

CONCEPTION OF A VEHICLE POWERED BY FUEL CELL

Leszek Szczęch, Marek Rajewski

Military University of Technology
Faculty of Mechanical Engineering
Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warsaw, Poland
tel.: +48 22 6839546, fax: +48 22 6839546
e-mail: l.szczech@wme.wat.edu.pl

Abstract

The conception of solution of a vehicle driving system supplied with a fuel cell was presented in report. The fuel cell type PEMFC Nexa™ 1.2 kW is the source of power supply. Applied fuel cell disposes small power in connection with it was obvious to work out the solution of a four-wheeled vehicle with small own mass. It was used in this aim the chassis of a small one-man golf trolley to which we should to design front suspension in addition. Energy from batteries was brought to a driving engines control system. Vehicle was driven by two DC electric engines 24V/400W. It was the most essential factor choosing and configuration the system of power supply of electric engines being main source of vehicle driving. With regard on of fuel cell characteristic it was necessary to apply a DC/DC converter enabling the use the fuel cell to charge the batteries. Two 12 V gelly batteries with 18 Ah capacity in the power supplies system were applied. Application of the control unit for driving engines is necessary in the electric system, so that the change of their rotational speed is possible, and by reason of this the change of the travelling speeds. The electric system should also provide switching on the reverse and the applying of the braking with engines. It is important on that account that this is the only way of the vehicle stopping.

Keywords: transport, powertrain, fuel cell, hybrid powertrain

KONCEPCJA POJAZDU ZASILANEGO OGNIWEM PALIWOWYM

Streszczenie

W referacie przedstawiono koncepcję rozwiązania układu napędowego pojazdu zasilanego ogniwnem paliwowym. Źródłem zasilania jest w nim ogniwo paliwowe typu PEMFC Nexa™ 1.2 kW. Zastosowane ogniwo dysponuje niewielką mocą w związku z czym należało opracować rozwiązanie pojazdu czterokołowego o niewielkiej masie własnej. Wykorzystano w tym celu podwozie niewielkiego jednoosobowego wózka golfowego, do którego trzeba było dodatkowo zaprojektować przednie zawieszenie. Pojazd napędzany jest dwoma silnikami elektrycznymi prądu stałego 24V/400W. Najistotniejszym elementem było dobranie i skonfigurowanie układu zasilania silników elektrycznych będących głównym źródłem napędu pojazdu. Ze względu na charakterystykę ogniwa paliwowego konieczne było zastosowanie przetwornika DC/DC umożliwiającego wykorzystanie ogniwa paliwowego do ładowania akumulatorów. W układzie zasilania zastosowano dwa dwunastowoltowe, żelowe akumulatory o pojemności 18 Ah. Energia z akumulatorów doprowadzana jest do układu sterowania silnikami napędowymi. Zastosowanie sterownika silników napędowych jest niezbędne w układzie elektrycznym, aby zmiana ich prędkości obrotowej była możliwa, a przez to zmiana prędkości jazdy. Układ powinien także zapewnić włączenie biegu wstecznego oraz hamowanie silnikami. Jest to ważne z tego względu, że jest to jedyny sposób na zatrzymanie pojazdu.

Słowa kluczowe: transport, napędy, ogniwa paliwowe, hybrydowe układy napędowe

1. Wstęp

W związku z poszukiwaniem nowych źródeł energii coraz większą uwagę zwraca się na paliwa odnawialne (paliwa płynne i gazowe pochodzenia roślinnego w tym metan lub uzyskiwany z metanu w procesie reformingu czysty wodór). Zastosowanie ogniw paliwowych w hybrydowych

układach napędowych umożliwia wykorzystanie tego rodzaju paliw w układach zasilania pojazdów.

Obecnie produkowanych jest wiele typów ogniw paliwowych, w których wykorzystuje się różne paliwa. Zasada działania pozostaje jednak nadal taka sama – jak długo dostarczane jest paliwo i utleniacz, tak długo ogniwo może produkować energię elektryczną. Ponieważ napięcie wytwarzane przez pojedyncze ogniwo paliwowe jest stosunkowo niskie, to zwykle ogniwa zestawiane są w bloki, składające się z kilkudziesięciu lub kilkuset ogniw, noszących nazwę baterii paliwowych.

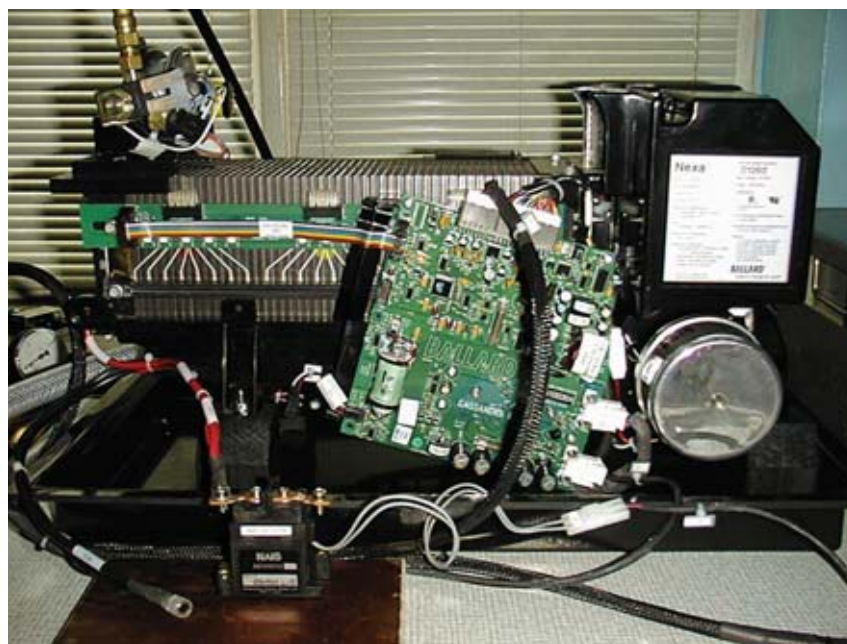
Zastosowanie ogniw paliwowych w hybrydowych układach napędowych umożliwia wykorzystanie wielu paliw odnawialnych (wodór, metan, biogaz) do zasilania pojazdów.

Obecnie produkowanych jest wiele typów ogniw paliwowych, które zasilane są różnymi paliwami. W przypadku węglowodorów, alkoholi i gazów zawierających węgiel, ogniwo musi być dodatkowo wyposażone w reformer, w którym następuje odłączenie i utlenienie atomów węgla i wydzielenie czystego wodoru. Oczyszczony wodór kierowany jest do ogniwa paliwowego a dwutlenek węgla trafia do atmosfery.

Napięcie wytwarzane przez pojedyncze ogniwo paliwowe jest stosunkowo niskie (w zależności od obciążenia wynosi 0.6-1.0 V) i dlatego pojedyncze ogniwa zestawiane są w bloki, składające się z kilkudziesięciu lub kilkuset ogniw, noszących nazwę baterii paliwowych. Napięcie baterii ogniw paliwowych maleje w funkcji pobieranego prądu, co ogranicza właściwości dynamiczne ogniwa paliwowego i powoduje konieczność magazynowania energii w dodatkowym akumulatorze, najczęściej elektrochemicznym. Przy niedużym obciążeniu elektrycznego silnika pojazdu, energia wydzielana z nadmiarem podczas pracy ogniwa może być magazynowana w akumulatorze, natomiast przy dużym obciążeniu energia elektryczna jest czerpana jednocześnie z ogniwa i akumulatora. Uzyskanie optymalnych warunków współpracy ogniwa z pozostałymi zespołami układu napędowego wymaga odpowiednio zaprogramowanego układu sterowania.

2. Ogniwo paliwowe

Nexa™ (rys. 1) jest ogniwem paliwowym typu PEMFC. Wytwarza prąd stały o napięciu 50-22 V i natężeniu do 45 A. Moc maksymalna tego urządzenia wynosi 1200W. Paliwem wymaganym do zasilania jest wodór o klasie czystości 4.9, o ciśnieniu zredukowanym do 0.7 – 17 bar. Tlen pobierany jest z powietrza.

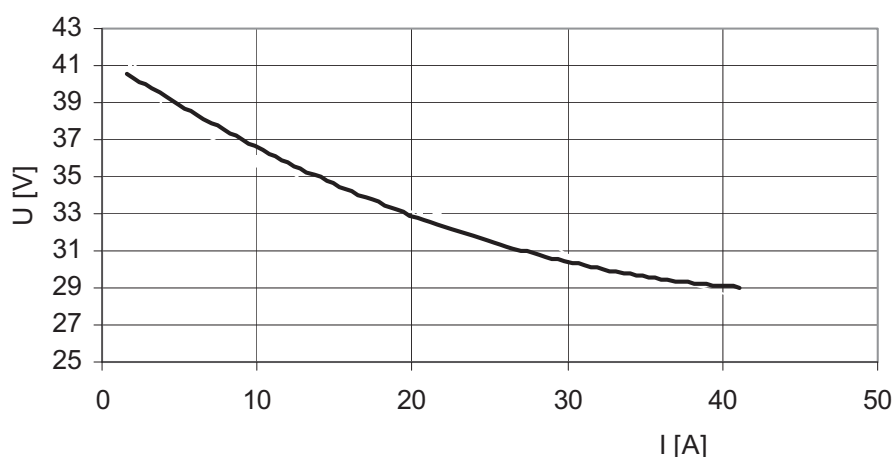


Rys. 1. Ogniwo paliwowe 1.2 kW Nexa™
Fig.1. The 1.2 kW Nexa™ fuel cell

Podczas pracy z maksymalną mocą produkuje ok. 870 ml wody na godzinę. Ogniwo to samoczynnie podtrzymuje swoją pracę i jedynie podczas rozruchu wymaga zasilania z zewnętrznego źródła prądu stałego o napięciu 18-26V i prądzie 10A (zasilacz stabilizowany lub bateria akumulatorów).

Badane ogniwo paliwowe zostało wyposażone przez producenta w cały szereg czujników i układów pomiarowych pozwalających monitorować stan pracy urządzenia. Mierzone są przede wszystkim wielkości elektryczne, ale także temperatura ogniwa, stężenie tlenu w powietrzu, stężenie wodoru w gazach wylotowych, ciśnienie wodoru, zużycie paliwa oraz cały szereg parametrów diagnostycznych. Ogniwo wyposażone jest też w port komunikacyjny pozwalający na kontrolowanie i rejestrację parametrów pracy ogniwa przez komputer PC.

Pomiary wykazały, że najmniej korzystną cechą ogniwa paliwowego jest jego charakterystyka prądowo-napięciowa (rys. 2), która wykazuje silną zależność napięcia od natężenia prądu. Zmiana natężenia prądu od zera na biegu jałowym do 40 A przy maksymalnym obciążeniu spowodowała spadek napięcia z 42 do 27V. Może to powodować spore kłopoty z doborem urządzeń w układach zasilanych ogniwem paliwowym. Typowe układy elektryczne (falowniki, silniki prądu stałego) nie są projektowane na tak szeroki zakres napięć. Niekorzystną cechą jest także duża histereza napięcia i temperatury podczas obciążania i odciążania ogniwa paliwowego, które są spowodowane dość dużą zależnością napięcia generowanego przez ogniwo od temperatury i wolnym tempem nagrzewania się ogniwa podczas pracy.



Rys. 2. Charakterystyka prądowo-napięciowa ogniwa paliwowego 1.2 kW Nexa
 Fig. 2. The voltage-current characteristic of the 1.2 kW NexaTM fuel cell

3. Pojazd czterokołowy

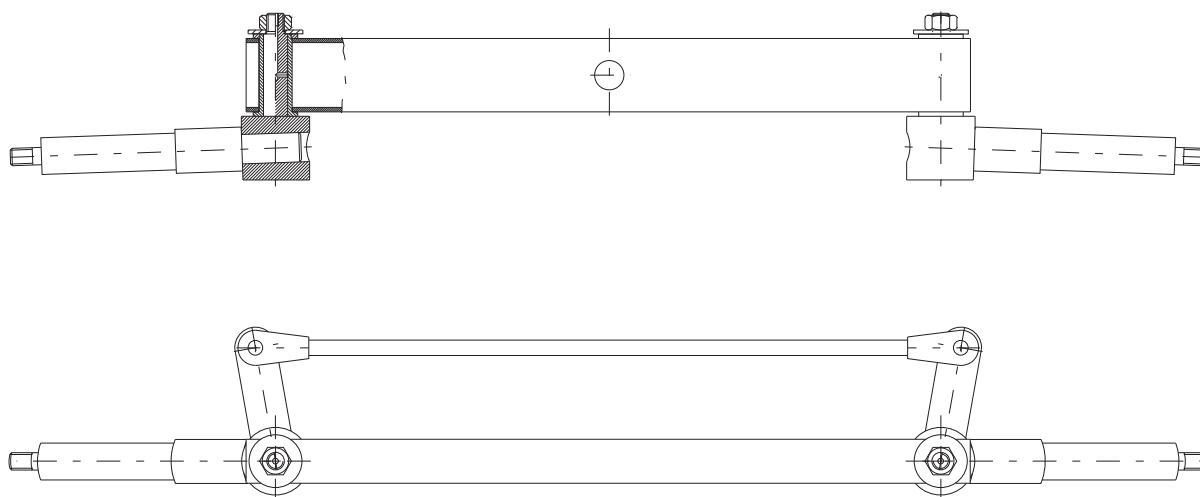
Bazą do zbudowania pojazdu napędzanego ogniwem paliwowym był produkowany przez firmę Elcar wózek golfowy Ramzes 1 (rys. 3a). Jego podstawową zaletą jest prosta konstrukcja i możliwość rozłożenia na kilka części, które można przewozić w bagażniku samochodu osobowego (rys. 3b). Wózek jest niewielki, rozstaw osi wynosi 900 mm a rozstaw kół około 720 mm. Całkowita masa wraz z akumulatorami wynosi ok. 90 kg. Wózek ten napędzany jest przez dwa silniki elektryczne prądu stałego o napięciu 24V i mocy 400 W każdy. Źródłem zasilania wózka są dwa akumulatory kwasowe, które wraz z ładowarką zasilaną ze źródła prądu przemiennego zamontowane są pod fotelem kierowcy. Układ kierowania składa się z kierownicy typu rowerowego przenoszącej ruch poprzez drążek kierowniczy na lewą zwrotnicę. Ponieważ obie zwrotnice (umieszczone obrotowo na belce poprzecznej na ramie przedniej) połączone są dodatkowo drążkiem poprzecznym ruch kierownicy wymusza jednoczesny zwrot obu kół. Podstawową wadą tego pojazdu jest całkowity brak resorowania zarówno kół przedniej jak i tylnej osi. W niewielkim stopniu brak resorowania jest rekompensowany przez zastosowanie kół na balonowych oponach. Koła tylne zawieszane są bezpośrednio na osi przekładni zwalniającej

połączonej bezpośrednio z silnikiem napędzającym. Eliminuje to konieczność stosowania w pojeździe mechanizmu różnicowego, ale z drugiej strony wymusza precyzyjną regulację prędkości obrotowej silników podczas jazdy do przodu tak aby różnica prędkości obrotowych kół napędowych nie powodowała skręcania (znoszenia) pojazdu.



Rys. 3. Wózek golfowy Ramzes R-1, a) zmontowany, b) rozmontowany
Fig. 3. Golf trolley Ramses R-1, a) mounted, b) dismantled

Pojazd Ramzes 1 doskonale nadaje się do zasilania z ogniwa paliwowego ponieważ jednak jego cena przekraczająca 10 000 zł jest zbyt wysoka postanowiono do budowy badawczego pojazdu czterokołowego wykorzystać jedynie niektóre jego elementy. Do budowy pojazdu czterokołowego wykorzystano: ramę tylną, ramę przednią i elektryczne silniki napędowe. Wykorzystano także niektóre elementy układu elektrycznego, zasilania i sterowania silnikami. Ponieważ nie były dostępne zwrotnice kół przednich i elementy ich łożyskowania, elementy te musiały być zaprojektowane i wykonane od nowa. Na rysunku 4 przedstawiony jest widok zaprojektowanych części. W belce poprzecznej osadzone są mosiężne tuleje, w których ułożyskowane są osie zwrotnic. Osie te zamocowane są obrotowo w tulejkach za pomocą nakrętek i podkładek. W dolnej części zwrotnic osadzone są osie kół przednich nachylone pod kątem 3° . Ramię zwrotnicy przyspawane do dolnej części zwrotnicy tworzy z osią koła kąt 80° .



Rys. 4. Belka poprzeczna zawieszenia przedniego ze zwrotnicami umożliwiającymi skręt kół
Fig. 4. Crossbarr of the front suspension

Zakupione elementy posłużyły do zbudowania pojazdu czterokołowego. Na rysunku 5 przedstawiony jest częściowo zmontowany pojazd z zamontowanymi zwrotnicami. Na zdjęciu widoczny jest brak kilku elementów układu kierowniczego, które znajdują się obecnie na warsztacie w wykonaniu. Nie zamontowano ramion zwrotnic, drążka poprzecznego i drążka kierowniczego.



Rys. 5. Rama pojazdu czterokołowego
Fig. 5. Chasse of a four weeled vehicle

4. Układ zasilania elektrycznego

Układ zasilania i sterowania elektrycznego zawiera cały szereg podzespołów (rys. 6), których zadaniem jest skuteczne napędzanie i hamowanie pojazdu. W pojeździe przewidziano zastosowanie hybrydowego układu napędowego. Układ hybrydowy powinien być wyposażony w dwa źródła zasilania. W przypadku pojazdu czterokołowego są to: ogniwo paliwowe Nexa™ 1.2 oraz 24 V bateria akumulatorów o pojemności 18 Ah.

Głównym źródłem energii jest ogniwo paliwowe 1, które wytwarza stały prąd elektryczny o napięciu 22-50V i natężeniu 0-45A. Praca ogniwa paliwowego może być nieustannie monitorowana przez komputer PC. Komputer umożliwia także rejestrowanie kilkudziesięciu parametrów pracy ogniwa od parametrów prądu poprzez temperaturę do stężeń wodoru i tlenu.

Z ogniwa paliwowego prąd kierowany jest do przetwornika DC/DC 2. W przetworniku napięcie podawane z ogniwa paliwowego jest ustalane do poziomu 22-30V. Wielkością regulowaną jest tylko prąd, który może zmieniać się w zakresie od 0-50A. Praca przetwornika

DC/DC jest nadzorowana przez sterownik 4 wyposażony w podstawowe włączniki umożliwiające start systemu a także w wyświetlacz ciekłokrystaliczny, na którym można wyświetlać parametry pracy przetwornika. Parametry mogą być przełączane przy pomocy odpowiednich klawiszy.

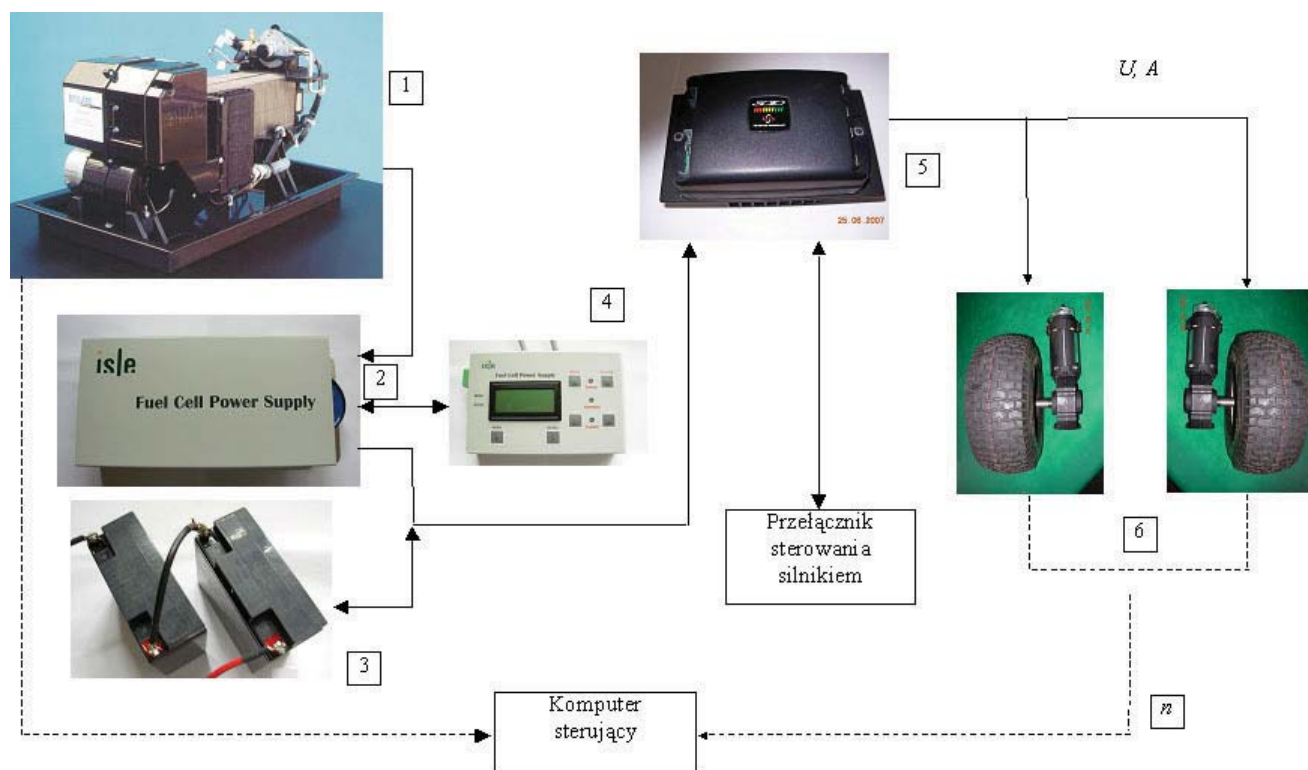
Przetwornik DC/DC został zakupiony w firmie Heliocentris, która dostarczyła także ogniwo paliwowe. Jest on dedykowany do współpracy z ogniwem. Podczas opracowywania pojazdu próbowano nawiązać współpracę z jakimś producentem krajowym, który mógłby opracować podobnie działający przetwornik. Rozmowy były prowadzone zarówno z firmami oferującymi na naszym rynku przetworniki stałoprądowe jak i różnego rodzaju przetwornice. Niestety prawie wszystkie mogły zaoferować gotowe produkty firm zagranicznych rozprowadzane tylko na naszym rynku. Podstawowym problemem był brak możliwości znalezienia urządzeń przetwarzających prąd stałego o mocy większej od 500 W. Urządzenia wyższej mocy były z reguły urządzeniami prądu przemiennego lub nawet jeśli zasilają silniki prądu stałego wymagały zasilania z sieci elektrycznej 230 lub 400V. Najbardziej obiecujące rozmowy prowadzone były z Zakładem Trakcji Elektrycznej w Instytucie Elektrotechniki w Warszawie. Koncepcja pojazdu zasilanego ogniwem paliwowym spotkała się tam z dużym zainteresowaniem. Niestety brak możliwości sfinansowania ich badań, bardzo wysoka cena jednostkowa ogniwa paliwowego i oczekiwany ewentualny bardzo niski poziom produkcji spowodował wycofanie się Instytutu ze współpracy.

Zakupiony w firmie Heliocentris przetwornik DC/DC ma dwa wyjścia prądowo-napięciowe. Jedno z nich może być bezpośrednio wykorzystywane do zasilania urządzeń zewnętrznych, do drugiego podłączone są dwa żelowe akumulatory kwasowe 3. Ich podstawową funkcją jest buforowanie pracy ogniwa i magazynowanie energii elektrycznej niezbędnej podczas pracy silników elektrycznych w stanie przeciążenia. Stan ten najczęściej występuje podczas startu silników napędowych lub podczas gwałtownej zmiany prędkości lub obciążenia silników. Akumulatory także dostarczają energii do ogniwa podczas jego rozruchu. Ogniwo na czas rozruchu wymaga zasilania z zewnętrznego źródła prądu o napięciu co najmniej 18V i natężeniu 5-10A. Po rozruchu zewnętrzne źródło może zostać odłączone a ogniwo samodzielnie podtrzymuje swoją pracę.

Prąd elektryczny wytworzony w ogniwie paliwowym kierowany jest do sterownika silników napędzających pojazd 5. Sterownik ten jest zaawansowanym urządzeniem, które na podstawie szeregu sygnałów doprowadzanych z przełączników sterowania silnikami zmienia stan pracy silników napędowych 6. Sygnały sterujące doprowadzane są do złącza 14 – pinowego. Niektóre złącza wykorzystywane są do wprowadzania sygnałów sterujących a inne do ich wyprowadzania. Pierwsze trzy styki służą do sterowania maksymalną prędkością i kierunkiem obrotów silników napędowych. Kolejne pozwalają na wprowadzanie sygnału przełączającego silniki na bieg luzem lub włączenie hamowania silnikiem po wyłączeniu napędu. Dalej możliwe jest sterowanie hamulcem elektromagnetycznym a także sygnalizowane jest włączenie biegu wstecznego w silnikach.

W pojeździe zastosowano dwa silniki prądu stałego 24V/400W. Producent pojazdu opcjonalnie dostarcza silniki 500W ale wymagają one zasilania ze źródła 36V. Ponieważ ogniwo paliwowe nie może pracować przy pełnym obciążeniu z takim napięciem postanowiono ograniczyć moc odbieraną od ogniwa paliwowego do 800W. Silniki przymocowane są śrubami do tylnej części ramy pojazdu. Koła pojazdu zamontowane są bezpośrednio na wałkach wyjściowych z przekładni zblokowanej z silnikiem. W związku z tym zawieszenie pojazdu jest sztywne i jedynym resorowaniem w jakim pojazd został wyposażony są opony. Na szczęście są one niskociśnieniowe, typu balonowego, przystosowane do jazdy po miękkim podłożu pozwalając wjeżdżać w teren piaszczysty lub trawiasty o niewielkich nierównościach. Silniki wyposażone są w przekładnię

zwalniającą, zmniejszającą prędkość obrotową silnika i zwiększającą moment obrotowy. Silniki pozwalają na napędzanie pojazdu z prędkością 15-20 km/h.



Rys. 6. Schemat hybrydowego układu napędowego, 1 – ogniwo paliwowe, 2 – przetwornik DC/DC, 3 – akumulatory, 4 – sterownik przetwornika DC/DC, 5 – sterownik silników elektrycznych 6 – elektryczne silniki napędowe pojazdu ,
 Fig. 6. Scheme of the hybrid propulsion system; 1 – fuel cell, 2 - DC/DC converter, 3 – battery, 4- converter controller, 5 – engines controller, 6 – electric engines

5. Wnioski

1. Moc ogniwa paliwowego, które wykorzystano do zasilania pojazdu czterokołowego jest niewielka, wynosi jedynie 1.2 kW. Ogniwo to może być wykorzystane jedynie do napędu niewielkiego pojazdu napędzanego silnikiem lub silnikami nie przekraczającymi 1000-2000 W.
2. Ponieważ nabycie takiego (gotowego) pojazdu przekraczało możliwości finansowe wykonawców projektu postanowiono nabyć jedynie niektóre części a pozostałe wykonać we własnym zakresie.
3. Układ elektryczny pojazdu jest dość skomplikowany. Wymuszone zostało to przez samo ogniwo paliwowe i jego charakterystykę. Warunek ładowania akumulatorów wymusił konieczność zastosowania w układzie zasilania przetwornika DC/DC, który dostosowywał napięcie generowane przez ogniwo z zakresu 22-50 V do niezmiennego poziomu ok. 26 V, niezależnie od obciążenia silnika. Ponieważ, mimo długich poszukiwań dostawcy krajowego, nie udało się znaleźć firmy produkującej w kraju podobne przetworniki (o mocy powyżej 1 kW), przetwornik zakupiono w firmie Heliocentris, w której zakupione było ogniwo paliwowe.
4. W układzie elektrycznym konieczne było zastosowanie także sterownika silników napędowych, tak aby możliwa była zmiana ich prędkości obrotowej a tym samym zmiana prędkości jazdy. Układ zapewnia także włączenie biegu wstecznego oraz hamowania silnikami. Jest to ważne z tego względu, że jest to jedyny sposób na zatrzymanie pojazdu.

Literatura

- [1] “Nexa™power module user’s manual”, MAN5100078, Ballard Power Systems Inc. 2003.
- [2] Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S.E., Emadi, A., *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles*, CRC Press, London, 2004.
- [3] Rousseau, A. Ahuwahlia R., Deville, B., Zhang Q., *Well-toWheel analysis of advanced SUV fuel cell vehicles*, SAE International, 2003-01-0415.
- [4] BSZ PG 1200 Technical description, isle© Steuerungstechnik und Leistungselektronik GmbH.
- [5] 24 V DC/DC converter. Instalation Guide, Heliocentris©.