

# Regulator prędkości obrotowej silników modelarskich

*Analogowe regulatory obrotów silników elektrycznych, zwłaszcza w zastosowaniach modelarskich, są już przeżytkiem. Są mało sprawne, ciężkie i wymagają dodatkowego chłodzenia. Regulator opisany w artykule rozwiązuje te problemy.*

**Rekomendacje:** polecamy modelarzom, którzy chcą unowocześnić swoje modele lub - budując nowe - chcą zaoszczędzić znaczne kwoty.

Kiedyś stosowano analogowe regulatory prędkości obrotowej silników modelarskich. Jednym z problemów przy ich stosowaniu była uciążliwa kalibracja i dostosowanie do posiadanej aparatury radiowej. Niektóre z tych regulatorów po prostu grzały się, dlatego trzeba było stosować duże, ciężkie radiatory. Gdy upowszechniły się małe mikrokontrolery zaczęto stosować regulatory mikroprocesorowe, a sterowanie prędkością obrotową silnika odbywa się za pomocą modulacji szerokości impulsów (PWM). Oferta rynkowa mikroprocesorowych regulatorów modelarskich jest bardzo szeroka, ale ich cena, jak dla początkujących modelarzy, jest wysoka. Dzięki tanim mikrokontrolerom możemy zbudować regulator modelarski nieustępujący parametrami urządzeniom fabrycznym.

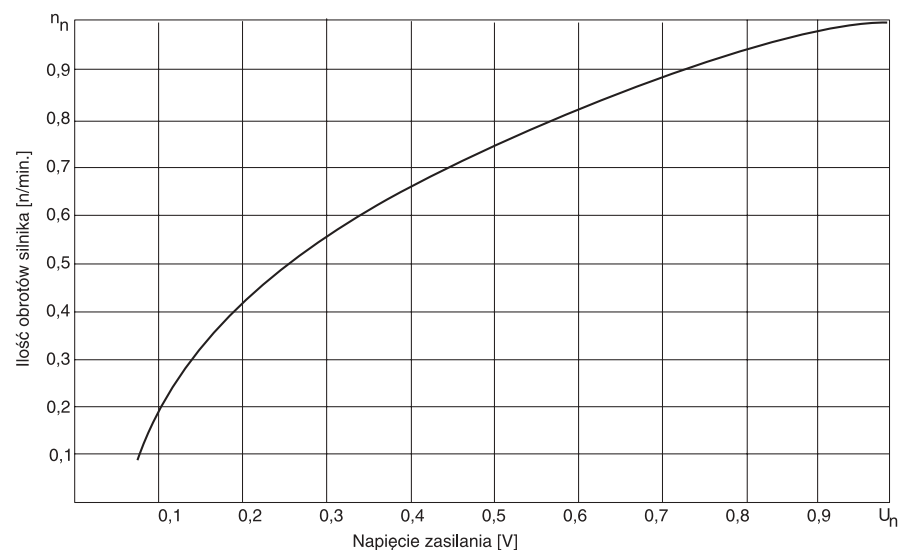
## Opis układu

Odbiornik radiowy odbiera i przetwarza sygnał z nadajnika i na jego wyjściach pojawiają się impulsy sterujące dla każdego

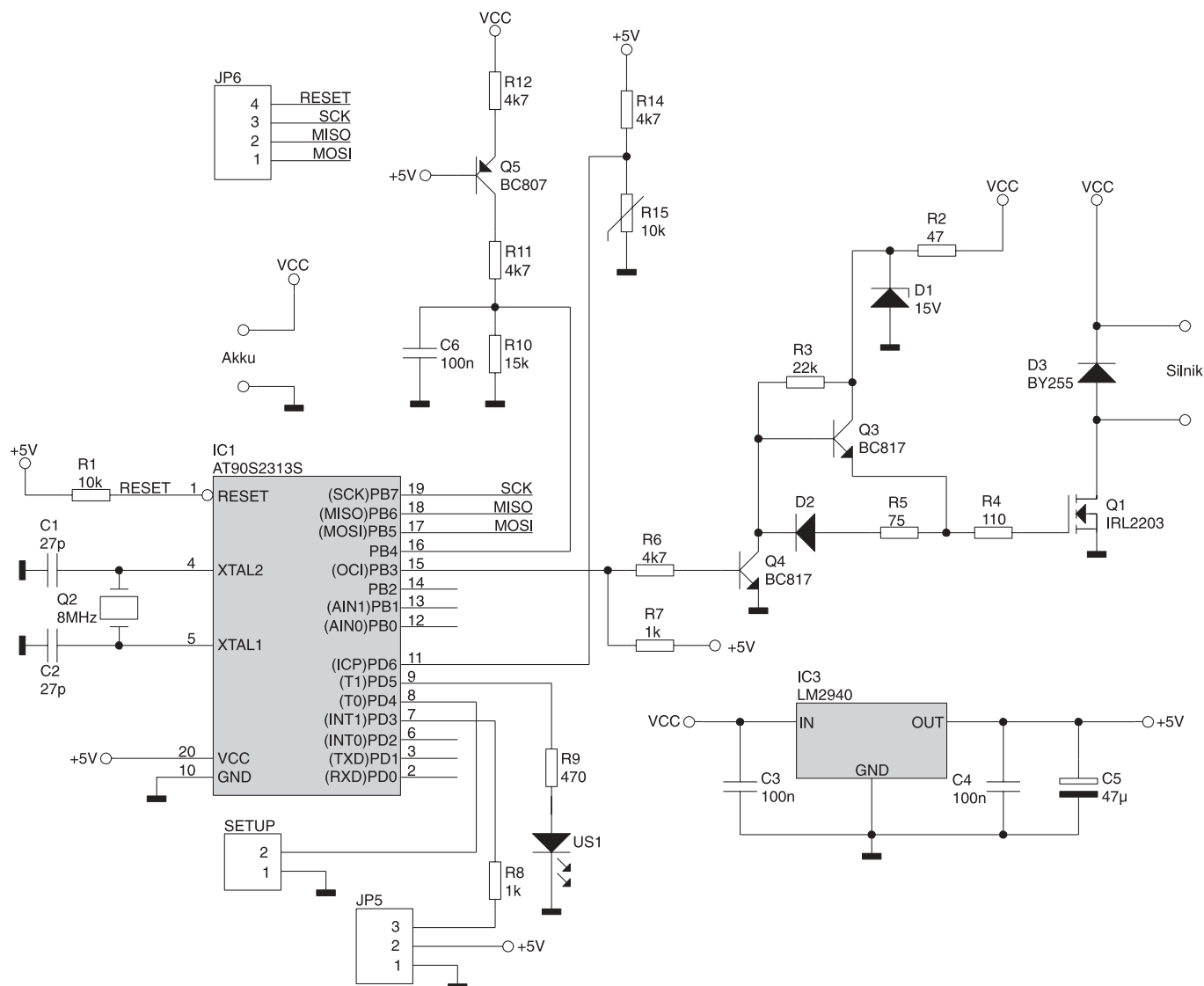
z kanałów. Czas trwania impulsu wynosi od 1 do 2 ms. Te wartości graniczne mogą się różnić nieznacznie dla aparatów różnych producentów.

Ponieważ zależy nam zazwyczaj na takim sterowaniu silnikiem, aby prędkość obrotowa była proporcjonalna do wychylenia drążka w nadajniku, konieczne jest zastosowanie regulacji nieliniowej. Zależność prędkości obrotowej typowego silnika prądu stałego od napięcia zasilania przedstawiono na **rys. 1**. Program mikrokontrolera uwzględnia taki kształt funkcji sterującej, aby silnik miał pewny start w dolnym zakresie sterowania. Przy małym napięciu zasilania silnik nie obraca się, a cała dostarczona do niego energia jest zamieniana w ciepło, co może doprowadzić do jego zniszczenia.

W regulatorze (**rys. 2**) zastosowano mikroprocesor, który przetwarza sygnał z odbiornika radiowego i na tej podstawie steruje prędkością silnika. W regulatorze zastosowano tani i popu-



Rys. 1. Zależność prędkości obrotowej silnika prądu stałego od napięcia zasilania



Rys. 2. Schemat elektryczny regulatora

larny mikrokontroler AT90S2313 firmy Atmel. Wybrano go ze względu na prostotę programowania oraz sporą dostępną pamięć programu - 2 kB pamięci Flash.

Zastosowany mikrokontroler nie ma przetwornika analogowo-cyfrowego, więc przy pomiarze temperatury regulatora wykorzystuje się fakt, że poziom napięcia akceptowalny dla jedynki logicznej na wejściu mikrokontrolera jest około 2,5 V. Termistor jest tak dobrany, aby przy temperaturze niższej od 90°C na wejściu PD6 procesora występował wysoki poziom napięcia. Poniżej 90°C odczytywane jest zero logiczne na tym wejściu.

Układ BEC służy do zasilania odbiornika radiowego z akumulatora zasilającego silnik. Odbiornik radiowy jest zasilany napięciem 5 V. Obciążenie zasilacza w modelu ma charakter impulsowy, dlatego stosuje się w regulatorach stabilizatory analogowe. W naszym przypadku jest to stabilizator

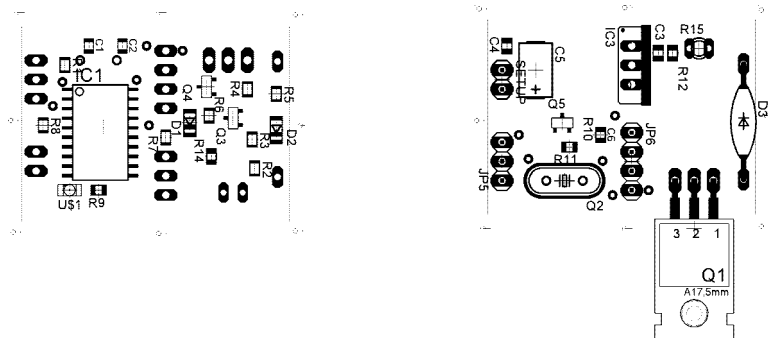
LM2940-5V o małym spadku napięcia i maksymalnym prądzie obciążenia 1 A. Do jego poprawnej pracy wystarczy napięcie wejściowe 5,5V.

Należy zauważyć, że przy zasilaniu z 9 ogniw, czyli przy napięciu 10,8 V i prądzie 1 A, straty mocy wynoszą aż 5,8 W! To właśnie w dobrze zaprojektowanych regulatorach grzeje się BEC, bo straty na tranzystorze mocy są niewielkie.

Regulator został tak zaprojektowany, aby przy napięciu zasilania poniżej 6,3 V wyłączał silnik napędowy. Osiągnięto to dzięki tranzystorowi krzemowemu Q5. Takie tranzystory aby przewodziły potrzebują około 0,6 V ponad napięcie bazy. Baza została dołączona do napięcia 5,0 V, a więc na emiterze jest napięcie 5,6 V.

### Regulator spełnia następujące założenia:

- maksymalny dopuszczalny prąd zasilania silnika: 15 A,
- dopuszczalna liczba ogniw akumulatora: 7...9 (8,4...10,8 V),
- BEC 1 A (zasilanie odbiornika i silnika z jednego akumulatora),
- wbudowana funkcja *auto cut-off* (wyłączenie silnika, gdy akumulatory są na wyczerpaniu),
- zabezpieczenie termiczne (kiedy temperatura regulatora osiągnie 90°C, silnik zostanie odłączony),
- nieliniowa charakterystyka napięcia zasilającego silnik,
- możliwość programowania parametrów regulatora,
- waga regulatora z okablowaniem 20 g.



Rys. 3. Schemat montażowy płytki drukowanej

Prąd płynący w tym obwodzie jest ustalony przez rezystor R12 i napięcie  $V_{CC}$ -5,6V. Ten sam prąd płynie przez rezystory R10 i R11 tak długo, dopóki potencjał kolektora jest niższy od potencjału bazy. Na R11 odłoży się napięcie 2,5V potrzebne do zmiany stanu logicznego wtedy, gdy na R12 będzie około 0,7V, a więc gdy napięcie zasilania  $V_{CC}$  będzie większe od 6,3V.

W stopniu mocy zastosowano tranzystor IRL2203 sterowany niskim poziomem napięcia. Ze względu na jego niski próg załączenia  $V_{GS(th)}=1$  V oraz na małą rezystancję w stanie załączenia  $R_{DS(ON)}=7$  m $\Omega$ , jest to idealny wybór do tego rodzaju zastosowań. Maksymalny prąd pracy tego tranzystora wynosi 80A. Testowano regulator bez radiatora dla prądów rzędu 10 A i tranzystor był ledwie ciepły. Ładowanie i rozładowywanie pojemności na bramce tranzystora odbywa się poprzez driver złożony z tranzystorów Q<sub>3</sub> i Q<sub>4</sub>. Prąd ładowania i rozładowywania pojemności dla napięcia zasilania 9 V wynosi 44 mA.

Warto jednak założyć mały radiator w celu odprowadzenia wydzielonego ciepła. W układzie prototypowym na tranzystor i stabilizator nałożone zostały podkładki z miki, a na to cienka blaszka aluminiowa i całość umieszczono w koszulce termokurczliwej

### Opis programu

Program regulatora napisano w AVR-GCC. Długość kodu wynikowego generowanego przez ten kompilator jest zadowalająca do wielu zastosowań. W programie wykorzystano dwa timery mikrokontrolera. Jeden szesnastobitowy

jako generator PWM, a drugi osmiobitowy, do określenia długości sygnału z odbiornika.

Po włączeniu zasilania program sprawdza czy włączony jest tryb programowania. Jeżeli tak, to program odczytuje maksymalne i minimalne wychylenia drążka gazu i zapisuje je do pamięci EEPROM kontrolera. W przeciwnym przypadku mikrokontroler przechodzi do normalnej pracy. Na bieżąco odczytuje zadaną prędkość obrotową i z zapisanej tablicy odczytuje odpowiadającą jej procentową wartość napięcia. Ta wartość zostaje zapisana do rejestrów sterujących generatorem PWM kontrolera.

Elektronika modelarska, a szczególnie lotnicza, musi być niezawodna. Każdy błąd, a co gorsza zapętlenie programu, grozi kraksą modelu. Przed „powieszeniem się” programu kontrolera zabezpiecza układ watchdog wbudowany w mikrokontroler.

### Programowanie

Na płytce regulatora (schemat montażowy pokazano na rys. 3) wyprowadzono złącze służące do programowania procesora. Pozwala to na wymianę oprogramowania na nowsze, bez potrzeby jego wylutowywania. Jest to bardzo wygodne rozwiązanie, gdy chcemy dostosować program regulatora do własnych potrzeb.

Na łamach EP wielokrotnie były prezentowane różnego rodzaju programatory procesorów Atmel.

Przy programowaniu procesora w opisywanym regulatorze korzystano z programatora zaprezentowanego na stronie [www.olimex.com/dev/avr-pg1b.html](http://www.olimex.com/dev/avr-pg1b.html). Z tym programatorem współpracuje bardzo dobry program PonyProg. Jest

to darmowe narzędzie pozwalające programować sporą gamę mikrokontrolerów i pamięci.

### Użytkowanie

Przedstawiony w artykule regulator współpracuje z każdą dostępną aparaturą do zdalnego sterowania modeli. Podczas pierwszego uruchomienia programatora należy go zaprogramować. W tym celu ustawiamy drążek gazu w nadajniku na połowę mocy, wyciągamy zworę z regulatora i włączamy zasilanie w modelu. W kolejnym kroku przesuwamy drążek gazu w położenie minimum, a następnie w położenie maksimum. Mikrokontroler zapamiętuje skrajne wychylenia drążka. Kiedy ponownie będziemy poruszać drążkiem gazu, to dioda na regulatorze powinna zapalać się w skrajnych jego położeniach. Oznacza to, że regulator poprawnie interpretuje sygnały z odbiornika, więc zakładamy zworę, czym kończymy proces programowania. Regulator jest gotowy do normalnej pracy.

### WYKAZ ELEMENTÓW

Wszystkie elementy dyskretnie w obudowach SMD 0805

#### Rezystory

R1, R15: 10k $\Omega$   
 R2: 47k $\Omega$   
 R3: 22k $\Omega$   
 R4: 110 $\Omega$   
 R5: 75 $\Omega$   
 R6, R11, R12, R14: 4,7k $\Omega$   
 R7, R8: 1k $\Omega$   
 R9: 470 $\Omega$   
 R10: 15k $\Omega$   
 R15: NTC 10k $\Omega$

#### Kondensatory

C1, C2: 27pF  
 C3, C4, C6: 100nF  
 C5: 47 $\mu$ F/16V

#### Półprzewodniki

D1: Z15V  
 D2: 1N4148  
 D3: BY255  
 US1: LED  
 IC1: AT90S2313 (zaprogramowany)  
 IC3: LM2940-5.0V  
 Q1: IRL2203  
 Q3, Q4: BC817  
 Q5: BC807

#### Różne

Q2: kwarc 8MHz

Jeżeli podczas pracy migocze dioda na regulatorze, to oznacza wystąpienie alarmu. W celu uruchomienia silnika należy przesunąć drążek gazu na minimum, co uaktywni możliwość sterowania jego pracą.

Alarm występuje wtedy gdy:

- napięcie zasilania spadnie poniżej 6,2 V,
- temperatura regulatora przekroczy 90°C,
- podczas włączenia zasilania drążek gazu nie był w pozycji minimum.

**Tomasz Szydło**

<http://student.uci.agh.edu.pl/~tomsz/>

*Wzory płytek drukowanych w formie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: [pcb.ep.com.pl](http://pcb.ep.com.pl) oraz na płycie CD-EP1/2004B w katalogu PCB.*