

# **High Density Power Electronics for Fuel Cell – and Internal Combustion Engine – Hybrid Electric Vehicle Powertrains HOPE**

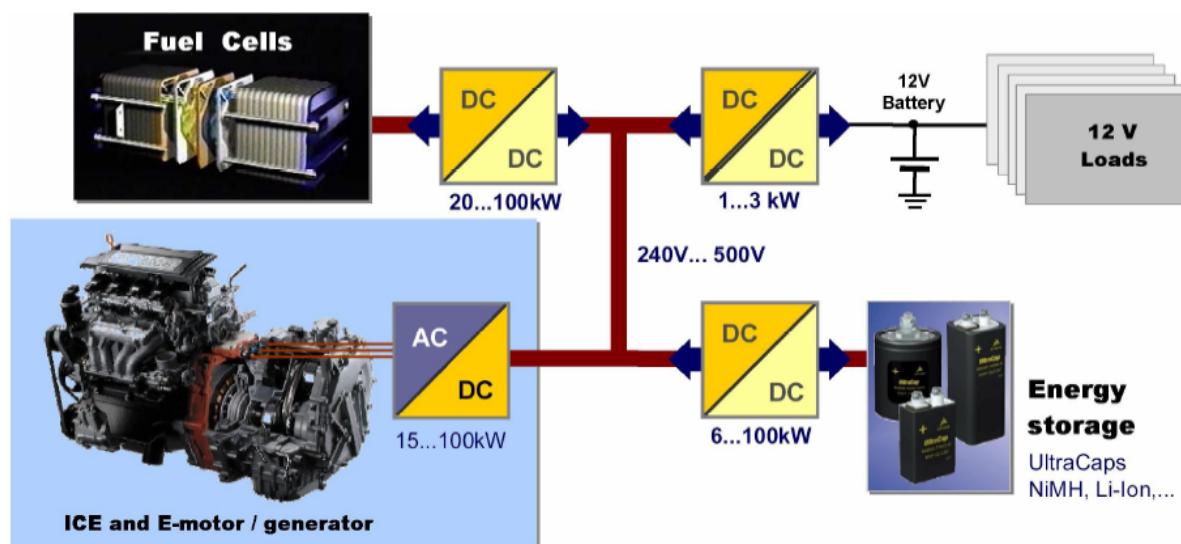
## **Streszczenie projektu**

Istniejące zalecenie Komisji Europejskiej wobec członków Europejskiego Stowarzyszenia Producentów samochodów ACEA zakłada redukcję średniej emisji dwutlenku węgla do 140g/km w nowych samochodach osobowych już w 2008 roku i sukcesywne zmniejszanie tejże emisji w kolejnych latach. Zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> jest związane bezpośrednio z koniecznością redukcji konsumpcji paliwa. Ostatecznym rozwiązaniem jest pojazd którego napęd jest oparty na ogniwie paliwowym zasilanym wodorem lub pośrednio innym możliwym do przetworzenia w wodór paliwem. Produktem końcowym spalania w ogniwie paliwowym jest czysta woda oraz energia elektryczna wykorzystana do napędu pojazdu. Przewiduje się, że seryjna produkcja samochodów z ogniwami paliwowymi stosowanymi do napędu pojazdu będzie możliwa około roku 2015. Tymczasem znane koncerny samochodowe (Toyota, Honda, Ford) wprowadziły na rynek samochody osobowe z napędami hybrydowymi (spalinowo-elektrycznymi), w których zużycie paliwa a co za tym idzie emisja CO<sub>2</sub> są znacznie zredukowane (w granicach 30-50%). W roku 2006 zostanie wyprodukowanych 200 tys. pojazdów z napędem hybrydowym, a do roku 2010 liczba produkowanych na świecie tego typu samochodów osobowych osiągnie poziom 700 tys. sztuk rocznie.

W obydwu przypadkach tj. zarówno w samochodach z ogniwami paliwowymi jak i w pojazdach z hybrydowym napędem spalinowo-elektrycznym niezbędne jest zastosowanie urządzeń energoelektronicznych, służących przekształcaniu i standaryzacji energii elektrycznej, dopasowujących parametry tej energii do wymagań zastosowanych akumulatorów, baterii oraz obciążeń i urządzeń wykonawczych. Projektowanie urządzeń energoelektronicznych oddzielnie dla każdego typu pojazdu indywidualnie przez każdego producenta samochodów znacząco zwiększy koszty stosowania tego typu rozwiązań. W związku z tym wymagana jest standaryzacja w zakresie projektowania urządzeń energoelektronicznych, co przy masowej produkcji przyczyni się do ograniczenia kosztów i spowoduje, że technologia napędów hybrydowych, a w dalszej perspektywie oparta o ogniwa paliwowe będzie chętniej i częściej stosowana.

Biorąc pod uwagę samochody wykorzystujące ogniwa paliwowe to, co prawda nie istnieje seryjna produkcja tego typu pojazdów, ale większość znanych koncernów samochodowych prowadzi badania nad tą technologią. Poważny przegląd prowadzonych inwestycji można znaleźć na <http://www.h2cars.de/overview/index.html>. Obecnie, seryjnie produkowane samochody hybrydowe (spalinowo-elektryczne) zostały zaprojektowane w samochodowych koncernach japońskich (Toyota Prius – 500 tys. szt. sprzedanych od uruchomienia produkcji w 1997, z czego 90% to samochody drugiej generacji produkowane od 2004 roku, Honda Insight wprowadzona na rynek w 2000 roku), bądź amerykańskich (Ford Escape wprowadzony w 2004 roku). W odpowiedzi na szybki rozwój technologii napędów hybrydowych w Japonii i USA w ramach Programów Europejskich podjęto również badania w tym kierunku m.in. w ramach projektów HIMRATE, PROCURE, HOTCAR, współfinansowanych przez czołowych europejskich producentów samochodów i kluczowych dostawców podzespołów. Wyniki wspomnianych projektów są odniesieniem dla bieżącego projektu badawczego o akronimie HOPE, którego rezultatem będzie opracowanie pewnych standardów technologii napędu hybrydowego a w konsekwencji ograniczenie kosztów stosowania tego rozwiązania.

Głównym celem bieżącego projektu badawczego o akronimie HOPE zatytułowanego „High Density Power Electronics for FC and ICE - Hybrid Electric Vehicle Powertrains” jest opracowanie, alternatywnego w stosunku do produkcji japońskich i amerykańskich, urządzenia energoelektronicznego dostosowanego do potrzeb technologii napędu hybrydowego. Rysunek 1. przedstawia schemat blokowy dla przykładowego rozwiązania hybrydowego napędu wykorzystującego silnik o spalaniu wewnętrznym i ogniwo paliwowe z zastosowaniem układów przekształtnikowych.



Rys. 1. Schemat blokowy przykładowego rozwiązania napędu hybrydowego.

Niezbędny wielozadaniowy przekształtnik energoelektroniczny przekształca energię elektryczną produkowaną przez generator osadzony na wale silnika spalinowego. Energia ta jest magazynowana w bateriach elektrochemicznych i superkondensatorach, a jednocześnie część tej energii pokrywa zapotrzebowanie na moc niskonapięciowych odbiorników pokładowych. Dzięki zastosowaniu magazynu elektrochemicznego energia hamowania zamiast być wytracana na klockach hamulcowych w postaci ciepła jest przetwarzana na energię elektryczną i magazynowana w akumulatorach. Odzyskiwanie energii zwiększa znacząco sprawność całego układu szczególnie w tzw. cyklu miejskim. Z drugiej strony gwałtowne zapotrzebowanie na dodatkową moc jakie ma miejsce np. przy przyspieszaniu może być w części pokrywane z akumulatorów i/lub superkondensatorów. W układach hybrydowych moc elektryczna jest za pomocą przekształtnika energoelektronicznego podawana do maszyny elektrycznej połączonej z wałem silnika spalinowego. Maszyna elektryczna staje się zatem generatorem lub silnikiem wspomagającym pracę silnika spalinowego w zależności od zapotrzebowania. Dzięki temu rozwiązaniu silnik spalinowy projektowany jest na moc średnią, a nie na moc maksymalną. Zastosowanie mniejszego silnika prowadzi nie tylko do oszczędności materiałów i energii potrzebnych do jego wyprodukowania ale w głównej mierze do kolejnych oszczędności zużywanego paliwa.

Podstawowe wymagania co do projektowanego układu energoelektronicznego dotyczą redukcji kosztów, objętości, wagi, jak również niezawodności pracy urządzenia. Redukcja kosztów jest oczywistym następstwem standaryzacji urządzenia i produkcji wielkoseryjnej oraz budowy modułowej takich urządzeń dla wielu typów pojazdów.

Ograniczenie objętości oraz wymiarów urządzenia wiąże się przede wszystkim ze zmniejszeniem nakładów związanych z chłodzeniem całego urządzenia. Rozwiązanie tego problemu leży w zastosowaniu nowoczesnych wysokotemperaturowych elementów półprzewodnikowych (opartych na złączach SiC pracujących w temperaturach do 275 st.C) jak również nowych konstrukcji układu chłodzenia urządzenia. Różnica temperatur między

złączem półprzewodnikowym a otoczeniem jest znacznie większa w przypadku półprzewodników SiC niż w przypadku klasycznych półprzewodników Si, co wymaga mniejszych nakładów na chłodzenie urządzenia. Opracowanie specjalnych konstrukcji układu chłodzenia pozwoli na efektywniejsze wykorzystanie przekształtnika oraz zwiększenie częstotliwości przełączeń dyskretnych elementów półprzewodnikowych co z kolei pociąga za sobą redukcję wymiarów i kosztów elementów pasywnych (indukcyjności). Zwiększenie częstotliwości przełączeń o rząd wielkości spowoduje że konieczne będzie zastosowanie filtrów tłumiących zakłócenia elektromagnetyczne, co również jest uwzględnione w projekcie. Ze względu na to, że planuje się stworzyć konstrukcję układu zintegrowanego z specjalnie do tego celu zastosowanym układem sterującym niezbędne jest opracowanie nowych koncepcji wysokotemperaturowych układów pomiaru prądów i napięć. Integracja wszystkich elementów i podzespołów ma na celu upakowanie całości w taki sposób, aby osiągnąć jak najmniejszą objętość. Z tego względu wszystkie komponenty będą znajdować się blisko złącza SiC i narażone będą na działanie wysokiej temperatury, zatem muszą być tak zaprojektowane aby wytrzymać jej wpływ. Projekt HOPE przewiduje wykonanie testów urządzenia końcowego oraz weryfikacji niezawodności jego pracy.

### **Opis zadań przewidzianych do realizacji przez uczestników z ISEP w ramach projektu.**

Do działań Politechniki Warszawskiej w zakresie projektu HOPE należeć będzie opracowanie koncepcji wysokotemperaturowego układu pomiaru prądu (obszar WP3), oraz współpraca przy integracji czujnika (obszar WP4).

Ze względu na to, że temperaturowy zakres pracy powszechnie stosowanych w energoelektronice układów pomiarowych prądu opartych na zjawisku Halla (prod. LEM, HONEYWELL, ALLEGROMICRO) wynosi maksymalnie 125 st.C, nie są one w stanie pracować poprawnie w układzie zintegrowanym z przekształtnikiem opartym na złączach SiC. Z tego też względu rozważa się możliwości wykorzystania innych zjawisk fizycznych (gigamagnetoopór, gigamagnetostrykcja, zjawisko piezoelektryczne, zjawisko Faradaya, i in.) oraz materiałów wykazujących te zjawiska do opracowania układu pomiarowego odpornego na wysokie temperatury. Poza samym elementem zastępującym czujnik Halla należy rozważyć możliwość i konieczność stosowania wysokotemperaturowej elektroniki sygnałowej niezbędnej przy metodzie kompensacyjnej pomiaru prądu. Metoda kompensacyjna powinna być zastosowana w przypadku nieliniowej charakterystyki nowego materiału zastępującego czujnik Halla. Ze względu na podwyższoną częstotliwość pracy przekształtnika, pasmo przenoszenia układu pomiaru prądu powinno być odpowiednio szersze w porównaniu z klasycznymi układami z czujnikiem Halla.

Do zadań uczestników projektu związanych z Politechniką Warszawską należy dobór technologii, materiałów i elementów do budowy czujnika prądu a także projekt samego czujnika i układu pomiarowego prądu. Badania będą prowadzone przy zmieniającej się, w szerokich granicach temperaturze, niespotykanej w dotychczasowych rozwiązaniach układów energoelektronicznych i elektronicznych. Spodziewane maksymalne temperatury złącza SiC wynoszą 275°C i są o 150°C wyższe niż w klasycznych tranzystorach mocy. Istotnym zadaniem projektu jest maksymalne zbliżenie się do tej temperatury. Wymaga to odpowiedniej metodologii i infrastruktury, która będzie realizowana w czasie badań nad czujnikiem.

**Prof. Włodzimierz Koczara** (MSc, PhD, DSc) – Kierownik projektu.

Urodzony w Warszawie w 1942r. Absolwent Politechniki Warszawskiej w 1966r, doktorat w 1973, habilitacja w 1978r. Od 1981 jest kierownikiem Zakładu Napędu Elektrycznego na Politechnice Warszawskiej. W latach 1981-86 był dyrektorem Instytutu Sterowania i Elektroniki Przemysłowej. W pracy naukowej zajmuje się głównie energoelektroniką, napędami elektrycznymi, wytwarzaniem energii elektrycznej ze źródeł alternatywnych oraz kondycjonowaniem mocy. Od 1997 jest członkiem Executive Council of European Power Electronics and Drive Association. Prof. W. Koczara posiada doświadczenie akademickie jako "visiting professor" na zagranicznych uczelniach: Nottingham Trent University, Le Havre University, De Monfort University (Leicester), Pretoria University, oraz doświadczenie przemysłowe w dziedzinie wytwarzania energii: VOLTAMPERE – South Africa, NEWAGE-AVKSEG – UK. Jest autorem trzech monografii, ponad 80 publikacji naukowych oraz ponad 50 patentów. Wypromował 11 doktorów i jest opiekunem kolejnych 14 doktorantów.

**Prof. Józef Łastowiecki** (MSc, PhD, DSc)

Urodzony w 1938r. Absolwent Politechniki Warszawskiej w 1963r, doktorat w 1970, habilitacja w 2002r. Jest specjalistą w dziedzinie układów sterowania, energoelektroniki i zjawisk magnetycznych. Rozprawa habilitacyjna, opublikowana w 2002r. jest zatytułowana: *Układy pomiarowe prądu do realizacji prądowych sprzężeń zwrotnych w energoelektronice*. Badania nad układami pomiaru prądu stosowanymi w energoelektronice pozwoliły na uzyskanie stopnia doktora habilitowanego oraz zatwierdzenie dwóch patentów. Prof. J. Łastowiecki jest autorem dwóch monografii znacznej liczby publikacji i patentów. Prof. J. Łastowiecki jest członkiem IEEE.

**Mr Grzegorz Iwanski** (MSc, PhD)

Urodzony w 1977r. w Kielcach. Absolwent Politechniki Warszawskiej w 2003r, doktorat w 2005. Jest specjalistą w dziedzinie energoelektroniki i układów wytwarzania energii pracujących ze zmienną prędkością. Jest autorem 20 artykułów publikowanych na krajowych, międzynarodowych i światowych konferencjach naukowych. Ponadto, jest autorem 2 artykułów naukowych opublikowanych w „Przeglądzie Elektrotechnicznym”.

**Mr Filip Grecki** (MSc)

Urodzony w 1981. w Gdańsku. Absolwent Politechniki Warszawskiej w 2005. Od marca 2006r. jest doktorantem w Instytucie Sterowania i Elektroniki Przemysłowej. Tematyka jego pracy jest ściśle powiązana z projektem badawczym HOPE i dotyczy wysokotemperaturowego czujnika prądu do zastosowań w energoelektronice.

#### Wykaz partnerów uczestniczących w projekcie HOPE

L.p.	Nazwa uczestnika	Skrót nazwy	Kraj
1	SIEMENS CT	SCT	NIEMCY
2	DAIMLER CHRYSLER	DC	NIEMCY
3	ETH ZURICH	ETHZ	SZWAJCARIA
4	FRAUNHOFER IISB	FHG – IISB	NIEMCY
5	INRETS	INRETS	FRANCJA
6	MAGNA STEYR	MSF	AUSTRIA
7	RENAULT	REGIENOV	FRANCJA
8	ROBERT BOSCH	BOSCH	NIEMCY
9	SIEMENS VDO	SVDO	NIEMCY
10	VALEO	VESL	FRANCJA
11	VOLKSWAGEN	VW	NIEMCY
12	UNIVERSITY OF TECHNOLOGY BELFORT- MONTBELIARD	UTBM	FRANCJA
13	POLITECHNIKA WARSZAWSKA (WARSAW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY)	PW (WUT)	POLSKA