KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Model mobilny
z ogniwem fotowoltaicznym

materiał szkoleniowy dla uczniów szkół ponadgimnazjalnych

EKSPERT-SITR Spółka z o.o.
ul. Jana z Kolna 38
75-204 Koszalin
www.ekspert-sitr.pl

WYŻSZA SZKOŁA INFRASTRUKTURY I ZARZĄDZANIA W WARSZAWIE
Partner projektu

„Praktyczny program z zakresu OZE
innowacja dla szkół ponadgimnazjalnych"
Działanie 3.3 Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki
„Poprawa jakości kształcenia"

Spis Treści

1. **Wprowadzenie**
2. **Podstawowe cechy**
3. **Specyfikacja techniczna**
4. **Teoria**
5. **Eksperymenty**

Eksperyment 1:
Studium napięcia i prądu wytwarzanych przez ogniwa słoneczne

Eksperyment 2:
Studium charakterystyk napięciowych i prądowych ogniw słonecznych w połączeniu szeregowym i równoległym.

Eksperyment 3:
Studium charakterystyk napięciowych i prądowych, oraz krzywej mocy potrzebnych do znalezienia punkty mocy maksymalnej MPP i efektywności ogniw słonecznych

Eksperyment 4:
Obliczanie sprawności ogniw słonecznych

Eksperyment 5:
Studium zastosowań ogniw słonecznych do ładowania akumulatorów i otrzymywania energii elektrycznej w sytuacjach braku promieniowania słonecznego

Eksperyment 6:
Studium zastosowań ogniw słonecznych dla dostarczania energii potrzebnej dla urządzeń gospodarstwa domowego typu lampa, wentylator, radio

6. **Lista Akcesoriów**

1. Panel z ogniwami fotowoltaicznymi..... 1 szt.
2. Podpora dla panelu słonecznego ..... 1 szt.
3. Przewód ze złączami DB15 (5m) ..... 1 szt.
4. Przewody połączeniowe ..... 15 szt.
5. Akumulatorek ..... 1 szt.
6. Wiatraczek ..... 1 szt.
7. Płyta CD.. ..... 1 szt.

WPROWADZENIE

System NV6005 jest uniwersalnym systemem edukacyjnym do zastosowań laboratoryjnych. Przy jego pomocy uczniowie mogą zapoznać się i zrozumieć różne charakterystyki i zastosowania energii słonecznej. W procesie nauki prezentowane są połączenia wielu ogniw słonecznych dla generacji energii potrzebnej do zasilania urządzeń domowych.

System składa się z dwóch części: **pulpitu szkoleniowego** i **panelu z ogniwami słonecznymi**.

Panel z ogniwami zawiera 6 ogniw o napięciu nominalnym 2 V i prądzie 150 mA DC.

Pulpit szkoleniowy jest podzielony na trzy sekcje:
1. sekcja wejściowa,
2. sekcja pomiarowa,
3. sekcja aplikacji.

Sekcja wejściowa zawiera wyprowadzenia wszystkich ogniw.
Sekcja pomiarowa zawiera woltomierz, amperomierz i potencjometr.
Sekcja aplikacji zawiera układ ładowania i odbiorniki energii, które mogą być podłączone do ogniw słonecznych.
Sekcja ładowania służy do ładowania akumulatora i dostarczania zasilania do odbiorników poprzez układ wzmacniacza. Odbiorniki to lampa, radio FM i wentylator (umieszczone na pulpicie).

Rysunek 1: Pulpit szkoleniowy i panel z ogniwami fotowoltaicznymi

2. PODSTAWOWE CECHY

- kompleksowa nauka podstaw efektu fotowoltaicznego,
- dwa tryby pracy dla nauki charakterystyk ogniw i zastosowań,
- wbudowany woltomierz i amperomierz do pomiarów napięcia i prądu dla danego trybu pracy,
- ładowanie baterii przy wykorzystaniu energii słonecznej,
- ogniwa słoneczne zabezpieczone przed wpływami otoczenia,
- przenośność i niewielka waga zestawu,
- przyjazna instrukcja obsługi zawierająca szczegóły teoretyczne i praktyczne,

3. SPECYFIKACJA TECHNICZNA

- **Panel ogniw:** Składa się z 6 ogniw słonecznych
- **Maksymalne napięcie każdego ogniwa:** 2V DC
- **Maksymalny prąd każdego ogniwa:** 150 mA DC
- **Woltomierz:** 0-10 V DC
- **Amperomierz:** 0-500 mA DC
- **Potencjometr:** 5KΩ
- **Akumulator:** 1,2V DC
- **Żarówka:** 2,2 V, 250 mA DC
- **Wentylator:** 1,5 V, 400 mA DC
- **FM Radio:** 12 V DC

4. TEORIA

Energie odnawialne pochodzą ze źródeł, które są w sposób ciągły uzupełniane przez procesy naturalne w skali czasu dostępnej dla człowieka. Dla odróżnienia paliwa kopalne (węgiel, naturalny gaz, ropa naftowa) wymagają milionów dla formowania się procesów geologicznych. Nasze źródła paliw kopalnych i jądrowych (np. uran) są ograniczone. Energie które się samoczynnie regenerują są nieograniczone z naszego punktu widzenia. Przykłady energii odnawialnych:

Energia słoneczna dostępna w różnych postaciach
Promieniowanie słoneczne: fotowoltaika, ciepło słoneczne powodujące ruchy powietrza w atmosferze: wiatr, opady deszczu, energia hydroelektryczna, biopaliwa, biomasa, biogaz Najczęściej współcześnie wykorzystywane źródła energii odnawialnych to panele słoneczne, elektrownie wiatrowe i elektrownie wodne.

Energia przypływów (grawitacyjne przyciąganie słońca, ziemi i księżyca):
Elektrownie pływowe wykorzystują energię dostarczaną przez wysokie i niskie stany wód w czasie przypływów i odpływów. Woda jest gromadzona w zbiornikach w czasie przypływów i uwalniana do napędu turbin w czasie odpływów.

Energia geotermalna (radioaktywność i pierwotne ciepło wnętrza ziemi):
Energia geotermalna wykorzystuje ciepło wnętrza ziemi. To ciepło może być wykorzystywane bezpośrednio lub przetwarzane na energię elektryczną.
Energie odnawialne są obecne w naturalnych cyklach i systemach, dostępne dla nas w formach możliwych do wykorzystania. Ruchy wody, wiatru, ciepło słońca i ciepło ziemi, węglowodory w roślinach są to źródła energii naturalnej, które mogą zaspokoić nasze zapotrzebowanie na ciągłe dostawy energii. Ze względu na naturalność występowania energii odnawialnych są one w stanie zwiększyć nasze bezpieczeństwo energetyczne.

Fotowoltaika – od promieniowania słońca do elektryczności:
Słowo fotowoltaika jest kombinacją greckiego oznaczenia światła i nazwiska znanego fizyka Allesandro Volta. Jest to określenie procesu bezpośredniej zamiany światła słonecznego na energię elektryczną. Wykorzystywany tu proces jest określany jako efekt fotoelektryczny odkryty przez Aleksandra Bequerel w 1839 roku. Efekt fotoelektryczny opisuje uwalnianie nośników ładunków dodatnich i ujemnych w ciałach stałych na które pada światło słoneczne.

Generator energii elektrycznej w systemie PV (fotowoltaicznym) NV6005

Historia ogniw fotowoltaicznych:
Rozwój ogniw fotowoltaicznych datuje się od roku 1839, w którym francuski fizyk Antoine-César Becquerel zaobserwował efekt fotowoltaiczny podczas eksperymentów z elektrodą zanurzoną w elektrolicie, w czasie gdy światło padało na elektrodę z ciała stałego.

Pierwsze ogniwo fotoelektryczne:
Zgodnie z informacją w Encyclopedia Britannica pierwsze ogniwo fotoelektryczne zostało zbudowane ok. 1883 r przez Charles Fritts, który wykorzystał połączenie uformowane przez pokrycie selenu (który jest półprzewodnikiem) cienką warstwą złota.

Dalsze prace nad ogniwami fotoelektrycznymi :
W 1927 roku inne złącze metal – półprzewodnik zostało wykorzystane do stworzenia ogniwa fotoelektycznego. W tym przypadku zastosowano miedź i tlenek miedzi. W latach 1930-tych używano ogniw selenowych i tlenkowych do produkcji elementów fotoczułych, takich jak fotometry, do wykorzystania w fotografii.

Fotoogniwa krzemowe:
Wczesne ogniwa słoneczne posiadały sprawność przetwarzania energii słonecznej poniżej 1%. Problem został ostatecznie rozwiązany przez opracowanie fotoogniw krzemowych. W 1941 roku Amerykanin Russell Ohl wynalazł krzemowe ogniwo słoneczne.

Efektywne ogniwa słoneczne:
W 1954 r, trzej amerykańscy badacze Gerald Pearson, Calvin Fuller i Daryl Chapin, opracowali ogniwo słoneczne posiadające 6% sprawności. Trzej wynalazcy stworzyli matrycę pasków krzemu (każdy rozmiarów brzytwy), umieścili je w promieniach słonecznych, a w ogniwach były wychwytywane wolne elektrony, przekształcane następnie w prąd elektryczny.

Bell Laboratories w Nowym Jorku ogłosiły rozpoczęcie prototypowej produkcji ogniw słonecznych Bell finansował badania. Pierwsze próbne publiczne wykorzystanie ogniw słonecznych Bell miało miejsce 4 października 1955 roku przez operatora telekomunikacyjnego Americus (Georgia). W późnych latach 80-tych produkowane ogniwa słoneczne, także oparte na arsenku galu posiadały sprawność ok. 20%. W 1989 roku wykorzystanie koncentratora optycznego (działającego na zasadzie soczewki) skupiającego światło słoneczne na powierzchni ogniwa pozwoliło na uzyskanie 37% sprawności. Obecnie dostępne są różnorodne ogniwa słoneczne, różniące się ceną i sprawnością.

Praca ogniwa słonecznego:
Systemy fotowoltaiczne przetwarzają światło słoneczne na energię elektryczną. Podstawą tej technologii jest użycie materiałów półprzewodnikowych, takich jak krzem. Typowe ogniwo słoneczne składa się z dwóch półprzewodników różnie domieszkowanych. Domieszkowanie jest kontrolowanym wprowadzaniem zawartości innych materiałów do materiału podstawowego. W czystym krysztale półprzewodnika (np. krzemu) podmieniane są niektóre atomy w sieci krystalicznej przez pierwiastki posiadające o jeden więcej elektronów walencyjnych niż materiał podstawowy (elektrony walencyjne określają własności chemiczne materiałów, znajdują się one na najdalszych orbitach atomu). Materiały półprzewodnikowe posiadają cztery elektrony walencyjne, wszystkie z nich służą do wiązania siatki krystalicznej. Jeżeli materiał domieszki ma pięć elektronów walencyjnych, wtedy jeden nadmiarowy jest luźno związany z siecią krystaliczną. Te wolne elektrony (atomy) mogą się swobodnie przemieszczać w sieci krystalicznej zwiększając

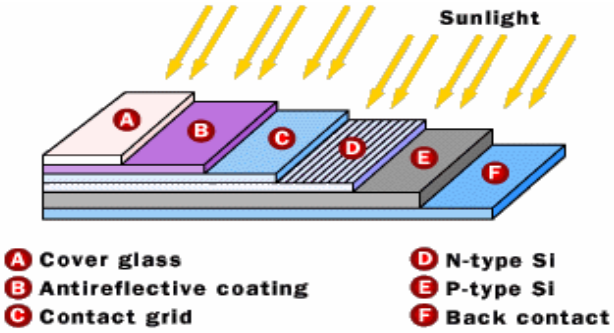
tym samym przewodność materiału. Ponieważ posiadają one (elektrony) ładunek ujemny powstały w ten sposób materiał określamy jako półprzewodnik typu *n*. Z drugiej strony jeżeli materiał domieszki posiada tylko trzy elektrony walencyjne taka struktura będzie miała dziurę w ładunku ujemnym w stosunku do sieci krystalicznej, w efekcie „dziury” będą miały ładunek dodatni.

Podobnie jak elektrony dziury mogą się swobodnie przemieszczać zwiększając tym samym przewodność materiału podstawowego. Materiał półprzewodnikowy posiadający dziury określamy jako półprzewodnik typu p. Gdy półprzewodnik typu n jest zetknięty (złącze) z półprzewodnikiem typu p, tworzy się złącze *p-n*. O ile każda ze stron złącza jest elektrycznie obojętna (istnieje tyle samo elektronów, co protonów), co jednak nie rozciąga się na pewne obszary złącza *p-n*, ze względu na różnice koncentracji dziur i elektronów pomiędzy rejonami *n* i *p*, co powoduje powstanie prądu dyfuzyjnego: elektrony z obszaru *n* przepływają do obszaru *p* zapełniając dziury.

W takim obszarze nieomal nie występują wolne nośniki ładunków (wolne elektrony lub dziury), obszar taki jest nazywany strefą zaporową. W strefie zaporowej w sieci krystalicznej po stronie domieszkowanej *n* znajdują się ładunki dodatnie, a po stronie domieszkowanej *p*, co powoduje powstanie pola elektrycznego przeciwdziałającego dalszemu przepływowi elektronów. Im więcej elektronów przepłynie ze strony *n* na stronę *p* tym większe będzie pole elektryczne przeciwdziałające dalszemu przepływowi elektronów i osiągnięty zostanie stan równowagi. Różnica potencjałów dla stanu równowagi pola elektrycznego jest nazywana napięciem dyfuzyjnym. To napięcie nie jest dostępne na elektrodach zewnętrznych. Jednak kiedy światło pada na fotoogniwo, stan równowagi ulega zaburzeniu, a tzw. wewnętrzny efekt fotoelektryczny powoduje powstanie dodatkowych nośników ładunków, które mogą się swobodnie poruszać w polu elektrycznym i w strefie zaporowej.

Dziury poruszają się w kierunku rejony p, elektrony w kierunku rejonu n, tworząc różnicę potencjałów – napięcie pomiędzy materiałami tworzącymi ogniwo fotoelektryczne. To napięcie, a w zasadzie siła elektromotoryczna zależy od użytych materiałów, ale nie zależy od powierzchni ogniwa. Ogniwo krzemowe posiada siłę elektromotoryczną ok. 0,5 V. Wyższe napięcia mogą być uzyskiwane przez szeregowe połączenie ogniw słonecznych. Prąd który może być dostarczony przez ogniwa słoneczne jest proporcjonalny do natężenia światła padającego na ogniwo. Większe prądy mogą być uzyskiwane przez równolegle połączenie ogniw słonecznych. Moc ogniwa słonecznego zależy nie tylko od ogniwa słonecznego ale także od obciążenia elektrycznego dołączonego do ogniwa. Punkt maksymalnej mocy ogniwa (MPP) może być określony na podstawie charakterystyk moc – napięcie ogniwa. Sprawność ogniwa słonecznego zależy od temperatury, spada przy wzroście temperatury.

Podstawowa struktura krzemowego ogniwa PV
Grubość ogniwa wynosi ok. 0,33 mm.
Grubość warstwy *n* wynosi ok. 0,002 mm.



Rysunek 2: Szkło przykrywające

B. Warstwa anty-odbiciowa (AR): Przez dobór korzystnych współczynników załamania, grubości warstw, ta warstwa ma własności kierujące światło na ogniwo PV. Bez tej warstwy większość światła słonecznego odbijała by się od powierzchni fotoogniwa.

C. Siatka kontaktowa: Siatka kontaktowa jest wykonana z dobrego przewodnika, takiego jak metal, służy do zbierania elektronów.

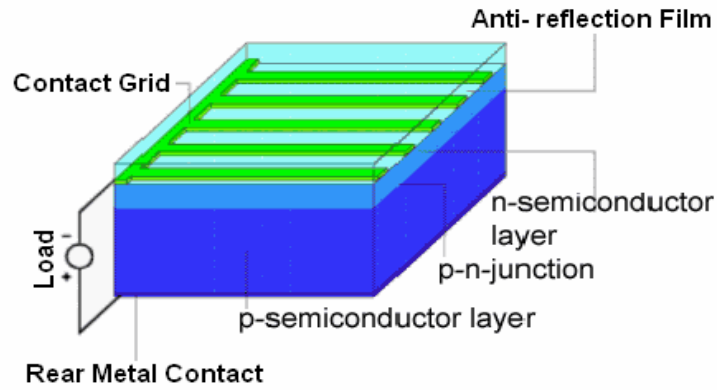
D. Warstwa krzemu typu *n*: Warstwa krzemu typu n została utworzona przez domieszkowanie krzemu materiałem posiadającym o jeden więcej elektronów walencyjnych, takich jak np. Fosfor lub Arsen. Ponieważ do powiązania z sąsiednimi atomami siatki krystalicznej potrzebne są tylko cztery elektrony, piąty elektron walencyjny jest dostępny dla efektu przewodzenia.

E. Krzem typu p: Krzem typu P jest utworzony przez domieszkowanie materiałem posiadającym mniej elektronów walencyjnych niż krzem, takim jak Bor. Kiedy krzem (cztery elektrony walencyjne) jest domieszkowany materiałem posiadającym mniej elektronów walencynych, tylko trzy elektrony są dostępne dla wiązania siatki krystalicznej, przez co niekompletne wiązania (dziury) przyciągają elektrony z sąsiednich atomów. Wypełnienie dziury powoduje powstanie dziury w innym atomie krzemu, takie przemieszczanie się ładunku jest wykorzystywane do przewodnictwa elektrycznego.

F. Kontakt podłożowy: Ten kontakt utworzony z metalu pokrywa całą spodnią cześć ogniwa i służy jako przewodnik.

Droga fotonu
Po przejściu fotonu przez szklaną warstwę ochronną, foton dociera do warstwy anty-odbiciowej. Warstwa anty-odbiciowa kieruje fotony w głębsze warstwy ogniwa. Kiedy foton przechodzi przez warstwę anty-odbiciową dociera do powierzchni krzemu lub do siatki metalizowanej. Metalizacja posiadając duży współczynnik odbicia światła zmniejsza ilość fotonów docierających do powierzchni krzemu. Jednocześnie siatka kontaktowa (metalizowana) musi być na tyle duża, żeby efektywnie zbierać elektrony i na tyle mała, żeby nie przesłaniać powierzchni krzemu, umożliwiając fotonom penetrację. Fotony te wytwarzają efekt fotowoltaiczny.

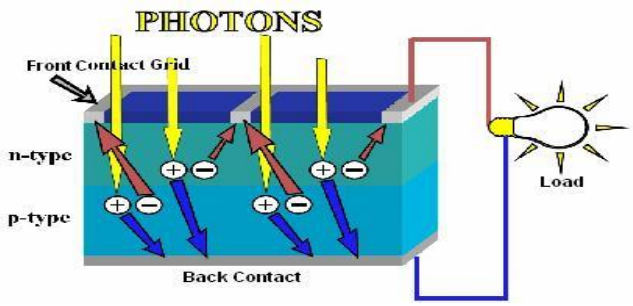
Jak pokazano na rysunku poniżej rejony styku półprzewodników domieszkowanych *n* i *p* tworzą złącze *p-n*.



Rysunek 3 Model ogniwa słonecznego

Ze względu na złącze *p-n*, powstałe pole elektryczne (ok. 0,6 – 0,7 V) jest zawsze obecne w ogniwie (obszar zaciemniony na rysunku). Kiedy fotony uderzają ogniwo PV, uwolnione elektrony (–) starają się połączyć z dziurami w warstwie domieszkowanej *p*. Złącze *p-n* jest barierą jednokierunkową, pozwala elektronom poruszać się tylko w jednym kierunku. Jeżeli utworzymy zewnętrzny obwód elektryczny, elektrony będą przepływać tym obwodem do strony domieszkowanej *p*, aby połączyć się z dziurami. Przepływ elektronów powoduje powstanie prądu (I) i napięcia (V). Połączenie prądu i napięcia daje moc (P), która jest iloczynem V × I. Dlatego zewnętrzne obciążenie (elektryczne), takie jak lampa jest podłączone pomiędzy zewnętrznymi kontaktami ogniwa, elektryczność przepływa w ogniwie dostarczając nam energii.

Reakcja fotonów i nośników ładunku typu *n* i *p*



Rysunek 4 Obwód zastępczy ogniwa słonecznego

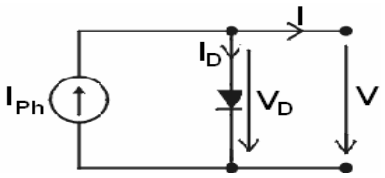
Idealny i najprostszy model ogniwa słonecznego składa się z diody i źródła prądu połączonych równolegle.
Wydajność źródła prądowego jest wprost proporcjonalna do natężenia promieniowania słonecznego. Dioda reprezentuje złącze *p-n* ogniwa słonecznego. Równanie idealnego ogniwa słonecznego jest następujące:

$$I = I_{Ph} - I_s \quad e^{\frac{V_D}{mV_T}} - 1$$

gdzie:
I_{Ph} – prąd fotowoltaiczny (A),
I_S – Zaporowy prąd nasycenia (A) (ok. 10-8/m2),
V_D – Napięcie diodowe (V),
V_T – Napięcie termiczne = 25.7 mV przy 25°C,
m – współczynnik diodowy = 1...5 × VT (-) (m = 1 dla diody idealnej)
Napięcie termiczne, VT może być obliczone z następującego równania:

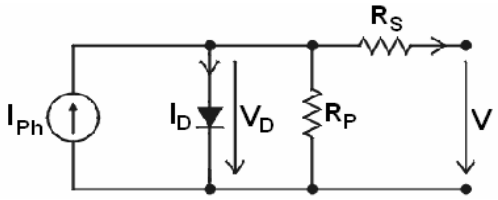
$$V_T = \frac{k.T}{q}$$

gdzie:
k – stała Boltzmanna = 1.38 x 10-23 J/K,
T - Temperatura (K),
q – Ładunek elektronu = 1.6 x 10-19 As



Rysunek 5 Model idealnego ogniwa słonecznego

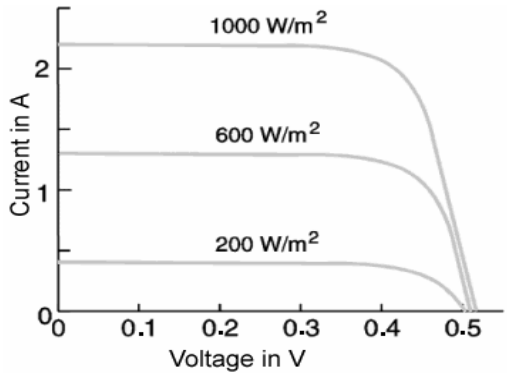
W praktyce nie istnieje idealne ogniwo słoneczne, rzeczywiste ogniwa posiadają rezystancję szeregową i rezystancję równoległą. W efekcie istnieje spadek napięcia wyjściowego i prądy pasożytnicze.



Rysunek 6 Model ogniwa słonecznego z rezystancją szeregową i równoległą

Rysunek 7 Reprezentacja ogniwa słonecznego na schematach elektrycznych

Napięcie użyteczne uzyskiwane z ogniw słonecznych zależy od materiału półprzewodnikowego. Dla krzemu napięcie wynosi o. 0,5 V. Napięcie na zaciskach ogniwa słabo zależy od natężenia światła słonecznego, natomiast natężenie uzyskiwanego prądu zwiększa się przy zwiększaniu natężenia oświetlenia. Ogniwo o powierzchni 100 cm^2 osiąga maksimum prądu przy oświetleniu ok. 1000 W/m^2.



Rysunek 8 Charakterystyka ogniwa słonecznego

Mocy wyjściowa ogniwa PV zależy także od temperatury. Wyższe temperatury ogniwa zmniejszają sprawność. Sprawność ogniwa określa jak dużo docierającego promieniowania świetlnego jest zamieniane na energię elektryczną.

Różne typy ogniw:

Można rozróżnić trzy podstawowe typy ogniw słonecznych: monokrystaliczne, polikrystaliczne i amorficzne. Najczęściej stosowanym do budowy ogniw PV materiałem półprzewodnikowym jest krzem. W siatce krystalicznej można wyróżnić typy uporządkowania:

1. krzem monokrystaliczny (efektywność ok. 14-17%),
2. krzem polikrystaliczny (efektywność ok. 13-15%),
3. krzem amorficzny (efektywność ok. 5-7%).

Do wyprodukowania monokrystalicznego krzemu potrzebny jest absolutnie czysty materiał. Pręty monokryształów są wyciągane ze stopionego krzemu, a następnie cięte na plastry. Ten proces gwarantuje stosunkowo wysoki uzysk. Krzem monokrystaliczny nie jest jedynym materiałem stosowanym do produkcji ogniw PV. Krzem polikrystaliczny jest stosowany w celu obniżenia kosztów produkcji, choć powstałe w ten sposób ogniwa nie są tak sprawne jak ogniwa z krzemu monokrystalicznego. W procesie produkcji krzemu polikrystalicznego ciekły krzem jest nalewany do form – bloków, które są następnie cięte na płytki.

W czasie procesu stygnięcia – krystalizacji formują się struktury kryształów o różnych rozmiarach. Na krawędziach kryształów mają miejsce defekty siatki krystalicznej. W wyniku obecności tych defektów ogniwa są mniej efektywne. Krzem amorficzny nie posiada struktury krystalicznej, jest najtańszy w produkcji i jednocześnie najmniej sprawny energetycznie.

Jeżeli na warstwę szkła lub innego podłoża nałożymy warstwę krzemu, powstałą strukturę nazywamy strukturą amorficzną lub cienkowarstwową. Grubość warstwy krzemu jest mniejsza niż 1μm (grubość włosa ludzkiego to: 50-100 μm), dzięki czemu koszty produkcji są mniejsze ze względu na mniejsze koszty materiału. Jednak efektywność krzemu amorficznego jest znacznie mniejsza niż mono- lub polikrystalicznego. Z tego powodu ogniwa amorficzne są stosowane w urządzeniach wymagających małej mocy zasilania (zegarki, kalkulatory).

Materiał	Poziom sprawności % Badania laboratoryjne	Poziom sprawności % Produkcja przemysłowa
krzem monokrystaliczny	ok. 24%	14-17
krzem polikrystaliczny	ok. 18%	13-15
krzem amorficzny	ok. 13%	5.07.2011

Ponad 95% ogniw produkowanych na świecie jest oparte na krzemie (Si). Jako najbardziej powszechny materiał w skorupie ziemskiej, krzem posiada przewagę ze względu na łatwość pozyskiwania w dużych ilościach. Dodatkowo przetwarzanie krzemu nie stanowi zagrożenia dla środowiska. Inne stosowane materiały to arsenek galu (Ga-As), związki miedzi, selenu i indu (Cu-Se-In) i tellurek kadmu (Te-Cd). Różne materiały posiadają różne przerwy energetyczne, zdają się przez to być dostrojone do różnych długości fal lub fotonów o różnej energii. Jedną ze stosowanych metod poprawy sprawności jest stosowanie dwóch warstw materiałów posiadających różne przerwy energetyczne. Warstwa powierzchniowa jest wykonana z materiału o wyższej przerwie energetycznej, absorbuje fotony o wysokiej energii, podczas gdy dolna warstwa wykonana z materiału o niższej przerwie energetycznej absorbuje fotony o niższej energii. Taka technologia pozwala wytworzyć ogniwa PV o większej wydajności. Ogniwa takie noszą nazwę wielozłączowych.

Od ogniwa do panelu:
W celu uzyskania odpowiednich napięć i prądów dla różnych zastosowań ogniwa łączy się szeregowo dla zwielokrotnienia napięcia i równolegle dla uzyskania większego prądu obciążenia. Połączone ogniwa są najczęściej umieszczane w przezroczystym tworzywie sztucznym (Acetat Etylo Winylowy), oraz obudowywane w ramy z aluminium lub stali, a następnie przykrywane wierzchnią warstwą przeźroczystego szkła.

Typowe moce uzyskiwane z paneli PV wynoszą 10-100 W peak (szczyt). Te dane odnoszą się do standardowego oświetlenia światłem słonecznym 1000 W/m^2 przy temperaturze 25°C. Standardowa gwarancja producenta opiewa na 10 lub więcej lat, jest to długi okres odzwierciedlający wysokie standardy jakości i czas życia produktu.

<u>Istnieją naturalne ograniczenia sprawności ogniw takie jak:</u>

1. Różne materiały półprzewodnikowe lub ich kombinacje są dopasowane do specyficznego zakresu widma. Dlatego pewna część energii promieniowania nie może być wykorzystana przez fotony, które nie mają wystarczającej energii do aktywowania nośników ładunku.
   Światło widzialne jest tylko częścią widma promieniowania słonecznego. Promieniowanie elektromagnetyczne nie jest monochromatyczne – składa się z wielu różnych długości fal, a co za tym idzie fotony posiadają różne poziomy energii.

   Światło może być rozdzielone na różne długości fal, możemy je obserwować jako barwy tęczy. Ponieważ światło które dociera do naszych ogniw słonecznych składa

się z fotonów o różnych poziomach energii, oznacza to, że niektóre z fotonów nie mają dość energii żeby uruchomić parę elektron – dziura. Takie fotony przechodzą przez ogniwo jakby było ono przeźroczyste. Inne fotony mają zbyt dużą energię. Tylko pewna porcja energii mierzona w elektronowoltach (eV) i definiowana przez materiał z którego jest wykonane ogniwo (ok. 1,1 eV dla krzemu krystalicznego) jest wykorzystywana do uwolnienia elektronu. Taką wartość energii nazywamy przerwą energetyczną materiału.

2. Określona porcja energii jest w ogniwie zamieniana na ciepło zamiast na energię elektryczną. Jeżeli foton posiada większą energię niż wymagana porcja, wtedy nadmiarowa energia jest tracona (o ile foton nie posiada dokładnie dwukrotnie większej energii niż energia potrzebna do stworzenia pary elektron dziura. W takiej sytuacji foton może wytworzyć dwie pary elektron – dziura. Te dwa efekty są odpowiedzialne za straty ok. 70% energii docierającej do naszego ogniwa.

   Nie możemy zastosować materiału posiadającego bardzo niską przerwę energetyczną, nie możemy wykorzystać większej ilości fotonów. Przy niskiej przerwie energetycznej nasze pole elektryczne miałoby zbyt niską wartość i trzeba by było używać wysokich wartości prądu dla uzyskania odpowiedniej mocy wyjściowej (absorpcja dużej ilości fotonów). Pamiętamy że moc jest równa iloczynowi napięcia i prądu. Optymalna przerwa energetyczna wynosi ok. 1,4 eV dla ogniwa wykonanego z pojedynczego materiału.

3. Istniejące straty optyczne, takie jak cień powodowany prowadzeniem metalizacji elektrod, odbicia światła od pokrycia ogniw.

4. Elektrony muszą przebyć drogę z jednej strony ogniwa na drugą poprzez obwody zewnętrzne. Dolna część ogniwa może być pokryta w całości dobrze przewodzącą warstwą metalu, ale nie możemy pokryć metalem całkowicie górnej warstwy, przez co przewodność kontaktów ulega ograniczeniu. Nie można także pokryć kontaktami bocznych powierzchni ogniwa, ze względu na zbyt długą drogę którą elektrony musiałyby pokonywać. Aby zminimalizować straty powodowane podróżowaniem elektronów do kontaktów, kontakty są rozmieszczone w postaci siatki elektrod na powierzchni ogniwa. Niektóre fotony będą blokowane przez siatkę kontaktów.

5. Inne mechanizmy strat to straty powodowane ograniczoną przewodności półprzewodnika, i podłączonych przewodów. Zanieczyszczenia materiału, efekty powierzchniowe i defekty sieci krystalicznej mają także znaczenie. Fotony o zbyt niskiej energii nie są absorbowane, fotony o nadmiernej energii zużywają nadmiar energii na ciepło, ograniczenia poprawy efektywności wynikają z zastosowanych materiałów. Teoretyczna maksymalna sprawność ogniw PV wynosi 24% dla krzemu krystalicznego.

Nowe kierunki:

Zmiana struktury powierzchni dla zmniejszenia strat odbiciowych
Np. konstrukcja ogniw których powierzchnia ma strukturę piramidalną, tak aby padające światło mogło się kilkukrotnie odbijać od struktury (nie od warstwy anty-odblaskowej). Nowe materiały na przykład arsenek galu (GaAs), tellurek kadmu (CdTe), selenek indowo miedziowy ($CuInSe^2$).

Ogniwa łączone w tandemy lub ustawiane na sobie
W celu pełniejszego wykorzystania widma światła słonecznego, można stosować różne materiały półprzewodnikowe, wrażliwe na różne długości fal padającego światła.

Koncentracja światła
Wyższe natężenia światła można uzyskać stosując soczewki i lustra służące do ogniskowania światła na ogniwach (i ich częściach aktywnych). Inteligentne systemy mogą także śledzić słońce dla zachowania optymalnego kąta naświetlania.

Ogniwa MIS z odwróconymi warstwami
Wewnętrzne pole elektryczne nie jest wytwarzane przez złącze *p-n*, ale przez cienką warstwę tlenku na półprzewodniku.

Ogniwa Gratzel
Ciecze elektrochemiczne z tlenkiem tytanu jako elektrolitem i barwnikami do poprawy absorpcji światła.

Zastosowania ogniw słonecznych

Elektryczność generowana przez ogniwa słoneczne może być wykorzystywana bezpośrednio lub gromadzona w akumulatorach lub poprzez inwertery wprowadzana do sieci energetycznej.

1. **Elektryfikacja terenów słabo zurbanizowanych:**
   Doprowadzenie energii elektrycznej do obszarów słabo zurbanizowanych jest ważne ze względów socjalnych i ekonomicznych. Energia elektryczna na tych obszarach może być wykorzystywana do zasilania domów, szpitali, instalacji irygacyjnych itp. Potencjał energii solarnych jest w tych rejonach nie do przecenienia. ONZ szacuje, że ok. 2 mln wsi z 20 mln w obszarach równikowych nie posiada dostępu do energii elektrycznej, podczas gdy klimat w tych rejonach jest idealny do stosowania energetyki słonecznej. Nawet w Europie kilkaset tysięcy domów nie ma dostępu do elektryczności. Pozytywne jest porównanie ekonomiki systemów PV z typowymi alternatywnymi formami doprowadzania energii elektrycznej do obszarów słabo zurbanizowanych (generatory diesel, przedłużenie łączy energetycznych…).

2. **Pompowanie wody:**
   Obecnie na świecie funkcjonuje ponad 10000 pomp wody zasilanych ogniwami PV. Pompy te służą do dostarczania wody do wsi, oraz do nawadniania.

Rysunek 9 Głębinowa pompa wody zasilania ogniwami PV

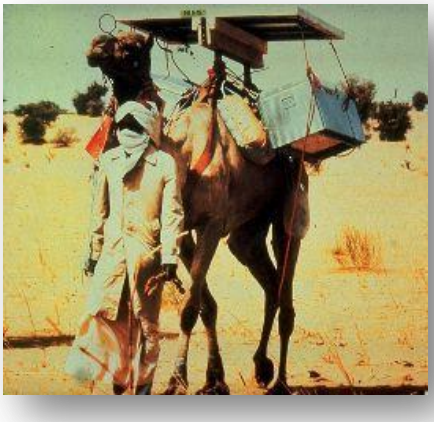
3. **Oświetlenie:**
   Jednym z bardziej powszechnych zastosowań ogniw PV jest ich wykorzystanie w systemach oświetlenia domów, budynków publicznych i oznakowania dróg.

Rysunek 10 Światła sygnalizacyjne zasilane ogniwami PV

4. **Zasilanie gospodarstw domowych:**
   Niezależne instalacje dostarczające energię elektryczną do gospodarstw domowych są powszechnie spotykane w krajach rozwijających się i w krajach rozwiniętych, tam gdzie występują duże odległości od istniejących instalacji energetycznych. Typowe instalacje dostarczają 50 do 5000 W mocy w szczycie.

Rysunek 11 Dom zasilany energią słoneczną

5. **Służba zdrowia:**
   Programy powszechnych szczepień dla skuteczności muszą być wspomagane odpowiednimi warunkami transportu i przechowywania szczepionek, zwłaszcza w gorącym klimacie. Taki proces transportu jest określany jako łańcuchy chłodu dla szczepionek.



Rysunek 12 Przenośna lodówka do transportu szczepionek

<u>Zastosowania profesjonalne:</u>
Ogniwa PV sprawdziły się jako niezawodne źródło zasilania do sterowania zdalnego w systemach o odległych lokalizacjach. Niektóre z aplikacji są nieomal niewidoczne, jak zastosowanie w telekomunikacji, przemyśle wydobycia ropy naftowej, lub w systemach sterowania bezpieczeństwem ruchu na autostradach, gdzie istotna jest niezależność od sieci energetycznej.

1. **Wspomaganie nawigacji oceanicznej:**

   Wiele latarni morskich jest obecnie zasilanych przez ogniwa słoneczne.

Rysunek 13 Oświetlenie nawigacyjne na rzece Saint Lawrence

2. **Systemy telekomunikacyjne:**
   Przekaźniki radiowe na szczytach gór lub przekaźniki telekomunikacyjne są często zasilane elektrycznością słoneczną.

   Telefony drogowe: Telefony umieszczone przy drodze są podłączane do paneli słonecznych. W Kalifornii standardem jest zasilanie telefonów drogowych przy pomocy paneli PV, bez potrzeby kładzenia linii zasilających,

dzięki czemu obniżone są koszty systemu i zwiększona niezawodność, istotna w sytuacjach ratowania życia.

Instalacje telekomunikacyjne: Kiedy zachodzi potrzeba umieszczenia przekaźnika mikrofalowego na szczycie góry, prowadzenie linii zasilającej jest czasem nieomal niemożliwe.

Dla zapewnienia niezawodnej pracy stosuje się do zasilania panele słoneczne. Firma SIEMENS Solar dostarczyła panele o mocy łącznej 130 MW (od czasu opracowania paneli słonecznych). Szacuje się wzrost zapotrzebowania 10-15% /rok.

Rysunek 14 Wieża telekomunikacyjna zasilana panelami PV

3. **Zdalne monitorowanie i sterowanie:**
   Stacje badawcze, rejestratory sejsmiczne, stacje pogodowe itp. często wykorzystują energię słoneczną do zasilania.

Rysunek 15 Stacja pogodowa zasilana energią słoneczną

4. **Ochrona katodowa**
   Jest to metoda ochrony metali przed korozją. Zastosowanie: rurociągi i inne struktury metalowe. Energia słoneczna jest idealna do zasilania systemów ochrony katodowej, bez potrzeby instalacji łączy energetycznych.

Rysunek 16 Zasilanie systemu ochrony katodowej dla rurociągu

Biorąc pod uwagę ciągły wzrost ilości instalowanych paneli udział energii pozyskiwanej z paneli PV będzie wzrastać w przyszłości. Domy będą projektowane z uwzględnieniem instalacji solarnych jako jednego ze źródeł energii. Nowe technologie telekomunikacyjne będą ułatwiać zamieszkanie w odległych rejonach.

Generacja energii elektrycznej w przestrzeni kosmicznej:
Problem energii w przypadku pojazdów kosmicznych może być podzielony na dwie części.

Pierwszą najważniejsza trudność dotyczy oczywiście (prędkości) ucieczki z Ziemi. Druga część dotyczy sytuacji gdy pojazd kosmiczny znajduje się już w przestrzeni. Problem opuszczenia powierzchni Ziemi jest rozwiązywany zazwyczaj przy użyciu rakiet nośnych zasilanych paliwem. Po umieszczeniu na orbicie pojazd jest oddzielony od rakiety nośnej. W większości przypadków pojazdy kosmiczne wyposażone są w małe silniki rakietowe i niewielką ilość paliwa niezbędne do wykonywania ograniczonych manewrów. W przestrzeni kosmicznej pojazd musi posiadać źródło energii elektrycznej konieczne do wypełniania misji.

Nawet wymiana informacji z Ziemią wykorzystuje ten rodzaj energii. Misja pojazdów kosmicznych wymaga przesyłania zdjęć i informacji z pojazdu na Ziemię. Elektryczność jest również potrzebna dla pokładowych urządzeń sterujących.

Dostarczanie energii elektrycznej na bieżące potrzeby pojazdu kosmicznego odbywa się najczęściej przez wykorzystanie paneli słonecznych. Ilość generowanej energii elektrycznej jest proporcjonalna do powierzchni paneli. Często wielkość paneli przewyższa wielkość samego pojazdu. Panel mogą być rozłożone do pozycji pracy dopiero

w przestrzeni kosmicznej. Na potrzeby Międzynarodowej Stacji Kosmicznej przewidziano panele słoneczne o mocy osiągającej 100 kW.

Rysunek 17 Satelita z zasilaniem panelami słonecznymi.

Systemy podłączane do sieci energetycznej

1. **Stacja z ogniwami PV**
   Rozróżniamy dwa typy instalacji PV dołączanych do sieci energetycznej: scentralizowane i rozproszone. Instalacje rozproszone są najczęściej spotykane w gospodarstwach domowych. Stacje PV doprowadzają wygenerowaną energię do sieci energetycznej za pośrednictwem inwerterów napięciowych. Pierwsza elektrownia PV została wybudowana w południowej Kalifornii w 1982 roku, instalacja posiadała moc 1 MW.

Rysunek 18 Stacja energetyczna z panelami PV

Rysunek 19 Specjalizowane pokrycie ściany budynku panelami PV

Rysunek 20 Specjalizowane panele słoneczne do instalacji na istniejących dachach

Główną zaletą systemów rozproszonych PV jest niski koszt budowy, oraz niskie straty przesyłu energii – znikoma odległość. Typowe wykorzystanie energii w systemach rozproszonych to klimatyzacja, chłodzenie (lodówki) i pompy, oraz pralki i suszarki.

<u>Korzyści ze stosowania paneli PV:</u>

1. Energia z paneli PV jest jednym z najbardziej obiecujących źródeł, czysta, bez elementów ruchomych nie wymagających częstej konserwacji.
2. Cechą charakterystyczną jest brak potrzeby tworzenia dużych instalacji potrzebnych do pracy – w odróżnieniu od typowych stacji generujących energię elektryczną. Instalacje PV pracują cicho i nie wymagają nadzoru. W miarę rozwoju osiedli można dokładać kolejne pokrycia dachowe panelami PV.

3. Kiedy energia z paneli PV jest porównywana z innymi rodzajami energii odnawialnych jak wiatr, elektrownie wodne, energia geotermiczna, oczywiste stają się korzyści z jej stosowania. Turbiny i generatory są zależne od wiatru, posiadają bardziej zawodne części ruchome i powodują hałas.
4. Energia słoneczna jest pobierana prosto ze słońca. Żywotność ogniw słonecznych jest liczona w dziesięcioleciach.

5. EKSPERYMENTY

Eksperyment 1:
Studium napięcia i prądu wytwarzanych przez ogniwa słoneczne.

Eksperyment 2:
Studium charakterystyk napięciowych i prądowych ogniw słonecznych w połączeniu szeregowym i równoległym.

Eksperyment 3:
Studium charakterystyk napięciowych i prądowych, oraz krzywej mocy potrzebnych do znalezienia punkty mocy maksymalnej MPP i efektywności ogniw słonecznych.

Eksperyment 4:
Obliczanie sprawności ogniw słonecznych.

Eksperyment 5:
Studium zastosowań ogniw słonecznych do ładowania akumulatorów i otrzymywania energii elektrycznej w sytuacjach braku promieniowania słonecznego.

Eksperyment 6:
Studium zastosowań ogniw słonecznych dla dostarczania energii potrzebnej dla urządzeń gospodarstwa domowego typu lampa, wentylator, radio.

EKSPERYMENT 1

Temat: Studium napięcia i prądu uzyskiwanych z ogniw słonecznych.

Procedura:

1. Przygotować Zestaw Edukacyjny NV6005 razem z panelem słonecznym**.**

2. Umieścić panel z ogniwami w podstawie. Pochylić podstawę pod kątem ok. 45 stopni do ziemi. Obrócić panel z ogniwami, tak aby słońce padało na ogniwa pod kątem prostym.

Uwaga: Jeżeli oświetlenie słoneczne nie jest dostępne można posłużyć się oświetleniem halogenowym lub inną silną lampą.

3. Połączyć kablem DB15 zestaw NV6005 z płytą eksperymentalną. Odczekać 1 minutę aby uniknąć błędów związanych z różnicami temperatur.

4. Zmierzyć napięcie (V1) dla pierwszego ogniwa S1 przez podłączenie przewodami wyjść pierwszego ogniwa do woltomierza. W podobny sposób można zmierzyć napięcie na pozostałych ogniwach (V1, V2, V3, V4, V5, V6), wyniki umieścić w Tablicy Obserwacji.

5. Zmierzyć prąd dostarczany przez pierwsze ogniwo (I1) łącząc zaciski ogniwa z amperomierzem. W ten sam sposób zmierzyć prąd pozostałych ogniw (I1, I2, I3, I4, I5, I6). Zapisać wyniki w Tablicy Obserwacji.

Tablica pomiarowa:

Pomiar	Ogniwo	Napięcie stałe DC (V)	Prąd stały DC (mA)
1	S1		
2	S2		
3	S3		
4	S4		
5	S5		
6	S6		

EKSPERYMENT 2

Temat: Studium napięcia i prądu z ogniw słonecznych połączonych szeregowo i równolegle.

Procedura:

1. Przygotować Zestaw Edukacyjny NV6005 razem z panelem słonecznym**.**

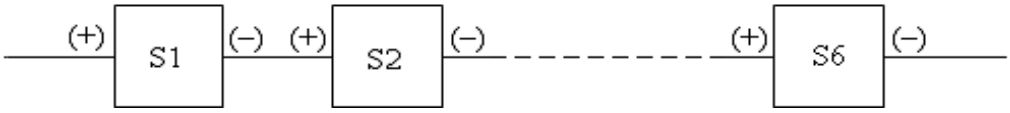
2. Umieścić panel z ogniwami w podstawie. Pochylić podstawę pod kątem ok. 45 stopni do ziemi. Obrócić panel z ogniwami, tak aby słońce padało na ogniwa pod kątem prostym.

Uwaga: Jeżeli oświetlenie słoneczne nie jest dostępne można posłużyć się oświetleniem halogenowym lub inną silną lampą.

3. Połączyć kablem DB15 zestaw NV6005 z płytą eksperymentalną. Odczekać 1 minutę aby uniknąć błędów związanych z różnicami temperatur.

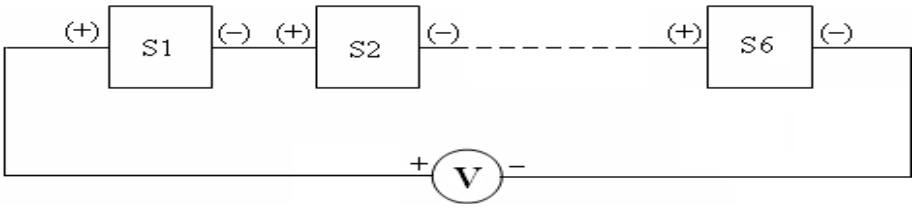
<u>Połączenie szeregowe ogniw:</u>

4. Przy użyciu przewodów łączeniowych połączyć wyjścia wszystkich ogniw w układzie szeregowym (zacisk dodatni jednego ogniwa łączy się z zaciskiem ujemnym kolejnego, patrz rysunek 21).



Rysunek 21 Ogniwa słoneczne połączone w układzie szeregowym

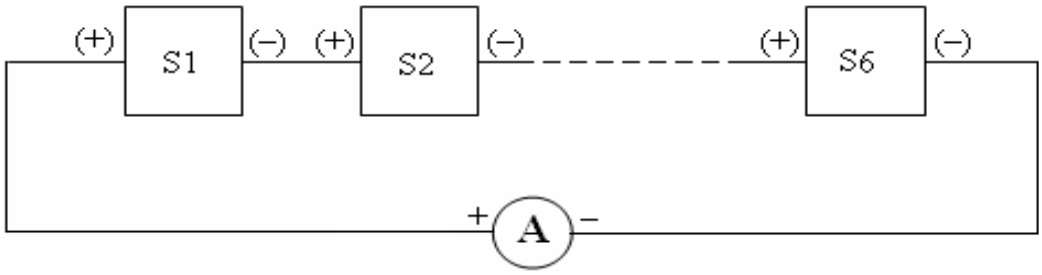
5. Połączyć zaciski dodatni i ujemny całego układu do woltomierza jak pokazano na rys. 22.



Rysunek 22 Podłączenie woltomierza do ogniw połączonych szeregowo

Zapisać wyniki w tabeli obserwacji poniżej.

6. Podłączyć terminale dodatni i ujemny układu ogniw do amperomierza jak na rys. 23. Zapisać wyniki w tabeli obserwacji poniżej.



Rysunek 23 Amperomierz podłączony do układu ogniw

Tabela Pomiarowa

Numer ogniwa	Ogniwo	Napięcie stale V (DC)	Prąd stały DC (mA)	Napięcie w połączeniu szeregowym DC (V)	Prąd w połączeniu szeregowym DC (mA)
1	S1				
2	S2				
3	S3				
4	S4				
5	S5				
6	S6				

Suma napięć ogniw V_{Total} = V1+ V2 +V3 + V4 + V5 + V6 = ……..……V

Całkowite napięcie w układzie szeregowym =……..….V

Całkowite napięcie w układzie szeregowym jest równe sumie napięć poszczególnych ogniw.

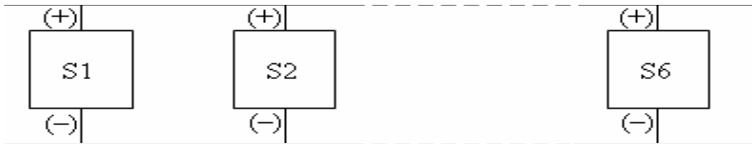
Całkowity prąd w układzie szeregowym = …….…… mA

Całkowity prąd w układzie szeregowym jest równy kombinacji prądu w poszczególnych ogniwach.

Połączenie równoległe ogniw

7. Rozłączyć wszystkie połączenia na płycie demonstracyjnej.

8. Połączyć przewodami wszystkie ogniwa w układzie równoległym, tak aby wszystkie zaciski dodatnie były połączone ze sobą, a zaciski ujemne ze sobą jak na rysunku 24.



Rysunek 24 Połączenie równoległe ogniw

9. Podłączyć zaciski dodatni i ujemny układu ogniw do woltomierza jak na rys. 25. Zapisać wyniki w tabeli obserwacji poniżej.

Rysunek 25 Woltomierz podłączony do równoległego układu ogniw

10. Podłączyć zaciski dodatni i ujemny układu ogniw do amperomierza jak na rys 26. Zanotować prąd w tabeli obserwacji poniżej.

Rysunek 26 Amperomierz podłączony do równoległego układu ogniw

Uwaga: Aby zmierzyć prąd przy pomocy amperomierza tablicowego nie należy łączyć równolegle więcej niż 3 ogniw równolegle. Dla pomiaru pełnego prądu układu równoległego więcej niż trzech ogniw zastosować odrębny amperomierz analogowy lub cyfrowy z zakresem pomiarowym 1A.

Tabela pomiarowa

Numer ogniwa	Ogniwo	Napięcie stale V (DC)	Prąd stały DC (mA)	Napięcie w połączeniu równoległym DC (V)	Prąd w połączeniu równoległym DC (mA)
1	S1				
2	S2				
3	S3				
4	S4				
5	S5				
6	S6				

Całkowite napięcie w układzie równoległym =……..V
Jest widoczne, że całkowite napięcie w układzie równoległym jest równe kombinacji napięć poszczególnych ogniw.

Prąd całkowity układu równoległego jest równy sumie prądów ogniw = I_{Total} = I1+ I2 +I3 + I4 + I5 + I6 = ……mA

Całkowity prąd kombinacji równoległej =…….mA

Widać, że całkowity prąd w układzie równoległym jest równy sumie prądów generowanych przez poszczególne ogniwa słoneczne.

Wniosek:

1. Ogniwa połączone szeregowo zwiększają napięcie w układzie, a prąd pozostaje bez zmian.

2. Ogniwa w układzie równoległym pozwalają na zwiększenie prądu maksymalnego, natomiast napięcie układu pozostaje równe napięciu pojedynczego ogniwa.

EKSPERYMENT 3

Studium charakterystyk prądowo – napięciowych, wyznaczanie punktu maksymalnej mocy MPP i sprawności ogniwa słonecznego:

1. Przygotować Zestaw Edukacyjny NV6005 razem z panelem słonecznym**.**

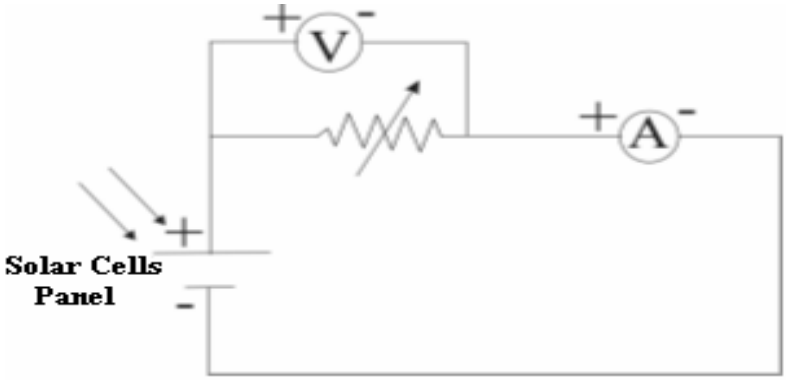
2. Umieścić panel z ogniwami w podstawie. Pochylić podstawę pod kątem ok. 45 stopni do ziemi. Obrócić panel z ogniwami, tak aby słońce padało na ogniwa pod kątem prostym.

Uwaga: Jeżeli oświetlenie słoneczne nie jest dostępne można posłużyć się oświetleniem halogenowym lub inną silną lampą.

3. Połączyć kablem DB15 zestaw NV6005 z płytą eksperymentalną. Odczekać 1 minutę aby uniknąć błędów związanych z różnicami temperatur.

4. Ustawić potencjometr na maksymalną rezystancję tzn. Obrócić pokrętło maksymalnie zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek, zmierzyć i wpisać wartość rezystancji do tablicy obserwacji.

5. Podłączyć ogniwo słoneczne jak pokazano na rysunku 27.



Rysunek 27 Układ do określenia charakterystyki ogniwa słonecznego

a) Podłączyć terminal dodatni ogniwa słonecznego do terminalu P1 potencjometru.
b) Podłączyć drugi terminal potencjometru tj. P2 do dodatniego terminala amperomierza.
c) Podłączyć ujemny terminal amperomierza do ujemnego terminala ogniwa Słonecznego.
d) Podłączyć dodatni terminal woltomierza do P1, a ujemny terminal woltomierza do P2.

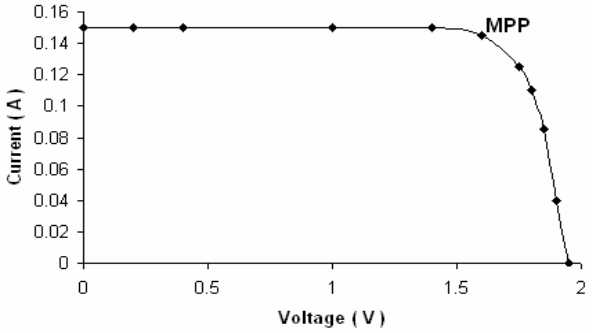
6. Zanotować wartości napięcia i prądu w tablicy obserwacji.
7. Następnie stopniowo obracać potencjometr w lewo (w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu wskazówek zegara), tak aby rezystancja potencjometru zmniejszają się. Zmierzyć wartości zmniejszającej się rezystancji i odpowiadających jej napięć, zanotować wyniki w tabeli pomiarowej.

Uwaga: Aby zmierzyć rezystancję potencjometru w dowolnej pozycji należy odłączyć przewody od potencjometru (P1, P2) i zmierzyć rezystancję multimetrem. Dla dalszych pomiarów podłączyć ponownie potencjometr.

Tablica pomiarowa

Ogniwo	Rezystancja (Ω)	Napięcie V (V)	Prąd I (mA)	Moc P=V×I (W)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				

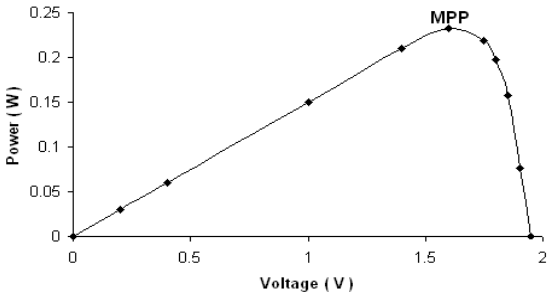
8. Wykreślić charakterystykę I i V zgodnie z wynikami pomiarów zapisanymi w tabeli. Charakterystyka pokazuje jak prąd zależy od napięcia fotoelektrycznego i znaleźć punkt maksymalnej mocy MPP. Wykreślona charakterystyka powinna być zbliżona do charakterystyki jak na rys. 28.



Rysunek 28 Charakterystyka prądowo – napięciowa ogniwa słonecznego

Na charakterystyce można łatwo odnaleźć punkt maksymalnej mocy MPP, jest to punkt w którym iloczyn prądu i napięcia osiąga największą wartość.

9. Wykreślić charakterystykę mocy w funkcji napięcia na podstawie przeprowadzonych pomiarów. Charakterystyka powinna wyglądać jak na rysunku 29.



Rysunek 29 Moc ogniwa słonecznego w funkcji napięcia

Rezystancja RMPP, dla której osiągamy największą moc jest obliczona wg wzoru:

$$R_{MPP} = \frac{V_{MPP}}{I_{MPP}}$$

EKSPERYMENT 4

Obliczanie sprawności (η) ogniwa słonecznego
Teoria:
Sprawność ogniwa jest stosunkiem wygenerowanej mocy elektrycznej (Pout) do mocy padającej na ogniwo (Pin).

Sprawność ogniwa $\eta = P_{out} / P_{in}$

gdzie P_{out} jest mocą elektryczną osiąganą w punkcie mocy maksymalnej MPP

Moc P_{in} jest obliczana przez przemnożenie szacowanej mocy padającej na ogniwo w stosunku do powierzchni ogniwa. Ta metoda wykorzystuje fakt proporcjonalności prądu dostarczanego przez ogniwo do ilości fotonów docierających do ogniwa. W związku z czym przyjmujemy, że prąd ogniwa jest proporcjonalny do mocy strumienia świetlnego docierającego do ogniwa. Napięcie otwartego obwodu (ogniwo bez obciążenia) zależy od materiału z którego ogniwo jest wykonane, nie jest ono proporcjonalne do mocy światła padającego na ogniwo i nie może być wykorzystane do pomiarów.

Procedura:

1. Sprawność ogniwa $\eta = P_{out} / P_{in}$

   Gdzie P_{out} (moc wyjściowa ogniwa) = Maksymalna Moc Ogniwa (MPP)

   P_{in} (moc padająca) = Szacunkowa moc promieniowania świetlnego × pole powierzchni ogniwa
   = (F × Ip) ×A

   gdzie A = powierzchnia ogniwa (długość × szerokość) m2

   Ip= Praktyczna wartość prądu (maksymalny zmierzony prąd fotoelektryczny) zmierzona amperomierzem

   F jest stałą o szacunkowej wartości ok. 1000 W/m^2 (oświetlenie w sezonie letnim). Producent ogniwa określa maksymalną wartość prądu ogniwa (np. 150 mA) dla takiego oświetlenia 1000 W/m^2 i temperatury ogniwa 25°C.

$$F = \frac{1000\ \frac{W}{m^2}}{150\ mA} = 6.67\ \frac{W}{m^2 \cdot mA}$$

2. Mnożąc praktyczną wartość prądu (Ip) wskazanego przez amperomierz przez

współczynnik F daje nam orientacyjną wartość mocy promieniowania światła na jednostkę powierzchni, padającego na ogniwo.

$$F = 6.67 \frac{W}{m^2 - mA}$$

Szacunkowa moc promieniowania na jednostkę powierzchni =…….

3. Zmierzyć pole powierzchni ogniwa w m^2 i wprowadzić tą wartość do równania w pkt 1.

P_{in} = ……..……

Następnie możemy obliczyć sprawność ogniwa słonecznego $\eta = P_{out} / P_{in}$

gdzie P_{out} lub MPP =…….. (jak obliczono w eksperymencie 3)

η =……..

Sprawność ogniwa słonecznego wynosi 12 do 15%.

Jeżeli sprawność jest mniejsza niż założenia wynika to z błędów pomiarów i niedokładności określenia gęstości mocy światła docierającego do ogniwa.

Sprawność całego panelu ogniw słonecznych jest mniejsza niż sprawność poszczególnych ogniw, co wynika z faktu, że indywidualne ogniwa nie mają dokładnie identycznych własności.

Jeżeli ogniwa są połączone w układzie szeregowym wtedy uzyskiwana maksymalna moc nie jest taka sama dla wszystkich ogniw.

Ogniwa słoneczne mają ograniczoną sprawność ponieważ nie wszystkie docierające do ogniwa fotony są przekształcane na nośniki ładunku.

Część padającego światła jest odbijana od powierzchni, a elektrody zasłaniają cześć powierzchni ogniwa.

Energia fotonów nie jest zależna od energii przerwy energetycznej materiału, dlatego mniej niż połowa padającej energii światła ulega przekształceniu na energię elektryczną.

Proces rekombinacji nośników ładunku (atomy ponownie wiążą elektrony) i straty powodowane opornością wewnętrzną powodują dalsze ograniczenie sprawności ogniwa.

EKSPERYMENT 5

Studium zastosowań ogniw słonecznych do ładowania akumulatorów Ni-MH, tak aby energia mogła być wykorzystana w czasie kiedy nie jest dostępne światło słońca

Procedura:

1. Przygotować Zestaw Edukacyjny NV6005 razem z panelem słonecznym.
2. Umieścić panel z ogniwami w podstawie. Pochylić podstawę pod kątem ok. 45 stopni do ziemi. Obrócić panel z ogniwami, tak aby słońce padało na ogniwa pod kątem prostym.

Uwaga: Jeżeli oświetlenie słoneczne nie jest dostępne można posłużyć się oświetleniem halogenowym lub inną silną lampą.

3. Połączyć kablem DB15 zestaw NV6005 z płytą eksperymentalną. Odczekać 1 minutę aby uniknąć błędów związanych z różnicami temperatur.

4. Zainstalować akumulatorek Ni-MH w uchwycie zamocowanym w sekcji Ładowania (Charging).
   Akumulator potrzebuje napięcia ładowania ok. 1,5-2 V dla standardowego prądu ładowania ok. 80 mA przez ok. 15 godzin.
   Niektóre akumulatorki mogą być szybko ładowane dużym prądem ok. 210 mA przez ok. 3-4 godzin. Połączyć ogniwa słoneczne w układzie równoległym dla uzyskania odpowiedniego prądu ładowania.

5. Następnie przy pomocy przewodów podłączyć terminal dodatni panelu ogniw do dodatniego terminala diody, a terminal ujemny panelu ogniw do terminala ujemnego akumulatorka.

6. Podłączyć terminal T1 do dodatniego terminala akumulatorka.

7. Podłączyć woltomierz do terminali akumulatorka. Obserwujemy zmiany napięcia.

8. Aby wykorzystać urządzenia obciążające ogniwo należy podłączyć terminal T2 wzmacniacza (Amplifier) do dodatniego terminala akumulatorka, a terminal T3 wzmacniacza do obciążenia (Load).

9. Obserwować świecenie grupy diod LED. W ten sposób obciążenie jest zasilane z ogniw słonecznych a akumulatorek jest ładowany.

Dla bezpośredniej pracy obciążenia przy naładowanym akumulatorku i braku światła słonecznego wykonać następujące czynności:

1. Odłączyć przewody łączące ogniwo z sekcją ładowania (Charging).
2. Naładowany akumulatorek Ni-MH dostarcza energię do obciążenia nawet gdy panel nie jest wystawiony na promieniowanie słoneczne. Gdy akumulatorek się rozładuje można przywrócić poprzednie połączenia.

EKSPERYMENT 6

Studium zastosowań ogniw słonecznych do zasilania sprzętu gospodarstwa domowego jak lampa, wentylator, radio

Procedura zasilania lampy:

1. Przygotować Zestaw Edukacyjny NV6005 razem z panelem słonecznym**.**

2. Umieścić panel z ogniwami w podstawie. Pochylić podstawę pod kątem ok. 45 stopni do ziemi. Obrócić panel z ogniwami, tak aby słońce padało na ogniwa pod kątem prostym.

Uwaga: Jeżeli oświetlenie słoneczne nie jest dostępne można posłużyć się oświetleniem halogenowym lub inną silną lampą.

3. Połączyć kablem DB15 zestaw NV6005 z płytą eksperymentalną. Odczekać 1 minutę aby uniknąć błędów związanych z różnicami temperatur.

4. Zmierzyć napięcie i prąd ogniwa słonecznego i podłączyć odpowiednio ogniwa tak aby uzyskać napięcie ok. 2.2V i prąd ok. 250mA potrzebne do zasilania lampy.

5. Podłączyć dodatni i ujemny terminal ogniw słonecznych w układzie równoległym do lampy. Zaobserwować świecenie lampy.

6. Dokonać oceny intensywności świecenia lampy w zależności od zalecanych napięcia i prądu lampy.

7. Jeżeli pomiędzy panelem PV i źródłem światła znajdzie się przeszkadzający obiekt zaobserwować zmianę intensywności świecenia lampy. Po pełnym zasłonięciu panelu lampa przestanie się świecić.

Procedura dla wentylatora:

1. Przygotować Zestaw Edukacyjny NV6005 razem z panelem słonecznym.

2. Umieścić panel z ogniwami w podstawie. Pochylić podstawę pod kątem ok. 45 stopni do ziemi. Obrócić panel z ogniwami, tak aby słońce padało na ogniwa pod kątem prostym.

Uwaga: Jeżeli oświetlenie słoneczne nie jest dostępne można posłużyć się oświetleniem halogenowym lub inną silną lampą.

3. Połączyć kablem DB15 zestaw NV6005 z płytą eksperymentalną. Odczekać 1 minutę aby uniknąć błędów związanych z różnicami temperatur.

4. Zmierzyć napięcie i prąd ogniw słonecznych i połączyć je odpowiednio dla uzyskania ok. 1,5 V i ok. 400 mA, są to parametry znamionowe zasilania dla wentylatora.

5. Podłączyć dodatni i ujemny terminal panelu ogniw do wentylatora. Zaobserwować czy wentylator pracuje.

Uwaga: Kierunek obrotów wentylatora zależy od biegunowości podłączenia panelu ogniw do wentylatora.

6. Dokonać oceny szybkością obrotów wentylatora i zalecanymi parametrami zasilania.

7. Po umieszczeniu przeszkody zasłaniającej panel PV od światła słonecznego zaobserwować zmniejszenie się szybkości obrotów wentylatora.

Procedura dla odbiornika FM:

1. Przygotować Zestaw Edukacyjny NV6005 razem z panelem słonecznym.

2. Umieścić panel z ogniwami w podstawie. Pochylić podstawę pod kątem ok. 45 stopni do ziemi. Obrócić panel z ogniwami, tak aby słońce padało na ogniwa pod kątem prostym.

Uwaga: Jeżeli oświetlenie słoneczne nie jest dostępne można posłużyć się oświetleniem halogenowym lub inną silną lampą.

3. Połączyć kablem DB15 zestaw NV6005 z płytą eksperymentalną. Odczekać 1 minutę, aby uniknąć błędów związanych z różnicami temperatur.

4. Zmierzyć napięcie i prąd ogniw słonecznych i połączyć je odpowiednio dla uzyskania ok. 5-6V (max. 12V)

5. Ustawić pokrętło głośności w pozycji maksymalnej głośności (zgodnie z ruchem wskazówek zegara). Pokrętło *Frequency* służy do dostrajania częstotliwości do odbioru dowolnej stacji radiowej.

6. Przy pomocy przewodów dołączyć terminale dodatni i ujemny do panelu ogniw.

Odbiornik radiowy pracuje zasilany energią słoneczną.

7. Przeprowadzić ocenę głośności odbioru radiowego w zależności od parametrów zasilania.

8. Po umieszczeniu przeszkody zasłaniającej panel PV od światła słonecznego zaobserwować zmniejszenie się głośności pracy odbiornika.