MECHANIKA
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
MECHANICS
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
4-M/2011
ZESZYT 7
ROK 108
ISSUE 7
YEAR 108

LESZEK A. DOBRZAŃSKI, ALEKSANDRA DRYGAŁA, MARIUSZ POPRAWA*

NADĄŻNY SYSTEM FOTOWOLTAICZNY STEROWANY KOMPUTEROWO

SUN-TRUCKING PHOTOWOLTAIC SYSTEM COMPUTER CONTROLLED

Streszczenie

W ramach niniejszego artykułu zaprojektowano i wykonano nadążny system fotowoltaiczny. Ruch modułu słonecznego w kierunku Słońca jest realizowany za pomocą silników prądu stałego oraz sterowany i kontrolowany za pośrednictwem mikrokontrolera, który wykonuje odpowiednie instrukcje zapisane w programie komputerowym. Praca systemu PV jest całkowicie zautomatyzowana oraz niezależna od ingerencji człowieka.

Słowa kluczowe: *fotowoltaika, system fotowoltaiczny, sterownik, komputerowe sterowanie*

Abstract

In this paper sun-trucking photovoltaic system was designed and made. The movement of the solar module towards the Sun is executed by DC (direct current) motors, also this solar module is driven and controlled by a microcontroller which realize adequate instructions written in a computer program. Work of the PV system is totally automatic as well as independent from human interference.

Keywords: *photovoltaics, photovoltaic system, driver, computer control*

* Prof. dr hab. inż. Leszek Adam Dobrzański, dr h.c., dr inż. Aleksandra Drygała, mgr inż. Mariusz Poprawa, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

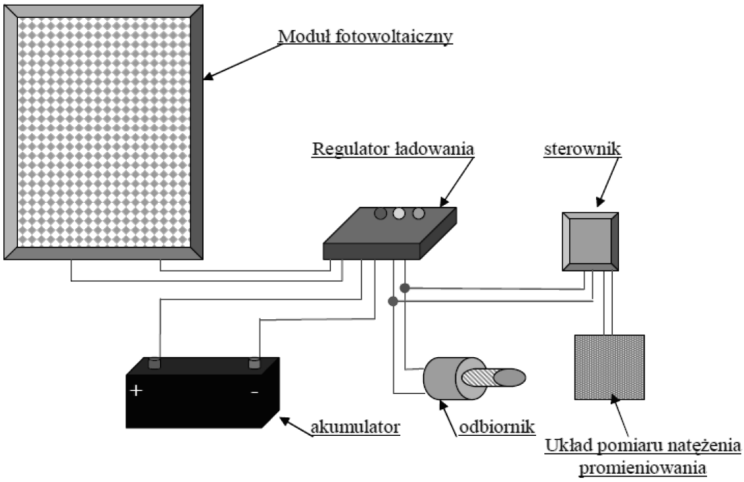
1. Wstęp

Produkcja energii elektrycznej przez systemy fotowoltaiczne nabiera coraz większego znaczenia. Szczególnie po opublikowaniu przez Komisję Europejską Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady Europy nr 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 roku. Dyrektywa ta jest podstawowym dokumentem określającym zasady wspierania oraz wykorzystania odnawialnych źródeł energii i zobowiązuje ona Państwa Członkowskie UE do osiągnięcia w 2020 roku poziomu 20% energii z tych źródeł [1].

Urządzeniem umożliwiającym zamianę energii Słońca na energię elektryczną jest ogniwo fotowoltaiczne, w którym pod wpływem oddziaływania promieniowania słonecznego na półprzewodnik powstaje siła elektromotoryczna. Pojedyncze ogniwo PV generuje w punkcie mocy maksymalnej napięcie od 0,5 V do 2 V [2–4]. Do zasilania prawie wszystkich urządzeń potrzebne jest znacznie wyższe napięcie, które uzyskuje się, łącząc ogniwa szeregowo (przeważnie po 36 sztuk). Takie łączenie ogniw pozwala na otrzymanie wyższego napięcia o wartości około 15–16 V, które jest wystarczające do ładowania akumulatorów o napięciu znamionowym 12 V. Tak przygotowane i obudowane ogniwa, tworzą moduł słoneczny. Charakterystyka napięciowa modułów fotowoltaicznych zależy od liczby i sposobu połączonych ze sobą ogniw. Metoda ich łączenia ma wpływ na elektryczne własności wyjściowe modułu i zależy od producenta [3–5].

2. Schemat ideowy nadążnego system fotowoltaicznego

Wykonany system fotowoltaiczny składa się z: modułu słonecznego, który jest źródłem energii elektrycznej, regulatora ładowania, akumulatora, odbiornika, sterownika, silników i układu pomiaru natężenia promieniowania słonecznego. Schemat ideowy systemu fotowoltaicznego przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat ideowy systemu fotowoltaicznego
Fig. 1. Schematic diagram of photovoltaic system

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

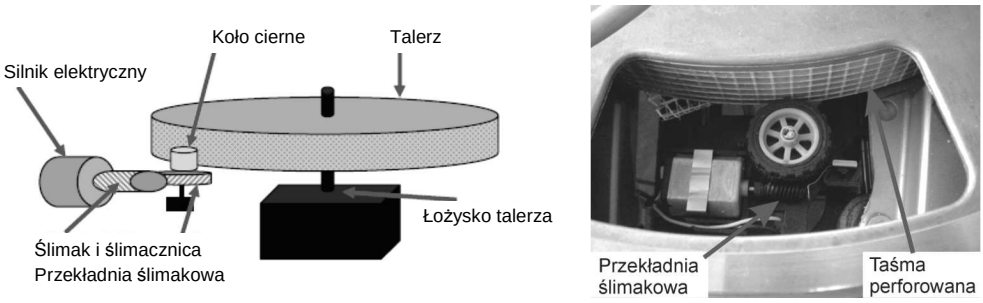
3. Dobór elementów i wykonywanie system fotowoltaicznego

W celu uzyskania zwartej budowy urządzenie zaprojektowano jako jeden zespół. Konstrukcję wykonano z materiałów o małej masie i wysokiej wytrzymałości.

Elementy takie jak: akumulator, sterownik silników, elektroniczny układ pomiaru natężenia promieniowania słonecznego umieszczono w podstawie urządzenia. Podłoże osi horyzontalnej wykonano z płyty gramofonu oraz jego łożyska. Talerz ze stopu aluminium o małej masie oraz dużej sztywności wykorzystano jako element nośny. Do napędu osi horyzontalnej zastosowano zespół urządzeń, w skład którego wchodzi silnik prądu stałego z przekładnią ślimakową.

Aby wyeliminować nierówności i eliptyczności płyty osi horyzontalnej napęd osi zamontowano na przesuwnym wózku. Wózek jest dociskany do płyty za pomocą sprężyny, która ma reagować na nierówności. Do ślimacznicy przymocowano koło z gumową obejmą, które przenosi napęd na płytę osi horyzontalnej przez przekładnię cierną. W celu podniesienia sprawności przeniesienia napędu zwiększono siłę tarcia przez naklejenie taśmy perforowanej na bieżnię talerza (rys. 2).

Przełożenie przekładni ciernej 1:30 zapewnia uzyskanie niskiej prędkości końcowej oraz dużego momentu obrotowego, co umożliwia wprawienie w ruch płyty o sporej masie przy użyciu silników małej mocy. Dzięki zastosowaniu przekładni ślimakowej uzyskano także zabezpieczenie przed samoistnym ruchem elementu pod wpływem siły grawitacji lub siły bezwładności.



Rys. 2. Przekładnia ślimakowa oraz bieżnia talerza z perforowaną taśmą
Fig. 2. Worm-gear and track of plate with perforated strip

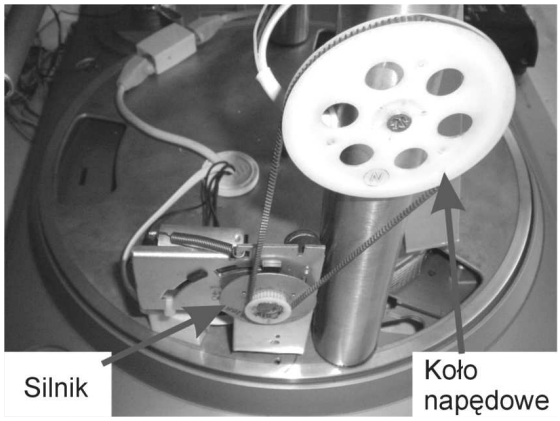
Kolumny nośne osi wertykalnej wykonano z cylindrycznych walców, które służą jako podpory osi obrotowej. Poprzecznie do osi głównej kolumn wprowadzono wał wykonany z rurki Ø8 mm ze stopu aluminium. Na wał osadzono kształtownik Ø10 mm, do którego przykręcono obudowę modułu fotowoltaicznego.

Ze względu na niebezpieczeństwo wypadnięcia wału z kolumny, jeden koniec wału zabezpieczono wkrętem. Na drugim końcu umocowano koło na pas zębaty o średnicy Ø61 mm. Do talerza osi horyzontalnej przymocowano zespół napędowy, składający się z silnika prądu stałego, przekładni ślimakowej, stojaka.

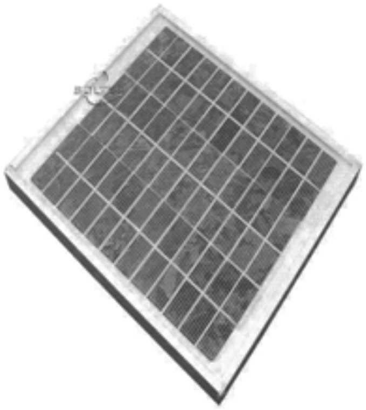
Za pomocą pasa zębatego połączono koła pasowe przekładni wertykalnej. Mniejsze koło przymocowano do przekładni ślimakowej, a większe do jednego z końców wału osi wertykalnej (rys. 3). Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest uzyskanie małych prędkości oraz dużych momentów obrotowych. W celu zrównoważenia przesuniętego od osi wału

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

środka ciężkości modułu fotowoltaicznego po drugiej stronie wału zamontowano przeciwwagę.



Rys. 3. Przekładnia pasowa osi wertykalnej
Fig. 3. Belt transmission of vertical axis



Rys. 4. Moduł fotowoltaiczny [6]
Fig. 4. Photovoltaic module [6]

Jako źródła energii elektrycznej w systemie fotowoltaicznym użyto modułu słonecznego Celline SL005-12P firmy Soltec (rys. 4) składającego się z trzydziestu sześciu krzemowych polikrystalicznych ogniw słonecznych. Moduł zainstalowano na obrotowym wale w celu ustawienia go prostopadle do przemieszczającego się po niebie Słońca. Do magazynowania wyprodukowanej przez moduł słoneczny energii elektrycznej, zastosowano akumulator żelowy VIPOW CT 3.4-12.

Aby zabezpieczyć akumulator przed rozładowaniem lub nadmiernym naładowaniem zastosowano regulator napięcia. Regulator napięcia jest sterowany za pomocą wbudowanego mikrokontrolera. Zadaniem regulatora napięcia jest:

– odłączenie dostarczanego napięcia do odbiornika w przypadku spadku napięcia w akumulatorze poza dopuszczalną granicę,
– odłączenie dostarczanego napięcia do odbiornika z powodu wystąpienia zwarcia w instalacji elektrycznej,
– automatyczne przywrócenie napięcia w ciągu 30 sekund po wykryciu wystąpienia zwarcia,
– ponownie podłączenie odbiornika po osiągnięciu przez akumulator napięcia 13,1V.

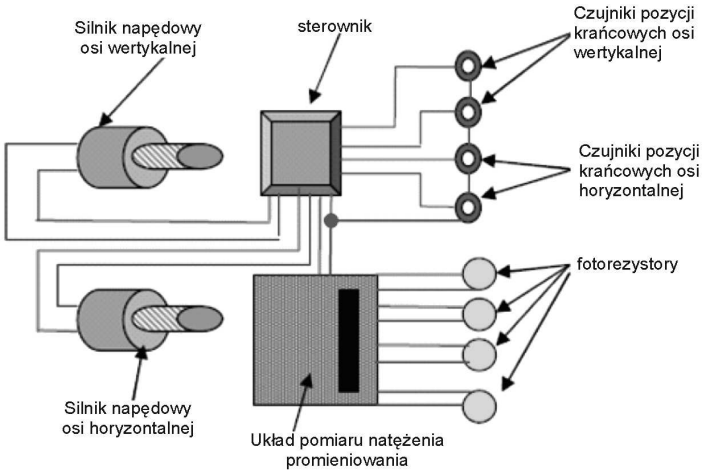
Regulator EPHC 10-EC 12/24V informuje o stanie pracy za pomocą trzech diod typu LED, które wskazują stan naładowania baterii oraz tryb pracy regulatora. W celu odbioru energii elektrycznej wytworzonej przez moduł słoneczny, w podstawie systemu fotowoltaicznego zainstalowano odbiornik w postaci silnika elektrycznego prądu stałego.

4. System sterowania modułem fotowoltaicznym

W systemie fotowoltaicznym zastosowano czujniki pomiaru natężenia promieniowania słonecznego, które przesyłają informację do sterownika. On po analizie danych wysyła

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

sygnały sterujące do silników napędowych osi horyzontalnej i wertykalnej, w celu skierowania modułu słonecznego w stronę większego natężenia promieniowania słonecznego. Czujniki pozycji krańcowych zabezpieczają system przed przekroczeniem granicy dopuszczalnego obrotu. Schemat ideowy sterowania modułem fotowoltaicznym przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Schemat ideowy sterowania modułem fotowoltaicznym
Fig. 5. Schematic diagram of photovoltaic module control

Aby dokonać pomiaru natężenia promieniowania słonecznego, zastosowano cztery czujniki natężenia promieniowania słonecznego (po dwa dla każdej osi). Pomiar natężenia promieniowania słonecznego dla osi wertykalnej realizowany jest przez czujniki umieszczone na ramie modułu pod kątem 90° do jego czoła. Rozmieszczenie czujników w systemie fotowoltaicznym przedstawiono na rysunku 6.

Za pośrednictwem dzielnika napięcia, wykonanego z opornika o rezystancji R = 10 kΩ i fotorezystora R_1 = 12–100 kΩ, uzyskano zależność wartości napięcia elektrycznego od natężenia promieniowania słonecznego.

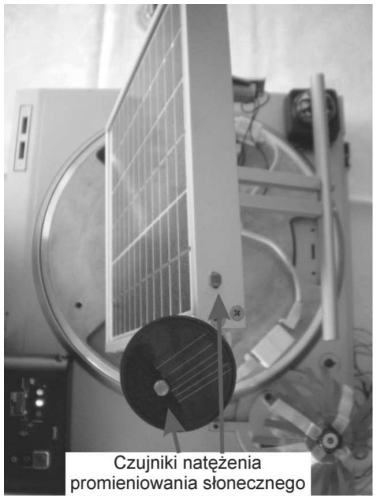
Dzielnik napięcia wykorzystano do sterowania ruchem modułu słonecznego. Fotorezystory podłączono do wejść analogowych przetwornika analogowo-cyfrowego (A/C) w sterowniku. Przetwornik (A/C) ma rozdzielczość 10 bitów, co oznacza, że mikrokontroler jest w stanie rozpoznać każdą różnicę napięcia większą lub równą 4,88 mV w przypadku napięcia 5 V.

Sterownik jest zasilany z akumulatora o stałym napięciu 12 V. Umieszczony w bloku zasilania stabilizator napięcia redukuje napięcie zasilania z 12 V do wartości 5 V, które jest konieczne do prawidłowego działania układów logicznych w standardzie TTL (z ang. Transistor-Transistor Logic). Dzięki wyposażeniu mikrokontrolera w szeregowy interfejs do programowania (SPI) możliwe jest wgrywanie programu sterującego oraz ustawień konfiguracji sprzętowej bez demontażu mikrokontrolera ze sterownika. Czynności tych dokonuje się za pomocą programatorów dołączonych do komputera PC przez port USB.

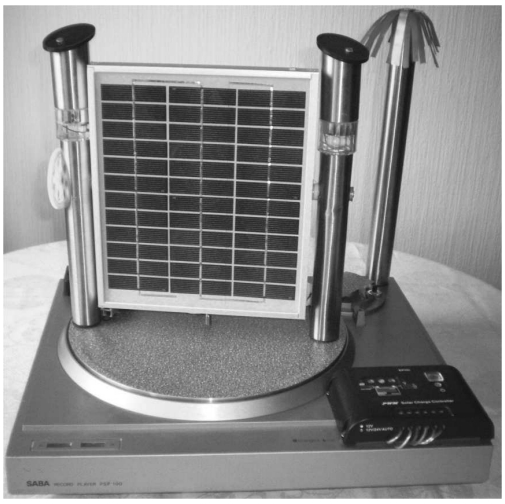
Użycie sterownika determinuje sposób wykorzystania linii wejść/wyjść (I/O) mikrokontrolera. Wybrany mikrokontroler posiada ich 23. Cztery wyprowadzenia zastoso-

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

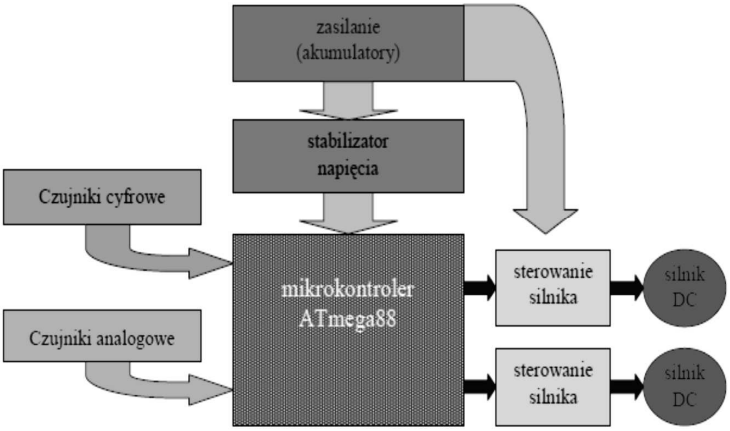
wano do obsługi czujników binarnych pracujących jako sygnalizatory pozycji krańcowych układu. Następne cztery linie I/O skonfigurowano jako wejścia czujników z przetwarzaniem analogowo-cyfrowym, gdzie podłączono sygnały wyjściowe z fotorezystorów. Sterowanie silnikami zajmuje cztery wyprowadzenia, po dwa na każdy silnik. Umożliwia to regulację prędkości oraz kierunku obrotów silników. Do bezpośredniego sterowania silnikami DC zastosowano wyspecjalizowany układ scalony L293, w którym zintegrowano wszystkie elementy potrzebne do sterowania dwoma silnikami prądu stałego. Zasilanie i działanie silników sygnalizowane jest przez świecące diody LED. Diody umieszczone są bezpośrednio na sterowniku: po jednej dla każdego silnika i jedna sygnalizująca prawidłowe zasilanie. Schemat blokowy przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 6. Rozmieszczenie czujników
Fig. 6. Distribution of sensors



Rys. 7. Nadążny system fotowoltaiczny
Fig. 7. Sun-tracking photovoltaic system



Rys. 8. Schemat blokowy sterownika
Fig. 8. Block diagram of driver

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Zastosowane w sterowniku podzespoły, ze względu na powszechną dostępność i niską cenę, umożliwiają budowę układu o niewygórowanych kosztach, ale będącego w pełni funkcjonalnym sterownikiem do zastosowań w robotyce mobilnej. Na podstawie schematu blokowego (rys. 8) zaprojektowano układ elektroniczny, zawierający wszystkie moduły: mikrokontroler, driver silników, stabilizator napięcia. Układ uzupełniono o elementy zapobiegające przedostawaniu się zakłóceń przez linie zasilania.

Na podstawie schematu blokowego sterownika (rys. 8) zaprojektowano obwód drukowany. W celu zaprogramowania sterownika wymagane jest podłączenie programatora pośredniczącego między komputerem PC a złączem ISP mikrokontrolera oraz oprogramowanie narzędziowe umożliwiające kompilowanie kodu źródłowego na kod maszynowy zrozumiały dla mikrokontrolera. Jako kompilatora programowania mikroprocesora Atmega8 wybrano pakiet Bascom wersja [1.11.9.8] umożliwiający programowanie w języku Basic [7]. Po zainstalowaniu programu Bascom wybrano typ posiadanego programatora AVR_USB STK 500v2. Jest to mikroprocesorowy programator wszystkich procesorów rodziny AVR firmy Atmel, posiadających możliwość programowania przez magistralę SPI, który jest zgodny z STK500v2. Programator komunikuje się z komputerem przez port USB oraz posiada wbudowany emulator portu COM, co oznacza, że współpracuje z notebookami, które nie posiadają portów LPT i RS.

Po podłączeniu części sprzętowej i przygotowaniu mikrokontrolera przystąpiono do pisania programu. Aby mikrokontroler działał poprawnie, na początku programu zdefiniowano i wpisano ustawienia konfiguracyjne, które informują kompilator o tym, jaki typ układu jest programowany i z jaką częstotliwością pracuje jego zegar. Kompilator skonfiguruje przeznaczenia linii I/O oraz kierunki ich pracy oraz określi parametry wewnętrznych elementów układu. Przedstawiona konfiguracja przeznaczona jest dla sterownika wyposażonego w dwa silniki prądu stałego, czujniki na złączu I/O2 i diody sygnalizacyjne na złączu I/O1. Po konfiguracji portów mikrokontrolera napisano program sterujący.

5. Wnioski

W ramach niniejszym artykule zaprojektowano i wykonano nadążny system fotowoltaiczny, którego zadaniem jest śledzenie ruchu Słońca. Wykonany system zapewnia ruch modułu w dwóch płaszczyznach: poziomej i pionowej. Ustawienie fotoogniw prostopadle do padających promieni słonecznych zapewnia maksymalne wykorzystanie natężenia promieniowania słonecznego. Urządzeniami umożliwiającymi ruch modułu słonecznego są dwa silniki elektryczne prądu stałego. W trakcie pracy systemu fotowoltaicznego silniki zasilane są akumulatorem żelowym i jednocześnie akumulator jest ciągle ładowany przez moduł słoneczny.

Zastosowanie układu rezystor-fotorezystor pozwala konwertować natężenie promieniowania słonecznego na analogowy potencjał elektryczny, który wskutek użycia przetwornika analogowo-cyfrowego jest przetwarzany na sygnały cyfrowe, zrozumiałe dla mikrokontrolera. Zaprojektowanie sterownika, którego „mózgiem” jest mikrokontroler ATmega 8 umożliwia pełne przystosowanie go do potrzeb sterowania ruchem modułu słonecznego. Stabilność pracy systemu fotowoltaicznego zapewnia regulator napięcia,

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

który chroni akumulator przed przeładowaniem i całkowitym rozładowaniem, a także zabezpiecza moduł słoneczny przed odwrotną polaryzacją napięcia.

Praca częściowo realizowana jest w ramach projektu NN 508 444 136 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

[1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europy nr 2009/28/WE.
[2] Goetzberger A., Hoffmann V.U., *Photovoltaic solar energy generation*, Springer, Berlin 2005.
[3] Dobrzański L.A., Drygała A., Panek, Lipiński M., Zięba P., *Development of the laser metod of multicrystalline silicon surface texturization*, Archives of Materials Science Engineering 38/1, 2009, 5-11.
[4] Klugman-Radziemska E., *Fotowoltaika w teorii i praktyce*, BTC, Legionowo 2010.
[5] Hamilton S.J., *Sun-Tracking Solar Cell Array System*, The University of Queensland, St. Lucia 1999.
[6] Soltec S.C., *Systemy fotowoltaiczne, elektrownie wiatrowe, kolektory słoneczne* (http://www.soltec.sklep.pl/panele-sloneczne-c-2_7.html).
[7] Wiązania M., *Programowanie mikrokontrolerów AVR w języku Bascom*, BTC, 2004.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ