneli otrzymane przy $E = 1000 \text{ W/m}^2$. Dzięki zastosowaniu diody by-pass w łańcuchu 9 paneli (8 podczas pracy normalnej i 1 zacielenego) jego charakterystyka prądowo – napięciowa przybrała niestandardowy kształt (krzywa numer 4). W efekcie w punkcie mocy maksymalnej MPP (w porównaniu do krzywej 3 dla 9 paneli bez zacielenia) obniżeniu uległa wartość prądu, natomiast napięcie osiągnęło większą wartość. Punkty oznaczone jako V_{A1} oraz V_{A2} są granicami dla stałej wartości prądu, wynoszącej 3,4 A, na początkowej części prostoliniowej charakterystyki. Punkt mocy maksymalnej MPP dla łańcucha dziewięciu paneli (krzywa 3) przypada dla napięcia V_{MPP} , wynoszącego 148 V, natomiast dla krzywej 4 (9 paneli z jednym zacielenym) napięcie to wynosi ok. 150 V [2].



Rys.4. Charakterystyki prądowo-napięciowe dla paneli M55 [2,3]:

1 - jednego panelu przy $E = 900 \text{ W/m}^2$ (częściowe zacienienie),

2 - ośmiu paneli przy $E = 1000 \text{ W/m}^2$,

3 - dziewięciu paneli przy $E = 1000 \text{ W/m}^2$,

4 - ośmiu paneli przy $E = 1000 \text{ W/m}^2$ i jednego przy $E = 900 \text{ W/m}^2$ oraz zastosowaniu diody by-pass

W przypadku większego zacienienia prąd panelu zmalałby proporcjonalnie do gęstości mocy promieniowania słonecznego a punkt MPP obniżyłby się jeszcze bardziej (niż jest to przedstawione na rys.4). Wartość prądu w MPP także wynosiłaby tyle samo, co dla pojedynczego zacienionego panelu a napięcie wzrosłoby w porównaniu do wartości przy pracy normalnej. Gdyby nie obecność diody by-pass, prąd płynący przez wszystkie panele obniżyłby się do wartości prądu wydatkowanego przez zacieniony panel, przez co strata mocy byłaby dużo większa niż w łańcuchu z diodą, gdzie przez każdy panel płynie możliwie maksymalny prąd. Warto też zaznaczyć, że na kształt charakterystyki ma wpływ liczba paneli znajdujących się w łańcuchu. W momencie większej liczby połączonych paneli zacienienie jednego z nich będzie miało mniejsze znaczenie na jej przebieg. Również różnice pomiędzy wartościami napięcia obwodu otwartego będą odpowiednio mniejsze [2].

2. Wyznaczenie charakterystyki prądowo – napięciowej $I=f(U)$ dla modułów fotowoltaicznych dla różnych kątów ugięcia

Tabela 4. Parametry – wyniki uzyskane z pomiarów i obliczeń

	0°			30°		
	Irradiacja średnia [W/m ²]					
l.p.	U [V]	I [mA]	P [mW]	U [V]	I [mA]	P [mW]
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
η						
FF						
Pmax						

	45°			60°		
	Irradiacja średnia [W/m ²]					
l.p.	U [V]	I [mA]	P [mW]	U [V]	I [mA]	P [mW]
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
η						
FF						
Pmax						

Sprawozdanie z przebiegu ćwiczenia

Sprawozdanie z przebiegu ćwiczenia powinno zawierać:

- przykładowe obliczenia z pełną dyskusją jednostek (dla każdej serii pomiarów),
- wszystkie wyniki pomiarów i obliczeń (w postaci tablic dla różnych warunków ugięcia modułu),
- charakterystyki prądowo – napięciowe $I=f(U)$ i mocowe $P=f(U)$ modułów dla różnych kątów ugięcia (w jednym układzie współrzędnych),
- określić położenia MPP, kreśląc prostokąty odpowiadające maksymalnej mocy w obwodzie obciążenia,
- wyznaczyć sprawność modułów fotowoltaicznych, współczynnik FF i sprawność w warunkach STC w poszczególnych warunkach oświetlenia. Skomentować otrzymane rezultaty.
- wnioski.

Bibliografia

- [1] Dobrzycki A., Kurz D., Laska D.: Analiza wpływu ukształtowania elastycznej dachówki fotowoltaicznej na uzysk energii elektrycznej, Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering, vol. 87, 2016, Poznań, Polska, str. 47 – 58
- [2] Głów A., Kurz D.: Sposoby ochrony instalacji fotowoltaicznych przed następstwami zacięnień, Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering, vol. 79, 2014, Poznań, Polska, str. 113 – 120 Haberlin H., Photovoltaics. System Designed and Practice, John Wiley & Sons Ltd., 2012
- [3] Hegedus S., Luque A., Handbook of photovoltaic science and engineering, Wiley, 2003
- [4] Jastrzębska G., Ogniwa słoneczne, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2013
- [5] Karaś A., Fotowoltaika zintegrowana z budynkiem, Czysta Energia 2014, nr 4, str. 30-32
- [6] Moyra T., Panua R., Building Integrated Photovoltaic (BIPV) system. Solar energy., Lambert Academic Publishing GmbH &Co., Saarbrücken 2012.
- [7] Pietruszko S., Fotowoltaika zintegrowana z budownictwem (BIPV). Materiał z konferencji: VI Forum Operatorów Systemów i Odbiorców Energii i Paliw „Bezpieczeństwo energetyczne a nowe kierunki wytwarzania i wykorzystania energii w Warszawie”, Warszawa 2009.
- [8] Sarniak M. T., Podstawy fotowoltaiki, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
- [9] Szymański B., Instalacje fotowoltaiczne, Wydanie IV, GEOSYSTEM, Redakcja GLOBEnergia, Kraków 2015.
- [10] <http://solaris18.blogspot.com/2012/10/diody-bocznikujace-i-ich-wpyw-na.html>, (dostęp: 14.01.2014)
- [11] <http://solaris18.blogspot.com/2012/03/goracy-punkt-hot-spot-realny-problem.html>, (dostęp: 14.01.2014)
- [12] <https://virtech.pl/fotowoltaika/oferta/panele-fotowoltaiczne/elastyczne/70wp-modul-fotowoltaiczny-cigs-miasole-flex-01-70n> (dostęp: 28.11.2017)
- [13] <http://www.tegola.pl/page.php?id=26> (dostęp: 28.11.2017)