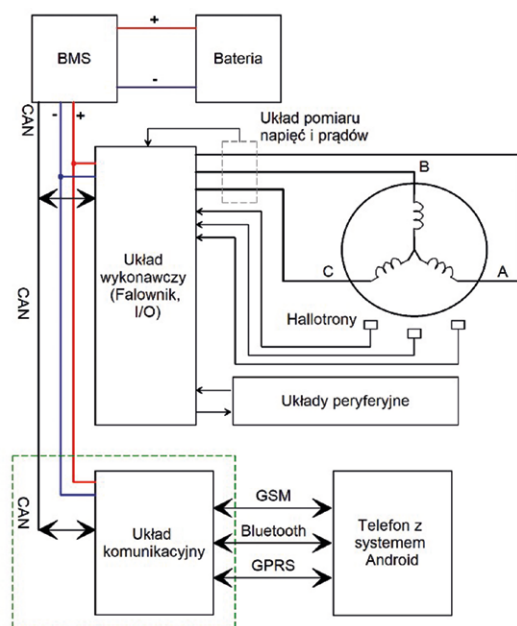


Projekt wielomodułowego sterownika elektrycznego napędu rowerowego – moduł komunikacyjny

Karol Tatar, Piotr Chudzik, Rafał Nowak, Grzegorz Lisowski

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 „wewnętrzzną” 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

Streszczenie: W artykule przedstawiono koncepcję oraz prototyp 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 urządzenia mobilne, stanowiącą interfejs użytkownika zdolny do personalizacji ustawień napędowych pod kątem potrzeb konkretnego użytkownika.

Słowa kluczowe: silniki PMSM, silniki BLDC, algorytmy sterowania napędami elektrycznymi

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

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.

Keywords: PMSM drive, BLDC drive, e-bike, electrical drive control algorithm

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 wyłączenia 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 modulem komunikacyjnym sterownika rowerowego a urządzeniem z oprogramowaniem Android odbywa się przy wykorzystaniu technologii Bluetooth. Urządzenie wyposażone w system Android łączy się z modulem komunikacyjnym sterownika rowerowego przy użyciu układu BM78 firmy Microchip. Komunikacja odbywa się poprzez profil SPP (z ang. *Serial Port Profile*). Urządzenie z oprogramowaniem Android spełnia funkcję 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.

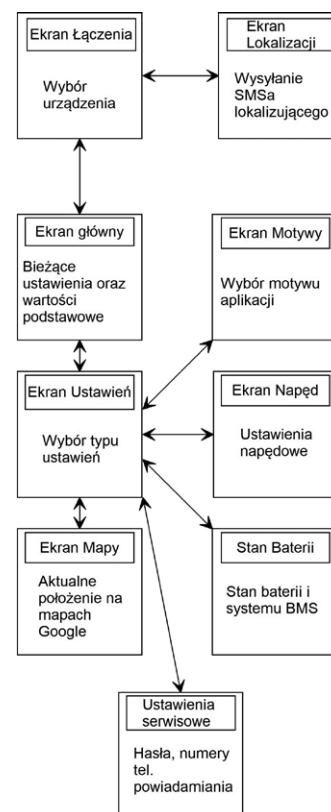
Tabela 1. Składnia komend komunikacyjnych

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

Przebiegi pomiędzy kolejnymi ekranami aplikacji oraz funkcjonalności poszczególnych ekranów prezentuje rysunek 2.



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.

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

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;
- prędkość jazdy w trybie pieszym – wartość odpowiadająca za maksymalną szybkość, jaką osiągnie rower w trybie pieszym. Użytkownik ma do wyboru trzy wartości;
- przyśpieszenie – 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 przyśpieszenie są bez znaczenia, dlatego też aplikacja blokuje ich zmianę w tym trybie pracy urządzenia wykonawczego.

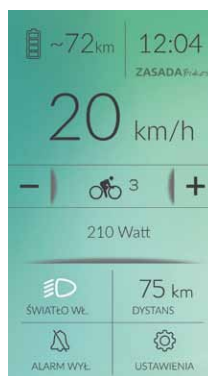
Ekran ustawień napędowych zaprezentowano na fotografii 4.

3.3. Blokada antykradzieżowa oraz lokalizacja roweru za pomocą GPS

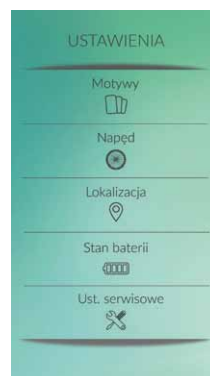
System antykradzieżowy, po włączeniu jego funkcjonalności przez użytkownika, może zostać wyzwolony na trzy sposoby:

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

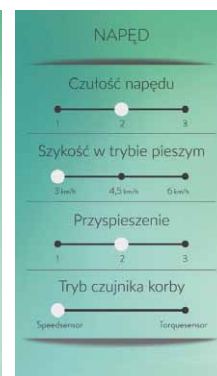
W momencie wyzwolenia alarmu antykradzieżowego wysyłany jest SMS zawierający aktualną pozycję roweru oraz wykonywane jest połączenie z numerem telefonu zapamiętanym



Fot. 2. Ekran główny aplikacji dla motywu standardowego



Fot. 3. Ekran ustawień aplikacji dla motywu standardowego



Fot. 4. Ekran ustawień napędowych aplikacji mobilnej

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 zawarty 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:

- liczba 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 online.

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 napędem” 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.

Literatura

- [1] ADAMCZYK D., MICHNA M.: *Przegląd i analiza układów napędowych stosowanych w rowerach elektrycznych*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne” 88(114)/2010.
- [2] DUKALSKI P.: *Silnik BLDC z magnesami trwałymi jako napęd wózka inwalidzkiego*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne” 86/2010.
- [3] DOMARACKI A., KRYKOWSKI K.: *Silniki BLDC – klasyczne metody sterowania*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne” 72/2005.
- [4] HETMAŃCZYK J., KRYKOWSKI K.: *Badania symulacyjne i laboratoryjne silnika PM BLDC wykorzystującego czujniki położenia wirnika w obwodzie regulacji prędkości*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne” 72/2005.
- [5] ŁEBOWSKI A.: *Badania eksploatacyjne elektrycznego układu napędowego motocykla*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne” 2(110)/2016.
- [6] NOWAK R.: *Wybrane algorytmy sterowania silnikami z magnesami trwałymi*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne” 2(114)/2017.
- [7] RUDNICKI T., CZERWIŃSKI R., FRĘCHOWICZ A.: *Układy sterowania silnikiem PMSM*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne” 90/2011.
- [8] TATAR K., CHUDZIK P.: *Algorytmy sterowania rowerowych napędów elektrycznych*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne” 2(114)/2017.



mgr inż. Karol Tatar, e-mail: karol.tatar@p.lodz.pl

dr inż. Piotr Chudzik, e-mail: piotr.chudzik@p.lodz.pl

dr inż. Rafał Nowak, e-mail: rafal.nowak@p.lodz.pl

mgr inż. Grzegorz Lisowski, e-mail: grzegorz.lisowski@p.lodz.pl

Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki,

Informatyki i Automatyki, Instytut Automatyki,

Zakład Techniki Sterowania.

artykuł recenzowany