

Piotr BOGUSŁAWSKI
Eugeniusz ŁOWIEC
Aleksander MILAK

STEROWNIK AUTONOMICZNEGO SYSTEMU ZASILANIA

STRESZCZENIE *Prezentowano opis praktycznej realizacji oraz wyniki badań uniwersalnego solarnego układu zasilania małej mocy z akumulatorem chemicznym i bezprzewodowym interfejsem komunikacyjnym. Opisano elementy składowe sterownika układu.*

Słowa kluczowe: *generator fotowoltaiczny, przekształtnik DC/DC, mikrokontroler, akumulator chemiczny*

1. WSTĘP

W ostatnich latach obserwuje się szczególne zainteresowanie źródłami energii odnawialnej. Pomijając aspekty związane z technologiami produkcji materiałów półprzewodnikowych, eksploatacja źródeł wykonanych na ich bazie nie prowadzi do degradacji środowiska naturalnego. Źródła fotowoltaiczne nadają się do budowy różnego rodzaju autonomicznych układów zasilających, bezobsługowych i niezależnych od sieci energetycznej. Ze względu na brak

mgr inż. Piotr BOGUSŁAWSKI
e-mail: piotr.boguslawski@iel.gda.pl

dr inż. Eugeniusz ŁOWIEC
e-mail: eugeniusz.lowiec@iel.gda.pl

inż. Aleksander MILAK
e-mail: aleksander.milak@iel.gda.pl

Institut Elektrotechniki, Oddział w Gdańsku

ruchomych części mechanicznych, źródła te cechują się wysoką trwałością i coraz niższą ceną, co w systemach małej mocy czyni je konkurencyjnymi z generatorami elektromechanicznymi. Autonomiczne układy ze źródłami fotowoltaicznymi zależnymi od energii słonecznej wymagają połączenia z zasobnikami energii i stosowania mechanizmów zarządzania nimi.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono rozwiązanie uniwersalnego sterownika ładowania akumulatorów dedykowanego do celów oświetleniowych i współpracującego z panelem ogniw fotowoltaicznych o mocy do 250 W. Aktualnie produkowane moduły o tej mocy mają powierzchnię nieprzekraczającą 2 m² i są bardzo rozpowszechnione na rynku.

1.1. Autonomiczne zasilacze źródeł światła

Przedstawiony w opracowaniu system autonomiczny posiada strukturę trójelementową: źródło–zasobnik–obciążenie, często spotykaną w zastosowaniach oświetleniowych. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe systemy o znacznie różniących się gabarytach i mocy, lecz zbliżonej topologii układowej.

a)



Rys. 1. Autonomiczne systemy fotowoltaiczne do celów oświetleniowych: a) widok i budowa dekoracyjnej lampki ogrodowej z diodą LED i akumulatorami NiCd, b) zespół paneli 3,2 kW_p oraz szafa sterownicza z układami ładowania, akumulatorami i falownikiem zasilającym wybrane obwody oświetlenia (budynek IEL w Gdańsku)

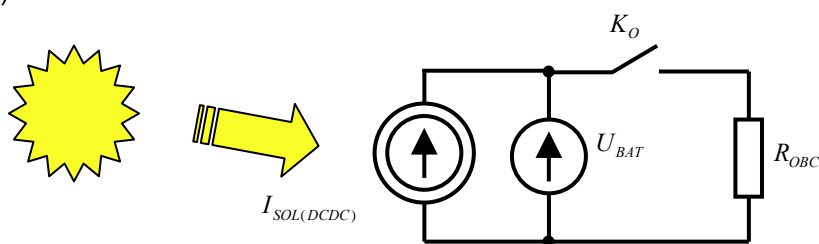
b)



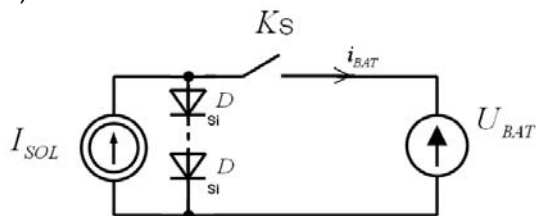
W najprostszych, jak na rysunku 1a, stosuje się akumulatory niklowo-kadmowe, mało wymagające w eksploatacji, dobrze znoszące pracę cykliczną i konkurencyjne cenowo w porównaniu z akumulatorami nowszych technologii. Człon sterujący składa się tu zazwyczaj z kilku rezystorów, fotorezystora i tranzystora załączającego diodę świecącą (LED). Przykładowy system średniej mocy z rysunku 1b zawiera tzw. bezobsługowe akumulatory ołowiowe. W celu przedłużenia ich trwałości stosuje się dedykowane układy ładowania. Obciążenie stanowią lampy sodowe zasilane poprzez przetwornicę częstotliwości.

Cechą wspólną wymienionych układów jest zmienność warunków dopasowania mocy źródła i akumulatora, która prowadzi do niepełnego wykorzystania energii słonecznej. W praktyce, nawet w systemach bardziej złożonych (jak na rys. 1b), faworyzowany jest aspekt trwałości zasobnika, co nie pozwala na pełne wykorzystywanie energii słonecznej [1]. Na rysunku 2 przedstawiono schematy zastępcze obwodów zasilania spotykanych w powyższych układach. Na rysunku 2a źródło prądowe $I_{SOL(DC/DC)}$ modeluje panel fotowoltaiczny pracujący samodzielnie lub poprzez regulator ładowania. Źródło napięcia U_{BAT} reprezentuje chemiczny zasobnik energii. Powyższy układ źródeł jest okresowo rozładowywany za pomocą rezystancji R_{OBC} modelującej obciążenie użyteczne poprzez łącznik K_O . Nie uwidoczniono rezystancji modelującej straty energii związane z samorozładowaniem baterii akumulatorów oraz energii zużywanej na potrzeby własne (związane z pracą elementów elektronicznych).

a)



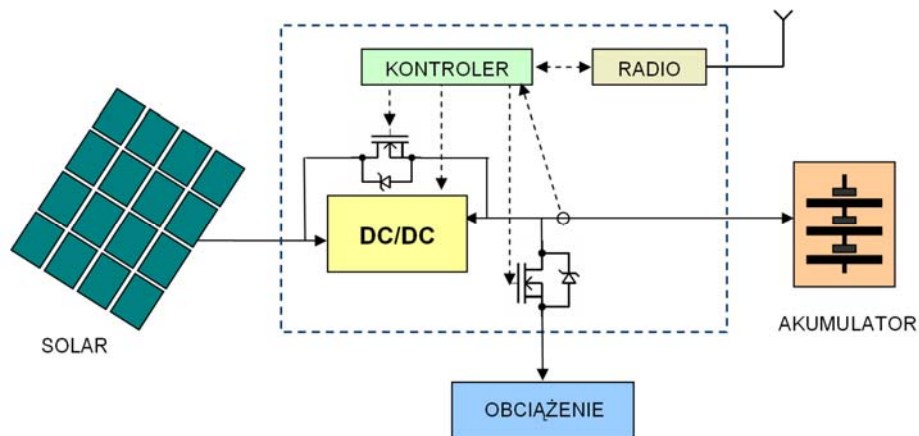
b)



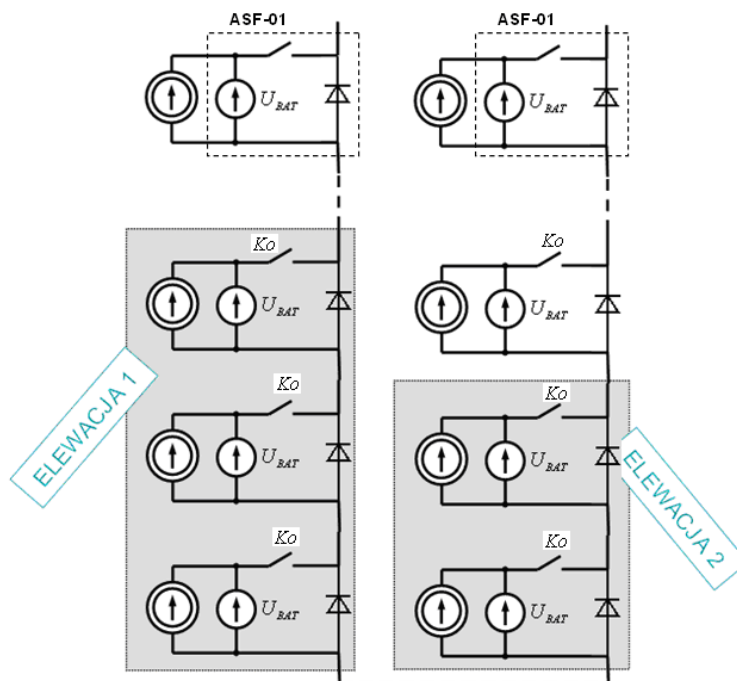
$$i_{BAT(AV)}(t) = I_0 e^{-t/T} \quad (1)$$

Rys. 2. Schematy zastępcze układów ładowania akumulatorów z ogniw fotowoltaicznych: a) system autonomiczny z ciągłym prądem ładowania (tzw. *bulk*) i łącznikiem obciążenia, b) ładowanie prądem impulsowym za pomocą przerywacza K_S oraz równanie charakterystyki zaniku prądu, gdzie I_0 – wartość średnia prądu bez impulsowania

a)



b)



Rys. 3. Schemat blokowy systemu ASF-01 (a) oraz schemat połączeń systemu zasilania DC z aktywnymi komórkami (źródłami) połączonymi w zespoły szeregowo-równoległe (b)

Ładowanie akumulatorów w trybach z prądem stałym ciągłym lub przerywanym (impulsowym, tzw. PWM) realizuje się w obwodach jak na rysunku 2b. W celu regulacji napięcia, mającej wpływ na efektywność transferu ładunku, modyfikuje się czas trwania impulsów prądu. W układzie ładowania pracującym w systemie z rysunku 1b częstotliwość impulsowania wynosi ok. 200 Hz [2]. Tryb ten nie pozwala na pełne wykorzystanie energii słonecznej, ale jest korzystny z punktu widzenia procesów elektrodowych zachodzących

w akumulatorach ołowiowych w trybie absorpcji (stabilizacji napięcia) [3]. W końcowej fazie ładowania (stabilizacja napięcia) prąd ma charakter zanikający, co wymuszane jest przez kontroler lub w sposób naturalny zmianami siły elektromotorycznej akumulatora. Schemat zastępczy i równanie charakterystyki prądu dla fazy absorpcji (1) przedstawiono na rysunku 2b. Stała czasowa T funkcji zanikania zależy od właściwości akumulatora lub stanowi właściwość algorytmu sterowania.

Opracowany w Oddziale Gdańskim Instytutu Elektrotechniki prototyp autonomicznego sterownika solarnego ASF-01 zawiera przetwornicę DC/DC uniezależniającą napięcie źródła fotowoltaicznego od aktualnego napięcia na akumulatorze, co pozwala na maksymalizację mocy ładowania (MPPT) w zakresie *bulk* – prąd dostarczany do akumulatora ma charakter ciągły. W pozostałych zakresach napięć akumulatora stosowana może być metoda PWM. Na rysunku 3a przedstawiono schemat blokowy opracowanego modelu urządzenia, które pozwala na automatyczny wybór najlepszej metody ładowania oraz dodatkowo wyposażone jest w układy bezprzewodowej komunikacji radiowej i pomiaru ładunku elektrycznego. Na rysunku 3b przedstawiono koncepcję utworzenia większego systemu o strukturze modułowej. W szeregowo-równoległym układzie połączeń łączniki K_o i diody zwrotne poszczególnych systemów spełniają rolę elementów regulacyjnych.

2. KONSTRUKCJA STEROWNIKA

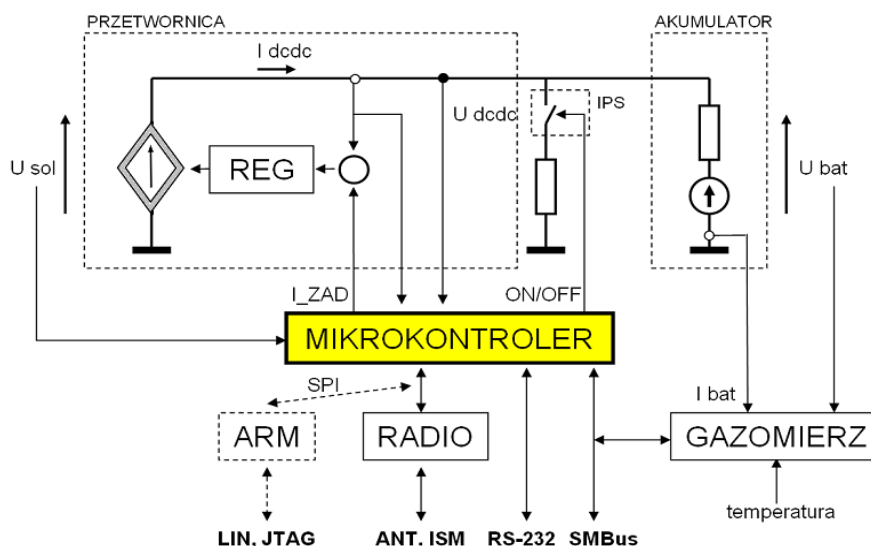
W skład sterownika autonomicznego systemu zasilania wchodzi elementy łączeniowe i regulacyjne, przetwornica DC/DC, mikrokontroler, radiowy układ komunikacyjny pozwalający na monitorowanie i zarządzanie energią przez nadrzędny (zdalny) system sterowania. Sterownik stanowi platformę do tworzenia aplikacji zawierających źródło solarne, chemiczny zasobnik energii oraz obciążenie. Na rysunku 4 przedstawiono schemat funkcjonalny takiego systemu.

Blok MIKROKONTROLER korzystając z informacji udostępnionych przez pozostałe bloki pełni następujące funkcje:

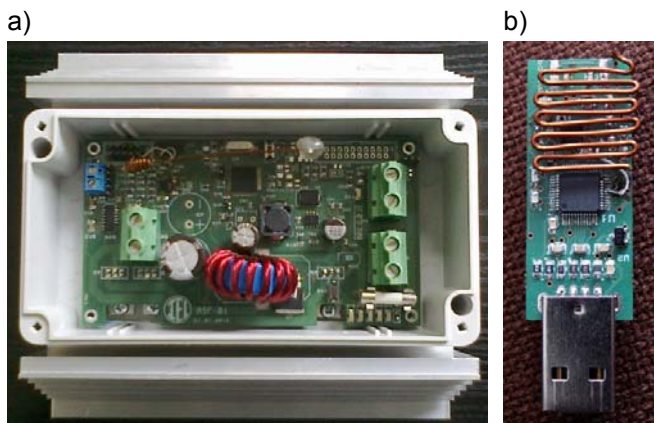
- sterowanie przetwornicą DC/DC lub łącznikiem tranzystorowym w zależności od aktualnego stanu nasłonecznienia i naładowania akumulatora (blok REG zapewnia stabilizację prądu);
- kontrola ładowania akumulatora poprzez ciągły pomiar ładunku (blok GAZOMIERZ, ang. *fuel gauge* [7]);
- odbiór informacji dodatkowych z bloków (obliczeniowego ARM, komunikacji RADIO, stanu obciążenia IPS);

- sterowanie obciążeniem wykonawczym wg harmonogramu wynikającego z aplikacji (sterowanie łącznikiem IPS);
- komunikacja z lokalnym operatorem lub z systemem nadrzędnym (przewodowa lub bezprzewodowa w pasmie ISM 433 MHz).

Przedstawiony na rysunku 4 blok MIKROKONTROLER jest blokiem o charakterze logicznym utworzonym na bazie mikrokontrolerów (programowalnych elementów procesorowych). Bloki GAZOMIERZ i RADIO to specjalizowane sprzętowe elementy konfigurowalne o niskim poborze mocy i posiadające własną pamięć. Funkcje oprogramowania systemu zawarte w bloku MIKROKONTROLER mogą zostać zlokalizowane (częściowo) także w bloku ARM, który wraz z blokiem GAZOMIERZ cechuje się niezależnością od innych bloków (własny podsystem zasilania).



Rys. 4. Schemat blokowy systemu ASF-01 (bez części zdalnej). Linia przerywaną zaznaczono przetwornicę DC/DC pracującą w układzie regulowanego źródła prądowego



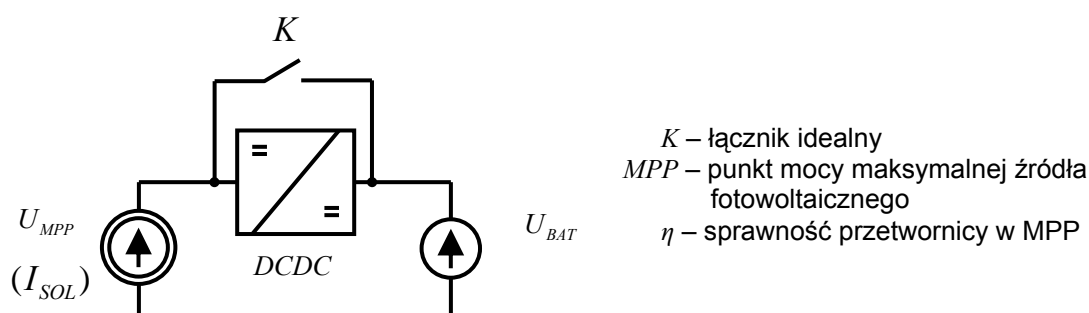
Rys. 5. Widoki urządzeń systemu ASF-01 (fotografie w różnych skalach):

- a) wnętrze obudowy przetwornicy (bez okablowania),
- b) moduł komunikacyjny „USB Stick”

2.1. Energoelektroniczne elementy wykonawcze

Przetwornica obniżająca DC/DC (ang. *buck, step-down converter*) stanowi regulowany element układu ładowania akumulatora umożliwiającą maksymalizację mocy obciążenia źródła energii. Przetwornica realizuje tzw. pracę synchroniczną elementów łącznikowych, tranzystorów polowych MOSFET, co prowadzi do zmniejszenia strat przewodzenia w układzie. Częstotliwość pracy ustalono na ok. 160 kHz jako wartość kompromisową pomiędzy akceptowalnymi gabarytami dławika a wielkością strat cieplnych w tranzystorach mocy i w scalonym kontrolerze sterującym. Zastosowano dławik toroidalny o niskim polu rozproszenia z rdzeniem proszkowym ze stopu Fe, Si, Al (Sendust) [1]. Konstrukcja mechaniczna urządzenia ASF-01 przedstawiona jest na rysunku 5a. Radiator stanowiący konstrukcję nośną zapewnia przekształtnikowi chłodzenie konwekcyjne.

Przetwornica pracuje w układzie źródła prądowego o wydajności zadawanej przez mikrokontroler z rozdzielczością 8-bitową. Sterowanie przepływem energii ze źródła pozwala na ładowanie akumulatora prądem ciągłym za pomocą przetwornicy DC/DC z maksymalizacją mocy lub prądem impulsowym za pomocą łącznika K bez maksymalizacji mocy źródła. Na rysunku 6 przedstawiono koncepcję metody wyboru rodzaju zasilania zapewniającego największą moc ładowania. Decyzje podejmowane są na podstawie porównania mocy chwilowej i sprawności przetwarzania w dwóch trybach zasilania przy ciągłym prądzie źródła.



$$U_{BAT} \cdot I_{SOL} - U_{MPP} \cdot I_{MPP} \cdot \eta_{DC-DC} > 0 \rightarrow (K = ON \wedge DCDC = OFF)$$

$$U_{BAT} \cdot I_{SOL} - U_{MPP} \cdot I_{MPP} \cdot \eta_{DC-DC} < 0 \rightarrow (K = OFF \wedge DCDC = ON)$$

Rys. 6. Maksymalizacja mocy ładowania w systemie ASF-01

Łącznik obejściowy (tzw. *bypass*, K na rysunku 6) zrealizowano na tranzystorze polowym typu „p” ze sterownikiem liniowym. W celu ochrony przed przepięciami układów potrzeb własnych systemu tranzystor ten może wychodzić ze stanu nasycenia przechodząc do stratnej pracy w zakresie liniowym w przypadku braku obciążenia lub akumulatora na wyjściu. W normalnych warunkach powyższy układ ogranicznika napięcia pracuje z niewielką rezystancją nasyconego tranzystora w stanie przewodzenia [1]. Łącznik tranzystorowy może ponadto pełnić rolę elementu wykonawczego modulatora prądu ładowania wg trybu opisanego na rysunku 2b. W takiej sytuacji negatywny wpływ pojemności wejściowej przetwornicy DC/DC może zostać wyeliminowany przez użycie szeregowej „diody idealnej” [4] włączonej do obwodu wejściowego przetwornicy (w prototypie diody tej nie zainstalowano).

Obciążenie, podstawowy element wykonawczy systemu, załączane jest na szynę DC akumulatora za pomocą łącznika tranzystorowego. W układzie praktycznym zastosowano tzw. łącznik inteligentny – element scalony z tranzystorem polowym typu „n”, ogranicznikiem prądu zwarcowego i obwodem diagnostyki wyjścia [5]. Takie wyposażenie pozwala m.in. na sterowanie żarówkami o znacznym prądzie rozruchowym (lampy halogenowe). Wynikająca z aktualnego stanu naładowania akumulatora wartość napięcia wyjściowego wpływa na moc wydzielaną w żarówce, dlatego korzystnymi typami obciążeń w systemie ASF-01 są źródła światła z diodami LED i własną stabilizacją prądu, jak opisywany w pracy [10].

2.2. Zasobnik energii autonomicznego systemu zasilania

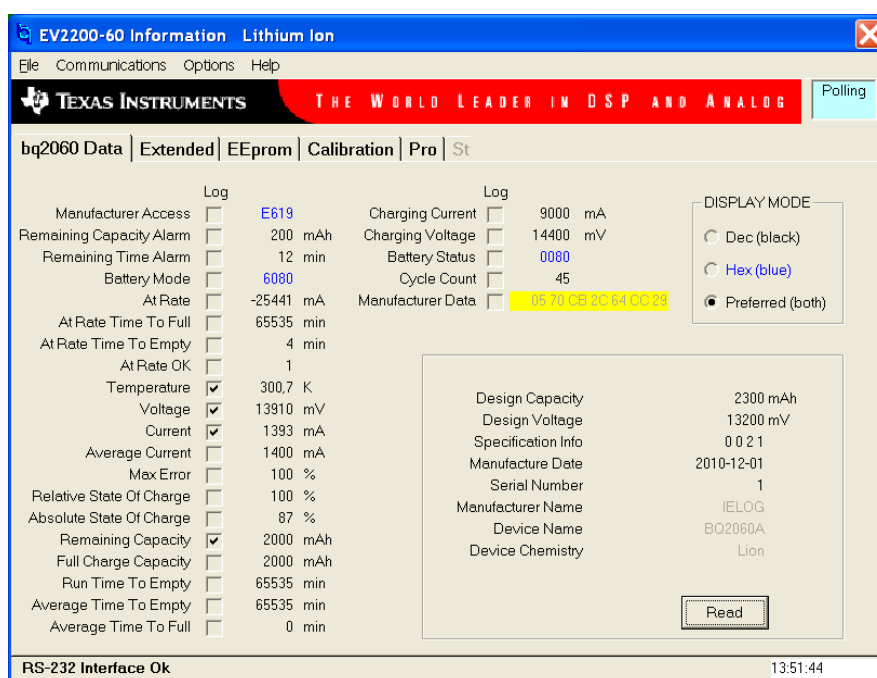
Akumulator chemiczny jest układem, którego podstawowym parametrem jest wielkość zgromadzonego ładunku elektrycznego. W wąskim zakresie napięć, prądów i temperatur pracy możliwe jest traktowanie akumulatora jako kondensatora o stałej pojemności. Energia zgromadzona w kondensatorze o pojemności C jest proporcjonalna do ładunku elektrycznego Q wg poniższej zależności:

$$W = \frac{Q^2}{2C} \quad (2)$$

W przykładowym akumulatorze o pojemności Q równej 1 Ah (3600 kulombów) transfer ładunku zmierzony w przedziale napięcia o wartości 0,6 V oznacza pojemność C o wartości 6000 F, a ilość przesłanej energii do/z akumulatora wynosi 1,08 kJ. W praktyce wartość napięcia na zaciskach akumulatora chemicznego nie stanowi jednoznacznej informacji dla wnioskowania o ilości

zmagazynowanej w nim energii. Efektywne modelowanie pojemności takich układów musi uwzględniać: wartość prądu ładowania, aktualny stan naładowania, temperaturę akumulatora i „stopień wyeksploatowania”. Ten ostatni wskaźnik jest szczególnie trudny do oszacowania, gdyż zależy nie tylko od daty produkcji akumulatora, ale także od temperatury jego przechowywania oraz liczby wykonanych cykli ładowania.

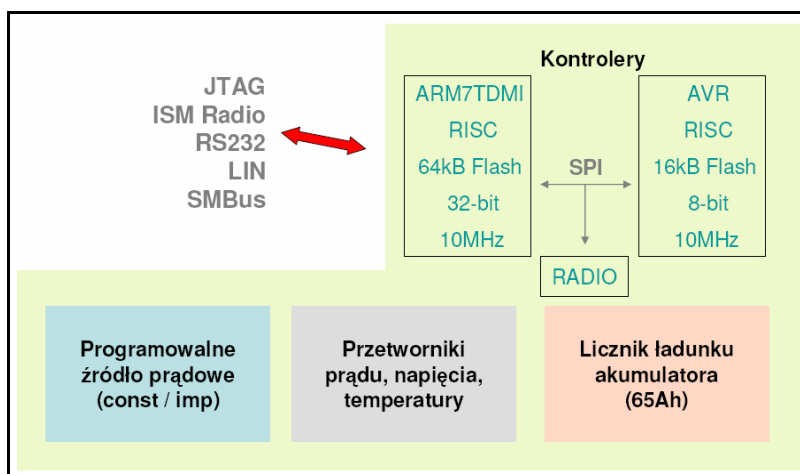
Prototypowy sterownik wyposażono w specjalizowany układ do pomiaru ładunku elektrycznego w postaci bloku GAZOMIERZ (rys. 4). Pozwala on na uwzględnianie nieliniowości charakterystyk akumulatorów za pomocą współczynników korekcyjnych uzyskiwanych na drodze badań empirycznych. Po wprowadzeniu szeregu parametrów konfiguracyjnych charakterystycznych dla wykorzystywanego typu akumulatora blok ten realizuje ciągły pomiar ładunku elektrycznego, napięcia zaciskowego, temperatury, wartości i kierunku przepływającego prądu oraz monitoruje przekroczenie zdefiniowanych wartości progowych. Na podstawie znajomości ładunku zgromadzonego w zasobniku oraz aktualnego prądu jego rozładowania obliczany jest dysponowany czas pracy, istotny z punktu widzenia aplikacji systemu. Kontroler programowalny (w bloku MIKROKONTROLER) odczytuje dane z licznika za pośrednictwem standardowej magistrali komunikacyjnej (opis poniżej). Na rysunku 7 przedstawiono widok okna aplikacji narzędziowej wyświetlającej odczytywane dane w formie czytelnej dla projektanta podsystemu akumulatorowego.



Rys. 7. Okno podglądu stanu rejestrów odczytywanych z bloku GAZOMIERZ poprzez magistralę SMBus (narzędzie ewaluacyjne układu BQ2060A firmy Texas Instruments [7])

2.3. Zasoby obliczeniowe sterownika systemu

Sterownik autonomicznego systemu zasilania ASF-01 jest układem zawierającym regulowane źródło prądowe, programowalne uniwersalne kontrolery cyfrowe oraz specjalizowane kontrolery do obsługi akumulatora i komunikacji radiowej w pasmie ISM (*Industrial Scientific Medical*). Do efektywnej komunikacji pomiędzy powyższymi układami wykorzystano wewnętrzny szeregowy interfejs SPI (*Serial Peripheral Interface*) oraz magistralę SMBus (*Serial Management Bus, SMB*), co przedstawiono na rysunku 8. Opracowany przez firmę Intel interfejs SMB służy do komunikacji z podsystemami zasilania w komputerach osobistych [6]. Interfejsy JTAG (*Joint Test Action Group*) i RS232 służą przede wszystkim do prac nad oprogramowaniem użytkowym aplikacji oraz do diagnostyki systemu.



Rys. 8. Zasoby obliczeniowe, pomiarowe i komunikacyjne sterownika ASF-01

Kontroler ARM7 znajdujący się w opisywanym systemie dysponuje 16-bitowym przetwornikiem analogowo-cyfrowym, który włączony został w wejściowy obwód zasilania systemu ASF-01. Kontroler ten posiada interfejsy komunikacyjne SPI i LIN (*Local Interface Network*). Interfejs LIN stanowi tanią alternatywę dla bardziej skomplikowanego łącza CAN (*Controller Area Network*) znajdującą zastosowanie jako odporne na zakłócenia łącze dla pojazdowych elementów wykonawczych [6].

Sposób implementacji oraz zasoby obliczeniowe kontrolera ARM7 wraz z dostępnym łączem JTAG predysponują system ASF-01 do prac rozwojowych nad oprogramowaniem funkcji pomiarowych oraz uruchamiania algorytmów MPPT bazujących na bezpośrednim pomiarze mocy obciążenia źródła fotowoltaicznego.

3. BADANIA PROTOTYPU STEROWNIKA

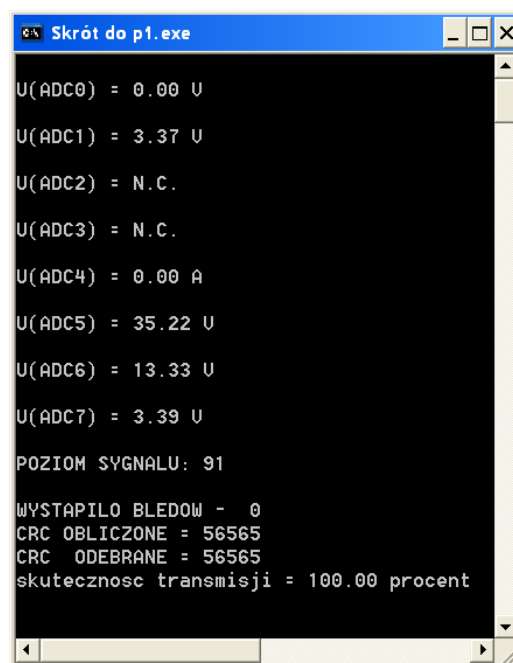
W celu ułatwienia badań laboratoryjnych zapewniono komunikację pomiędzy systemem a użytkownikiem za pomocą interfejsów działających na łączach przewodowym oraz radiowym. Łącze radiowe obsługiwane jest poprzez pośredniczące urządzenie typu wtyczka (ang. *stick*) do komputera nadrzędnego (widoczne na rysunku 5b). Okna programów uruchomionych na platformie Windows XP przedstawiają tekstowe menu użytkownika generowane przez sterownik (rys. 9a) oraz okno aplikacji obsługującej kanał radiowy ISM (rys. 9b). Aplikacja ISM wykorzystuje zasoby biblioteczne udostępnione przez producenta scalonego elementu pośredniczącego w komunikacji (USB/UART/SPI). Wysoką jakość transmisji pakietów danych zapewniają obliczane przez aplikację sumy kontrolne CRC. Interfejsy komunikacyjne pozwalają na testowanie pracy przetwornicy z obciążeniem oraz umożliwiają podgląd aktualnej stopy błędów transmisji bezprzewodowej. Uzyskiwany zasięg komunikacji przy mocy nadajnika poniżej 10 mW i wykorzystaniu anten widocznych na rysunku 5 przekracza odległość 20 m (w budynku).

a)



```
COM 6 - HyperTerminal
Plik  Edycja  Widok  Wywołanie  Transfer  Pomoc
[Icons]
ASF-01
(c)2010 IE1 Gdansk
Testowanie funkcji:
[Boxed menu]
OUT ON/OFF
Solar OFF
START/STOP
INC. ZAD. I
DEC. ZAD. I
AUTO MPPT
<test>
Połączony 00:00:30  ANSI  38400 8-N-1
```

b)



```
Skrót do p1.exe
U(ADC0) = 0.00 U
U(ADC1) = 3.37 U
U(ADC2) = N.C.
U(ADC3) = N.C.
U(ADC4) = 0.00 A
U(ADC5) = 35.22 U
U(ADC6) = 13.33 U
U(ADC7) = 3.39 U
POZIOM SYGNAŁU: 91
WYSTAPIŁO BLEDÓW - 0
CRC OBLICZONE = 56565
CRC ODEBRANE = 56565
skuteczność transmisji = 100.00 procent
```

Rys. 9. Okna aplikacji konsolowych do komunikacji i monitorowania przetwornicy:

a) menu lokalnego sterowania za pośrednictwem terminala ANSI (RS-232), b) odczyty parametrów roboczych poprzez moduł „USB Stick”

3.1. Badania przetwornicy DC/DC

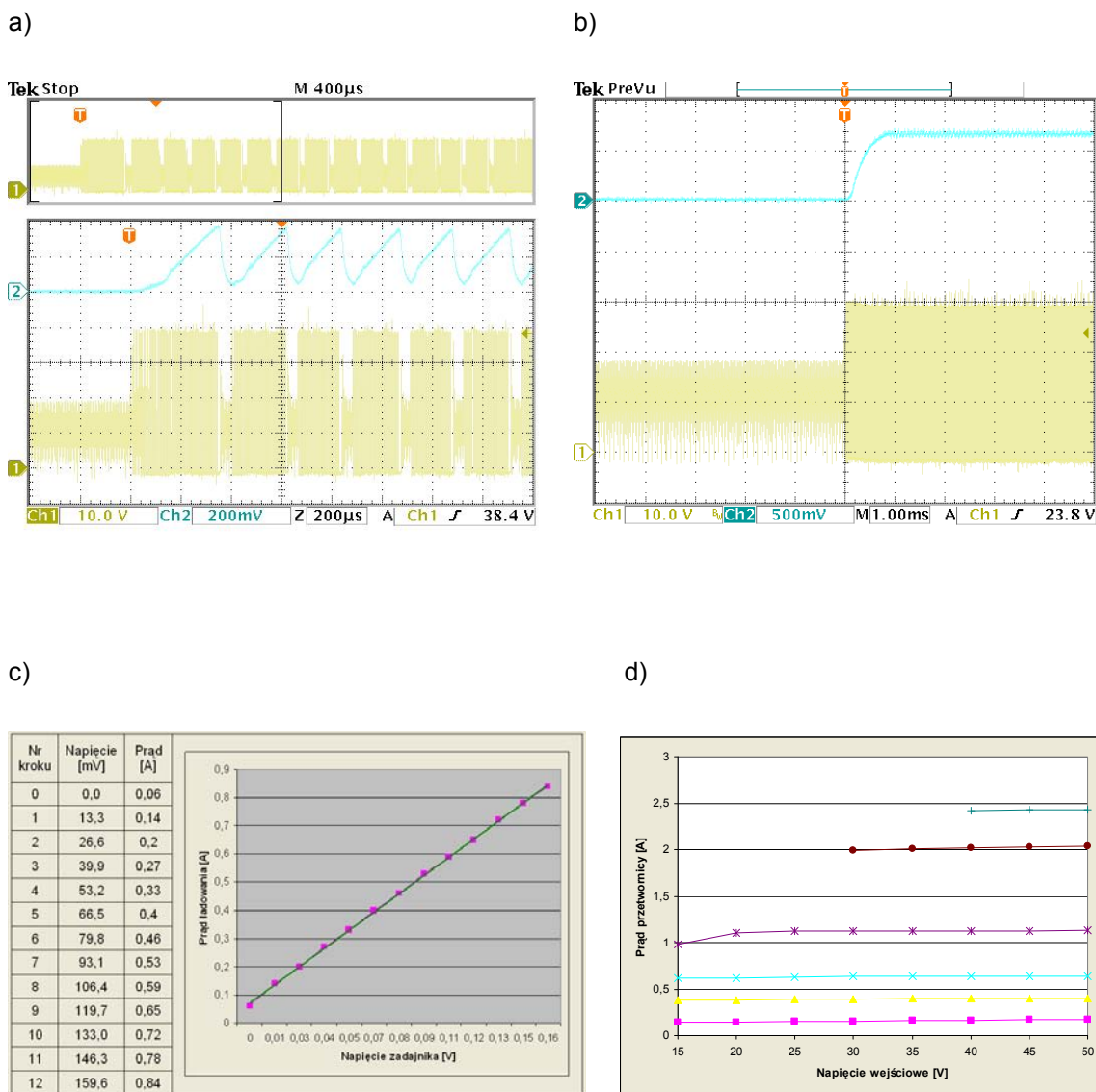
Badania prowadzono przy wykorzystaniu akumulatora litowo-żelazowego (A123 Systems 13,2 V/2,3 Ah) umożliwiającego ładowanie w pełnym zakresie obciążeń przetwornicy (0-10 A). Na rysunkach 10a i 10b przedstawiono przebiegi czasowe kluczowanego napięcia wejściowego i prądu wyjściowego (ładowania) uzyskane w układzie jak na rysunku 4 dla różnych parametrów regulatora prądu REG. Charakter przebiegu prądu uwidocznił na tych rysunkach jest silnie zależny od parametrów obwodu regulatora (zrealizowanego analogowo). W odróżnieniu od rozwiązania układowego prezentowanego w pracy [11], w zewnętrznej pętli regulatora prądu (REG) zastosowano bocznik pomiarowy o znacznie niższej rezystancji ($10\text{ m}\Omega$), a zabezpieczenie przeciwzwarciowe wykorzystuje do pomiaru prądu rezystancję przewodzenia dolnego tranzystora przetwornicy [1].

Na rysunku 10c przedstawiono fragment zakresu działania zadajnika prądu wyjściowego przetwornicy DC/DC oraz sprawdzenie właściwości stabilizacyjnych układu (rys. 10d) przy zasilaniu z laboratoryjnego źródła napięcia o mocy 50 W. Zadawanie prądu realizowane jest napięciowo za pomocą filtrowanego sygnału z wyjścia PWM mikrokontrolera w zakresie napięć 0-3,3 V.

Przetwornica stanowi regulowane źródło prądu stałego, które wykorzystano jako element wykonawczy algorytmu stabilizacji napięcia wejściowego na wartości ok. 80% wartości napięcia obwodu otwartego źródła fotowoltaicznego. Stanowi to najprostszy sposób zwiększania mocy uzyskiwanej z tego typu źródła [8]. W celu polepszenia uzysku mocy metodę stabilizacji napięcia można łatwo zmodyfikować poprzez uzależnienie wartości zadanej napięcia od temperatury źródła. Wymaga to pomiaru temperatury panelu solarnego za pomocą przetwornika sprzęgniętego z układem pomiarowym. Układy pomiarowe dostępne w opracowanym systemie w blokach GAZOMIERZ lub ARM współpracują z rezystancyjnymi czujnikami temperatury.

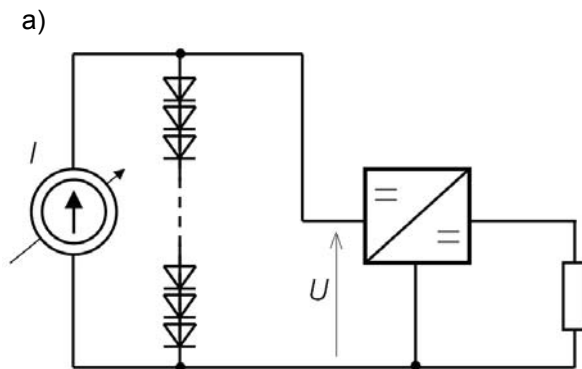
Model laboratoryjny źródła fotowoltaicznego zrealizowano jako szeregowo połączone nieoświetlonych paneli typu SOLARA SM 225 FlexCon zasilanych ze źródła prądu o wydajności I (rys. 11a). Wydajność tę należy utożsamiać z symulowanym natężeniem promieniowania słonecznego. Na rysunku 11b oraz 11c przedstawiono przebiegi napięcia i prądu pobieranego z powyższego modelu (linia niebieska) przy wydajności zasilacza rosnącej w przybliżeniu liniowo (określanej ręcznie). Okres pracy algorytmu wynosił 20 ms przy strefie histerezy napięcia równej 2 V i pojemności wejściowej przetwornicy wynoszącej ok. 1,5 mF. Oscylacje przebiegu napięcia wejścio-

wego narastają wraz ze wzrostem wydajności „naświetlenia” modelu źródła i są zależne od powyższych parametrów algorytmu oraz od transkonduktancji przetwornicy (przedstawionej na rys. 10a). Natura przedstawionego zjawiska w układzie regulacji została przeanalizowana przez autorów publikacji [9].



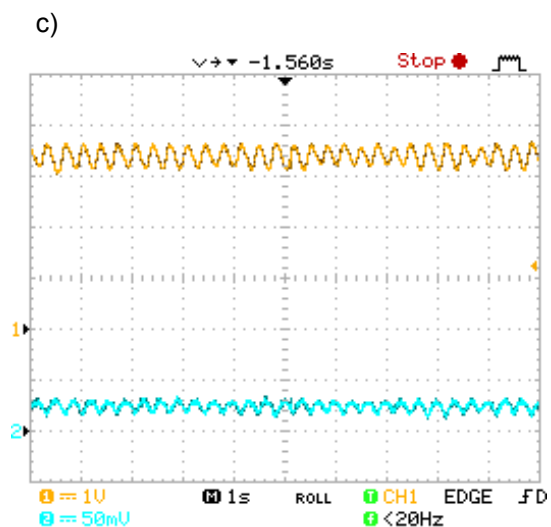
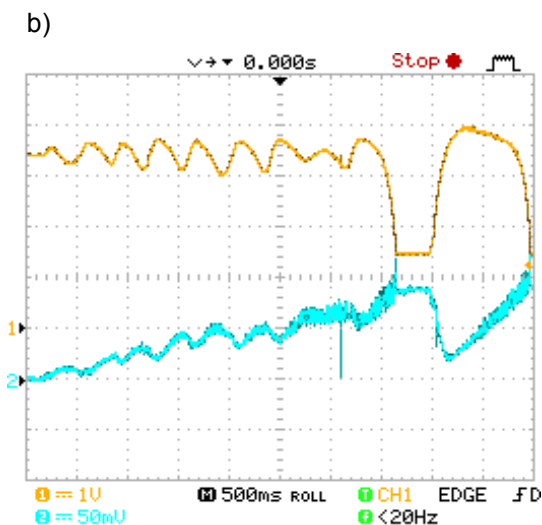
Rys. 10. Przetwornica DC/DC jako regulowane źródło prądu stałego [1]:

a) kluczowane napięcie wejściowe i prąd wyjściowy po starcie przetwornicy na obciążenie akumulatorowe – zbyt duże wzmocnienie regulatora prądu (2 A/dz), b) przebiegi rozruchowe jw. po skorygowaniu parametrów regulatora prądu (5 A/dz), c) fragment charakterystyki transkonduktancji przetwornicy wraz z regulatorem (REG), d) stabilizacja prądu wyjściowego w funkcji napięcia wejściowego dla kilku wartości zadanych



Rys. 11. Układ laboratoryjny z modelem źródła fotowoltaicznego (a) i przebiegami obrazujące działanie stabilizatora napięcia wejściowego podczas wzrostu wydajności źródła I (b) oraz przy ustalonej wartości prądu I (c).

Przebieg górny [10 V/dz] – napięcie U ,
przebieg dolny [0,5 A/dz] – prąd wejściowy przetwornicy DC/DC



5. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono konstrukcję uniwersalnego urządzenia sterującego przeznaczonego dla autonomicznego systemu zasilania. Podstawową funkcją urządzenia jest ładowanie akumulatora chemicznego ze źródła fotowoltaicznego, załączanie odbiornika energii oraz zdalne monitorowanie tego procesu. Zastosowanie standardowych interfejsów komunikacyjnych ułatwia prace nad algorytmami sterującymi i konfigurację układów specjalizowanych. Użyte elementy energoelektroniczne i nowoczesne materiały wchodzące w skład podzespołów biernych pozwoliły na miniaturyzację gabarytów i bezzakłóconą pracę przetwornicy, układów pomiarowych i radiowych w modelu laboratoryjnym.

Głównym obszarem zastosowań systemów opracowywanych na bazie modelu może być oświetlenie autonomiczne, sterowane bezprzewodowo elementy wykonawcze małej mocy oraz automatyczne układy ładowania akumulatorów. W systemach najmniejszej mocy lub przeznaczonych do masowej produkcji daleko posunięta komplikacja układowa sprzętu i oprogramowania często nie jest uzasadniona i skłania do stosowania układów scalonych o większym stopniu integracji [11]. Jednak to wymóg uzyskania określonych parametrów elektrycznych, wymiarów oraz minimalizacja kosztów są najczęściej czynnikami decydującymi o przyjętych rozwiązaniach układowych [12].

LITERATURA

1. OG/864/ZNB-163/2010, Wysokosprawny system przekształcania energii do zastosowań fotowoltaicznych, IEL/OG, Gdańsk 2010.
2. OG-863/ZNB-163/2010, Elektrownia słoneczna 3 kW – Dokumentacja Techniczno-Ruchowa, IEL/OG, Gdańsk 2010.
3. Why PWM?, materiały marketingowe, Morningstar Corporation, 2000.
4. LM5050-2 High Side OR-ing FET Controller, National Semiconductor, 2010.
5. IPS6031 Intelligent Power High Side Switch, International Rectifier, Data sheet No. PD60281.
6. <http://en.wikipedia.org/wiki/SMBus>.
7. bq2060AEVM-001 and bq2060AEVM-002 SBS 1.1 Battery Management Solution Evaluation Module, Texas Instruments, 2003.
8. Faranda R., Leva S.: Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems, WSEAS Transactions on Power Systems, Issue 6, Vol. 3, June 2008.
9. Suntio T., Leppäaho J., Huusari J.: Issues on Solar-Generator-Interfacing with Voltage-Fed Converter, Industrial Electronics – 35th Annual Conference of IEEE, IECON 2009.
10. Wojtkowski W., Karpiuk A.: Cyfrowy regulator prądu diod LED sterowany mikrokontrolerem AVR, Prace Instytutu Elektrotechniki, zeszyt 244, 2010.
11. Marcinek M.: Testowanie impulsowej ładowarki solarnej: budowa oraz właściwości, Prace Instytutu Elektrotechniki, zeszyt 246, 2010.
12. Rosen R.: Comparing the Merits of Integrated Power Modules versus Discrete Regulators, Power Designer No. 129, National Semiconductor, 2010.

AUTONOMOUS POWER SYSTEM CONTROLLER

Piotr BOGUSŁAWSKI, Eugeniusz ŁOWIEC
Aleksander MILAK

ABSTRACT *A practical implementation and laboratory researches for an universal solar low-power power system containing the chemical battery and a wireless communication interface is presented in this paper. The components of the system controller are described.*



Mgr inż. Piotr BOGUSŁAWSKI – studia wyższe ukończył w roku 1994 na Wydziale Elektrycznym Politechniki Gdańskiej na kierunku Przetwarzanie i Użytkowanie Energii Elektrycznej. Aktualnie pracuje jako asystent w Oddziale Gdańskim Instytutu Elektrotechniki. Zajmuje się technologią i zastosowaniem systemów wbudowanych oraz usług telekomunikacyjnych w energoelektronicznych układach przekształtnikowych.

Dr inż. Eugeniusz ŁOWIEC – studia ukończył w 1972 r. na Wydziale Elektroniki Politechniki Gdańskiej. Do roku 1988 pracował w Akademii Marynarki Wojennej zajmując się automatyką okrętową i automatyką komór hiperbarycznych. Od 1988 r. zatrudniony jest w Oddziale Gdańskim Instytutu Elektrotechniki. Jego zainteresowania skupiają się na problematyce optymalizacji pracy pompowni melioracyjnych i aplikacji internetowych do monitoringu obiektów przemysłowych. Jest autorem wielu artykułów, patentów i wdrożeń.



Inż. Aleksander MILAK – studia wyższe ukończył w roku 2008 w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Elblągu na kierunku Elektrotechnika w zakresie Elektroenergetyka z informatyką techniczną. Od roku 2009 pracuje w Gdańskim Oddziale Instytutu Elektrotechniki. Zajmuje się projektowaniem i oprogramowaniem systemów mikroprocesorowych w układach przewodowej i bezprzewodowej transmisji danych oraz sterowania w urządzeniach energoelektronicznych.