

Dodatkowe  
materiały na CD



# Modelarski regulator dwukierunkowy

Regulator zaprojektowano z myślą o zdalnie sterowanych modelach, głównie samochodach i łodziach, gdzie wymagana jest płynna zmiana prędkości obrotowej, wysokoprądowych, szczotkowych silników prądu stałego, w obu kierunkach.

**Rekomendacje:** modelarze.

## AVT-5190

W ofercie AVT:  
AVT-5190A – płytka drukowana

### PODSTAWOWE PARAMETRY

- Akumulatory zasilające: 6...10 cel Ni-Mh lub Ni-Cd lub 2...3 cel Li-poly lub Li-ion
- BEC 5 V@1,5 A
- Szybka kalibracja jednym przyciskiem
- Ustawianie szerokości i położenia neutrum
- Opcja pracy jako regulator jednokierunkowy
- Hamulec „proporcjonalny”
- Automatywna detekcja ilości cel
- Funkcja Cut-off
- Sygnalizacja niskiego poziomu napięcia akumulatora
- Nieliniowa charakterystyka gazu
- Łagodny start silnika
- Zabezpieczenie przed włączeniem silnika podczas uruchamiania układu
- Wyłączenie silnika w przypadku stwierdzenia zaniku sygnału
- Zabezpieczenie termiczne
- Sterowanie silnikiem poprzez modulację szerokości impulsu (PWM)
- Wymiary 42×40×20 mm

### Modelarstwo

Swoją przygodę z modelarstwem rozpocząłem dziewięć lat temu, dość nietypowo, bo chyba od najtrudniejszej dziedziny modelarstwa, mianowicie od lotnictwa. Dopiero z czasem postanowiłem zająć się modelarstwem szkodniczym i samochodowym – stąd wzięła się potrzeba budowy regulatora dwukierunkowego. Wszak wsteczny bieg jest nieodzowny w samochodzie, a i w łódce może się przydać.

Nie jestem ekstremalnym zapaleńcem dlatego zadowolam się modelami, które są szybkie, ale nie najszybsze. Aby zaoszczędzić kilkaset złotych warto poświęcić trochę czasu by samemu wykonać różne urządzenia przydatne modelarzowi.

Kierowanie modelem samochodu i łódki jest dość proste, ponieważ człowiek musi kontrolować tylko dwa kanały, tzn. sterować obrotami silnika napędowego oraz mechanizmem skręcającym kołami lub ster. Moim zdaniem nie warto porywać się na budowę nadajnika i odbiornika modelarskiego. Łączność między modelem a osobą kierującą musi być pewna, a zasięg maksymalnie duży (przynajmniej 300 m). Również budowa serwo-mechanizmów raczej mija się z celem, natomiast można poczynić znaczne oszczęd-



### PROJEKTY POKREWNE wymienione artykuły są w całości dostępne na CD

Tytuł artykułu	Nr EP/EdW	Kit
Dwukierunkowy regulator obrotów silników DC	EP 5/2001	AVT-5011
Dwukierunkowy regulator obrotów silników prądu stałego	EP 12/2006	AVT-1444
Sygnalizator rozładowania akumulatora do modeli RC	EP 5/2009	AVT-1521
Generator PWM – regulator mocy silnika DC	EP 8/2008	AVT-1469
Reversible motor driver	EdW 10/2007	AVT-2843
Sterownik silnika do modeli RC	EP 4/2009	AVT-1519
Dwukierunkowy regulator prędkości obrotowej silników modelarskich	EP 1/2001	---

ności między innymi na budowie regulatora obrotów silnika napędowego.

Proporcjonalna, wielokanałowa aparatura RC pomimo tego, że posiada kilka kanałów sterujących, to dane do odbiornika przesyła pojedynczym kanałem radiowym. Dane dotyczące poszczególnych kanałów kodowane są w jeden ciąg informacji i przesyłane szeregowo do odbiornika, gdzie są dekodowane i służą do sterowania mechanizmami wykonawczymi (serwa, regulatory itp.). Ten ciąg nazywa się zwykle telegramem impulsów i jest on wysyłany kilkadziesiąt razy na sekundę.

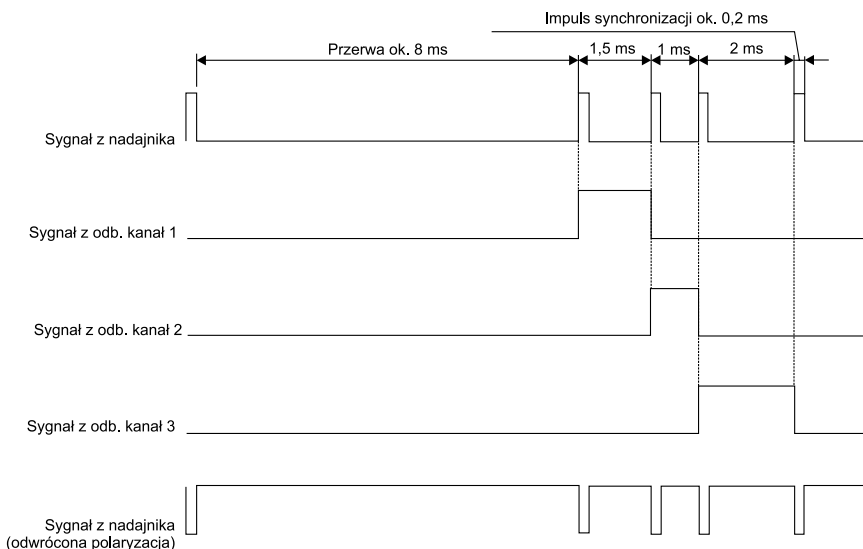
Impulsy przekazywane są radiowo, z wykorzystaniem modulacji AM lub FM, przy czym ta ostatnia ma znacznie większą odporność na zakłócenia. Aparatury z PCM używają także modulacji FM, jedynie ciąg impulsów jest w nich zakodowany metodą PCM. Do kodowania przesyłanych informacji stosuje się generalnie 2 metody:

- PWM/PPM – *Pulse Width Modulation/Pulse Position Modulation* – modulacja szerokości/położenia impulsu, funkcjonalnie identyczne, dane przesyłane „analogowo” w formie zmiennej długości impulsów,
- PCM – *Pulse Code Modulation* – dane są przesyłane cyfrowo, a więc odporność na zakłócenia największa.

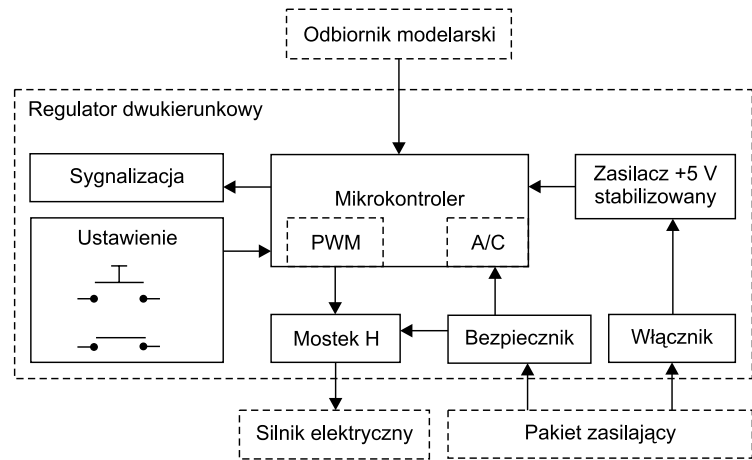
Przez modelarzy używane są następujące pasma radiowe:

- 27 MHz do modeli naziemnych (zaśmiecone przez CB),
- 35 MHz do modeli lotniczych,
- 40 MHz do modeli naziemnych i nawodnych,
- 50 MHz i 72 MHz używa się w USA, 50 MHz z licencją amatorską, 72 MHz bez licencji.

Położenie mechanizmu wykonawczego serwomechanizmu i obroty silnika (za pośrednictwem regulatora) są ustalane impulsem z odbiornika o zmiennej szerokości.



Rys. 1. Telegram impulsów PWM/PPM z aparatury modelarskiej 3-kanałowej



Rys. 2. Schemat blokowy regulatora

Położenie neutralne jest przy impulsie o szerokości 1,5 ms, powtarzanym co 20...25 ms. Wchylenia powodowane są przez zmianę szerokości impulsu w granicach  $\pm 0,5$  ms.

Czas trwania impulsu synchronizacji to zwykle ok. 0,2 ms. Impuls synchronizacyjny łącznie z przerwą to ok. 8 ms, impulsy kanałowe łącznie z przerwą to wymagane 1,5 ms  $\pm 0,5$  ms. Jak nietrudno zauważyć, łączny czas takiego telegramu impulsów jest różny w zależności od poszczególnych „czasów kanałowych” i jest to sytuacja normalna. W związku z tym zmienia się też częstotliwość odświeżania pozycji serwa. Podobnie sprawa ma się z moim regulatorem, jednak o zachowaniu silnika decyduje użytkownik w czasie Kalibracji.

Na rys. 1 przedstawiono telegram impulsów z aparatury modelarskiej 3 kanałowej. Zasada działania w nadajnikach o większej liczbie kanałów jest taka sama. Jak widać na rysunku, nadajnik nadaje taki sygnał, że mechanizm wykonawczy podłączony do kanału pierwszego ustawi się w położenie neutralne, a regulator dwukierunkowy powinien zatrzymać silnik. W przypadku kanału drugiego i trzeciego mechanizm wykonawczy ustawi się w położenia skrajne,

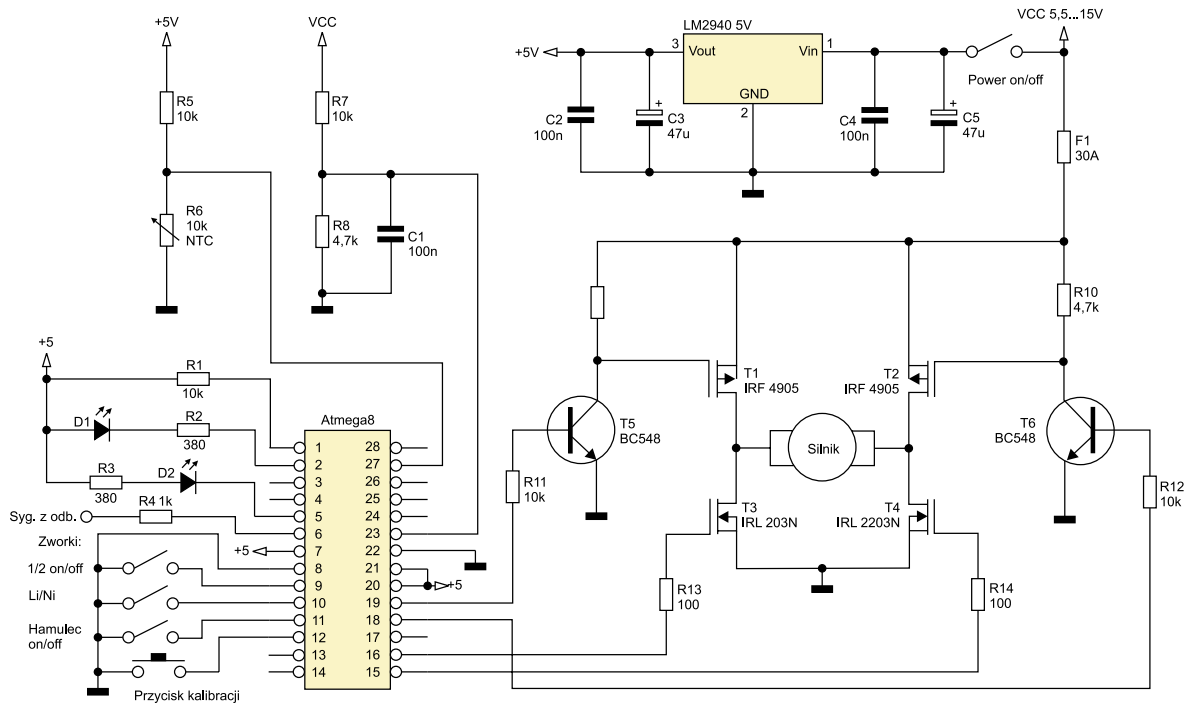
natomiast regulator dwukierunkowy powinien wysterować silnik załączając obroty w umownym kierunku w prawo i w lewo. Oczywiście mogą też wystąpić pozycje pośrednie, np. impuls 1,2 ms i dowolne kombinacje między kanałami.

## Budowa

Oprogramowanie regulatora napisano w Bascom AVR. Schemat blokowy regulatora przedstawiono na rys. 2. Sercem układu regulatora jest mikrokontroler sterujący mostkiem „H”. Zasilanie układu pobierane jest z pakietu akumulatorów. Dla bezpieczeństwa dodano bezpiecznik topikowy. Tryb pracy sygnalizują dwie diody LED. Ustawianie odbywa się poprzez zworki i jeden przycisk. Sygnał z odbiornika podawany jest bezpośrednio na wejście procesora. Sterowanie silnikiem wykonywane jest przez modulację szerokości impulsu (PWM) przy stałej wartości napięcia wyjściowego. Układ PWM zasilą urządzenie bezpośrednio lub przez filtr dolnoprzepustowy. Modulacja szerokości impulsu jest najczęściej wykonywana przez przełączenie tranzystorów lub tyrystorów pomiędzy stanem przewodzenia a stanem zaporowym. W stanie zaporowym prąd praktycznie nie płynie, więc nie występują straty mocy. W stanie przewodzenia występuje niewielki spadek napięcia na układzie sterującym, jednak jest on minimalny w stosunku do mocy przekazywanej, co skutkuje największą sprawnością energetyczną układu regulacyjnego. Zasilanie tą metodą pozwala na uzyskanie dużej dokładności i ułatwia sterowanie napędem.

Schemat ideowy układu przedstawiono na rys. 3. Regulator jest prosty i zawiera niewielką liczbę elementów, dzięki czemu układ jest mały i lekki, co nie jest bez znaczenia dla budowanych modeli.

Napięcie zasilające z pakietu akumulatorów stabilizowane jest za pomocą układu stabilizatora LDO typu LM2940-5V. Stabilizator ten zasilą napięciem +5 V mikrokontroler, odbiornik i serwomechanizmy (funkcja BEC). Warto zaopatrzyć go w niewielki radia-



Rys. 3. Schemat elektryczny układu

tor, gdyż w zależności od liczby i wielkości zasilanych serwo mechanizmów, pobierany z niego prąd może osiągnąć ponad 1 A.

Napięcie zasilające podawane jest na silnik poprzez bezpiecznik topikowy zwłoczny 30 A i tranzystory sterujące T1 i T2, a także poprzez dzielnik napięcia R7 i R8 do przetwornika analogowo-cyfrowego w mikrokontrolerze, aby na bieżąco kontrolować napięcie akumulatora zasilającego. Kondensator C1 minimalizuje tętnienia. Zwracam szczególną uwagę na dobór elementów dzielnika, ponieważ mają one ogromny wpływ na kluczowe funkcje regulatora, takie jak detekcja ilości podłączonych cel pakietu oraz funkcję odcinającą zasilanie silnika, jeśli akumu-

lator jest rozładowany. Napięcie odbierane z dzielnika musi być o 3,12 razy mniejsze niż napięcie zasilające. Ewentualnie zamiast rezystora R8 można zastosować precyzyjny, wielobrotowy potencjometr 10 kΩ i przy jego pomocy ustawić napięcie wejściowe na przetwornik A/D. Podobnie w przypadku dzielnika R5 i R6, gdzie R6 to termistor NTC (10 kΩ) służący do pomiaru temperatury tranzystorów mocy. Jeśli mikrokontroler zbyt wcześnie lub zbyt późno reaguje na zmianę temperatury, to należy dobrać inną wartość opornika R5 lub zmienić odległość termistora od tranzystorów mocy.

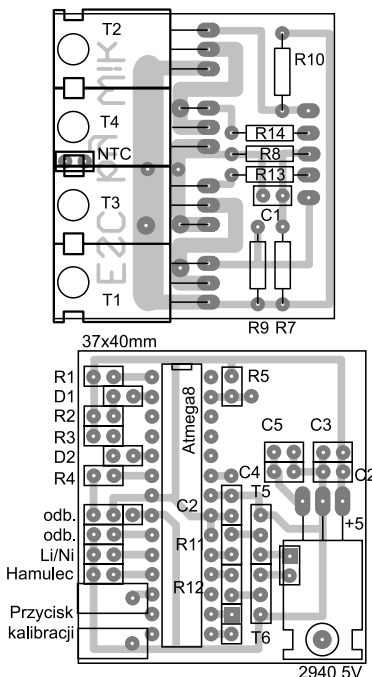
Do sygnalizacji stanu pracy zastosowano dwie diody LED: żółtą (D1) i czerwoną (D2). Sygnał z odbiornika podawany jest poprzez rezystor R4 do mikrokontrolera. Sterowanie funkcjami realizują trzy zworki oraz przycisk. Sterowanie silnikiem realizuje Atmega8 poprzez 4 wyjścia: dwa dwustanowe sterujące tranzystorami MOSFET T1 i T2 oraz dwa wyjścia z modulacją PWM sterujące tranzystorami T3 i T4. Tranzystory mocy muszą być

odizolowane od siebie i od radiatora. Dzięki opornikom R9 oraz R10 możliwe jest odłączenie zasilania procesora w dowolnym momencie pracy regulatora, bez zagrożenia zwarcie podłączonego pakietu zasilającego.

W czasie programowania procesora częstotliwość wewnętrznego oscylatora należy ustawić na 8 MHz poprzez odpowiednie ustawienie Fuse Bitów: CKSEL0..3=0010. Pliki wsadowe do mikrokontrolera można znaleźć na płycie CD-EP6/2009B lub pobrać ze strony <http://alexrc.com/ipw-web/bulletin/bb/viewtopic.php?p=72550#72550>

**Montaż**

Układ montujemy na dwóch jednostronnych płytkach drukowanych. Montaż elementów rozpoczynamy od podstawki na procesor oraz elementów najmniejszych. Elementy na płycie z procesorem montujemy pionowo, tak aby zajmowały jak najmniej miejsca. Wszystkie ścieżki na płycie drukowanej, przez które przepływa prąd o dużym natężeniu, należy grubo pocynować na całej



Rys. 4. Rozmieszczenie elementów

**WYKAZ ELEMENTÓW**

- Rezystory**  
 R1: 10 kΩ/0,25 W  
 R2, R3: 380 Ω/0,25 W  
 R4: 1 kΩ/0,25 W  
 R5: 10 kΩ/0,25 W  
 R7: 10 kΩ/0,25 W, 1%  
 R8: 4,7 kΩ 1% lub potencjometr precyzyjny 10 kΩ  
 R9, R10: 4,7 kΩ/0,25 W  
 R11, R12: 10 kΩ/0,25 W  
 R13, R14: 100 Ω/0,25 W
- Kondensatory**  
 C1, C2: 100 nF/50 V  
 C3: 47 μF/16 V  
 C4: 100 nF/50 V  
 C5: 47 μF/25 V

**Półprzewodniki**

- D1, D2: LED 3 mm  
 R6: Termistor NTC 10 kΩ/0,25 W  
 T1, T2: IRF4905  
 T3, T4: IRL2203N  
 T5, T6: BC548  
 Stabilizator LM2940-5V  
 Mikrokontroler ATmega8(DIP28)
- Inne**  
 F1 bezpiecznik 30 A  
 Podstawka wąska DIP28  
 Zworki 3 szt.  
 Microswitch  
 Włącznik hebelkowy 2 A  
 Kable połączeniowe  
 Wtyczki  
 Radiator







ich długości. Po wlutowaniu elementów, obie płytki połączyć płytki przewodami, tak jak pokazano to na rys. 4. Tranzystory T1...T4 należy umieścić na radiatorze, odizolować od siebie i radiatora. Mimo iż producent zastosowanych tranzystorów MOSFET podaje, że nominalnie wytrzymują one prąd ciągły ponad 70 A, to maksymalny prąd ciągły regulatora jest o wiele mniejszy ze względu na wydajność chłodzenia i niepotrzebne straty mocy. Nie zaleca się stosowania regulatora do silników większych niż klasy 550. Regulator nie jest przystosowany do pracy ciągłej, dłuższej niż kilkanaście minut, jeśli prąd obciążenia jest znaczny.

Układ można zmodyfikować dostosowując go do własnych potrzeb. Dla zwiększenia maksymalnego dopuszczalnego prądu można dołączyć dodatkowe tranzystory MOSFET równolegle lub zastosować inne. Ważne jest, aby dolne tranzystory N w mostku H były z serii „Logic”, gdyż są one sterowane bezpośrednio z mikrokontrolera napięciem +5 V. Dla lepszego wysterowania tranzystorów mocy można użyć driverów. Zastosowanie w mostku H tylko tranzystorów z kanałem typu N zmniejszy impedancję wewnętrzną regulatora, a co za tym idzie spadną na nim straty mocy oraz wzrośnie dopuszczalny prąd. Takie rozwiązanie jest bardzo korzystne ze względu na znacznie lepsze parametry tranzystorów MOSFET z kanałem typu N, jednak

wtedy niezbędne będzie dodanie do układu podwójca napięcia, który będzie dostarczał napięcie sterujące górne tranzystory.

### Uruchomienie i obsługa

Regulator nie włączy silnika dotąd, dopóki drążek gazu w nadajniku nie znajdzie się w neutrum. Regulator wyłączy silnik, jeśli w czasie pracy zostanie wyłączony nadajnik lub odbiornik straci zasięg. Ponowne uruchomienie silnika jest możliwe po odzyskaniu poprawnego sygnału i powrocie drążka gazu do neutrum.

Maksymalne obroty silnika „wstecz” są równe połowie maksymalnych obrotów „w przód”.

Po zaprogramowaniu procesora, przy pierwszym uruchomieniu układu, należy wykonać kalibrację. Bez tego regulator nie włączy silnika. Ponowna kalibracja może być wymagana po zmianie nadajnika i/lub odbiornika.

### Kalibracja

- 1) Włączyć nadajnik, odbiornik i regulator.
- 2) Nacisnąć przycisk kalibracji. Zaświeci się dwa razy żółta dioda.
- 3) Wychylić dwukrotnie drążek gazu w dwie skrajne pozycje.
- 4) Ustawić drążek gazu w pozycji, w której ma zaczynać się neutrum. Nacisnąć przycisk kalibracji. Zaświeci się żółta dioda.

5) Ustawić drążek gazu w pozycji, w której ma kończyć się neutrum. Nacisnąć przycisk kalibracji. Zaświeci się na długo żółta dioda. Informuje ona o zakończeniu kalibracji. Od tej chwili regulator pracuje normalnie.



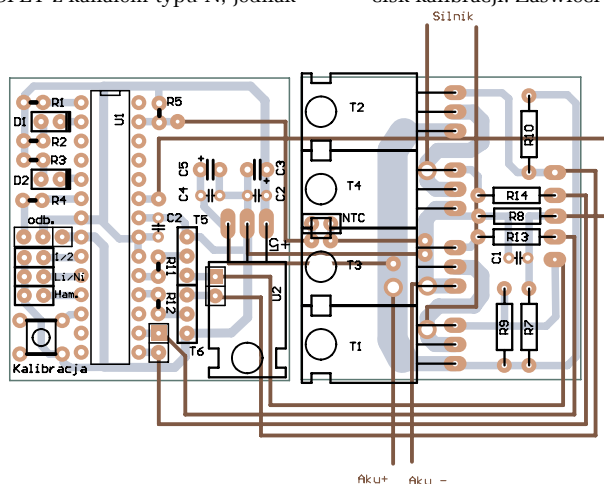
Dane o kalibracji zapisywane są w nielotnej pamięci procesora. Ponowną kalibrację można przeprowadzić w dowolnym momencie pracy regulatora.

Zalecane jest pozostawienie drążka gazu podczas kalibracji, w każdym charakterystycznym punkcie pracy, tzn. maksimum w przód, maksimum w tył, początek neutrum i koniec neutrum przynajmniej przez jedną sekundę. Szybkie i chaotyczne ruchy mogą doprowadzić do błędów kalibracji.

Jeśli model jadący w przód osiąga prędkość mniejszą niż przy jeździe w tył, oznacza to, iż należy zamienić miejscami kable podłączone do silnika lub włączyć w nadajniku „Rewers” i ponownie wykonać kalibrację.

### Tylko dla nadajników drążkowych

Neutrum nie musi znajdować się w pozycji środkowej zakresu drążka gazu. Dla



Rys. 5. Schemat montażowy regulatora





nadajników drążkowych (lotniczych) proponuję ustawić neutrum lekko z tyłu, ponieważ zazwyczaj zależy nam na dokładnej i płynnej regulacji obrotów tylko w jednym kierunku. Wsteczny jest używany raczej sporadycznie. Zarówno położenie jak i szerokość neutrum jest dowolna.



Ustawienie początku neutrum w jednej ze skrajnych pozycji drążka spowoduje, że regulator będzie pracował jako jednokierunkowy:



## Hamulec

Funkcję hamulca można włączyć i wyłączyć w dowolnym momencie. Jeśli zworka jest założona, to funkcja hamulca jest wyłączona. Drążek gazu ma następujące pozycje: gaz do przodu, neutrum, gaz do tyłu i odwrotnie.

Jeśli zworka jest zdjęta, hamulec jest aktywny. Drążek gazu ma następujące pozycje: gaz do przodu, neutrum (krócej niż dwie sekundy, w przeciwnym razie opcja hamulca jest pomijana), hamulec proporcjonalny, neutrum, gaz do tyłu i w drugą stronę: gaz do tyłu, neutrum (krócej niż dwie sekundy, w przeciwnym razie opcja hamulca jest pomijana), hamulec proporcjonalny, neutrum, gaz do przodu.

Hamulec włącza się, gdy drążek gazu był w neutrum krócej niż dwie sekundy oraz gdy został wychylony w przeciwną stronę niż ostatnio. Siła hamowania jest proporcjonalna do wychylenia drążka.

## Detekcja ilości podłączonych cel akumulatora

Po włączeniu zasilania regulator czeka 0,5 sekundy na ustabilizowanie napięcia akumulatora i po tym czasie je mierzy.

Jeżeli zworka Li/Ni jest zdjęta oznacza to, że używamy akumulatorów Li-xxx. W takim wypadku, jeśli zmierzone napięcie jest mniejsze niż 8,6 V, to regulator uznaje, że podłączony jest pakiet 2 cel li-xxx. Sygnalizowane jest to jednokrotnym zapaleniem diody żółtej podczas uruchamiania regulatora, w przeciwnym razie uznaje, że podłączony jest pakiet 3 cel li-xxx. Jest to sygnalizowane dwukrotnym zapaleniem diody żółtej podczas uruchamiania regulatora.

Jeżeli zworka Li/Ni jest zwarta oznacza to, że używamy akumulatorów Ni-xx. W takim wypadku, regulator uznaje, że podłączone jest:

- 6...7 cel, jeśli zmierzone napięcie jest mniejsze niż 10,5 V
- 8...10 cel, jeśli zmierzone napięcie jest większe niż 10,5 V

Podłączenie 6-7 cel sygnalizowane jest pojedynczym zaświeceniem się żółtej diody podczas uruchamiania regulatora, 8...10 – podwójnym.

Dla poprawnego rozpoznawania ilości cel akumulatorów Ni-xx nie jest zalecane podłączanie mocno rozładowanych akumulatorów.

## Cut-off

Jeśli używamy pakietu li-xxx regulator odcina silnik przy napięciu 2,8 V na celę, czyli odpowiednio 5,6 V oraz 8,5 V, a jeśli ni-xx – odpowiednio 5,5 V oraz 7 V. Po odcięciu ponowne uruchomienie silnika jest możliwe jedynie, gdy drążek gazu wróci do neutrum i ponownie zostanie wychylony.

Jeśli zworka oznaczona na schemacie jako 1/2 jest zdjęta, regulator zredukuje gaz do maksymalnie 50% gazu nominalnego, jeśli napięcie zasilające spadnie poniżej 2,9 V na cele dla akumulatorów Li-xxx oraz 5,7 V i 7,4 V dla Ni-xx. Sygnalizowa-

ne jest to zapaleniem czerwonej diody co jedną sekundę. Funkcja zostaje wyłączona dopiero po wymianie pakietu. Jest szczególnie przydatna w łodziach, gdyż pozwoli powoli wrócić do brzegu bez całkowitego odcięcia silnika. Opcję tą można w każdej chwili włączyć i wyłączyć zworką.

## Sygnalizacja niskiego napięcia akumulatora

Jeśli napięcie na akumulatorze, kiedykolwiek podczas pracy regulatora, spadnie do poziomu 3 V na celę dla akumulatorów Li-xxx lub 1 V na celę dla Ni-xx, regulator będzie sygnalizował ten fakt przez zapalenie żółtej diody. Dioda zgaśnie po wymianie pakietu.

## Pomiar temperatury regulatora

Pomiar temperatury regulatora zabezpiecza przed przegrzaniem i co za tym idzie, uszkodzeniem regulatora. Mimo to nie jest on odporny na zwarcie.

Jeśli temperatura wzrośnie do temperatury krytycznej, czyli 90°C, to regulator wyłączy silnik. Jest to sygnalizowane zapaleniem czerwonej diody. W tej sytuacji poczekaj na wystudzenie regulatora i jeśli to możliwe odłącz zasilanie. Uruchomienie silnika będzie możliwe dopiero po obniżeniu się temperatury do 60°C. Funkcja wskazuje, że regulator jest przeciążony i nie powinien być więcej używany w takiej konfiguracji.

Jeśli zworka oznaczona na schemacie jako 1/2 jest zdjęta to, gdy temperatura osiągnie 75°C, regulator zredukuje gaz do maksymalnie 50% gazu nominalnego. Sygnalizowane jest to zapaleniem czerwonej diody co jedną sekundę. Funkcja zostaje wyłączona, gdy temperatura spadnie poniżej 60°C. Opcję tę można w każdej chwili włączyć i wyłączyć zworką. Funkcja szczególnie przydatna w łodziach, gdyż pozwoli powoli wrócić do brzegu bez całkowitego odcięcia silnika.

**Wiktor Lass**  
[wiktor.l@interia.pl](mailto:wiktor.l@interia.pl)

