

Współpracownik Elektroniki Praktycznej laureatem konkursu EBV STM32 Design Contest



Pod koniec listopada 2011 ogłoszono wyniki konkursu „STM32 Design Contest” na aplikację wykorzystującą mikrokontroler STMicroelectronics STM32 z rdzeniem ARM Cortex-M3. Spośród wszystkich prac nadesłanych do konkursu wyłonione zostały trzy, najwyżej ocenione przez jury. Miło nam ogłosić, że drugie miejsce w konkursie zajął Szymon Panecki, absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Wrocławskiej, współpracownik miesięcznika Elektronika Praktyczna.

Konkurs został ogłoszony rok temu przez europejskiego dystrybutora produktów STMicroelectronics – firmę EBV Elektronik. Po zarejestrowaniu się w konkursie uczestnicy mogli otrzymać nieodpłatnie zestaw rozwojowy STM32VLDISCOVERY, który mógł zostać użyty do stworzenia aplikacji konkursowej. Reguły konkursu dawały konstruktorom duże pole do popisu, bowiem jedynym ograniczeniem prac konkursowych była konieczność zastosowania mikrokontrolera z rodziny STM32F. O reszcie decydowały umiejętności i wyobraźnia uczestników.

Konkurs cieszył się dużą popularnością, czego dowodzi duża liczba zarejestrowanych zgłoszeń oraz ponad 300 aplikacji, które zostały finalnie zgłoszone do oceny jury. Projekt, który zajął drugie miejsce w konkursie nosi tytuł „Mobile platform for remote weather measurements”. Celem projektu było wykonanie mobilnej platformy (zdalnie sterowanego pojazdu) umożliwiającej dokonywanie na odległość pomiarów meteorologicznych.

Zdalnie sterowana mobilna platforma wykonująca pomiary środowiskowe (2)

Poprzednio opublikowaliśmy artykuł nt. części sterującej oraz założeń projektowych. Kontynuujemy opis tego bardzo interesującego projektu konkursowego. W części drugiej (i ostatniej) zostanie zaprezentowany moduł napędowy pojazdu oraz jego konstrukcja mechaniczna.



Dodatkowe materiały na CD/FTP:

<ftp://ep.com.pl>, user: 18453, pass: 5eyp1854
• pierwsza część artykułu

Autor dziękuje firmie Faulhaber w osobie Pana Mario Zecchina za pomoc w realizacji projektu poprzez bezpłatne dostarczenie silników będących napędem pojazdu.

Moduł pojazdu

Moduł pojazdu to urządzenie, które zgodnie z wolą operatora przemieszcza za pomocą mobilnej konstrukcji nośnej, dokonuje pomiarów parametrów środowiska i przesyła je do modułu sterującego, gdzie wyniki są wizualizowane. Urządzenie o takiej funkcjonalności wymaga następujących komponentów: modułu komunikacji radiowej zapewniającego bezprzewodowe przesyłanie informacji, interfejsu USB do komunikacji z komputerem, źródła zasilania, obwodu zasilania, mikrokontrolera, czujników, układów sterujących napędem oraz pamięci nieulotnej.

Dla uproszczenia konstrukcji modułu pojazdu wykorzystano możliwie dużo tych samych komponentów, które użyte zostały w module sterującym. Należą do nich: mikrokontroler STM32F103RBT6, nadajnik-odbiorca radiowy NRF2401 (moduł TLX2401), układ do komunikacji USB FT232 oraz stabilizator napięcia LM1086IT33.

Pierwszą grupą nowych komponentów są czujniki. Do pomiaru wilgotności i temperatury wykorzystano czujnik Sensirion SHT11. Czujnik składa się z dwóch pomiarowych struktur sensorowych (oddzielnie do pomiaru wilgotności i temperatury) przekształcających mierzoną wartość na analogowy sygnał elektryczny, wzmacniacza, przetwornika analogowo-cyfrowego, pamięci ze współczynnikami korekcyjnymi oraz modułu umożliwiającego cyfrową komunikację czujnika ze światem zewnętrznym. Fizyczna aplikacja czujnika jest bardzo prosta i wymaga tylko jednego elementu zewnętrznego – rezystora „podciągającego” na linii danych. Odczyt danych z czujnika odbywa się przy pomocy zaimplementowanego w nim protokołu transmisyjnego. Zewnętrzny układ sterujący przesyła do czujnika ramkę składającą się z sekwencji inicjującej transmisję, adresu czujnika, rodzaju parametru do odczytu (wilgotność lub temperatura). Czujnik po-

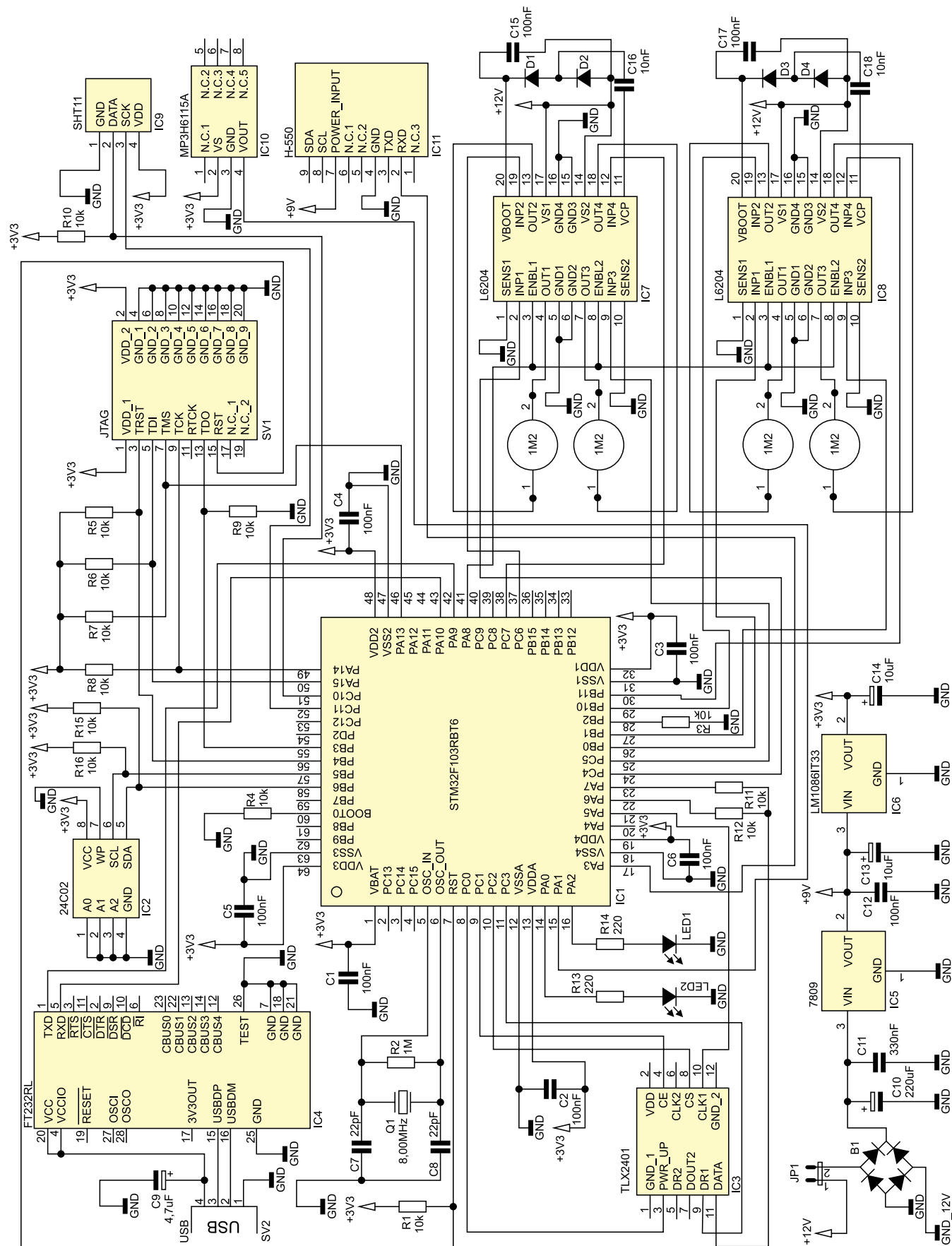
twierdza poprawne przyjęcie danych i przystępuje do realizacji żądanego pomiaru (czas trwania od 20 ms do 320 ms w zależności od ustawionej rozdzielczości czujnika). Po wykonaniu pomiaru dane w postaci cyfrowej są odsyłane układowi sterującemu i przeliczane według wzoru na wartość temperatury lub wilgotności. Ponadto opcjonalnie przesłana może zostać suma kontrolna umożliwiająca weryfikację poprawności odebranych z czujnika danych. Największymi zaletami produktu firmy Sensirion są wysoka rozdzielczość pomiaru (8 lub 12 bitów dla temperatury i 12 lub 14 bitów dla wilgotności), dokładność (temperatura: +0.4°C, wilgotność: +3%), małe gabaryty (7.47 mm×4.93 mm), niski pobór prądu (maksymalnie 1 mA podczas wykonywania pomiaru) oraz szeroki zakres napięcia zasilania (2,4...5,5 V).

Kolejnym czujnikiem wykorzystanym w module pojazdu jest czujnik MP3H6115A firmy Freescale. Umożliwia on dokonywanie

pomiaru ciśnienia atmosferycznego. Pomiar wykonywany jest przez czujnik w sposób ciągły. Zmierzona wartość (z dopuszczalnego przedziału 15 kPa – 115 kPa) konwertowana jest na postać napięcia zgodnie liniową

zależnością między ciśnieniem a napięciem wyjściowym. Napięcie wyjściowe może przyjąć wartość z zakresu 0,12...2,8 V, dzięki czemu może zostać odczytane bezpośrednio przez przetwornik A/C mikrokontrolera

i przetworzone na wartość ciśnienia atmosferycznego. Czujnik MP3H6115A jest dostosowany do pracy w warunkach zasilania napięciem mieszczącym się między 2,7...3,3 V pobierając nie więcej niż 8 mA.



Rysunek 7. Schemat elektryczny modułu pojazdu

Ostatnią z wartości przewidzianych do mierzenia przez urządzenie modułu pojazdu jest stężenie dwutlenku węgla (CO₂). Do pomiaru tego parametru wykorzystano czujnik H-550 firmy ELT. Czujnik ten wyróżnia się długą żywotnością, krótkim czasem rozruchu, wysoką selektywnością mierzonego gazu i brakiem podatności na inne związki chemiczne. Zalety te są wynikiem przede wszystkim wykorzystania przez czujnik zaawansowanej technologii pomiaru stężenia gazów zwanej w skrócie NDIR (*Nondispersive infrared*), która korzysta ze zjawiska absorpcji przez gazy promieniowania z zakresu podczerwieni. Technika pomiarowa polega na emitowaniu przez źródło światła fal o długości 4.3 μm, które docierają do detektora przez tubę zawierającą powietrze z otoczenia zewnętrznego czujnika. W zależności od stężenia dwutlenku węgla w powietrzu proporcjonalna ilość wyemitowanych fal zostaje pochłonięta przez gaz. Pozostała ich część dociera do detektora. Cały proces analizy spektralnej powietrza i odczyt na jej podstawie stężenia dwutlenku węgla wymaga wyspecjalizowanej aparatury pomiarowej. Z tego względu czujnik H-550 został wyposażony w służącą do tych zadań optykę, mechanikę i elektronikę. Dzięki temu odczyt pomiarów z czujnika jest bardzo prosty i sprowadza się do odbioru co trzy sekundy przez interfejs UART sekwencji znaków ASCII, która zawiera poziom dwutlenku węgla w jednostce PPM (*Parts Per Million*). Alternatywną metodą odczytu pomiarów jest interfejs zgodny z protokołem I²C. Czujnik wymaga napięcia zasilania o wartości między 9 V i 18 V i pobiera prąd 50 mA + 320 mA (co 3 sekundy przez 10 ms).

Kolejnym użytym w urządzeniu układem jest pamięć nieulotna, która umożliwia zapisanie i przechowanie przez długi czas pewnej liczby wykonanych pomiarów. Do tego zadania wykorzystano układ 24C02 firmy Atmel. Jest to pamięć typu EEPROM o pojemności 2 kB z dostępem za pomocą interfejsu I²C. Układ pracuje w warunkach zasilania napięciem od 1,8...5.5 V.

Ostatnim blokiem funkcjonalnym modułu pojazdu jest blok sterowania napędem. Jako napęd pojazdu wykorzystano cztery silniki prądu stałego o nominalnej wartości napięcia zasilania 12 V. Popularnym rozwiązaniem umożliwiającym sterowanie napędami opartymi na silnikach prądu stałego są tak zwane mostki H. Pojedynczy mostek H to obwód składający się z czterech tranzystorów, których sterowanie umożliwia zmianę kierunku prądu płynącego przez silnik, co wymusza zmianę kierunku obrotu silnika. Mostki H mogą być budowane z elementów dyskretnych, ale są również dostępne w formie zintegrowanych układów scalonych. Do sterowania napędem pojazdu wykorzysta-

no drugie rozwiązanie w postaci układów L6204 firmy STMicroelectronics.

Uwzględniając zakresy dozwolonego napięcia zasilania wszystkich komponentów składających się na urządzenie modułu pojazdu, blok zasilania musi wygenerować trzy napięcia zasilające: 12 V dla silników tworzących napęd pojazdu, 9 V dla czujnika CO₂ oraz 3,3 V dla pozostałych komponentów. Z tego względu zdecydowano się na zastosowanie akumulatora o napięciu 12 V będącego bezpośrednim źródłem napięcia zasilania silników oraz dwóch stabilizatorów napięcia – pierwszego o napięciu wyjściowym 9 V (układ 7809) oraz drugiego o napięciu wyjściowym 3,3 V (LM1086IT33).

Na **rysunku 7** przedstawiono schemat elektryczny modułu sterującego. Zawiera on wszystkie wymienione wyżej komponenty elektroniczne, które zostały ze sobą połączone.

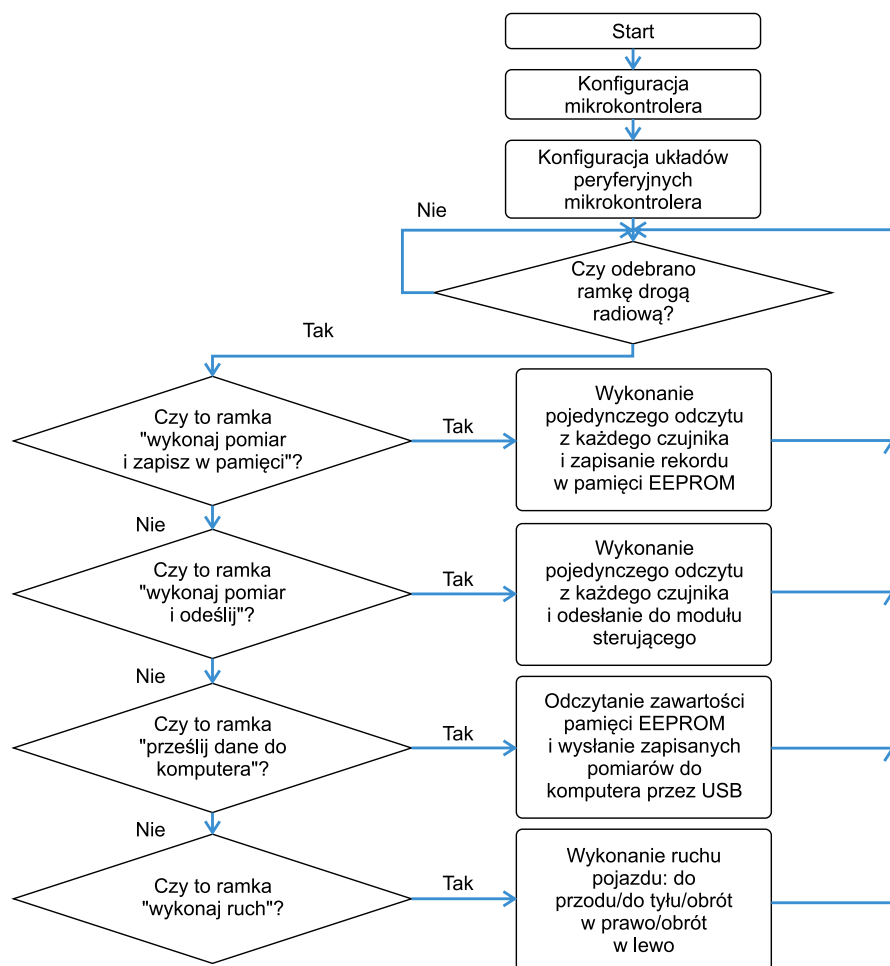
Schemat aplikacyjny mikrokontrolera STM32F103RBT6, transceivera radiowego TLX2401 oraz układu komunikacji USB FT232RL jest taki sam jak w przypadku modułu sterującego, dlatego ich opis zostanie pominięty i omówiony zostanie tylko sposób implementacji sprzętowej nowych komponentów.

Pierwszym z nich jest czujnik Sensirion SHT11. Zgodnie z dokumentacją producenta w celu zapewnienia poprawnej komunikacji

między mikrokontrolerem a czujnikiem niezbędne jest dołączenie do linii danych DATA opornika 10 k (R10) w konfiguracji *pull-up*, co ustala na linii stan wysoki. Linia danych czujnika została połączona z wyprowadzeniem PC10, a linia zegarowa (SCK) z wyprowadzeniem PC11 układu STM32F103RBT6.

Kolejne dwa czujniki (MP3H6115A oraz H-550) nie wymagają do poprawnej pracy żadnych dodatkowych komponentów zewnętrznych. Dodatkowo do odczytania z nich danych wystarczy wykorzystać po jednym wyprowadzeniu mikrokontrolera. W przypadku czujnika MP3H6115A jest to nóżka PA1, która pracuje jako jeden z kanałów przetwornika A/C odczytując napięcie wyjściowe czujnika (z wyprowadzenia VOUT) i przetwarzając je do postaci cyfrowej. Z kolei w przypadku czujnika H-550 wykorzystano wyprowadzenie PA3, które realizuje odbiór danych w standardzie UART i odbiera dane z nóżki RXD czujnika.

Następnym układem obecnym na schemacie elektrycznym modułu pojazdu jest pamięć EEPROM 24C02. Układ ten komunikuje się mikrokontrolerem poprzez interfejs I²C, dlatego do obu linii sygnałowych pamięci (zegarowej SCL i danych SDA) konieczne jest dołączenie rezystorów „podciągających” 10 k (R15, R16). Linie sygnałowe zostały dołączone do wyprowadzeń PB5 i PB6 mikro-



Rysunek 8. Schemat blokowy programu modułu pojazdu

kontrolera STM32F103RBT6 mogących korzystać ze sprzętowego wsparcia dla komunikacji I²C. Jako, że pamięć 24C02 jest jedynym układem podłączonym do magistrali I²C, nie jest konieczne korzystanie z dodatkowych bitów adresu układu, dlatego linie adresowe A0, A1 i A2 zostały połączone do masy.

Pojedynczy układ L6204 integruje w sobie dwa mostki H, zatem do realizacji napędu zbudowanego z czterech silników prądu stałego konieczne jest wykorzystanie dwóch takich układów (IC7, IC8). Schemat aplikacyjny układu L6204 został zaprojektowany zgodnie z dokumentacją techniczną producenta. Schemat ten przewiduje dołączenie do układu dwóch diod (D1 i D2 dla IC7 oraz D3 i D4 dla IC8) oraz dwóch kondensatorów (C15 i C16 dla IC7 oraz C17 i C18 dla IC8) tak, jak pokazano na schemacie modułu pojazdu. Sterowane silniki umieszczone zostały między wyprowadzeniami OUT1 i OUT2 oraz OUT3 i OUT4. Sterowanie tranzystorami mostków H odbywa się poprzez ustalanie stanu logicznego '0' lub '1' na wejściach INP1, INP2, INP3 i INP4. Dla układu IC7 są to odpowiednio wyprowadzenia mikrokontrolera PC4, PC6, PC5 i PC7, a dla układu IC8 są to nóżki PB0, PB10, PB1 i PB11. Dodatkowo każdy mostek L6204 jest wyposażony w linie ENABLE (ENBL1 i ENBL2), które również biorą udział w sterowaniu pracą tranzystorów. Wszystkie linie ENABLE zarówno układu IC7 i IC8 zostały połączone do jednego wyprowadzenia mikrokontrolera – PA8. To rozwiązanie umożliwia zmianę prędkości obrotowej silników poprzez podawanie na tą linię sygnału PWM o określonym, sterowanym programowo wypełnieniu.

Ostatnim, nieomówionym dotąd fragmentem schematu elektrycznego jest blok zasilania. Źródłem napięcia zasilania jest akumulator 12 V. Poprzez zamknięcie zworki JP1 napięcie to zostaje doprowadzone do dwóch miejsc urządzeń. Pierwszym z nich są mostki H L6204, gdzie napięcie 12 V wykorzystywane jest do zasilania silników prądu stałego. Drugim miejscem jest obwód przetwarzania napięcia, który zasilą wszystkie pozostałe układy urządzenia. Pierwszym elementem tego obwodu jest mostek prostowniczy B1 zapobiegający uszkodzeniu urządzenia w przypadku podłączenia napięcia zasilania o odwrotnej polaryzacji. Za mostkiem znajdują się kondensatory filtrujące napięcie (C10, C11). Dalej napięcie jest przetwarzane do wartości 9 V poprzez regulator 7809. Napięcie to służy do zasilania czujnika dwutlenku węgla. Po kolejnym odfiltrowaniu przez kondensatory C12 i C13 napięcie ponownie jest obniżane – tym razem przez stabilizator LM1086IT33 do wartości 3,3 V.

Na **rysunku 8** przedstawiono działanie programu modułu pojazdu w postaci schematu blokowego.

Moduł pojazdu zostaje włączony poprzez zamknięcie zworki JP1. Proces jego konfigu-

racji jest analogiczny do modułu sterującego. Mikrokontroler włącza zegar HSE taktujący układ oraz zegary dla peryferii: portów GPIO, interfejsu SPI, I2C i UART oraz przetwornika A/C. Następnie skonfigurowane zostają używane wyprowadzenia układu: PA0...PA3, PA5...PA10, PB0, PB1, PB5, PB6, PB10, PB11, PC0...PC7. W dalszym etapie konfigurowane są peryferia. Po wykonaniu tej czynności mikrokontroler jest gotowy do pracy, zatem przystępuje do inicjalizacji układu komunikacji radiowej. Pozostałe układy nie wymagają konfiguracji. Dalsza praca mikrokontrolera polega na oczekiwaniu na przyjęcie ramek drogą radiową (wysłanych przez moduł sterujący) i reagowanie zgodnie ze znajdującymi się w nich danymi. Wyróżnić można siedem różnych ramek: nakazującą wykonanie odczytu pomiaru z każdego z czujników i zapisanie rekordu do pamięci, nakazującą wykonanie odczytu pomiaru z każdego z czujników i odesłanie ich do modułu sterującego, nakazującą odczytanie wszystkich danych z pamięci EEPROM i przesłanie ich do komputera przez układ FT232, nakazującą przemieszczenie pojazdu (w zależności od ramki może być to ruch do przodu, do

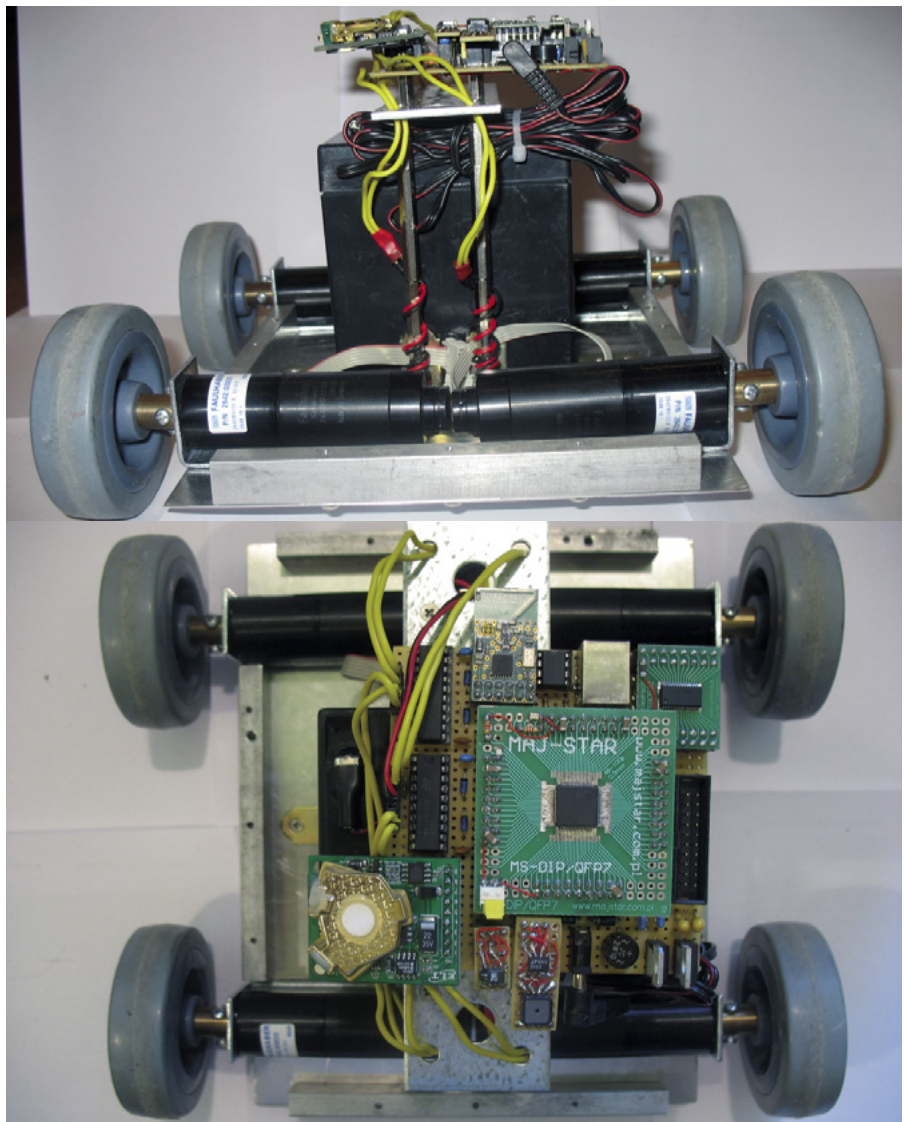
tyłu, obrót w lewo i obrót w prawo). Proces odbioru ramek radiowych i wykonywanie zwarowanych w nich komend odbywa się nieustannie, aż do wyłączenia napięcia zasilania.

Moduł mechanicznej platformy

Jednym z założeń przyświecających budowie robota była jego zdolność do przemieszczania się. Spełnienie tego założenia wymagało zbudowania odpowiedniej konstrukcji nośnej z napędem, co pozwoliłoby na ruch robota. Platforma mechaniczna zbudowana została z metalowej płyty, która wzmocniona została na krawędziach płaskownikami. Na każdym rogu płyty umieszczony został przy pomocy kątownika silnik prądu stałego Faulhaber 2642 z przekładnią planetarną i enkoderem. Na wał każdego silnika nałożona została ołowiana tuleja, na którą wsunięte zostało koło.

Na środku platformy umiejscowiono akumulator, aby równomiernie rozłożyć siły działające na każdy z silników. Nad akumulatorem przewidziano miejsce na moduł pojazdu (**fotografia 9**).

Szymon Panecki, EP



Fotografia 9. Widok robota z różnych perspektyw