

Sterownik łodzi patrolowej

Zaprezentowane w niniejszym artykule urządzenie steruje modelem łodzi. Układ ten umożliwia ruch do przodu oraz tyłu, regulację prędkości, kontrolę kierunku poruszania się statku oraz kąta wychylenia steru. Dodatkowo założyłem, że na pokładzie ma znajdować się reflektor (w postaci diody Power LED), który będzie można obracać w prawo i lewo, tak aby oświetlać wodę przed łodzią. Moja fantazja popłynęła dalej (podsycana dokonaniem firmy Nintendo i jej konsolą Wii) i zapragnąłem możliwości sterowania wszystkimi funkcjami za pomocą... odpowiedniego wychylenia pilota! Co więcej, założyłem, że łódź musi być kontrolowana z odległości minimum jednego kilometra...

Wszystkie te założenia zostały zrealizowane i w dalszej części artykułu można zapoznać się z konstrukcją sterownika, który mam nadzieję okaże się ciekawym pomysłem na zabawę w wolnych chwilach.

Do lektury zachęcam również młodych i mniej doświadczonych Czytelników, gdyż pomimo dużej złożoności urządzenia, zrozumienie treści zawartych w niniejszym artykule nie jest wymagane do rozpoczęcia zabawy ze sterownikiem. Niemniej przedstawiony dalej opis starałem się uczynić jak najbardziej „strawnym”.

Urządzenie zostało zbudowane z łatwo dostępnych elementów i jest wyposażone w dwa popularne mikrokontrolery z rodziny AVR. Udostępnione zostało gotowe oprogramowanie (oraz kody źródłowe dla bardziej zainteresowanych i doświadczonych Czytelników), które wystarczy wgrać, aby móc uruchomić opisany dalej układ. Istnieje także możliwość zamówienia zaprogramowanych procesorów w sklepie AVT.

Opis układu

Urządzenie składa się z dwóch modułów: sterownika (nadzorującego pracę silnika, serwo mechanizmów, diody LED, itp...) oraz pilota pozwalającego kontrolować pracę sterownika z brzegu jeziora. Zanim jednak przejdę do szczegółowego opisu, zdradzę, jak osiągnąć zasięg 100km lub więcej. Sekret kryje się w sposobie komunikacji pomiędzy sterowaniem oraz pilotem, która odbywa się na drodze... akustycznej! Do tego celu wykorzystany jest sygnał sinusoidalny o częstotliwości 4kHz. Do nawiązania połączenia wystarczy zatem głośnik oraz mikrofon. Zasięg fal akustycznych jest bardzo mały, ale nic nie stoi na przeszkodzie, aby przesłać go za pomocą popularnych krótkofalówek lub starego telefonu komórkowego. W taki sposób, za nieduże pieniądze, możliwa jest komunikacja na znaczne odległości.

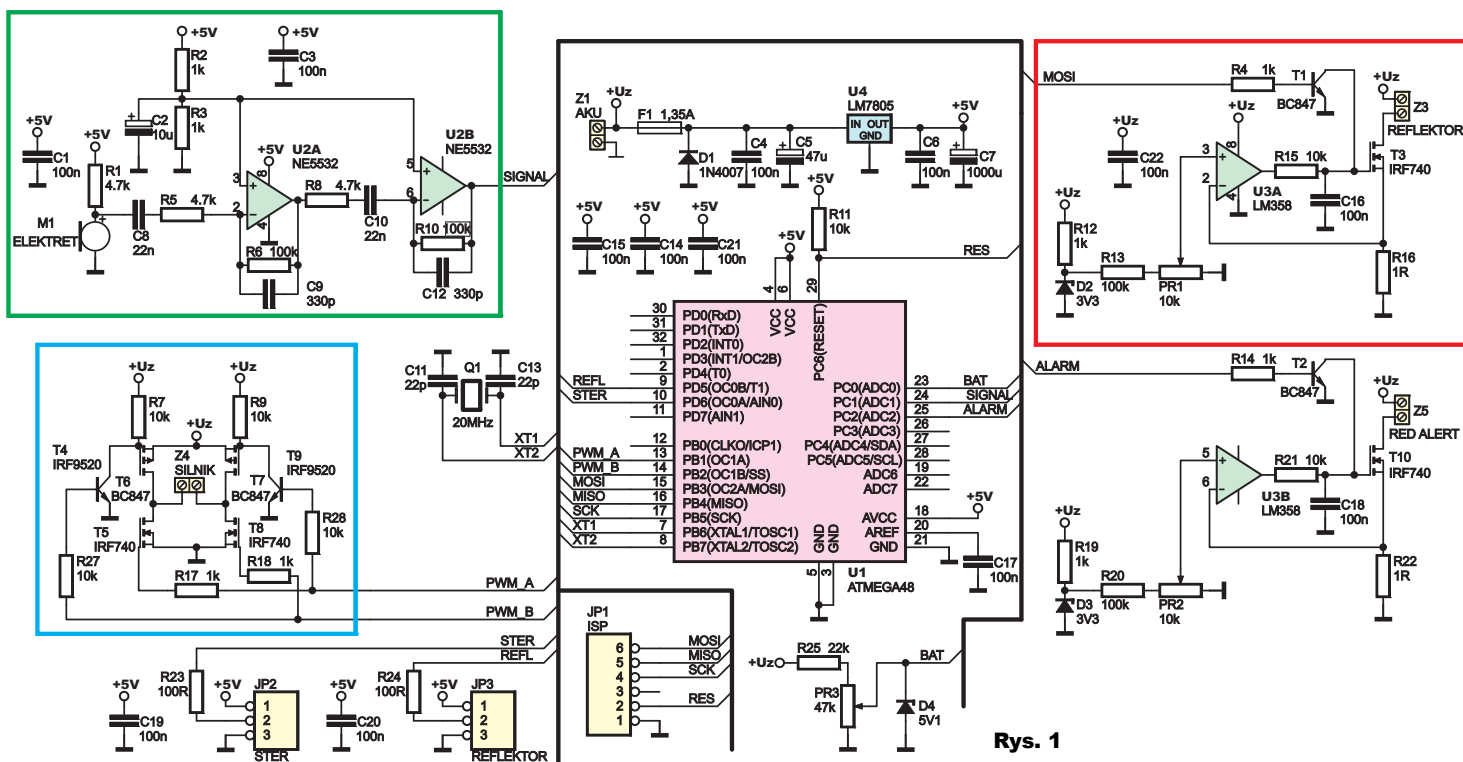
STEROWNIK. Schemat sterownika pokazany jest na **rysunku 1**. Najważniejszym elementem jest mikrokontroler, który nadzoruje pracę silników, serwo mechanizmów, odbiór danych z toru akustycznego i wiele innych rzeczy. Dokładna jego rola zostanie omówiona w części poświęconej oprogramowaniu.

Założyłem, że urządzenie będzie zasilane z akumulatora 12V i do takiego zasilania przystosowałem prosty zasilacz złożony z elementów: F1, D1, C4...C7 i U4. W przypadku odwrotnego podłączenia zasilania cały prąd popłynie przez diodę D1 i spowoduje zadziałanie bezpiecznika polimerowego F1. Zasilanie z napięcia 6V również jest możliwe, ale wymaga użycie stabilizatora LDO (z niskim spadkiem napięcia) zamiast standardowego układu LM7805 (U4). Elementy wewnątrz zielonego prostokąta tworzą wzmacniacz i

filtr sygnału akustycznego pochodzącego z mikrofonu. Wzmocnienie całkowite wynosi około 450 razy (53 dB), filtr ma pasmo zawierające się w przedziale od 1,5kHz do 4,8kHz. Zapewnia to przenoszenie sygnału sinusoidalnego o częstotliwości 4kHz, tłumi dźwięki leżące poza tym zakresem i jednocześnie odcina składową stałą.

W czerwonej ramce pokazane jest źródło prądowe sterujące diodą Power LED. Wyjaśnienie zasady jego działania warto zacząć od przypomnienia idei pracy wzmacniacza operacyjnego. Wzmacniacz operacyjny dąży do stanu, w którym na wejściu odwracającym i nieodwracającym napięcie będzie jednakowe. Wzmacniacz operacyjny steruje pracą tranzystora T3 – jego otwarcie powoduje przepływ prądu przez rezystor R16 i w efekcie powstawanie na nim spadku napięcia. Napięcie na R16 musi być równe napięciu na nieodwracającym wejściu wzmacniacza. Oznacza to, że po ustawieniu na wejściu nieodwracającym napięcia np. 0,2V takie samo napięcie pojawi się również na rezystorze R16. W ten sposób można regulować prąd, jaki będzie zasilal diodę w zakresie 0...300mA. Obwód R15 i C16 spowalnia reakcję wzmacniacza, a tym samym zapobiega powstawaniu oscylacji. Tranzystor T1 (sterowany przez R4) po włączeniu zewrze bramkę T3 do masy i w ten sposób zatka tranzystor MOSFET – bez względu na stan wejścia nieodwracającego wzmacniacza. Do zasilania diody sygnalizującej wyczerpanie baterii (Red Alert) użyto podobnego rozwiązania sprzętowego.

Elementy R25, PR3 tworzą dzielnik napięcia zasilania. Sygnał ten jest doprowadzony do przetwornika ADC i następuje okresowy



Rys. 1

pomiar napięcia akumulatora. Po stwierdzeniu, że w rejestrze przetwornika znajduje się wartość mniejsza niż 128 (połowa zakresu pomiarowego), następuje włączenie diody ostrzegawczej. Potencjometr zapewnia możliwość kalibracji. Dioda D4 spełnia funkcję zabezpieczającą – zbyt wysokie napięcie nie uszkodzi procesora.

W ramce niebieskiej znajduje się moduł sterujący silnikiem prądu stałego – typowy mostek H. Jego konstrukcja umożliwia zmianę kierunku obrotu wirnika, a sterowanie ze sprzętowego generatora PWM zapewniło możliwość regulacji prędkości obrotowej. W danej chwili pracuje tylko jedna para tranzystorów. Tranzystory T6 i T7 pracują w roli inwerterów. Sterowanie MOSFETÓW z kanałem P bezpośrednio z portów procesora (przy napięciu zasilania 12V) byłoby niemożliwe, gdyż tranzystory zawsze byłyby otwarte.

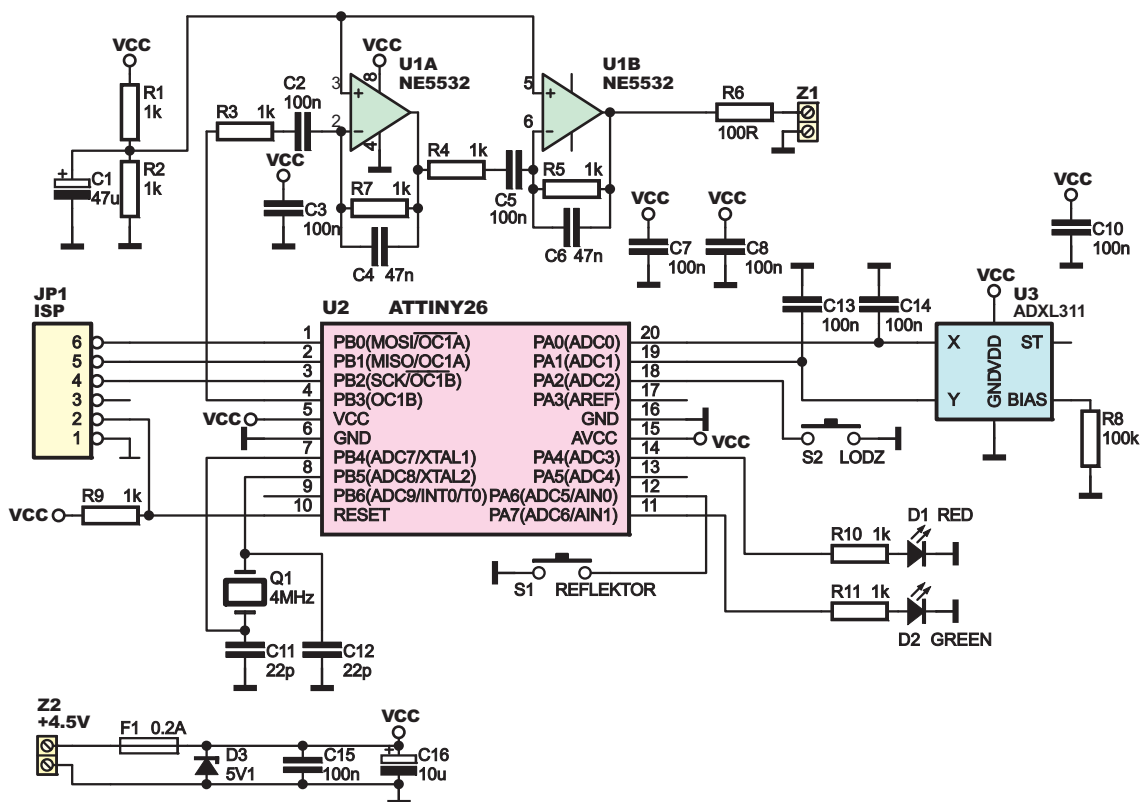
Zwracam uwagę na jeszcze jeden szczegół, przez który musiałem wykonać nową płytkę drukowaną. Mianowicie nie można zastosować jednego rezystora zamiast pary R17 i R28 lub R27 i R18, gdyż maksymalne napięcie wyniesie wtedy 0,7V (spadek napięcia na złą-

czy baza-emiter tranzystorów bipolarnych), co nie pozwoli na otwarcie T8 i T5.

Do złączy JP2 i JP3 podłączone są serwomechanizmy sterowane bezpośrednio przebiegiem PWM z mikrokontrolera. Przed ich podłączeniem należy sprawdzić, czy rozkład wyprowadzeń w złączach jest zgodny, a jeśli nie – zamienić kolejność przewodów w złączu serwomechanizmu. Złącze JP1 służy do podłączenia programatora.

Konieczność odbierania i dekodowania w czasie rzeczywistym sygnału akustycznego wymusiła zastosowanie najszybszego kwarcu, jaki można podłączyć do procesora. Tutaj pozwolę sobie na mały apel do młodych (i nie tylko) konstruktorów – czytajcie dokładnie noty katalogowe! Zdarzało się parokrotnie w mojej praktyce, że urządzenie działało źle ze względu na przeoczenie drobnego szczegółu. Niniejszy ste-

Rys. 2



rownik również bliski był wylądowania w koszu z bardzo prozaicznej przyczyny – zbyt często się resetował, co uniemożliwiało jego normalną pracę. Przyczyny nie udało mi się ustalić. Dopiero bardzo dokładna analiza noty katalogowej wykazała, że dla zewnętrznego kwarcu Fuse Bits można ustawić w różny sposób: xxxx1111 lub xxxx1110 (mowa tu o Low Fuse Bits). Jaka jest różnica? To drugie ustawienie zwiększa pobór prądu, ale zapewnia większą stabilność przy dużych częstotliwościach taktowania rdzenia. Właśnie ten jeden bit rozwiązał problem i pozwolił mi znów spokojnie spać w nocy...

PILOT. Zasadniczym elementem układu pokazanego na **rysunku 2** jest mikrokontroler, który mierzy przyspieszenie (wychylenie) za pomocą czujnika ADXL311, generuje sygnał akustyczny i obsługuje prosty interfejs użytkownika (przyciski oraz diody LED).

Filtr aktywny zbudowany na układzie U1 jest podobny do tego opisanego podczas omawiania sterownika. Różni się on parametrami i tym, że sygnał pochodzi ze sprzętowego generatora PWM, a nie mikrofonu. Jak łatwo zauważyć, wzmocnienie wynosi jeden, a więc układ ten nie wzmacnia sygnału, który i tak ma dużą amplitudę wynoszącą 5V. Najbardziej dociekliwi mogą wyliczyć, że pasmo przepustowe rozciąga się od 1,6kHz do 3,4kHz, a wspomniane było, że sygnał ma częstotliwość 4kHz. Nie jest to błąd. Filtr nie ma stromego zbocza, więc składowa podstawowa przebiegu prostokątnego (sinusoidea o częstotliwości 4kHz) jest bez problemu przenoszona przez układ, a trzecia harmoniczna (sinusoidea 12kHz) już nie.

Układ U3 jest scalonym czujnikiem przyspieszenia (i przechyłu), dającym na wyjściu sygnał napięciowy. Przechylenie w jedną ze stron powoduje, że sygnał staje się większy od napięcia odniesienia, a w drugą stronę – mniejszy. Pozwala to w bardzo prosty sposób określić kierunek wychylenia. Czujnik jest dwuosiowy, więc można niezależnie określać, czy przechylenie odbywa się do przodu, do tyłu czy też na prawo lub lewo.

Pilot posiada dwa przyciski. Wciśnięcie S1 spowoduje, że możliwe będzie sterowanie pracą reflektora – przechy-

lenie pilota w lewo lub prawo określi, w którą stronę i o jaki kąt obróci się serwomechanizm dołączony do sterownika. Wychylenia w przód lub w tył, odpowiednio, włączy lub wyłączy diodę Power LED.

Przycisk S2 umożliwi natomiast kontrolowanie napędu łodzi: serwomechanizmu sterującego sterem, kierunku obrotu silnika i jego prędkości. Im mocniej przechylny zostanie pilot do przodu (lub tyłu), tym szybciej wał silnika będzie się obracał. Oprogramowanie rozróżnia cztery poziomy wychylenia, zatem są cztery biegi. Puszczenie S2 spowoduje, że silnik ulegnie zatrzymaniu – tylko tak można go zatrzymać. Nie istnieje położenie pilota (przy wciśnięciu S2), dla którego silnik przestanie się

kręcić, chyba że zmieniona zostanie domyślna konfiguracja, ale o tym za chwilę.

Urządzenie ma proste zabezpieczenie przed odwrotną polaryzacją i zbyt wysokim napięciem w postaci diody D3 i bezpiecznika polimerowego F1.

Metoda kodowania bitów została pokazana na **rysunku 3**.

Oprogramowanie

Szczegółowy opis oprogramowania pilota oraz sterownika zawarte są w pełnej wersji artykułu. Tę sześciostronicową wersję artykułu oraz wszystkie pliki pomocnicze, w tym źródłowe, można ściągnąć z Elportalu, gdzie zostały umieszczone wśród materiałów dodatkowych do tego numeru EdW.

Montaż i uruchomienie

Obie płytki drukowane wchodzące w skład urządzenia zostały zaprojektowane pod konkretne obudowy. Sterownik (**rysunek 4**) można umieścić w obudowie Z-77, a pilot (**rysunek 5**) w Z-73. Do tej ostatniej obudowy powinny zmieścić się baterie zasilające urządzenie (3xAA lub 3xAAA). Konieczne będzie przyłączenie przycisków i diod za pomocą przewodów, a także wykonanie otworów w obudowie na te elementy.

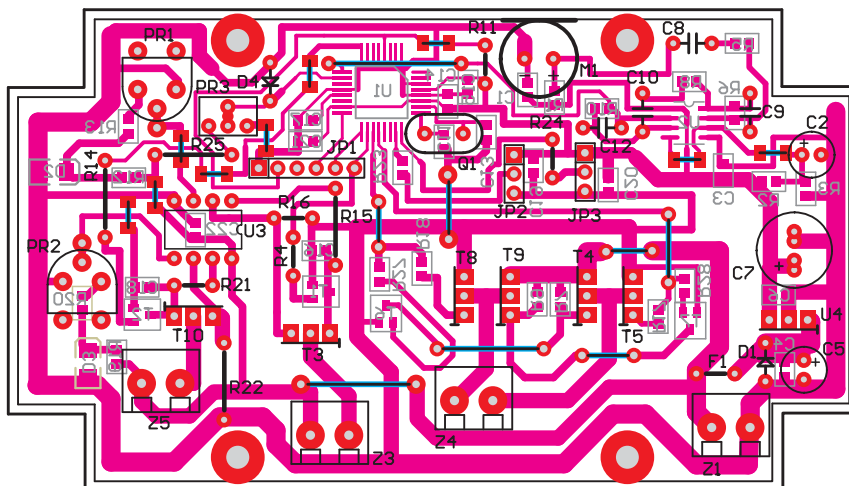
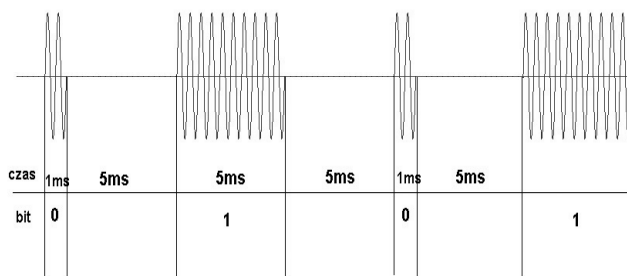
Warto przeprowadzić test, podłączając mały głośniczek do złącza Z1 i następnie zbliżyć go do mikrofonu sterownika. Po włączeniu zasilania powinien być słyszalny sygnał akustyczny, a sterownik powinien reagować na przechylenia pilota (oczywiście po wciśnięciu jednego z przycisków).

Do pracy sterownika potrzebny jest zestaw parametrów konfiguracyjnych w pamięci EEPROM. Po zaprogramowaniu nowego układu wszystkie komórki pamięci EEPROM mają wartość 0xFF i w razie pominięcia etapu wgrzywania konfiguracji sterownik wykryje ten

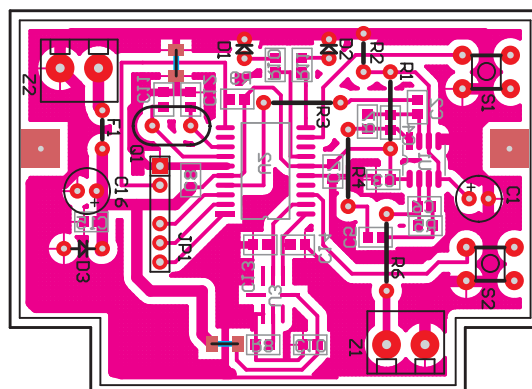
fakt i załaduje domyślne ustawienia. Wprowadzenie własnych ustawa-

wień jest bardzo proste, gdyż w materiałach dodatkowych dostępnych na stronie Elportalu znajduje się program konfiguracyjny pokazany na **rysunku 6** (UWAGA!!! Konieczna może być instalacja platformy.NET 2.0 – do pobrania ze strony firmy Microsoft). Zanim omówię znaczenie poszczególnych parametrów, pragnę zwrócić uwagę Czytelnika, że przy każdym okienku znajduje się przycisk *Wartość domyślna* wczytujący wartość uznawaną przeze mnie za optymalną. Może to nie być jednak dobra wartość, gdyż zależy ona od kilku czynników, takich jak wymagana czułość odbiornika, użyte serwomechanizmy, itp. Istnieje znikome ryzyko uszkodzenia sprzętu

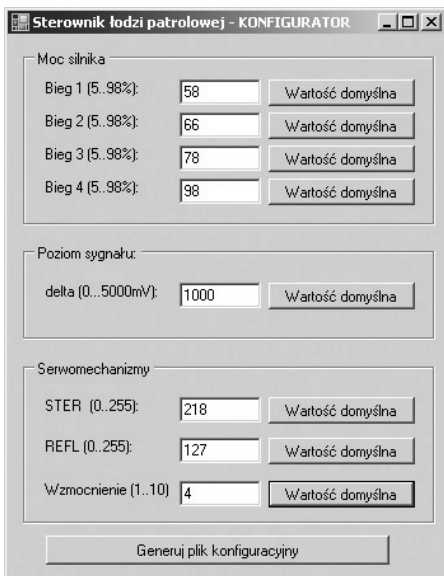
Rys. 3



Rys. 4



Rys. 5



Rys. 6

po wprowadzeniu złych nastaw, więc warto trochę poeksperymentować w tej kwestii.

Parametr *BiegX* określa procentową moc (konkretnie procent wypełnienia sygnału PWM) dla danego biegu silnika napędzającego łódź. Nie można wprowadzić wartości skrajnych (np. 0% lub 100%), aby zachować pewien margines bezpieczeństwa i nie powodować sytuacji, w której popłynie prąd przez dwa tranzystory z pominięciem silnika.

Poziom sygnału określa wymaganą różnicę między wartością minimalną i maksymalną mierzoną przez przetwornik ADC sterownika, dla której uznawane będzie, że transmitowany jest sygnał sinusoidalny. Im mniejsza wartość, tym czulszy jest odbiornik (reaguje na cichsze dźwięki), ale wartość ta nie może być za mała, gdyż zakłócenia spowodują błędy w odbiorze.

Parametry *STER* oraz *REFL* określają wypełnienie sygnału PWM, dla którego serwo mechanizm znajduje się w położeniu neutralnym (na środku). *Wzmocnienie* jest współczynnikiem, przez jaki mnożona jest wartość wychylenia przesłana w ramce danych i dodawana/odejmowana od neutralnego wypełnienia. Prościej mówiąc – wyznacza o jak duży kąt wychyli się serwo mechanizm.

Po wypełnieniu wszystkich pól pozostaje wcisnąć przycisk *Generuj plik konfiguracyjny*

Wykaz elementów

Sterownik

Rezystory

R1,R5,R8	4,7kΩ (0805)
R2,R3,R12,R17-R19	1kΩ (0805)
R4,R14	1kΩ
R6,R10,R13,R20	100kΩ (0805)
R7,R9,R27,R28	10kΩ (0805)
R11,R15,R21	10kΩ
R16,R22	1Ω
R23	100Ω (0805)
R24	100Ω
R25	22kΩ
PR1,PR2	10kΩ PR
PR3	47kΩ PR

Kondensatory

C1,C3,C4, C6,C14-C22	100nF (0805)
C2	10μF
C5	47μF
C7	1000μF
C8,C10	22nF
C9,C12	330pF
C11,C13	22pF (0805)

Półprzewodniki

D1	1N4007
D2,D3	3V3 SMD
D4	5V1
T1,T2,T6,T7	BC847 (SOT23)
T3,T5,T8,T10	IRF740
T4,T9	IRF9520
U1	ATMEGA48 (TQFP32)
U2	NE5532 (SO8)
U3	LM358

U4 LM7805

Inne

F1	1,35A
JP1	jumper x6
JP2,JP3	jumper x3
M1	elektret
Q1	20MHz
Z1,Z3-Z5	ARK2

Pilot

Rezystory

R1-R4	1kΩ
R5,R7,R9-R11	1kΩ (0805)
R6	100Ω
R8	100kΩ (0805)

Kondensatory

C1	47μF
C2,C3,C5, C7,C8,C10,C13-C15	100nF (0805)
C4,C6	47nF (0805)
C11,C12	22pF (0805)
C16	10μF

Półprzewodniki

D1	LED R
D2	LED G
D3	5V1
U1	NE5532 (so8)
U2	ATTINY26L
U3	ADXL311

Inne

F1	0,2A
JP1	jumper x6
Q1	4MHz
S1,S2	mswitch
Z1,Z2	ARK2

Płytką drukowaną jest dostępna w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2878.

i wręcić utworzony plik (*konfiguracja.hex*) do pamięci EEPROM mikrokontrolera pracującego w sterowniku za pomocą dowolnego programatora.

Kolejnym krokiem w przygotowywaniu urządzenia do pracy jest wyregulowanie układu monitorującego akumulator. Polega to na podłączeniu rozładowanego ogniwa, przekręceniu potencjometru do skrajnego położenia tak, aby dioda się zaświeciła i następnym powolnym kręceniu nim do momentu zgaszenia diody LED.

Chciałbym jeszcze zwrócić uwagę na zakłócenia generowane przez silnik, który podłączony jest do urządzenia za pomocą

odcinka przewodu. Warto zastosować przewód ekranowany, aby zmniejszyć emitowane zakłócenia. Konieczne jest również takie ułożenie przewodu, aby pracujący silnik nie wpływał na sterownik, który może w takim wypadku ulec zresetowaniu.

Do poprawnej pracy urządzenia wymagane jest skonfigurowanie Fuse Bits, które mają następujące wartości:

STEROWNIK:

HFUSE=0xD4, LFUSE=0xE7

PILOT: HFUSE=0x13, LFUSE=0xE7

Jakub Borzdziński

jakub.borzdziński@elportal.pl