

UKŁAD MIKROPROCESOROWY DO STEROWANIA I NADZORU PRZETWORNIC DC / DC W UKŁADACH ZASILANIA POTRZEB WŁASNYCH ENERGETYKI Z OGIWAMI PALIWOWYMI

MICROPROCESSOR DEVICES FOR MONITORING AND CONTROLLING DC / DC CONVERTERS IN SYSTEMS OF SUPPLYING AUXILIARIES WITH FUEL CELLS

prof. dr hab. inż. Antoni DMOWSKI
mgr inż. Rafał FRĄCZ

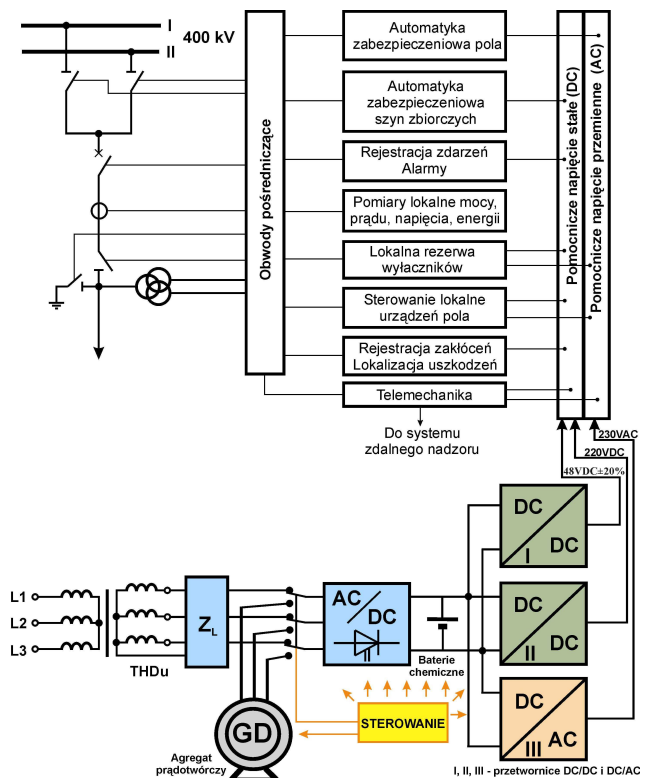
Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny, Instytut Elektroenergetyki, Zakład Elektrowni i Gospodarki Elektroenergetycznej

Abstract In this paper are presented two auxiliary supply systems for large power electrical engineering systems. The first old one (fig. 1) consists of a lot of AC / DC and DC / DC converters, large chemical battery and current generator. Used in older systems AC / DC and DC / DC converters have all analog controls. In the second – a new auxiliary supply system (fig. 3,4) chemical battery and current generator is replaced by a fuel cell. In new auxiliary supply system all devices used are working with digital controls. This paper presents a microcontroller control system which enables work with AC/DC and DC/DC converters from the old auxiliary supply system into the new one. As a result modernization of older auxiliary systems to newer ones is cheaper and easier.

Streszczenie W tym referacie zaprezentowano dwa systemy zasilania potrzeb własnych dużych systemów energetycznych. Pierwszy starszy składa się z wielu przetwornic AC / DC i DC / DC, dużej baterii chemicznej i generatora Diesla. W starszym systemie użyte przetwornice AC / DC i DC / DC mają sterowanie analogowe. Drugi system to nowe rozwiązanie, gdzie bateria chemiczna i generator zostały zastąpione przez ogniwo paliwowe. Wszystkie elementy nowego systemu mają sterowanie cyfrowe. W tym referacie zaprezentowano mikroprocesorowy system sterowania pozwalający zastosować w nowym systemie przetwornice AC / DC i DC / DC pochodzące ze starego systemu. Dzięki temu modernizacja starszych systemów do wersji z ogniwnem paliwowym jest tańsza i łatwiejsza.

1. Wstęp

Systemy zasilające obwody potrzeb własnych w elektroenergetyce mają dziś podstawowe znaczenie. W literaturze [3] przedstawiono układy zasilania potrzeb własnych elektroenergetyki. Każdy z systemów charakteryzuje kilka głównych elementów, przykładowo dla pola rozdzielni są to elementy przedstawione na rysunku 1. [3]



Rys. 1. Schemat funkcjonalny układów współpracujących z polem rozdzielni

Fig 1. Scheme for auxiliary supply system for distribute station in power engineering system

Układ zasilania potrzeb własnych, w tym przypadku pola rozdzielni, poprzez pomocnicze napięcia stałe ($48 V_{DC}$ i $220 V_{DC}$) oraz przemienne ($230 V_{AC}$) zasilają automatykę zabezpieczeniową pola i szyn zbiorczych, rejestrację zdarzeń i alarmów, pomiary lokalne mocy, prądu, napięcia i energii, lokalne rezerwy wyłączników, sterowanie lokalne urządzeń pola, rejestracje zakłóceń i lokalizacje uszkodzeń oraz całą telemechanikę. Podczas zaniku napięcia sieci zasilającej układy te muszą mieć podtrzymane zasilanie, by obsłużyć całą automatykę oraz system teleinformatyczny.

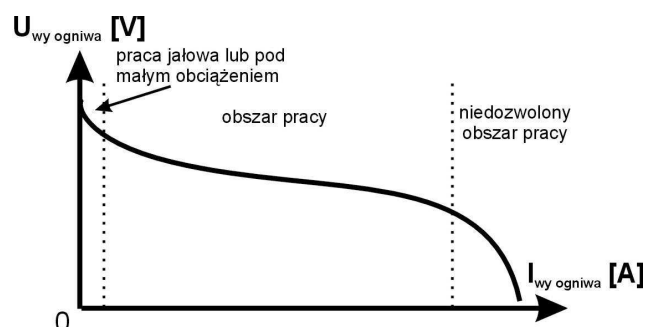
Zasada pracy prezentowanego na rysunku 1 systemu zasilania potrzeb własnych jest następująca: w stanie pracy ustalonej (bezawaryjnej) odbiorniki potrzeb własnych są zasilane z prostownika lub systemu równoległe połączonych prostowników [5]. Równoległe do wyjścia prostownika lub systemu równoległe połączonych prostowników jest dołączona bateria. Z baterii tej zasilane są odbiorniki w przypadku braku napięcia w elektroenergetycznej sieci zasilającej. Sposób realizacji obwodów zasilania prądem stałym i przemiennym w systemach potrzeb własnych opisano w [5]. Dodatkowo w [5] podano sposoby poprawy niezawodności działania układów przetwornic AC / DC; DC / DC i AC / AC będących elementami składowymi systemów zasilania potrzeb własnych. Poprawa ta następuje przez odpowiednie połączenie równoległe w/w przetwornic. Jeśli zanik napięcia elektroenergetycznej sieci zasilającej jest dłuższy niż czas rozładowania baterii do pracy włącza się agregat prądotwórczy i zapewnia dalszą pracę systemu zasilania. W układzie tym występuje szereg problemów związanych z agregatem prądotwórczym, prostownikiem i baterią elektrochemiczną opisanych szerzej w [3].

Przedmiotem referatu jest przedstawienie nowych rozwiązań systemu zasilania potrzeb własnych, które nie będą miały wad systemów dotychczas stosowanych. Oprócz nowej koncepcji autorzy przedstawiają układy pozwalające na dostosowanie już pracujących urządzeń do nowych rozwiązań.

2. Ogniwa paliwowe w systemach zasilania potrzeb własnych

Nową koncepcją proponowaną przez autorów jest zastosowanie ogniwa paliwowych wraz z dynamicznym magazynem energii, które mogą zastąpić dużą baterię chemiczną i generator prądotwórczy. To właśnie z tymi elementami są największe problemy eksploatacyjne. Tematyka ogniwa paliwowych jest szeroko opisywana w różnych artykułach i publikacjach [2, 4, 7], więc

będzie tutaj tylko fragmentarycznie poruszana. Rysunek nr 2 przedstawia charakterystykę prądowo-napięciową dowolnego ogniwa paliwowego. [2, 3, 7]



Rys. 2. Charakterystyka prądowo-napięciowa ogniwa paliwowego.

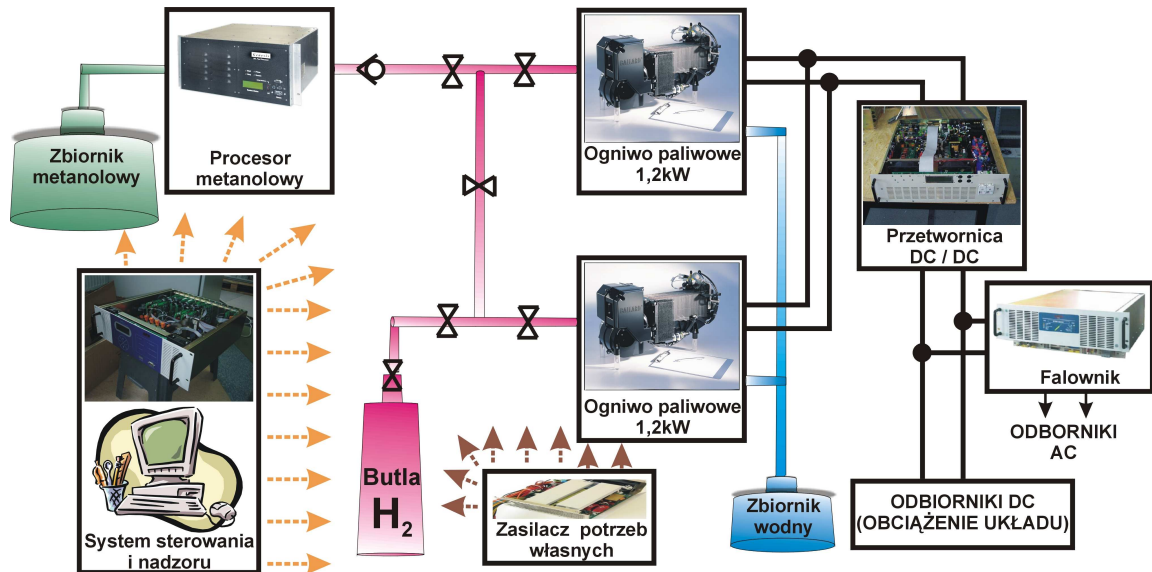
Fig. 2. Current-voltage characteristics of a fuel cell

Na charakterystyce tej naniesiono obszary pracy dozwolonej i obszary pracy zabronionej ze względu na możliwość uszkodzenia ogniwa. Z przedstawionej na rysunku nr 2 charakterystyki wynika, że samo ogniwo nie jest w stanie zasilać odbiorników prądu stałego stabilizowanym napięciem. Nie może ono także bezpośrednio zasilать odbiorników prądu zmiennego pracując w układzie autonomicznym oraz nie może przekazywać produkowanej przez ogniwo paliwowe energii bezpośrednio do sieci elektroenergetycznej. Ponadto do sterowania całego systemu zasilania potrzeb własnych energetyki z ogniwem paliwowym potrzebne jest wiele galwanicznie izolowanych napięć, których nie można bezpośrednio uzyskać z wyjścia ogniwa paliwowego bez przetwarzania. Rozwiązanie tych problemów jest możliwe przez zastosowanie odpowiednich układów energoelektronicznych.

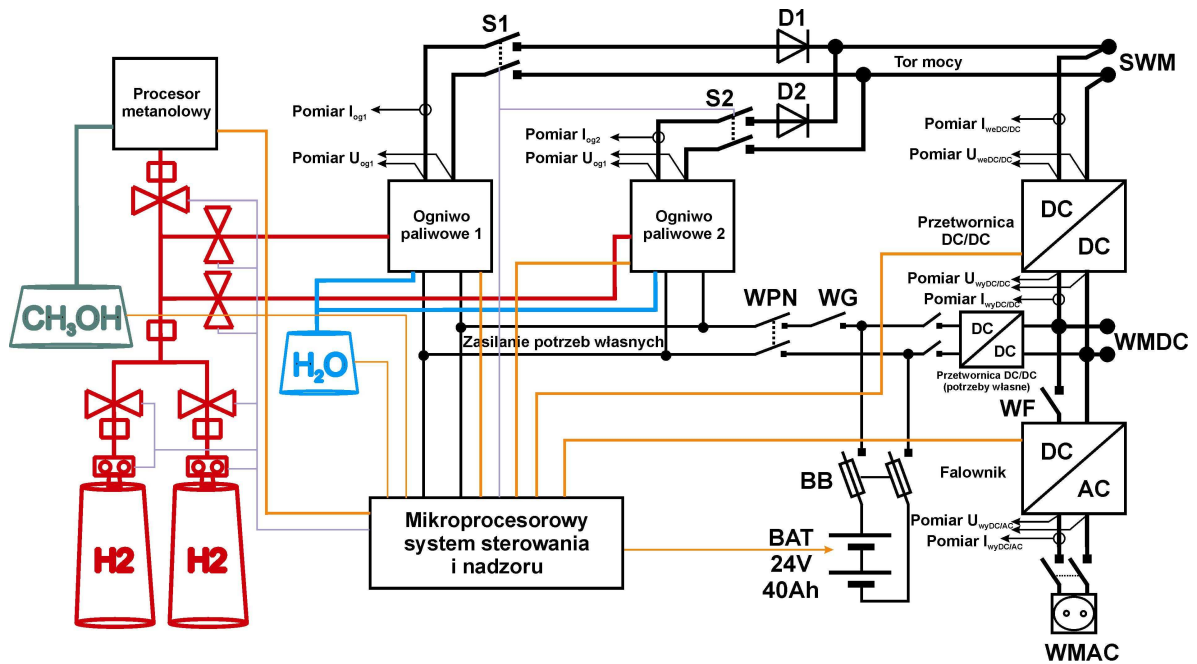
Przeprowadzone przez autorów prace miały na celu przygotować układ z ogniwem paliwowym do zastąpienia układu z rysunku 1.

Na istniejących stacjach energetycznych stosowane są dziś układy ze sterowaniem analogowym i nieznacznie rozbudowaną cyfrową częścią nadzoru. Wprowadzenie w to miejsce układów z ogniwem paliwowym nie powinno powodować wymiany całej aparatury stacyjnej. Ponieważ układy z ogniwem paliwowym, ze względu na swoje skomplikowanie (rys. 4), są wyposażane w rozbudowane systemy sterowania i nadzoru, autorzy postawili sobie za cel opracowanie rozwiązań pozwalających na zapewnienie takich samych możliwości dla części już istniejących elementów z obecnych systemów. Głównymi elementami które można wykorzystać podczas modernizacji istniejących systemów są przetwornice DC / DC.

Przykładowe rozwiązania zastępujące układ z rysunku 1 pokazane są na rysunku 3 i 4.



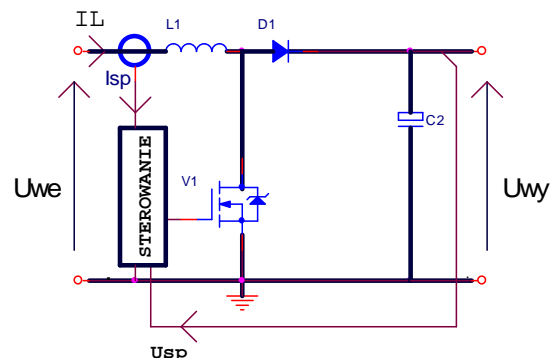
Rys. 3. Schemat uproszczony systemu zasilania z ogniwami paliwowymi zasilanymi różnymi rodzajami paliw [3]
Fig.3. Simplified scheme of supply system with fuel cells fed by different types of fuel



Rys. 4. Blokowy schemat systemu zasilania z ogniwami paliwowymi wytwarzający energię z paliwa metanolowego [3]
Fig. 4. Block scheme of supply system with fuel cells generating energy from methanol fuel [3]

3. Przetwornice DC/DC w układach z ogniwem paliwowym

Rysunek nr 5 przedstawia schemat najprostszego układu energoelektronicznego, który umożliwia bezpośrednio (bez galwanicznej izolacji) zasilanie odbiorników prądu stałego stabilizowanym napięciem. [1, 3]



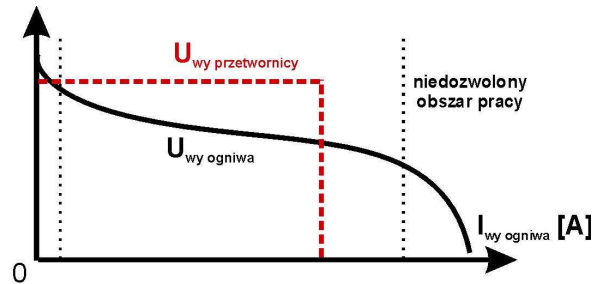
Rys. 5. Schemat przetwornicy podwyższającej
Fig.5. Scheme of a step up converter

Zaproponowany układ zapewnia:

- stabilizowanie napięcia zasilającego odbiorniki prądu stałego,
- ochronę ogniwa paliwowego przed pracą w obszarze zabronionym.

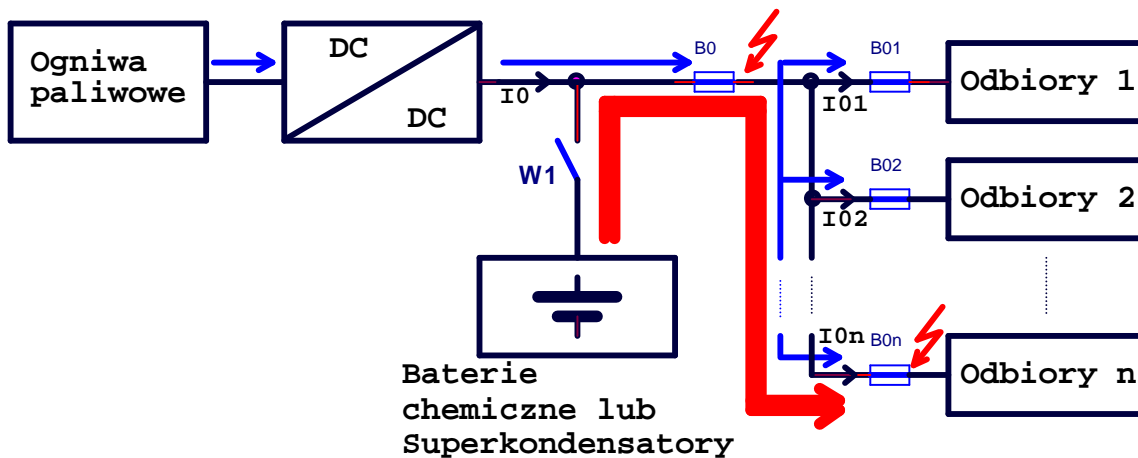
Zasadę pracy układu ogniwo paliwowe – przetwornica podnosząca napięcie wyjaśnia rysunek nr 6.

Przetwornicę podnoszącą napięcie, której schemat przedstawia rysunek nr 5 można łatwo przekształcić w układ, którego schemat przedstawia rysunek nr 7.



Rys. 6. Zasada pracy układu ogniwo paliwowe – przetwornica podnosząca napięcie.

Fig.6. Principle of operation of the arrangement: fuel cell – converter stepping up voltage



Rys. 7. Układ współpracy ogniwa paliwowego i przetwornicy DC / DC z dodatkowym magazynem energii elektrycznej.

Fig.7. System of cooperation between the fuel cell and DC / DC converter with additional electrical energy store

W układzie, którego schemat przedstawiono na rysunku nr 7 połączono ogniwo paliwowe z dodatkowym źródłem energii [3, 7].

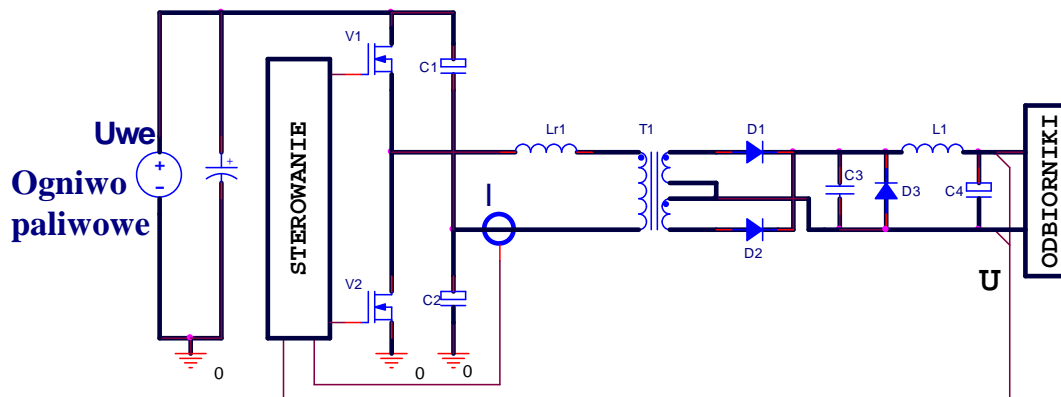
Uzyskanie „dużej” wartości prądu zwarciovego jest możliwe częściowo z ogniwa, częściowo z dodatkowo dołączonego akumulatora. Jednocześnie występujący w tym przypadku prąd z ogniwa nie przekracza wartości dopuszczalnej [2, 3, 7].

W różnych układach zasilania prądem stałym zachodzi często potrzeba zasilania obwodów o różnym napięciu i galwanicznej izolacji między

nimi. W tym celu stosuje się przetwornice napięcia. Przykładowe rozwiązanie takiej przetwornicy, pracującej w układzie rezonansowym, przedstawia rysunek 8. Więcej na temat rozwiązań przetwornic rezonansowych można znaleźć w [1,3,12].

Natomiast opisy wad i zalet przetwornic rezonansowych współpracujących z ogniwami paliwowymi można znaleźć np. w [3, 4, 8, 12]

Przetwornica, której schemat przedstawia rysunek nr 8 umożliwi samodzielną regulację i stabilizację napięcia wyjściowego

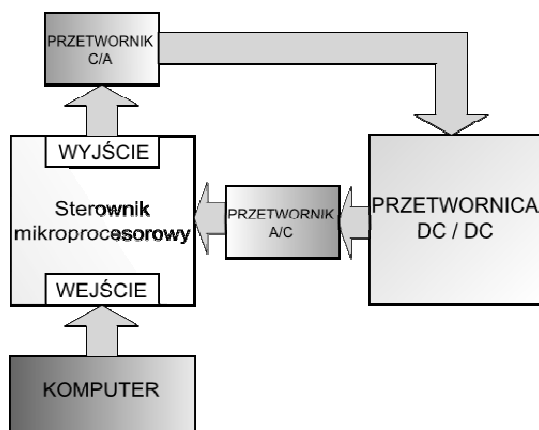


Rys. 8. Przykładowy schemat przetwornicy rezonansowej DC / DC

Fig. 8. Exemplary scheme of a DC / DC resonance converter

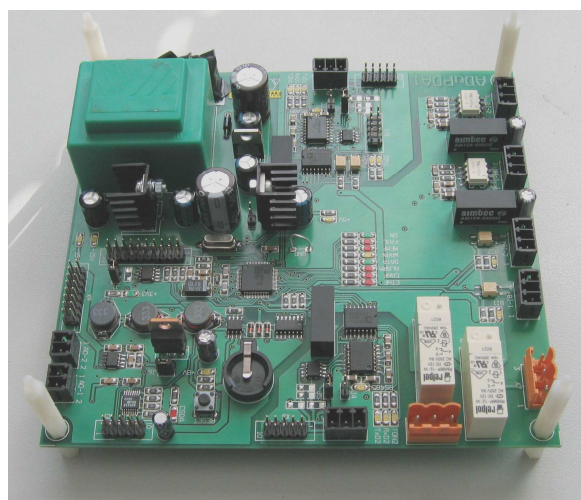
4. Nowe mikroprocesorowe układy nadzorujące prace przetwornic DC / DC

W pracujących obecnie systemach potrzeb własnych (przykładowo schemat z rys. 1) zainstalowanych jest wiele przetwornic DC / DC. Są one sprawdzone, w pełni sprawne i ich wymiana na nowe jest ekonomicznie nieuzasadniona. Dlatego warto je zmodernizować, by mogły współpracować z nowoczesnym systemem zasilania wyposażonym w ogniwa paliwowe. Do kluczowych aspektów należy zapewnienie możliwości zdalnego zadawania, pomiaru i kontroli parametrów pracy przetwornicy DC / DC. W tym celu w ramach pracy naukowej w ZEiGE został wykonany układ regulatora nadrzędnego dla przetwornicy współpracującej z ogniwem paliwowym. Schemat blokowy takiego regulatora przedstawia rysunek 9



Rys. 9. Schemat blokowy układu sterowania nadrzędnego dla przetwornicy DC / DC

Fig. 9. Block scheme of microprocessor supervise control system for DC / DC converter



Rys. 10. Fotografia mikroprocesorowego układu sterowania nadrzędnego dla przetwornicy DC / DC

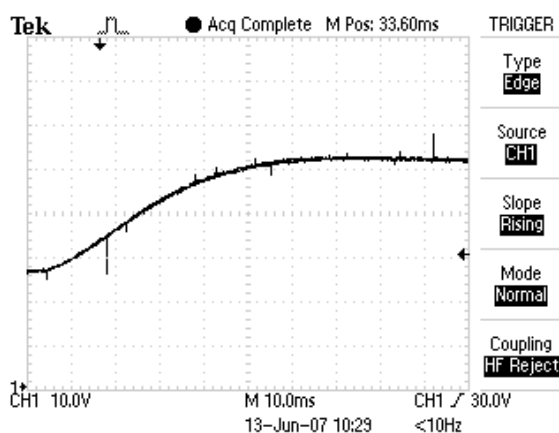
Fig. 10. Photo of microprocessor supervise control system for DC / DC converter

Do sterowania i nadzoru został użyty procesor Philips LPC2138 wraz z dodatkowymi układami sprzęgającymi i separującymi od przetwornicy. Ponieważ urządzenie bazuje na rozwiązaniach już zaimplementowanych w przetwornicy, takich jak stabilizacja napięcia i ograniczenie prądowe, możliwe stało się użycie procesora ogólnego przeznaczenia, gdyż czas jego reakcji nie jest kluczowy dla działania układu. Zarówno aktualnie zmierzona wartość napięcia, jak i parametry układu są dostępne dla zewnętrznego systemu poprzez łącze RS232/485 i protokół Modbus. Układ ten zapewnia:

- Zadawanie wymaganego napięcia wyjściowego przetwornicy oraz poziomu ograniczenia prądowego
- Możliwość zdalnego włączenia/wyłączenia przetwornicy
- Utrzymanie zadanych wartości przy zmianach obciążenia układu
- Możliwość sprzęgnięcia przetwornicy z większym systemem poprzez zapewnienie monitorowania jej pracy
- Wykorzystanie istniejących elementów infrastruktury przy modernizacji systemów potrzeb własnych, a dzięki temu redukcje kosztów

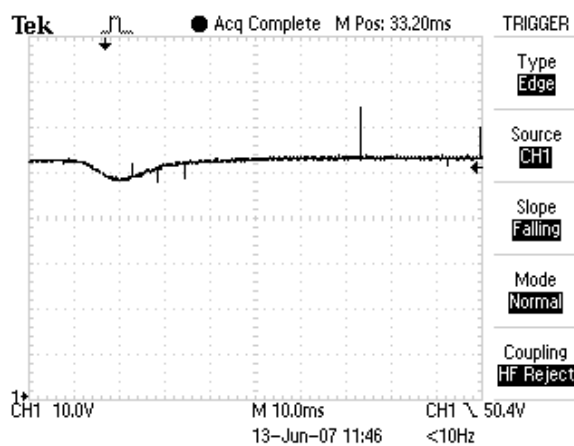
Fotografia wykonanego prototypu układu została przedstawiona na rysunku 10.

Autorzy przebadali wykonany układ z przetwornicą podwyższającą o napięciu 48 V i mocy 1,5 kW. Możliwa jest także praca układu z innymi typami przetwornic DC / DC. Wybrane oscylogramy przedstawiają pracę układu regulacyjnego i mikroprocesorowego (rys 11, 12). Więcej informacji można znaleźć w [11].



Rys. 11. Odpowiedź na zadany skok napięcia z 25 V do 50 V przy niewielkim obciążeniu przetwornicy

Fig.11. Output voltage of converter by change output voltage from 25 V to 50 V by small output current.



Rys. 12. Odpowiedź na skok obciążenia z 6,1 A do 30 A przy stałym napięciu wyjściowym przetwornicy
 Fig.12. Output voltage of converter by change of output current from value of 6,1 A to 30 A.

W obu przypadkach po zakończeniu stanów przejściowych napięcie wyjściowe było stabilizowane z dokładnością 1/1024, tj. dokładnością lepszą niż 0,1%.

5. Wnioski

- Na podstawie badań literaturowych i wyników badań własnych można z całą pewnością stwierdzić, że w najbliższym czasie powinny powstać przemysłowe urządzenia zasilania z ogniwami paliwowymi w systemach energetyki rozproszonej
- Wymienione w punkcie 1 urządzenia zasilające będą wyposażane w pełne systemy cyfrowego sterowania i monitoringu. Mimo, że użyte obecnie starsze rozwiązania układów energoelektronicznych posiadają tylko analogowe układy sterowania, mogą być stosowane w układach nowoczesnych.
- Przez opracowanie prezentowanego układu mikroprocesorowego będzie już możliwe użycie w modernizowanych układach zasilania potrzeb własnych energetyki stosowanych tam obecnie układów przetwornic AC / DC i DC/DC, co obniży koszty modernizacji.
- Przedstawione w referacie wyniki badań układów energoelektronicznych i elektronicznych wchodzących w skład systemów zasilania z ogniwami paliwowymi pozwalają na stwierdzenie, że są one całkowicie przygotowane do produkcji przemysłowych

Prace badawcze przedstawione w referacie są częściowo finansowane z grantu nr N510 013 31/0807.

Autorzy referatu pragną gorąco podziękować firmie APS Energia za udział i pomoc w pracach badawczych. Bez pomocy tej firmy nie byłoby możliwości budowy wymienionych wcześniej systemów z ogniwami paliwowymi.

6. Literatura

- [1] Dmowski A. *Energoelektroniczne układy zasilania prądem stałym w telekomunikacji i energetyce* WNT, Warszawa 1998
- [2] Dmowski A., Kras B. *Fuel Cell Control System And Power Converters* Elektrische Energiewandlungssysteme, Magdeburg, maj 2002, Niemcy
- [3] Dzik T. *Układy sterowania i nadzoru systemów zasilania potrzeb własnych elektroenergetyki z ogniwami paliwowymi zasilanymi metanolem* praca doktorska PW, Warszawa przewidywana obrona 2007r.
- [4] Dzik T., Dmowski A. „Układy elektroniczne i energoelektroniczne w systemach potrzeb własnych z ogniwami paliwowymi”, X Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowoczesne urządzenia zasilające w energetyce”, ISBN 83-918709-7-9, Zakopane, 14-16.03.2007, str. 23.1-23.12
- [5] Ozimek P. *Nowa koncepcja systemu zasilania układów potrzeb własnych w elektroenergetyce* praca doktorska PW, Warszawa 2006r.
- [6] Dmowski A., Kłos M., Dzik T. *UPS – mity i rzeczywistość* VIII międzynarodowa konferencja naukowo techniczna „Nowoczesne urządzenia zasilające w elektroenergetyce” Koźienice 2005
- [7] Kras B. *Układ hybrydowy ogniwa paliwowego z ogniwem chemicznym do zasilania rozproszonych odbiorników o dużej dynamice zmian obciążenia* praca doktorska PW, Warszawa 2004r.
- [8] Musznicki P. *Conducted EMI identification in power electronic converters using the Wierne filtering metod* praca doktorska PG, Gdańsk 2007r.
- [9] Tuladhar A. *Advanced control techniques for parallel inverter operation without control interconnections* The University of British Columbia, April 2000
- [10] Kłos M. *Aspekty techniczne i ekonomiczne magazynowania energii elektrycznej na przykładzie elektrowni wiatrowej* praca doktorska PW, Warszawa 2006r.
- [11] Frącz R. *Opracowanie karty mikroprocesorowej do sterowania nadrzędnego dla układu przetwarzania DC / DC.* praca magisterska PW, Warszawa 2007r
- [12] Dmowski A., Dzik T., Frącz R. *Układy elektroniczne i energoelektroniczne w systemach energetyki rozproszonej z ogniwami paliwowymi* VIII Konferencja Naukowo-Techniczna „ELEKTROWNIE CIEPLNE, Eksploatacja-Modernizacje-Remonty”, Słok 21-23 maja 2007

