

Karol Tatar, Piotr Chudzik, Rafał Nowak, Grzegorz Lisowski  
Politechnika Łódzka, Łódź

## PROJEKT WIELOMODUŁOWEGO STEROWNIKA ELEKTRYCZNEGO NAPĘDU ROWEROWEGO – MODUŁ KOMUNIKACYJNY

### DESIGN OF MULTI-MODULE INVERTER FED DRIVER FOR E-BIKE – COMMUNICATION MODULE

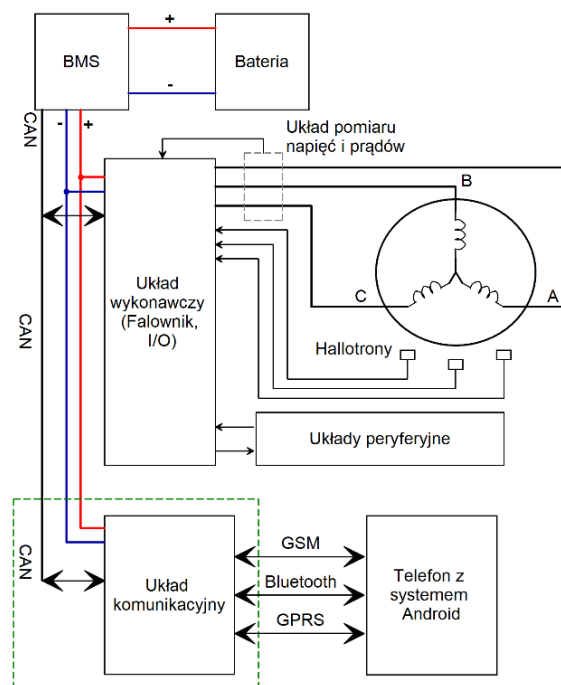
**Streszczenie:** W artykule przedstawiono koncepcję oraz realizację wielomodułowego sterownika dedykowanego do rowerowych napędów elektrycznych. Autorzy zaprezentowali struktury układów komunikacyjnych, urządzenie pomocnicze, układy pomiarowe sygnałów analogowych oraz zastosowane algorytmy sterowania. W pracy zamieszczono wyniki pomiarów napięć i prądów płynących w elementach układu napędowego. Przedstawiono aplikację na urządzeniu mobilnym stanowiącą interfejs użytkownika zdolny do personalizacji ustawień napędowych pod kątem potrzeb konkretnego użytkownika.

**Abstract:** The following article depicts the concept and implementation of multi – module driver for e-bike system. Authors presented the structures of communication systems, auxiliary devices, analog signal measurement circuits, and the control algorithms used. The paper presents results of measurements of currents and voltages going through the drive system elements. The mobile app, which serves as an users interface responsible for personalization of some particular drive settings was presented.

**Słowa kluczowe:** silniki PMSM, silniki BLDC, algorytmy sterowania napędami elektrycznymi  
**Keywords:** PMSM drive, BLDC drive, e-bike, electrical drive control algorithm

#### 1. Wielomodułowy sterownik rowerowego napędu elektrycznego

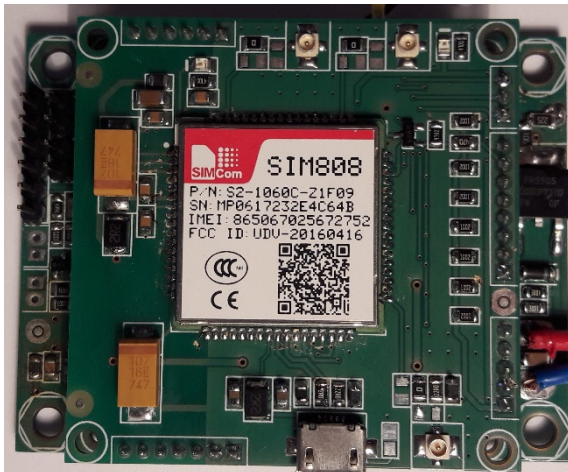
Obecność pokładowego komputera komunikacyjnego w rowerze elektrycznym pozwala na wprowadzenie niespotykanych dotąd funkcji, związanych z „otwarcie” systemu sterowania w czasie jazdy oraz z możliwością komunikowania się z rowerem w czasie jego odstawienia na chwilowy postój, czy też na długie okresy przerw w użytkowaniu. Nowa funkcjonalność systemu sterowania związana jest z zastosowaniem specjalizowanego układu komunikacyjnego, składającego się z systemu mikroprocesorowego z układami peryferyjnymi umożliwiającymi komunikację „wewnętrzną” z modułami falownika i systemu bateryjnego oraz komunikację „zewnętrzną” z aplikacją urządzenia mobilnego lub telefonem użytkownika. Ze względu na bardzo silną konkurencję rozwiązań produkowanych na Dalekim Wschodzie, autorzy projektu musieli podporządkować konstrukcję układu wymaganiom rynkowym. Z jednej strony niezbędne było przestrzeganie rygorystycznych uwarunkowań cenowych, a z drugiej strony konieczne było zapewnienie jak największej liczby udogodnień, pozwalających na wprowadzenie na rynek całkiem nowych pomysłów.



Rys. 1. Uproszczony schemat blokowy modułowego systemu sterowania rowerem elektrycznym

## 2. Moduł komunikacyjny

Sercem systemu jest moduł komunikacyjny, pełniący rolę układu zbierającego informacje o stanie urządzeń i czujników oraz wysyłającego polecenia do pozostałych elementów układu. Moduł komunikacyjny jest systemem mikroprocesorowym wyposażonym w magistralę CAN, moduł komunikacji bezprzewodowej Bluetooth, moduł GPRS z funkcją telefonowania i wysyłania wiadomości SMS, moduł GPS oraz zestaw akcelerometrów. Każde z urządzeń pełni swoje funkcje w powiązaniu z pozostałymi. Rola oprogramowania, zawartego w systemie mikroprocesorowym modułu komunikacyjnego polega głównie na rozdzielaniu strumieni danych pomiędzy elementy systemu. Innym ważnym zadaniem oprogramowania modułu komunikacyjnego jest realizacja funkcji załączania i wyłączania określonych modułów w celu ograniczenia poboru prądu, które nabiera szczególnego znaczenia w stanach spoczynku, trwających niekiedy kilka tygodni. Najważniejszym „partnerem” dla modułu komunikacyjnego jest urządzenie mobilne (smartfon) ze specjalną aplikacją pozwalającą na pełnienie przez nie interfejsu użytkownika w czasie jazdy oraz urządzenia komunikującego się z rowerem na odległość w stanie odstawienia roweru lub w przypadku kradzieży.



Fot. 1. Moduł komunikacyjny sterownika rowerowego napędu elektrycznego

## 3. Aplikacja mobilna

Wymiana danych pomiędzy modułem komunikacyjnym sterownika rowerowego, a urządzeniem z oprogramowaniem Android, odbywa się przy wykorzystaniu technologii Bluetooth. Urządzenie wyposażone w system Android łączy się z modułem komunikacyjnym sterow-

nika rowerowego przy użyciu układu BM78 firmy Microchip. Komunikacja odbywa się poprzez profil SPP (z ang. Serial Port Profile). Urządzenie z oprogramowaniem Android odgrywa rolę urządzenia typu Master, natomiast moduł komunikacyjny urządzenia typu Slave. Do celów implementacji wymiany danych posłużono się komendami w formacie AT. Składnie przykładowych komend prezentuje tabela 1.

Tabela 1. Składnia komend komunikacyjnych

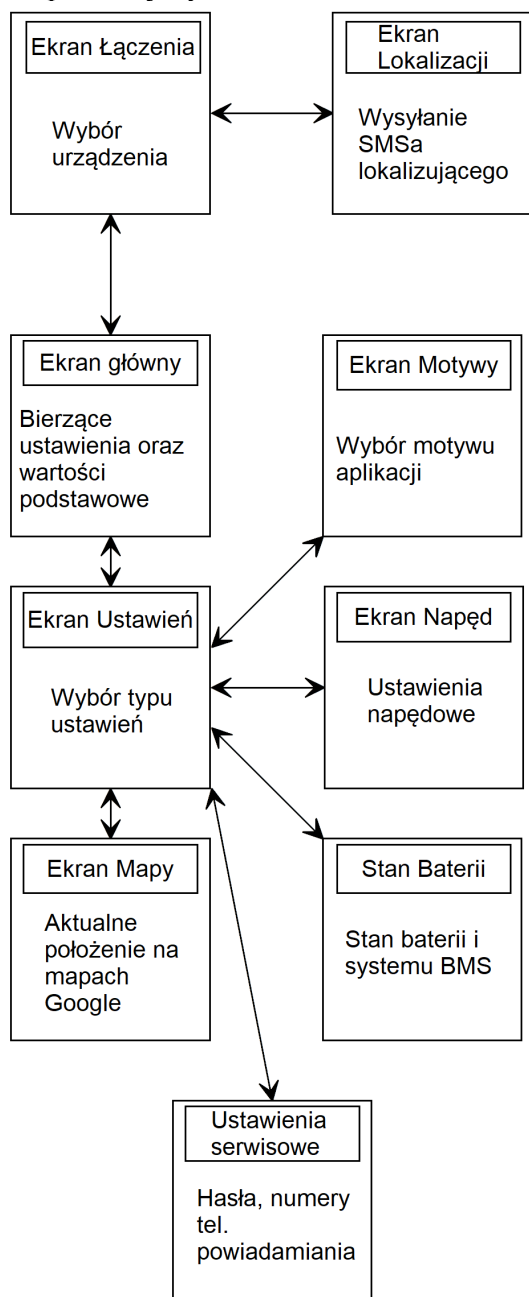
Komenda pytająca	
Master	Slave
AT+<PARAM>?	<p><b>Komenda poprawna:</b> AT+&lt;PARAM&gt;=a,b.. gdzie: &lt;PARAM&gt; - przedrostek definiujący konkretną grupę parametrów, a,b.. - kolejne parametry.</p> <p><b>Komenda niepoprawna:</b> AT+ERR=x gdzie: x - numer błędu.</p>
Komenda przypisująca	
Master	Slave
AT+<PARAM>=a,b...	<p><b>Komenda poprawna:</b> AT+OK</p> <p><b>Komenda niepoprawna:</b> AT+ERR=x gdzie: x - numer błędu.</p>

Aplikacja składa się łącznie z 9 aktywności. Każda aktywność to oddzielny ekran wyświetlany na urządzeniu z systemem Android. Zgodnie z nomenklaturą tworzenia oprogramowania na ten system, każdemu ekranowi dedykowana jest osobna klasa (plik z rozszerzeniem java) zawierająca implementację funkcjonalności danego ekranu, a także osobny plik layoutu (plik z rozszerzeniem xml) odpowiadający za szatę graficzną danego ekranu. Dodatkowo na potrzeby projektu stworzono trzy tzw. proste klasy języka java implementujące funkcje:

- parsowania danych pochodzących z urządzenia typu slave (z modułu komunikacyjnego),

- zarządzania wewnętrznym magazynem zasobów zdefiniowanych zmiennych wymienianych pomiędzy poszczególnymi aktywnościami,
- zarządzania maszyną stanu odpowiedzialną za utrzymywanie cyklu komunikacyjnego z urządzeniem slave.

Przejścia pomiędzy kolejnymi ekranami aplikacji oraz funkcjonalności poszczególnych ekranów prezentuje rysunek 1.



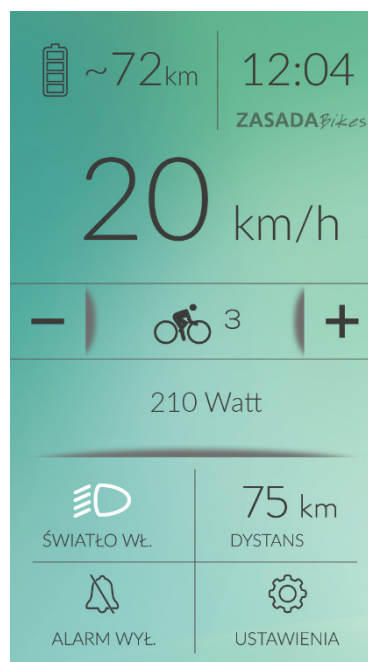
Rys. 2. Schemat blokowy poszczególnych ekranów aplikacji z opisem funkcjonalności

### 3.1. Ekran główny oraz ustawień aplikacji

Ekran główny aplikacji służy do wyświetlania bieżących ustawień i parametrów. Zapewnia także interakcje między użytkownikiem a rowerem. Do jego funkcjonalności należą:

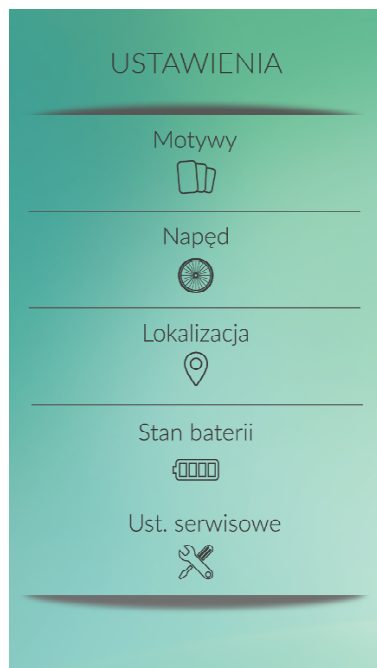
- ustawianie aktualnego poziomu wspomagania,
- włączanie oświetlenia roweru,
- aktywacja systemu alarmowego,
- wyświetlanie aktualnych parametrów:
  - prędkości,
  - mocy chwilowej,
  - liczników dystansu oraz dystansu całkowitego,
  - stanu naładowania baterii,
  - prognozowanego zasięgu,
  - aktualnej godziny.
- przycisk umożliwiający przejście do menu ustawień.

Wygląd ekranu głównego dla motywu standardowego przedstawia fotografia 2.



Fot. 2. Ekran główny aplikacji dla motywu standardowego

Ekran ustawień stanowi pomost pomiędzy ekranem głównym a poszczególnymi grupami ustawień i informacji. Wygląd ekranu ustawień prezentuje fotografia 3.



Fot. 3. Ekran ustawień aplikacji dla motywu standardowego

### 3.2. Personalizacja ustawień napędowych

W celu udostępnienia użytkownikowi możliwości personalizacji ustawień napędowych roweru, stworzono specjalny ekran umożliwiający ingerencje w wybrane aspekty ustawień modułu wykonawczego. Do dyspozycji osoby posiadającej aplikację należą następujące funkcjonalności:

- czułość napędu – wartość odpowiadająca za szybkość reakcji załączenia układu wspomagania elektrycznego na naciśnięcie przez użytkownika pedałów roweru. Dostępne są trzy poziomy czułości napędu,
- szybkość w trybie pieszym – wartość odpowiadająca za maksymalną szybkość jaką osiągnie rower w trybie pieszym. Użytkownik ma do wyboru trzy wartości,
- przyspieszenie - wartość odpowiadająca za szybkość narastania sygnału sterującego prędkością obrotową rowerowego napędu elektrycznego w trybie normalnej pracy, w której napęd wspomaga elektrycznie użytkownika w czasie jazdy. Użytkownik ma do wyboru trzy wartości,
- tryb czujnika korby – wartość decydująca o typie sygnału załączającego wspomaganie elektryczne. Wartość speedsensor odpowiada za sprzężenie prędkościowe, wartość torquesensor odpowiada za sprzężenie momentowe. W trybie pracy torquesensor

ustawienia czułość napędu oraz przyspieszenie są bez znaczenia, dlatego też aplikacja blokuje ich zmianę w tym trybie pracy urządzenia wykonawczego.

Ekran ustawień napędowych zaprezentowano na fotografii 4.



Fot. 4. Ekran ustawień napędowych aplikacji mobilnej

### 3.3. Blokada antykradzieżowa oraz lokalizacja roweru za pomocą GPS

System antykradzieżowy, po włączeniu jego funkcjonalności przez użytkownika, może zostać wyzwolony na trzy sposoby:

- poprzez wbudowany w układ komunikacyjny akcelerometr. Ten typ blokady chroni rower przed wyrwaniem ze stojaka i reaguje na nagły przyrost przyspieszenia świadczącego o dynamicznych zmianach położenia roweru,
- poprzez wbudowany w układ komunikacyjny, moduł GPS. Ten typ blokady czuwa, aby rower nie opuścił zadanej strefy położenia o określonym promieniu,
- poprzez rozwarcie styku zabezpieczającego wybrane podzespoły roweru.

W momencie wyzwolenia alarmu antykradzieżowego, wysyłany jest sms zawierający aktualną pozycję roweru oraz wykonywane jest połączenie z numerem telefonu zapamiętanym w pamięci nieulotnej układu komunikacyjnego. Ponadto rower wyposażony jest w syrenę alarmową, której dźwięk towarzyszy wywołaniu alarmu.

Poza standardowymi funkcjami alarmowymi, użytkownik ma również do wyboru tryb lokalizacji roweru w dowolnej chwili. W tym celu z poziomu aplikacji wysyłany jest SMS zapytujący o aktualną pozycję. W odpowiedzi zwarty jest link do map google zawierający położenie roweru.

### 3.4. Stan baterii oraz ustawienia serwisowe

Ekran stan baterii pozwala na podgląd wewnętrznych informacji systemu BMS. Do tej grupy należą:

- ilość cykli ładowania,
- napięcie na zaciskach baterii,
- szacowany poziom energii,
- czas od ostatniego ładowania,
- nr. seryjny baterii,
- napięcie na poszczególnych celkach.

Ekran ustawienia serwisowe pozwala na:

- zmianę numeru modułu komunikacyjnego,
- zmianę nazwy urządzenia bluetooth,
- zmianę hasła parowania modułu bluetooth,
- ustawienia czułości akcelerometru służącego do wykrywania próby kradzieży.

## 4. Podsumowanie

Nowe, niespotykane dotąd w rowerach funkcje stanowią propozycję dla użytkowników ceniących sobie oryginalność. Ciekawymi pomysłami są: możliwość kształtowania charakterystyki wspomaganie w zależności od indywidualnych potrzeb, możliwość zmiany parametrów jazdy w stanach wyczerpania baterii i uzyskanie dzięki temu większego zasięgu kosztem dynamiki czy uzyskanie długotrwałych korzyści wynikających z możliwości stosowania ustawień pozwalających na przedłużenie żywotności baterii. Prezentowany sterownik wprowadza również kilka rozwiązań zapewniających możliwość ochrony przed kradzieżą lub ułatwiających odnalezienie roweru w przypadku jej zaistnienia. Wszystkie te funkcje dają szansę na zainteresowanie produktem osób aktywnych, coraz częściej wymagających od swoich urządzeń kontaktu on-line. Autorzy projektu mają również nadzieję, że poprzez indywidualną zdolność kształtowania zachowania układu napędowego, zmieni się sposób postrzegania pojazdów rowerowych z napędem elektrycznym. Dzięki „interakcji” z systemem rowerowym użytkownik może w ruchu, na świeżym powietrzu zaspokajać potrzebę dokonywania eksperymentów czy badania możliwości granicznych,

tak bardzo charakterystyczną dla gier komputerowych o charakterze strategicznym.

Projekt badawczo-rozwojowy „Opracowanie i wdrożenie innowacyjnego sterownika dla poprawienia obecnych funkcji użytkowych oraz uzyskania nowych cech i funkcjonalności roweru ze wspomaganie elektrycznym napędu” realizowany dla Biura Ekonomiczno-Handlowego Jan Zasada. Źródło finansowania: Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, współfinansowana z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Podziałania 2.3.2 Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój „Bony na innowacje dla MŚP”. Okres realizacji 01.05.2017 – 1.04.2018.

## 5. Bibliografia

- [1]. Adamczyk D., Michna M., *Przegląd i analiza układów napędowych stosowanych w rowerach elektrycznych*, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe Nr 88/2010 (114), Komel Katowice 2010.
- [2]. Dukalski P., *Silnik BLDC z magnesami trwałymi, jako napęd wózka inwalidzkiego*, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe Nr 86/2010, Komel Katowice 2010.
- [3]. Domaracki A., Krykowski K., *Silniki BLDC - klasyczne metody sterowania*. Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe Nr 72/2005, Komel Katowice 2005.
- [4]. Hetmańczyk J., Krykowski K., *Badania symulacyjne i laboratoryjne silnika PM BLDC wykorzystującego czujniki położenia wirnika w obwodzie regulacji prędkości*. Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe Nr 72/2005, Komel Katowice 2005.
- [5]. Łebowski A., *Badania eksploatacyjne elektrycznego układu napędowego motocykla*, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe Nr 2/2016 (110), Komel Katowice 2016.
- [6]. Nowak R., *Wybrane algorytmy sterowania silnikami z magnesami trwałymi*, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe Nr 2/2017(114), Komel Katowice 2017.
- [7]. Rudnicki T., Czerwiński R., Fręchowicz A., *Układy sterowania silnikiem PMSM*, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe Nr 90/2011, Komel Katowice 2011.
- [8]. Tatar K., Chudzik P., *Algorytmy sterowania rowerowych napędów elektrycznych*, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe Nr 2/2017(114), Komel Katowice 2017.

**Autorzy**

mgr inż. Karol Tatar



dr inż. Piotr Chudzik



dr inż. Rafał Nowak



mgr inż. Grzegorz Lisowski

Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki  
Elektroniki Informatyki i Automatyki, Instytut  
Automatyki, Zakład Techniki Sterowania.  
ul. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź  
e-mail:  
karol.tatar@p.lodz.pl  
piotr.chudzik@p.lodz.pl  
rafal.nowak@p.lodz.pl  
grzegorz.lisowski@p.lodz.pl