

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

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

UKŁADY ELEKTRONICZNE I ENERGOELEKTRONICZNE W SYSTEMACH ENERGETYKI ROZPROSZONEJ Z OGNIWAMI PALIWOWYMI

1. Wstęp

Ogniwa paliwowe zamieniają bezpośrednio energię zawartą w związkach chemicznych na energię prądu stałego. Zamiana ta następuje przy wysokiej sprawności energetycznej i bardzo małym negatywnym oddziaływaniu na środowisko. Głównie z tych dwóch wymienionych wyżej powodów zainteresowanie ogniwami paliwowymi stale rośnie. Napięciem wyjściowym z ogniwa paliwowego jest napięcie stałe silnie ustępliwe w funkcji obciążenia. Ponadto ogniwo paliwowe jest źródłem nie przeciążalnym i z dodatkowo zabronionymi obszarami pracy [3]. Przedmiotem referatu jest przedstawienie szeregu energoelektronicznych urządzeń przetwarzających, które umożliwiają budowę układu zasilania z ogniwem paliwowym realizującego następujące cele:

- pracę ze stabilizowanym stałym napięciem wyjściowym,
- pracę ze stabilizowanym zmiennym napięciem wyjściowym,
- pracę ogniwa jako źródła współpracującego z elektroenergetyczną siecią zasilającą.

Połączenie ogniwa paliwowego z innym źródłem energii w celu uzyskania możliwości chwilowego przeciążenia lub możliwości chwilowego magazynowania energii pochodzącej z zasilanych odbiorników np. hamowanych kontrolowanie silników elektrycznych.

W referacie oprócz podstawowych wiadomości o ogniwach paliwowych zostanie podanych szereg schematów, układów współpracujących z ogniwem paliwowym. Ta współpraca ogniwa paliwowego z różnego rodzaju urządzeniami energoelektronicznymi i elektronicznymi umożliwi realizację w/w celów. Trafność wyboru odpowiednich rozwiązań układów energoelektronicznych zostanie potwierdzona wybranymi wynikami badań symulacyjnych i laboratoryjnych.

2. Ogniwa paliwowe w elektroenergetyce

Tabela nr 1 przedstawia zestawienie różnego rodzaju ogniw paliwowych w zależności od ich parametrów pracy [2, 3, 7].

Typ ogniwa paliwowego	„Zestalone tlenki”	Stopione węglany	Kwasowy	Zasadowy	Z membraną wymiany protonów
Elektrolit	Ceramika	Stopiona sól	H ₃ PO ₄	KOH	Polimer
Temperatura pracy	1000 °C	650 °C	190 °C	80 – 120 °C	80 – 140 °C
Paliwo	Wodór, Tlenek węgla, Produkty reformowania	Wodór Produkty reformowania	Wodór Produkty reformowania	Wodór	Wodór Produkty reformowania
Reformowanie	Zewnętrzne, wewnętrzne	Zewnętrzne, wewnętrzne	Zewnętrzne		Zewnętrzne
Sprawność	> 60%	> 60%	40 – 50 %	40 – 50 %	40 – 50 %
Zakres mocy	> 100MW	> 100MW	200kW do 10MW	100W do 20kW	10W do 10MW

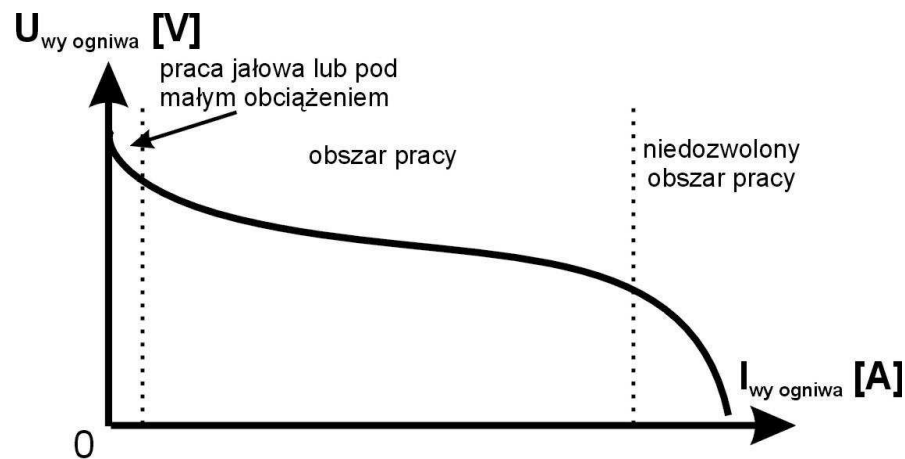
Tabela 1 Zestawienie różnych typów ogniw paliwowych [3, 4, 7, 10]

Z zestawionych w tabeli nr 1 parametrów ogniw paliwowych można zauważyć, że ogniwa paliwowe można podzielić na trzy grupy:

- Ogniwo paliwowe niskotemperaturowe – małe moce
- Ogniwo średnotemperaturowe – średnie i duże moce
- Ogniwo wysokotemperaturowe – raczej wysokie moce np. znacznie większe niż 1MW.

Dodatkowo można zauważyć, że wysokotemperaturowe ogniwa paliwowe mogą być zasilane wodorem lub innego rodzaju gazami pochodzenia organicznego np.: metanolem, metanem, gazem ziemnym itp. Czyni to je szczególnie przydatnymi do zastosowań przemysłowych. Dodatkowo wysoka temperatura pracy ogniw wysokotemperaturowych powoduje, że mogą one pracować w układach hybrydowych (ogniwo i dodatkowo turbina wraz z generatorem) uzyskując przy produkcji energii elektrycznej sprawności przekraczające 70%. Jeśli wysokotemperaturowe ogniwo użyć w układzie skojarzonym to sprawność energetyczna przekracza 80%. Pozwala to na realizację układów energetyki rozproszonej, w których odbiorniki mogą być zasilane energią cieplną i energią elektryczną.

Rysunek nr 1 przedstawia charakterystykę prądowo-napięciową dowolnego ogniwa paliwowego. [2, 3, 7]

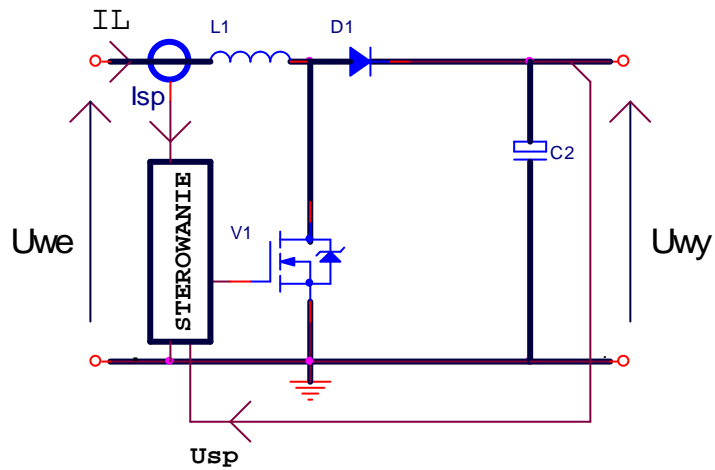


Rys. 1. Charakterystyka prądowo-napięciowa ogniwa paliwowego.

Na charakterystyce tej naniesiono obszary pracy dozwolonej i obszary pracy zabronionej ze względu na możliwość uszkodzenia ogniwa. Z przedstawionej na rysunku nr 1 charakterystyki wynika, że samo ogniwo nie jest w stanie zasilać odbiorniki prądu stałego stabilizowanym napięciem. Nie może także ono bezpośrednio zasilać odbiorników prądu zmiennego pracując w układzie autonomicznym. Nie może tak przekazywać produkowanej przez ogniwo paliwowe energii bezpośrednio do sieci elektroenergetycznej. Ponadto do sterowania całego systemu zasilania z ogniwem paliwowym potrzeba jest wiele galwanicznie izolowanych napięć, których nie można bez przetwarzania bezpośrednio uzyskać z wyjścia ogniwa paliwowego. Rozwiązanie tych problemów jest możliwe przez zastosowanie odpowiednich układów energoelektronicznych.

3. Przetwornice DC/DC w układach z ogniwem paliwowym

Rysunek nr 2 przedstawia schemat najprostszego układu energoelektronicznego, który umożliwi bezpośrednio (bez galwanicznej izolacji) zasilanie odbiorników prądu stałego stabilizowanym napięciem. [1, 3]

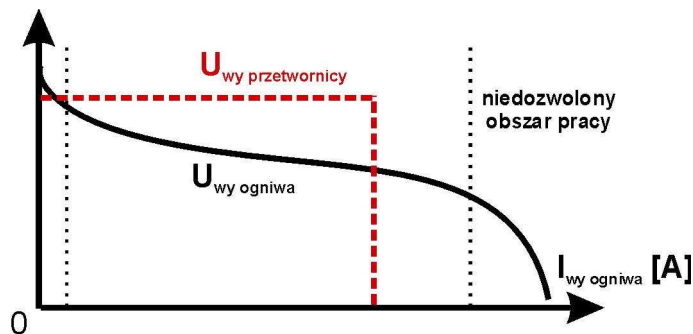


Rys. 2. Schemat przetwornicy podwyższającej

Zaproponowany układ zapewnia:

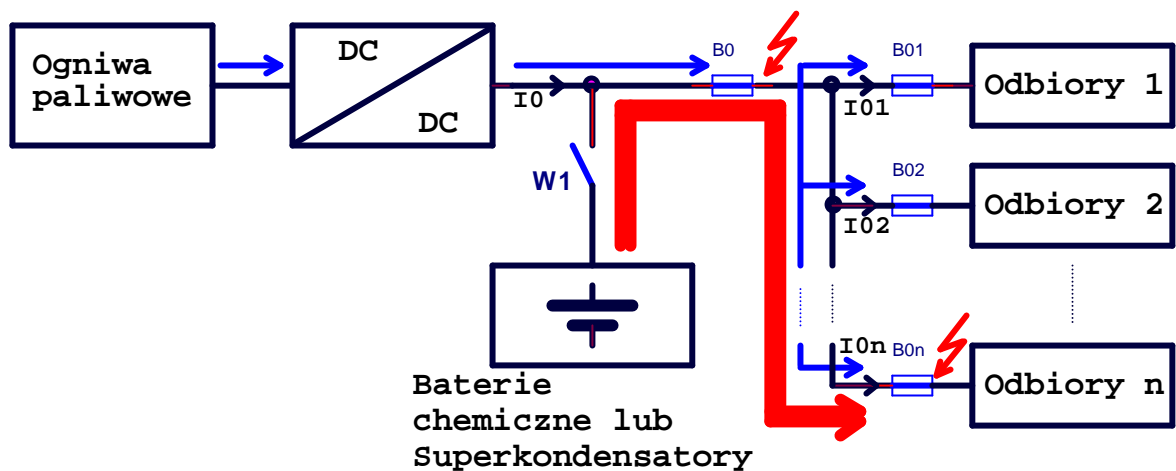
- stabilizowanie napięcia zasilającego odbiorniki prądu stałego,
- ochronę ogniwa paliwowego przed pracą w obszarze zabronionym.

Zasadę pracy układu ogniwo paliwowe – przetwornica podnosząca napięcie wyjaśnia rysunek nr 3.



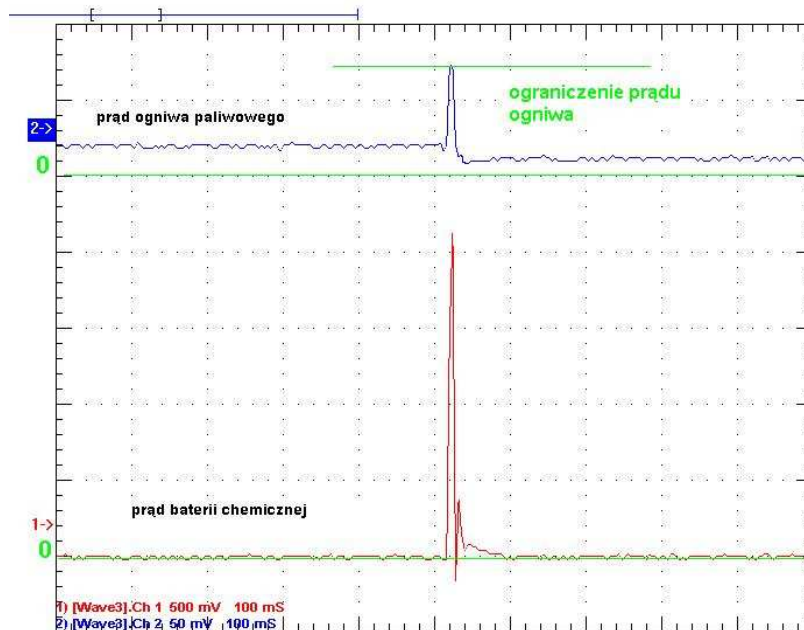
Rys. 3. Zasada pracy układu ogniwo paliwowe – przetwornica podnosząca napięcie.

Przetwornicę podnoszącą napięcie, której schemat przedstawia rysunek nr 2 można łatwo przekształcić w układ, którego schemat przedstawia rysunek nr 4.



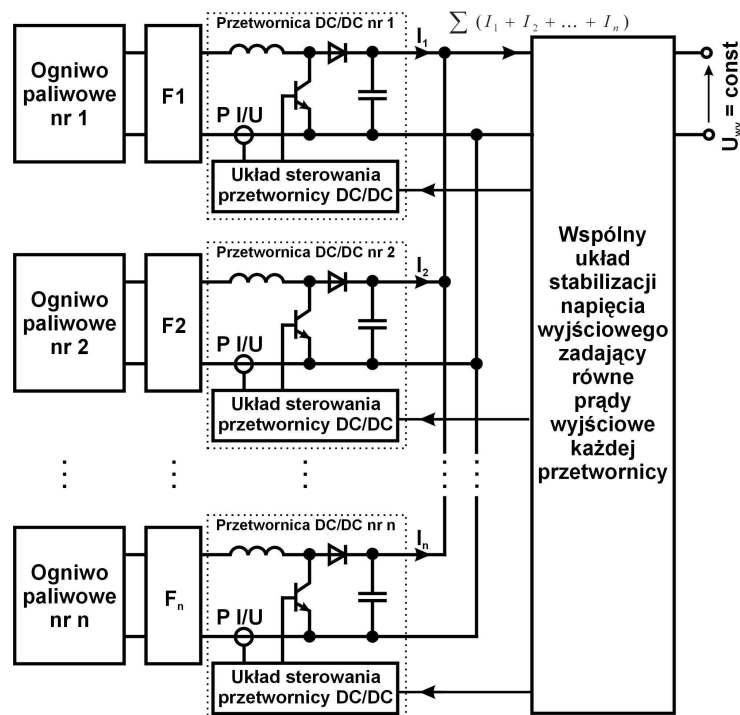
Rys. 4. Układ współpracy ogniwa paliwowego i przetwornicy DC/DC z dodatkowym magazynem energii elektrycznej.

W układzie, którego schemat przedstawiono na rysunku nr 4 połączono ogniwo paliwowe z dodatkowym źródłem energii [3, 7]. Na rysunku nr 5 przedstawiono wyniki badań dla układu – schemat z rysunku 4 w czasie zwarcia na wyjściu układu.



Rys. 5. Zasada pracy układu ogniwa paliwowego i przetwornicy DC/DC z dodatkowym magazynem energii elektrycznej

Z przedstawionych przebiegów czasowych prądu wynika, że uzyskanie „dużej” wartości prądu zwarciovego było możliwe częściowo z ogniwa, częściowo z dodatkowo dołączonego akumulatora. Jednocześnie występujący w tym przypadku prąd z ogniwa nie przekraczał wartości dopuszczalnej [2, 3, 7]. Rysunek nr 6 przedstawia dalszą przekształconą wersję układu przetwornicy DC/DC bez galwanicznej izolacji – schemat 2.

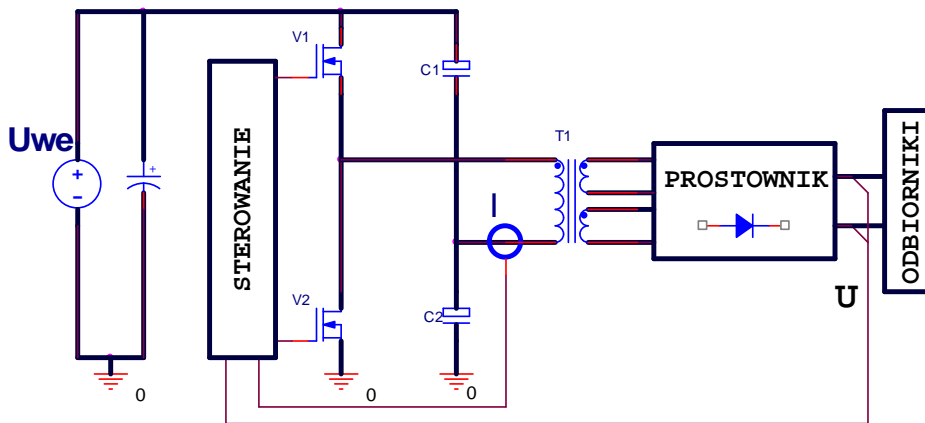


Rys. 6. Układ równoległej pracy ogniw paliwowych z przetwornicą DC/DC bez galwanicznej izolacji

Przyjęte rozwiązanie umożliwia:

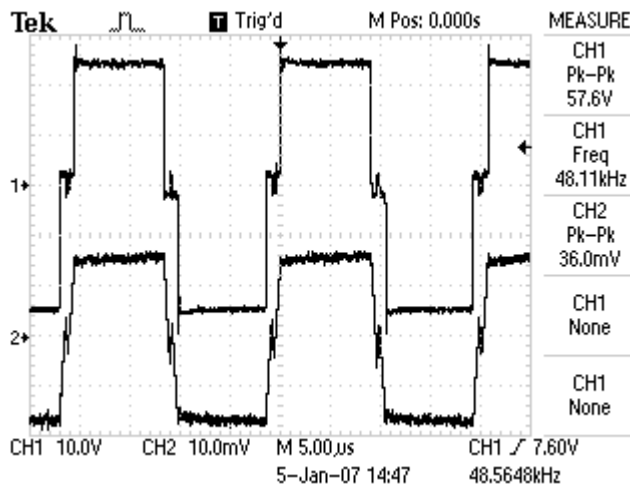
- połączenia równoległe dowolnej liczby ogniw z możliwością sterowania ilością energii pobieranej z każdego ogniwa,
- zwiększenie niezawodności pracy całego systemu zasilania ze względu na połączenie równoległe kilku takich samych bloków podstawowych ,
- ochrona każdego z równoległe połączonych ogniw paliwowych przed przepływem prądów zwrotnych.

W różnych układach zasilania prądem stałym zachodzi często potrzeba zasilania obwodów o różnym napięciu i galwanicznej izolacji między nimi. Dla zrealizowania tego typu wymagań przeanalizowano trzy możliwości rozwiązań. Rysunek nr 7 przedstawia schemat najprostszego rozwiązania, w którym do realizacji celu użyto półmostkowej transformatorowej przetwornicy DC/DC.



Rys. 7. Schemat przetwornicy półmostkowej z izolacją galwaniczną.

Rysunek nr 8 przedstawia przykładowe przebiegi prądów i napięć w układzie.



Przebiegi:
 1 – napięcie wyjściowe transformatora T1
 2 – prąd wyjściowy uzwojenia Z4 transformatora T1

Rys. 8. Przykładowe przebiegi prądów i napięć w układzie przetwornicy półmostkowej z izolacją galwaniczną.

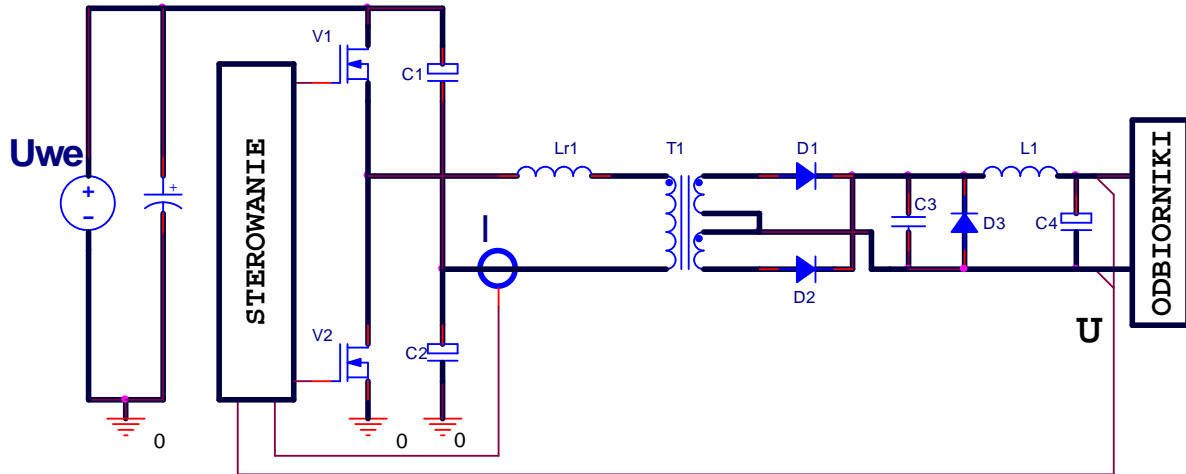
Zaproponowane rozwiązanie posiada następujące zalety i wady. Do zalet należą:

- prosta budowa - można wykorzystać specjalizowany scalony układ sterujący np.: SG 3525 lub inny podobny,
- dobre parametry statyczne i regulacyjne np.: $U_{wy} = U_{wyn} \pm 1\%$.

Do wad należą:

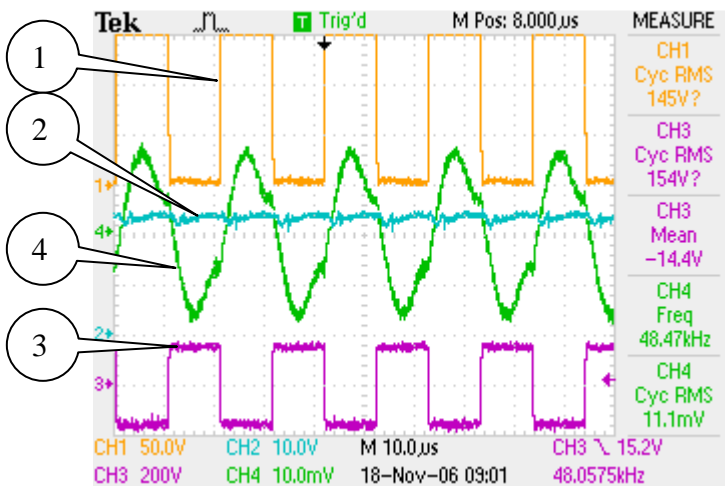
- niska częstotliwość pracy ze względu na twarde wyłączenie łączników tranzystorowych. Częstotliwość ta w zależności od użytych tranzystorów i mocy przetwarzanej nie przekracza pasma w przedziale 20÷50kHz
- twardo wyłączane łączniki przetwornicy DC/DC – powodują zwiększoną generację zakłóceń EMI [4] np.: w stosunku do przetwornic rezonansowych
- niska częstotliwość pracy przetwornicy powoduje, że wymiary elementów magnetycznych są znacznie większe niż w układach przetwornic rezonansowych.

Rysunki nr 9 przedstawia przykładowy schemat przetwornicy rezonansowej DC/DC zbudowanej i zbadanej przez autorów.



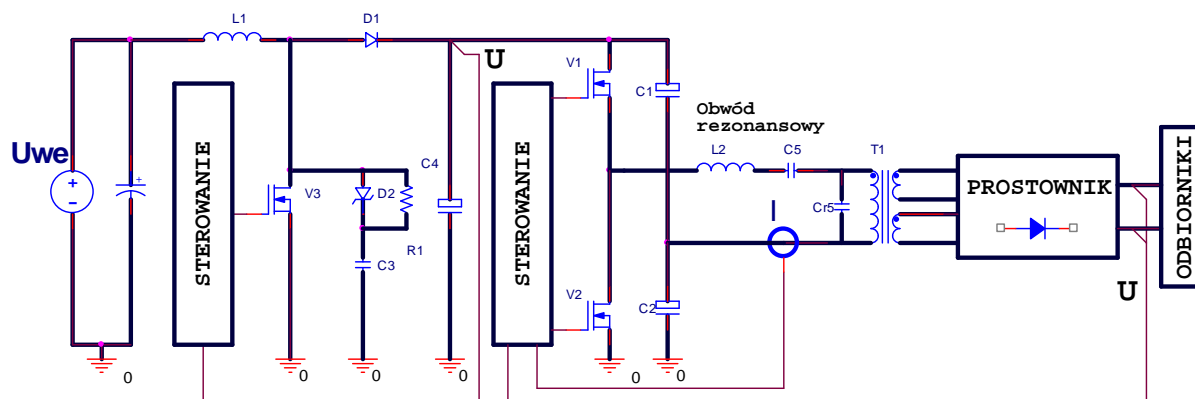
Rys. 9. Przykładowy schemat przetwornicy rezonansowej DC/DC

Przetwornica, której schemat przedstawia rysunek nr 9 umożliwia samodzielną regulację i stabilizację napięcia wyjściowego. Zasadę działania przetwornicy wyjaśnia rysunek nr 10, na którym przedstawiono przebiegi prądów i napięć w rzeczywistym układzie.



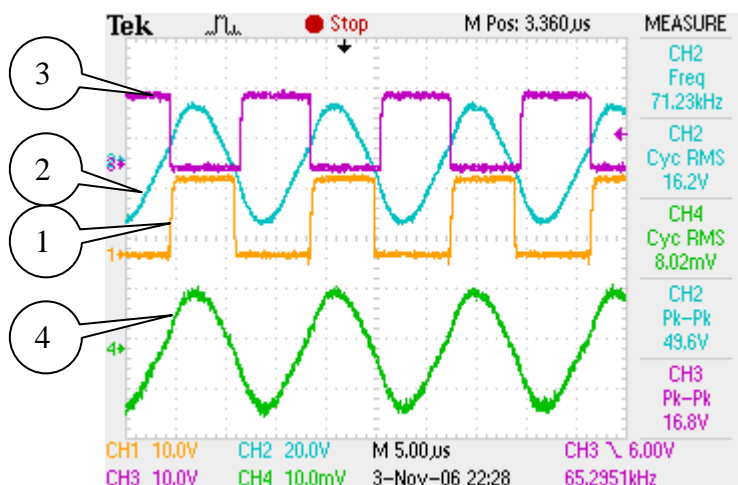
Rys. 10. Przykładowe przebiegi prądów i napięć w układzie przy pełnymysterowaniu

Rysunek nr 11 przedstawia schemat układu przetwarzającego napięcie, w którym do układu przetwornicy beztransformatorowej dołączono układ przetwornicy rezonansowej ze stałymysterowaniem [3, 8].



Rys. 11. Przykładowy schemat przetwornicy podwyższającej połączonej z przetwornicą rezonansową o stałym wypełnieniu

Zasadę działania tej przetwornicy wyjaśnia rysunek nr 12 na którym przedstawiono przebiegi prądu i napięcia w układzie.



Rys. 12. Przykładowe przebiegi prądów i napięć w układzie z rysunku 11

- 1 - napięcie na tranzystorze przetwornicy półmostkowej
- 2 - prąd tranzystora
- 3 - napięcie uzwojenia wtórnego transformatora dla obciążenia rezystancyjnego
- 4 - prąd uzwojenia pierwotnego (5A / działkę)

Układ sterowania przetwornicy utrzymuje jej pracę cały czas w „rezonansie” niezależnie od obciążenia. Napięcie wyjściowe całego urządzenia jest stabilizowane przez pierwszy człon całego układu, czyli przez przetwornicę beztransformatorową. Do zalet przetwornic rezonansowych współpracujących z ogniwami paliwowymi należą:

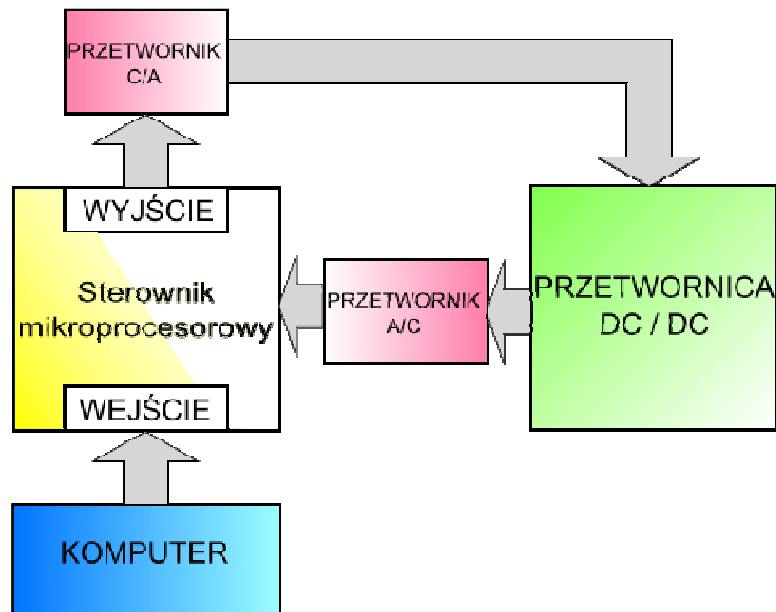
- mniejsze wymiary w stosunku do układów przetwornic z twardym wyłączeniem,
- mniejszy poziom zakłóceń EMI [5],
- większą sprawność energetyczną w stosunku do układów z twardym wyłączeniem. Jest ona większa około 3÷7% w zależności od wartości napięcia zasilania i mocy przetwornicy,
- porównywalne parametry regulacyjne do układów z twardym przełączeniem.

Do wad należą bez wątpienia znacznie bardziej skomplikowane układy sterowania. Wada ta jednak w dobie powszechnego stosowania układów mikroprocesorowych jest łatwiejsza do zniwelowania.

4. Układy nadzorujące prace przetwornic DC/DC

W pracujących obecnie systemach potrzeb własnych 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 dyplomowej został wykonany układ regulatora nadrzędnego dla przetwornicy współpracującej z ogniwem paliwowym. Schemat blokowy takiego regulatora przedstawia rysunek XXX



Rys. XXX. Układ falownika z szeregowymi regulatorami, który może być częścią składową równoległe pracujących falowników w układzie master - slave

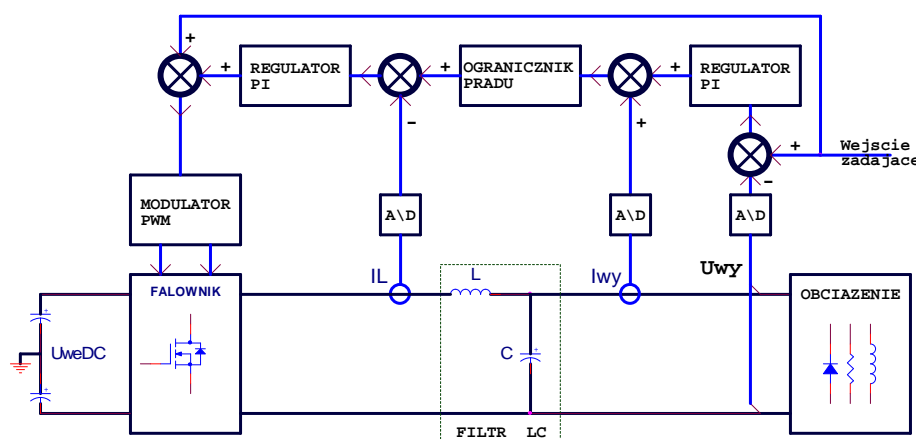
Do sterowania i nadzoru został użyty procesor Philips LPC2138 wraz z dodatkowymi układami sprzęgającymi i separującymi od przetwornicy. Ponieważ układ bazuje na rozwiązaniach już zaimplementowanych w przetwornicy, takich jak ograniczenie prądowe, możliwe stało się użycie procesora ogólnego przeznaczenia, 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

Sam sterownik zasilany jest poprzez zasilacz o szerokim zakresie napięć wejściowych dobranych tak by współgrały z charakterystyką napięć ogniwa paliwowego (rys. 1) oraz zapewniający separację galwaniczną układu.

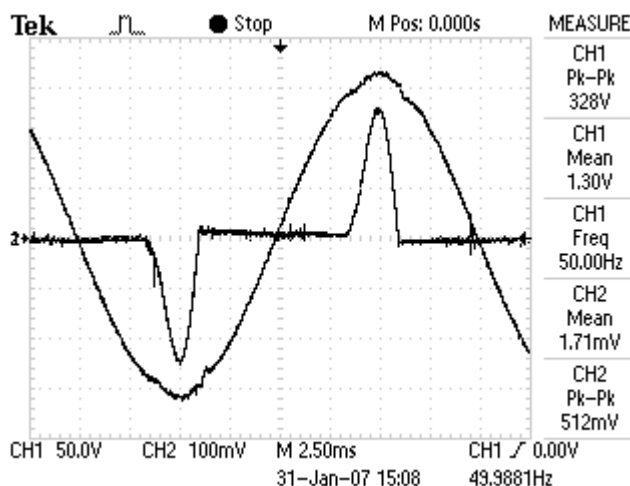
5. Przetwornice DC/AC w układach z ogniwami paliwowymi

Przetwornice DC/AC umożliwiają w pierwszym przypadku zasilanie odbiorników przemiennoprądowych. W drugim przekazywanie energii z ogniwa paliwowego do sieci elektroenergetycznej. W pierwszym przypadku w układzie autonomicznym z ogniwa paliwowego są zasilane odbiorniki przemiennoprądowe. Stosowane w tym przypadku układy przetwornic są analogiczne do układów stosowanych w UPS-ach [1, 6]. Podobnie jak w układach UPS-ów można zastosować układ obejściowy (By-pass ang.), który umożliwia przełączenie bezprzerwowe odbiorników zasilanych z ogniwa paliwowego na zasilanie z sieci elektroenergetycznej. Problemom budowy, działania, sposobów sterowania przetwornic AC/DC poświęcono wiele miejsca w literaturze światowej i polskiej. Niektóre z nich były publikowane w ramach poprzednich konferencji i można je znaleźć w [6]. Rysunek nr 13 przedstawia schemat falownika, który może pracować w układzie połączonych równolegle falowników.



Rys. 13. Układ falownika z szeregowymi regulatorami, który może być częścią składową równolegle pracujących falowników w układzie master - slave

Rysunek nr 14 przedstawione oscylogramy napięcia i prądu w falowniku.[3]



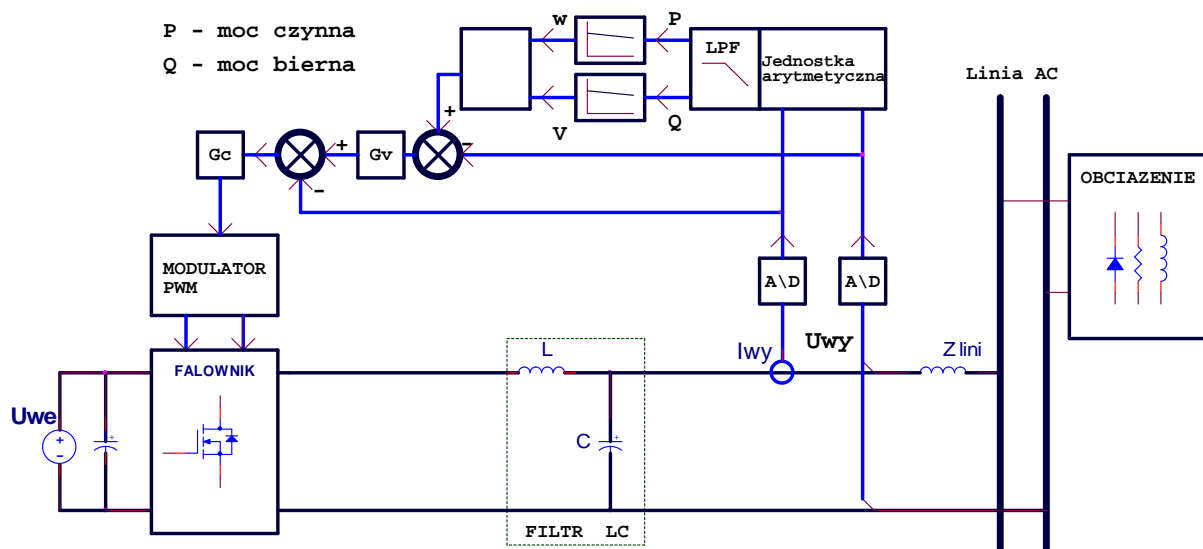
- 1 - Napięcie wyjściowe falownika (mastera)
 - 2 - Prąd wyjściowy falownika (mastera) [20A/div]
- Metoda sterowania z regulatorami szeregowymi
 $THDu = 2\div 3\%$

Rys. 14. Przykładowe przebiegi prądów i napięć w układzie z rysunku 13

Problemy przekazywania energii z ogniwa paliwowego do sieci elektroenergetycznej są problemami stosunkowo nowymi. Występują one powszechnie w połączeniu źródeł odnawialnych z siecią elektroenergetyczną [8]. W zależności od wielkości mocy są stosowane

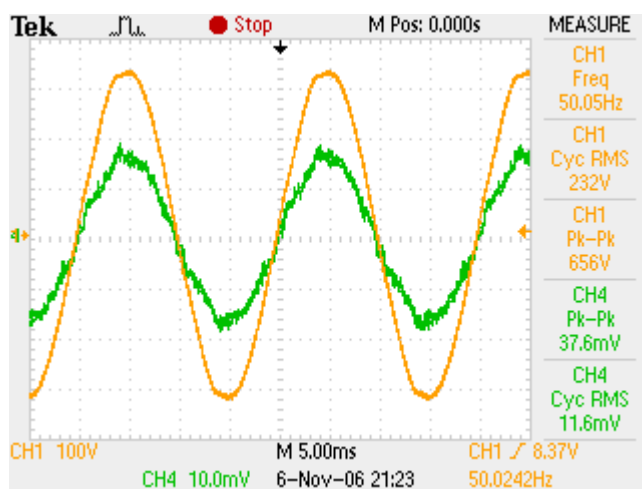
jedno lub trójfazowe falowniki DC/AC. Dla małych i średnich mocy są to dzisiaj układy tranzystorowe [1, 3, 5, 6, 9, 10]. Dla układów wielkich mocy powyżej wielu megawatów rozwiązaniem lepszym wydają się układy tyrystorowe [10]. W przypadku układów tranzystorowych na podstawie badań literatury można stwierdzić, że powszechnie do zastosowania wejść dwa układy sterowania. W układzie pierwszym po zakończonym procesie synchronizacji, układ zostaje włączony do sieci.

W wyniku aktywnego regulatora prądu do sieci przekazywana jest przez falownik określona wartość prądu. W przypadku drugim do regulacji i stabilizacji wartość energii czynnej i biernej stosowana jest tak zwana metoda PQ. P stanowi wartość mocy czynnej, a Q wartość mocy biernej. W układzie regulacji falownika analogicznie jak w układzie regulacji generatora synchronicznego wartość mocy czynnej jest regulatorem przez zmianę częstotliwości – kąta odchylenia między wektorami napięcia sieci i falownika [3, 9, 10]. Natomiast moc bierna przez regulację napięcia falownika. Rysunek nr 15 przedstawia [3, 9, 10] najczęściej stosowany schemat jednofazowy układu regulacji PQ.



Rys. 15. Układ falownika współpracującego z siecią sterowanego metodą PQ

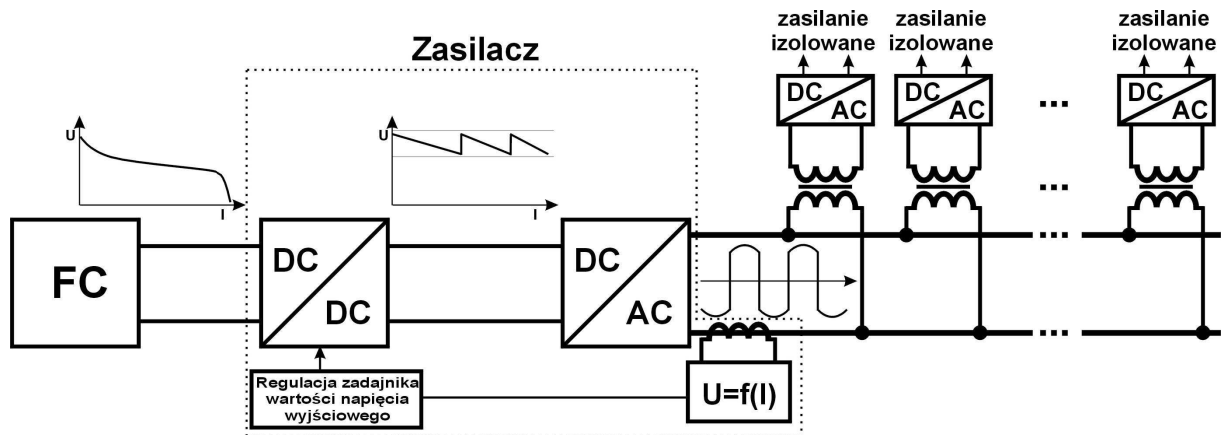
Układ regulacji falownika trójfazowego składa się z podobnych bloków funkcyjnych. Rysunek nr 16 przedstawia czasowe przebiegi prądu przekazywanego do sieci przez falownik jednofazowy i napięcia sieci w czasie przekazywania energii z ogniwa paliwowego do sieci elektroenergetycznej.



- 1 - Napięcie sieci energetycznej
- 2 - Prąd wyjściowy falownika

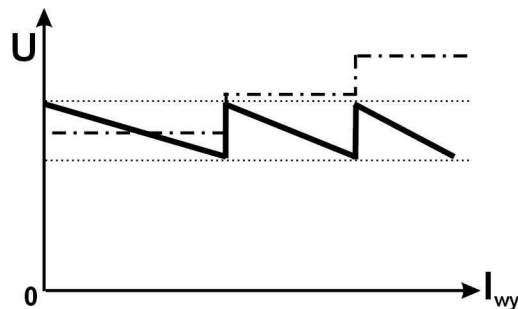
6. Elektronika i energoelektronika układów pomocniczych w systemie zasilania z ogniwnem paliwowym

Podzespoły zasilania w paliwo ogniwa paliwowego, energoelektroniczne układy przetwarzania energii oraz cały system sterowania i nadzoru wymaga zasilania pomocniczego. Przez analogię do dużych systemów wytwórczych te podzespoły zasilania nazwano systemem zasilania potrzeb własnych. Rysunek nr 17 przedstawia schemat blokowy całego systemu zasilania potrzeb własnych systemu z ogniwnem paliwowym.



Rys. 17. Schemat blokowy systemu zasilania potrzeb własnych systemu z ogniwnem paliwowym

Podzespół ten był częścią składową całego systemu zasilania z ogniwnem paliwowym, który opracowano w Zakładzie Elektrowni i Gospodarki Elektroenergetycznej (ZEiGE) PW przy udziale firmy APS Energia. Analizując schemat układu przedstawiony na rysunku nr 17 można zauważyć jak wiele pomocniczych napięć wzajemnie izolowanych jest koniecznych, aby układ mógł poprawnie działać. Rysunek nr 18 wyjaśnia zasadę działania układu potrzeb własnych.



Rys. 18. Zasada działania układu potrzeb własnych

Do sterowania całego systemu zasilania z ogniwnem paliwowym użyto mikroprocesorowy system starowania SAN3 produkcji firmy APS Energia.

7. Stanowiska badawcze energetyki rozproszonej systemów zasilania z ogniwnami paliwowymi

Rysunki nr 19 i 20 przedstawiają dwa stanowiska badawcze opracowane w ZEI GE Politechniki Warszawskiej, zbudowane przy współpracy z firmą APS Energia. [3]



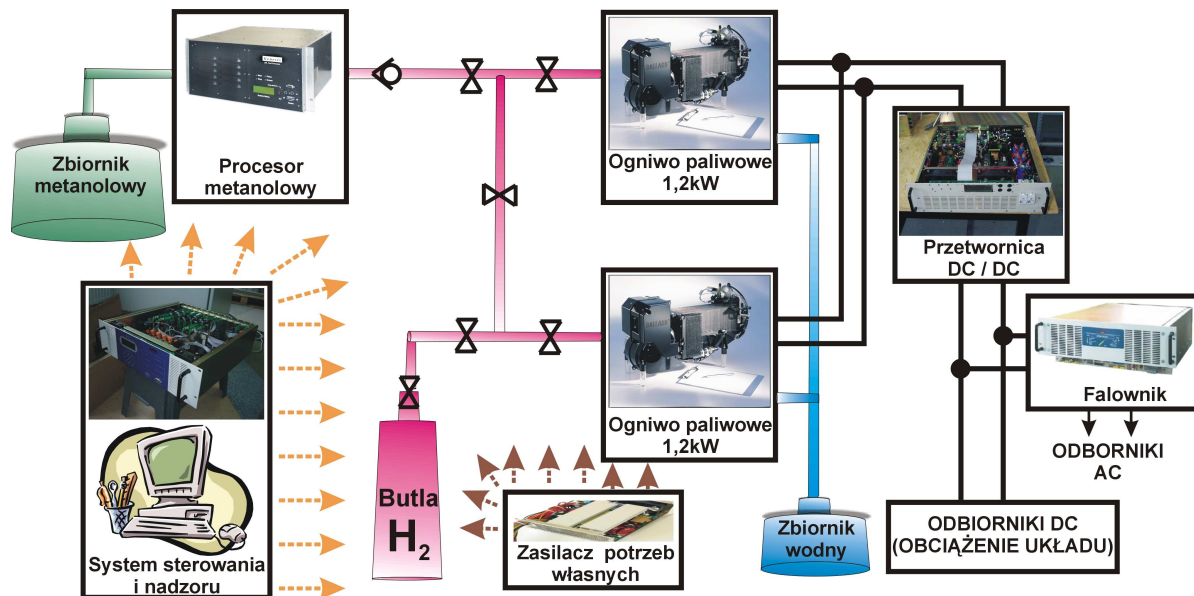
Rys. 19. System zasilania z ogniwami paliwowymi wykonany w wersji przekazywania energii do sieć energetycznej [3]



Rys. 20. System zasilania z ogniwami paliwowymi wytwarzający energię z paliwa metanolowego [3]

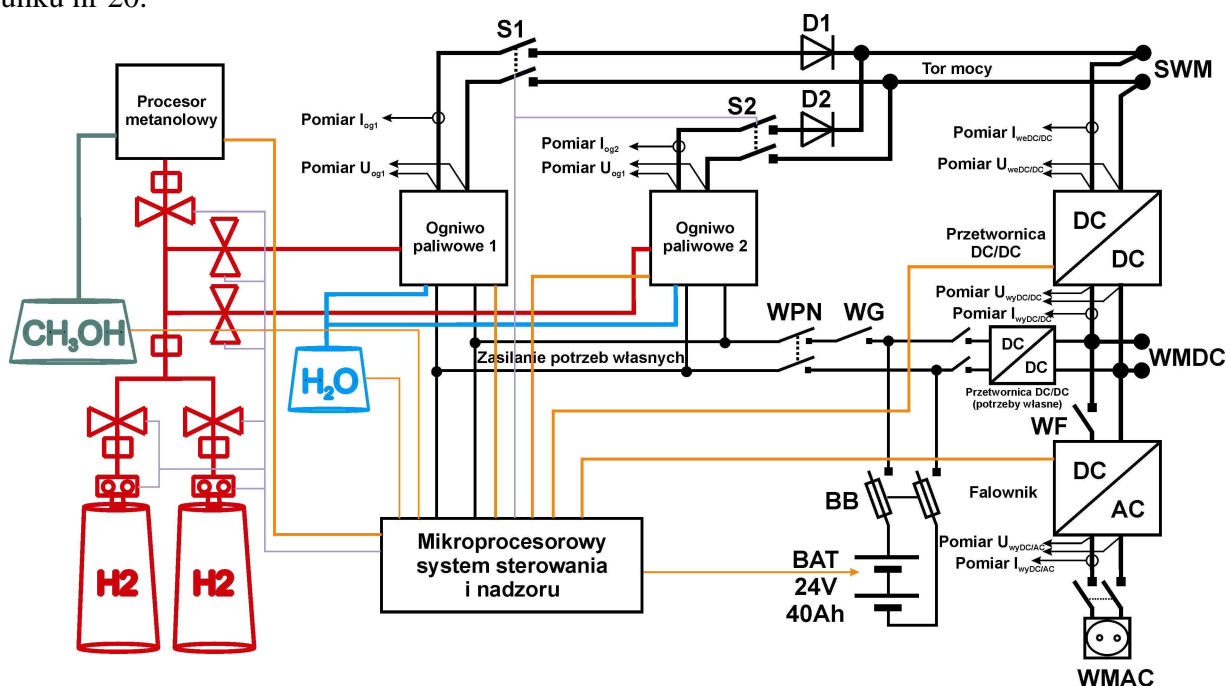
Urządzenie pokazane na rysunku nr 19 przeznaczone jest do zasilania odbiorników prądu stałego i przemiennego oraz do przekazywania wyprodukowanej energii do sieci energetycznej. W układzie tym energia wytwarzana jest z paliwa wodorowego dostarczanego w butlach pod ciśnieniem.

W urządzeniu pokazanym na rysunku nr 20 energia wytwarzana jest z paliwa metanolowego jako podstawowego źródła. Możliwe jest to w wyniku włączenia dodatkowego elementu – procesora metanolowego. Schemat podstawowy układu oraz sposób dołączenia procesora metanolowego przedstawiany został na rysunku nr 21.



Rys. 21. Schemat uproszczony systemu zasilania z ogniwami paliwowymi zasilanymi różnymi rodzajami paliw [3]

Rysunek nr 22 przedstawia blokowy schemat elektryczny urządzenia prezentowanego na rysunku nr 20.



Rys. 22. Blokowy schemat systemu zasilania z ogniwami paliwowymi wytwarzający energię z paliwa metanolowego [3]

8. 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
- Jako pierwsze prawdopodobnie powstaną systemy małej mocy np.: systemy zasilania potrzeb własnych elektroenergetyki, telekomunikacji lub małych obiektów mieszkalnych.
- 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.

9. 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., Kłós M., Dzik T. *UPS – mity i rzeczywistość VIII międzynarodowa konferencja naukowo techniczna „Nowoczesne urządzenia zasilające w elektroenergetyce”* Kozienice 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 Wien filtering method* 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] Kłós M. *Aspekty techniczne i ekonomiczne magazynowania energii elektrycznej na przykładzie elektrowni wiatrowej* praca doktorska PW, Warszawa 2006r.

Summary

ELECTRONICS AND POWER ELECTRONICS IN SYSTEMS OF SUPPLYING AUXILIARIES WITH FUEL CELLS

The fuel cell features are presented in the paper. During description of systems of supplying auxiliaries with fuel cells, special attention is paid to problems of electronics and power electronics. The article has presented range of schemes, with fuel link matches cooperating.

Cooperation of fuel link from different kinds of electronics and power electronics will enable realization of the following electronic purposes:

- operation with stabilized constant DC output voltage
- operation with stabilized constant AC output voltage
- operation fuel cell a sources connected with inverter in distributed AC system.