

**Paweł Irzmański, Maciej Kwiatkowski, Bartłomiej Kras**  
 ICPT S.A., Warszawa

## **DCCS-ECU JAKO INNOWACYJNA JEDNOSTKA KONTROLNA DLA APLIKACJI EV I HEV**

### **DCCS-ECU AN INNOVATIVE CONTROL AND ENERGY MANAGEMENT MODULE FOR EV AND HEV APPLICATIONS**

**Streszczenie:** Impact Clean Power Technology S.A (ICPT S.A.) opracowała uniwersalną i skalowalną elektroniczną jednostkę sterującą dedykowaną do pojazdów elektrycznych (EV) i hybrydowych (HEV), która spełnia funkcję inteligentnego zarządzania zróżnicowanymi funkcjami pojazdu. Na przykładzie tego systemu zaprezentowano sposób zarządzania przepływem energii w pojeździe elektrycznym z uwzględnieniem uwarunkowań mających wpływ na optymalne wykorzystanie z gromadzonej energii.

**Abstract:** Impact Clean Power Technology S.A. (ICPT S.A.) has recently developed an innovative, universal, and scalable electronic control unit for electric (EV) and hybrid (HEV) vehicles which fulfils intelligent management functions. One of the main problems of modern EVs is energy management. Proposed ECU (Electronic Control Unit) addresses this issue by performing the optimisation of energy consumption, higher power performance, real time power distribution which results in vehicle range extension.

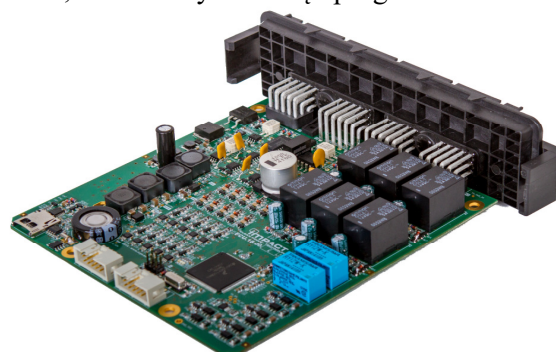
**Słowa kluczowe:** DCCS-ECU, HEV, EV, skalowalność, redundancja, CAN

**Keywords:** DCCS-ECU, HEV, EV, scalable, redundant, CAN

### **1. Wstęp**

Rozwój pojazdów elektrycznych powoduje konieczność stosowania w samochodach nowej generacji układów elektronicznych i komputerów pokładowych ECU (Electronic Control Unit), które przeznaczone będą do zarządzania pracą całego samochodu elektrycznego lub hybrydowego w zakresie baterii oraz napędu elektrycznego. Oferowane na rynku pojazdy elektryczne lub hybrydowe posiadają drogie i skomplikowane dedykowane komputery ECU, które albo nie są dostępne na rynku dla nowych podmiotów inwestujących obecnie w pojazdy elektryczne (ponieważ są zastrzeżone dla wielkich koncernów motoryzacyjnych, co jest typową praktyką) lub poprzez to, że przeznaczone były do innych zastosowań, ich integracja jest droga i skomplikowana. Oczywiście budowa takich systemów jest ekonomicznie uzasadniona dla firmy upatrującej sukcesu w dostarczeniu tylko jednego produktu lub ich rodziny na rynek. Przedstawiana jednostka to odpowiedź na ten problem i ma na celu zbudowanie platformy możliwie uniwersalnej. Autorzy w ramach projektu postawili sobie za cel dostarczenie na rynek łatwo dostępnej, inteligentnej i skalowalnej jednostki zarządzającej o możliwie szerokim spektrum obszarów zastosowań w pojazdach elektrycznych, przy jednoczesnej bardzo niskiej cenie dla małych partii

(<100szt). Jednostka przedstawiona na rys. 1 została zaprojektowana w sposób umożliwiający skrócenie czasu integracji w danej aplikacji, co spowoduje redukcję czasu dotarcia produktu na rynek poprzez ograniczenie pracochłonności etapów związanych z opracowaniem, testami czy budową oprogramowania.



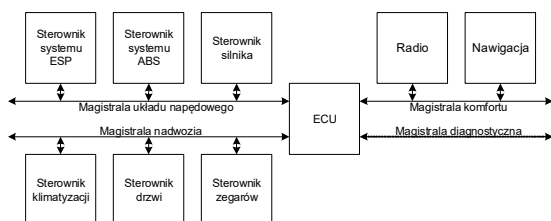
*Rys. 1. Fotografia komputera DCCS-ECU*

Zastosowanie komputerów ECU zaprojektowanych specjalnie dla samochodów typu PEV (Plug-in electric vehicle) i PHEV (plug-in hybrid electric vehicle) pozwoli na optymalizację zużycia energii, elastyczne zarządzanie mocą pojazdu, co nieś będzie za sobą relatywne zwiększenie zasięgu podróży takim pojazdem. Co więcej przedstawiane urządzenie zapewnia dużą elastyczność zastosowania np. także jako moduł realizujący funkcje DCU (Door Control

Unit) pod nadzorem innego komputera pokładowego lub nawet głównej jednostki pojazdu. Przykładem może być tutaj samochód elektryczny koncernu Mitsubishi I-MiEV. Jego platforma sterowania jest zaprojektowana w sposób rozproszony i używa aż pięciu niezależnych dedykowanych komputerów ECU. W dalszej części pracy przyjęto dla modułu nazwę DCCS-ECU (Distributed Computer Control System - Electronic Control Unit – jako system komputerowy do kontroli rozproszonej w pojazdach EV/HEV).

## 2. Architektura aplikacji

Współczesne pojazdy zawierają kilkadziesiąt, a często nawet kilkaset sterowników elektronicznych połączonych ze sobą szybkimi magistralami cyfrowymi. Światowym liderem obecnie instalowanych magistral cyfrowych jest standard CAN (Controller Area Network) opracowany przez firmę Robert Bosch GmbH w 1986r. Standard CAN [2] to określenie magistrali i protokołu transmisji danych. Magistrala CAN to magistrala rozgłoszeniowa, nie ma wyodrębnionej jednostki nadrzędnej. Razem ze standardem ISO 11898 i standardem SAE J2284 protokół CAN stał się normą międzynarodową do zastosowań w samochodach osobowych.



Rys. 2. Typowa topologia EV/HEV

Rysunek 2 przedstawia typową topologię współczesnego pojazdu. Zwraca uwagę zastosowanie wielu magistral komunikacyjnych CAN, każda z nich pełni inną funkcję [3]. Można wyróżnić magistralę CAN układu napędowego, która pozwala na komunikację pomiędzy sterownikami odpowiedzialnymi za napęd i bezpieczeństwo, takimi jak sterownik silnika czy sterownik systemu ABS. Magistrala CAN komfortu odpowiada za komunikację urządzeń multimedialnych, takich jak radio, nawigacja czy system rozrywki pokładowej. Magistrala CAN nadwozia lub body łączy ze sobą sterowniki kabiny, takie jak sterownik elektrycznie opuszczanych okien czy sterownik foteli.

Wreszcie istnieje wydzielona sieć CAN służąca diagnostyce układów elektronicznych pojazdu. Ze względu na różny charakter przesyłanych danych sieci te pracują z różnymi prędkościami, a czasem w odmiennych standardach aplikacji, takich jak CAN Open czy J1939. Ponieważ system ECU korzysta z danych przesyłanych przez wszystkie magistrale wskazane jest, aby posiadał możliwie dużą ilość niezależnie pracujących interfejsów magistrali CAN

## 3. Struktura DCCS-ECU

Ze względu na uniwersalny charakter urządzenia, posiada ono wiele możliwości konfiguracji sprzętowej. Oczywiście jest, że nie wszystkie opcje da się obsłużyć za pomocą mikroprocesora. Założono, że część zewnętrznych peryferii układowych będzie aktywowana za pomocą dodatkowych elementów pasywnych dając tym samym możliwość dodatkowych optymalizacji sprzętowych na etapie produkcji.

### 3.1. Jednostka sterująca MCU

Punktem odniesienia dla wyboru serca DCCS-ECU był mikrokontroler Infineon TC27x oparty na rdzeniach TriCore 1.6 (rodzina Aurix). Ten rozbudowany i zaawansowany mikrokontroler stanowi dobrą i rozbudowaną funkcjonalnie platformę obliczeniową. Jednak ze względu na jego koszty wdrożenia i stopień skomplikowania wzięto jako alternatywę pod uwagę rozwiązanie firmy NXP (dawniej Freescale) o znacznie lepszym wskaźniku ceny do jakości z kilku względów:

- układy firmy NXP i narzędzia są dobrze dostępne na rynku dla firm realizujących mniejsze serie produkcyjne,
- NXP (dawniej Freescale) jest (obok Renesas, Bosch i Infineon) jednym z największych i najważniejszych producentów rozwiązań dla motoryzacji,
- Co ciekawe, w swoich prezentacjach Infineon zestawia swoje rozwiązania głównie w porównaniu do rozwiązań NXP, co może prowadzić do wniosku, że oba te produkty pomimo różnych segmentów rynkowych dają zbliżone efekty w realizacji funkcjonalności. Ostatecznie, zdecydowano o wyborze jednostki dwurdzeniowej z serii S12XEP. Układ ten daje możliwość osadzenia na nim systemu czasu rzeczywistego (RTOS) w dwóch wersjach:
  - niewymagającej opłat licencyjnych, oraz
  - wyposażonej w funkcje bezpieczeństwa funkcjonalnego przy zakupie dodatkowej licencji.

W rękach przyszłego użytkownika zatem pozostawia się decyzję o poziomie bezpieczeństwa sterownika. Dwukrotnie szybszy w stosunku do głównego - drugi rdzeń pozwala na wprowadzenie kodowania w czasie rzeczywistym zabezpieczenia przed dostępem do informacji przekazywanych wewnętrznymi magistralami danych zostanie opisane algorytmem AES (min. 128 bit).

### 3.2. Zasilanie

W pojazdach z napędem wyłącznie elektrycznym nie występują spadki napięć podczas rozruchu typowe dla pojazdów z silnikami spalinowymi, jednakże w zastosowaniach hybrydowych takie fluktuacje napięć mogą się pojawić. W związku z czym podjęto decyzję o przystosowaniu DCCS-ECU do krótkotrwałej (do 15 sekund) pracy przy obniżonym napięciu zasilania nawet do 6 V. Przy czym nie jest wymagane zachowanie pełnej funkcjonalności urządzenia, część obwodów może być na ten czas dezaktywowana, jednak układ musi zachowywać się w sposób stabilny i przewidywalny. Łączny prąd jaki może wpływać do ECU wynikający z założeń dotyczących wydajności prądowej wyjść wynosi 52 A (nie wliczając wyjść bez potencjałowych). W praktyce jednak sytuacja, w której wszystkie wyjścia będą w pełni obciążone jest bardzo mało prawdopodobna. Ponadto przystosowanie urządzenia do ciągłej pracy z tak wysokimi prądami byłoby skomplikowane i kosztowne. Dlatego też należy założyć, że urządzenie powinno być przystosowane, aby przez główne piny zasilające przepływał prąd o maksymalnej wartości 75% maksymalnego prądu wszystkich wyjść, czyli 39 A.

### 3.3. Komunikacja

Urządzenie powinno posiadać minimum cztery niezależne interfejsy CAN. Tak duża liczba interfejsów gwarantuje wygodę w przypadku użycia urządzenia do konwersji pojazdów. Okazuje się wtedy często, że symulowanie usuniętych komponentów pojazdu (takich jak np. sterownik silnika) oraz osiągnięcie wymaganej funkcjonalności pozostałych komponentów, wymaga rozdzielenia linii CAN i utworzenia oddzielnych sieci. Każdy z interfejsów jest niezależny i może pracować na dowolnej prędkości, przewidzianej w specyfikacji protokołu komunikacyjnego. Zrezygnowano z wbudowanych interfejsów LIN i FlexRay w części głównej

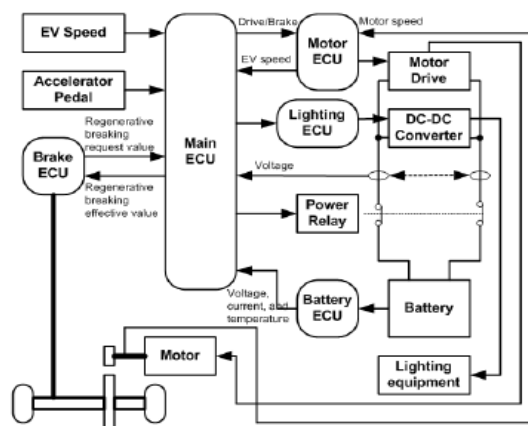
komputera ze względu na ich niewielką popularność, zmniejszając tym samym sumaryczne koszty materiałowe urządzenia.

### 3.4. Pozostałe

Ponieważ nie sposób jest przewidzieć wszystkich możliwych wymagań jakie mogą być stawiane w różnego rodzaju pojazdach elektrycznych, w celu pozostawienia możliwości dokładania pominiętych lub przyszłych funkcjonalności urządzenie zostało wyposażone w złącze typu UEXT [5]. We wnętrzu obudowy pozostawiono miejsce na dodatkowy moduł rozszerzeń. Przewiduje on osadzenie takich elementów jak popularny aktualnie E-Call.

## 4. Funkcje w systemie

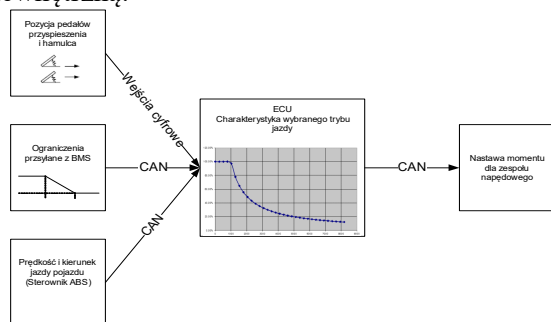
W rozdziale przedstawiono wybraną funkcjonalność DCCS-ECU w pojeździe elektrycznym na bazie współpracy z zasobnikiem energii zelektryfikowanego pojazdu FIAT 500. Na tym przykładzie autorzy przedstawiają funkcjonalność realizowaną przez komputer. Dla zobrazowania umiejscowienia modułu, czytelnik może odnieść się do rysunku 3:



Rys. 3. Orientacyjny schemat pojazdu elektrycznego mającego możliwość wykorzystania DCCS-ECU [4]

Magazyn energii współczesnego pojazdu elektrycznego to złożony system. Energia jest magazynowana z reguły w ogniwach litowo-jonowych, charakteryzujących się dużą gęstością energii, wysoką gęstością mocy, dużą liczbą możliwych do wykonania cykli pracy oraz bezobsługowością. Ogniwa litowo-jonowe wymagają odpowiedniego zarządzania procesem ładowania i rozładowania, funkcje te realizuje wbudowany w zasobnik system BMS /Battery Management System/. BMS realizuje szereg zadań związanych z pomiarami wartości elek-

trycznych w pakiecie baterijnym, między innymi konieczne jest wykonywanie pomiaru napięcia każdego z ogniw baterii, temperatury ogniw oraz natężenia prądu płynącego w obwodzie baterii. Na podstawie zebranych danych pomiarowych BMS korzystając z wbudowanych algorytmów wyznacza parametry zasobnika energii, takie jak stan naładowania/SOC, State of Charge/, czy możliwe w danym momencie prądy ładowania oraz rozładowania. Parametry te są transmitowane w czasie rzeczywistym przez sieć CAN. Jednostka ECU korzysta z tych danych podczas wypracowywania nastaw momentu dla zespołu napędowego, także podczas procesu ładowania, gdzie pośredniczy w wymianie informacji pomiędzy układem BMS, a ładowarką pokładową lub zewnętrzną.



Rys. 4. Mechanizm wyliczenia momentu dla zespołu napędowego

Rysunek 4 przedstawia jeden z algorytmów realizowanych przez ECU w postaci sposobu wypracowywania nastawy momentu dla zespołu napędowego pojazdu elektrycznego. Informacja o pozycji pedału przyspieszenia oraz hamulca jest wykorzystywana jako dana wejściowa do wypracowania nastawy momentu. Uwzględniana jest również aktualna prędkość i kierunek jazdy pojazdu, oraz ograniczenia przesyłane przez układ BMS. Zebrane dane są przetwarzane z uwzględnieniem aktualnie wybranej charakterystyki trybu jazdy, co pozwala na wypracowanie nastawy momentu optymalnej dla danego punktu pracy układu.

## 5. Wnioski i podsumowanie

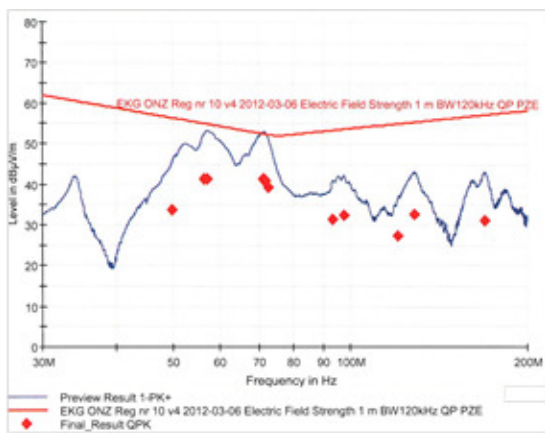
Prace projektowe nad modułem w swoim zamierzeniu dały w efekcie urządzenie, które ze względu na popularność magistrali CAN daje szansę sprzęgnięcia go z praktycznie każdym współczesnym pojazdem EV/HEV. Podjęto szereg decyzji związanych między innymi z ograniczeniem dostępności magistrali LIN i FlexRay w podstawowej wersji urządzenia.

Nic nie stoi na przeszkodzie, ażeby poprzez przygotowane porty rozszerzeń [5] dla wymagających aplikacji dodać wspomniane wcześniej elementy. Bazując na powyższym możemy skrótkowo scharakteryzować komputer DCCS-ECU poprzez następujące informacje tabelaryczne przedstawione w j.angielskim poniżej [Tabela 1].

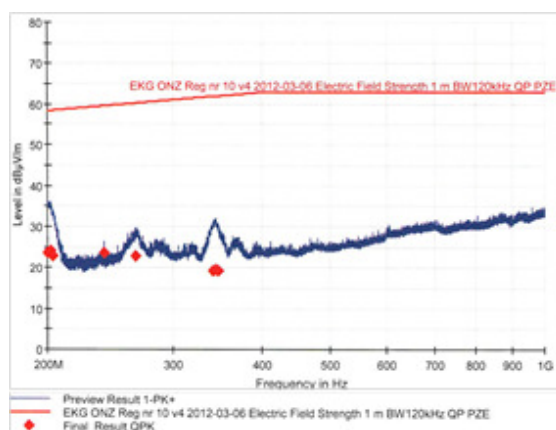
Tab. 1. Anglojęzyczne zestawienie właściwości przygotowanego modułu DCCS-ECU

Characteristic	
ECU	EV/HEV Electronic Control Unit as a programmable electronic control unit for full EV/HEV subsystem management. A 50/100MHz* Freescale S12XE integrated microprocessor with a virtual peripheral coprocessor supplying the necessary processing power.
Interfaces	4 x CAN 2.0B (partially isolated*), 12,5kbit/s up to 1 Mbit/s 1 x LIN serial port 1 x RS-232/RS-485
Safety	SD card reader as a main data storage (for user and system purposes) Functional safety tested by the LDRA Toolkit compliant with MISRA C:2012 source code All I/Os and interfaces are protected against short circuit to GND Board temperature, sensors, and supply voltage are monitored by software
Number of inputs	Digital IN 40 (8 with configurable pull-up) Digital Timer IN 0.1 Hz – 10 kHz Analog IN 8 (0-10V DC/ min. 12bit / 1kSPS)
Number of outputs	Digital OUT 16 (include PWM output and OC function) Digital Timer OUT 4 (0-10V / 100mA / 100SPS) Digital OUT 8 (1A – max. 4 minutes)
RTC	1 x Real-Time Clock
Operating temperature	-40°C – 85 °C
Dimensions	189 mm x 185 mm x 58 mm @ Weight <1kg
Standards	Ingress protection IEC 60529 from IP10 to IP67
	Climatic ISO 16750-4
	Mechanical ISO 16750-3
	Environmental IEC 60068-2-6,38
	CE Mark 2004/108/EC
	EMC IEC 61000 CISPR 25:2008/COR1:2009 ISO 11452-4:2011 ISO 7637-2:2011
ESD SO 10605:2008	
Supply voltage	9 - 32V DC (42V DCmax in a short period of time) Idle current at 12V DC not exceeding 200mA
Features	Drive control Sevcon, Semikron SKAI Communication standard CAN Open used for diagnostics and control Li-Ion battery packs ICPT BP support, interface fully configurable to gain CAN data from other systems Vehicle data view Freely selectable by user (for example Opus touch displays with ICPT Synoptic) Software C-Programming Environment Vector CANoe Environment for CANopen management

Jako uzupełnienie przedstawiono również wyniki przeprowadzonej analizy emisji elektromagnetycznej dla typowych warunków pracy urządzenia, tj. pod obciążeniem (kontrola przekształtnikiem) na rysunkach 5 i 6. Próby się powiodły i spełniają wymagania regulacji 2004/1008/EC.



Rys. 5. Pomiar emisji promieniowania elektromagnetycznego podczas pracy urządzenia w zakresie częstotliwości 30 – 200 MHz



Rys. 6. Pomiar emisji promieniowania elektromagnetycznego podczas pracy urządzenia w zakresie częstotliwości 200 – 1 GHz

## 6. Literatura

- [1]. ICPT SA., Development of universal electronic control unit for electric and hybrid vehicles, ICPT SA., <http://icpt.pl/innovations.aspx#tab1>.
- [2]. BOSCH, CAN Specification Version 2.0, 1991 ([www.can.bosch.com](http://www.can.bosch.com)).
- [3]. Michał Michna, Dominik Adamczyk, Filip Kut, Mieczysław Ronkowski, Jakub Bernatt, Paweł Pistelok, Emil Król, Łukasz Kucharski, Maciej Kwiatkowski, Łukasz Byrski, Mariusz Kozioł., Koncepcja, modelowanie i symulacja układu napędowego prototypu samochodu elektrycznego „Elv001”, *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe Nr 92/2011*.
- [4]. Źródło; Selection of Electric Motor Drives for Electric Vehicles, X. D. Xue, K. W. E. Cheng, and N. C. Cheung, Department of Electrical Engineering, the Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong, China.
- [5]. (<http://en.wikipedia.org/wiki/UEXT>).

## Autorzy

Bartłomiej Kras PhD, Impact Clean Power Technology S.A., Aleje Jerozolimskie 424 A, 00-116 Pruszków, E-mail: [bk@icpt.pl](mailto:bk@icpt.pl) / 20%

Paweł Irzmański M.Sc., Impact Clean Power Technology S.A., Aleje Jerozolimskie 424 A, 00-116 Pruszków, E-mail: [bk@icpt.pl](mailto:bk@icpt.pl) / 40%

Maciej Kwiatkowski M.Sc., Impact Clean Power Technology S.A., Aleje Jerozolimskie 424 A, 00-116 Pruszków, E-mail: [bk@icpt.pl](mailto:bk@icpt.pl) / 40%.

## Informacje dodatkowe

Opracowanie w ramach Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka 2007-2013 - „Uniwersalnej, elektronicznej jednostki sterującej dla pojazdów elektrycznych i hybrydowych DCCS-ECU” Nr projektu: WND-POIG.01.04.00-14-201/12 [1].