

Dział „Projekty Czytelników” zawiera opisy projektów nadesłanych do redakcji EP przez Czytelników. Redakcja nie bierze odpowiedzialności za prawidłowe działanie opisywanych układów, gdyż nie testujemy ich laboratoryjnie, chociaż sprawdzamy poprawność konstrukcji.

Prosimy o nadsyłanie własnych projektów z modelami (do zwrotu). Do artykułu należy dołączyć podpisane **oświadczenie, że artykuł jest własnym opracowaniem autora i nie był dotychczas nigdzie publikowany**. Honorarium za publikację w tym dziale wynosi 250,- zł (brutto) za 1 stronę w EP. Przesyłanych tekstów nie zwracamy. Redakcja zastrzega sobie prawo do dokonywania skrótów.

## Aparatura zdalnego sterowania na pasmo 433 MHz, część 1

*Czy jest wśród męskiej części elektroników ktoś taki, kto w młodości nie chciał być strażakiem, policjantem, albo lotnikiem? Choć w miarę upływu czasu nasze plany zawodowe najczęściej ulegają weryfikacji, to zawsze gdzieś tam w głębi nas tkwią te dziecinne marzenia. Nie duśmy więc ich w sobie. Każdy z nas może zostać pilotem czy kierowcą wyścigowego bolidu. Emocje będą podobne, no może tylko bez odczuwania ogromnych przeciążeń. Do realizacji tego niezbędny jest stosowny model i aparatura zdalnego sterowania.*



### PODSTAWOWE PARAMETRY

- Częstotliwość pracy: 433,92 MHz
- Moc nadajnika: 10 mW
- Czulość odbiornika: 2  $\mu$ V
- Zasięg maksymalny: ok. 300 m
- Liczba kanałów: 4 lub 7
- Pobór prądu nadajnika: 35 mA
- Pobór prądu odbiornika: 20 mA (bez dodatkowych urządzeń)

Modele zdalnie sterowane zdobywają w naszym kraju coraz większą popularność. W sklepach modelarskich można kupić aparaturę RC (*Remote Control*) w wielu odmianach. Najprostsze urządzenia tego typu, dostarczane razem z „supermarketowymi” zabawkami, używają najczęściej pasma 27 MHz. Są to zwykle tanie wyroby o niskiej jakości i słabych cechach użytkowych. Do nieco bardziej zaawansowanych modeli kierowane są urządzenia pracujące w pasmach 35 lub 40 MHz, w ściśle określonych kanałach zarezerwowanych do celów zdalnego sterowania modelami. Urządzenia z tej drugiej grupy zapewniają precyzyjne sterowanie w kilku (3 i więcej) kanałach proporcjonalnych. Aparatura RC tego rodzaju musi spełniać dość ostre wymagania dotyczące zwłaszcza stabilności częstotliwości i szerokości pasma emitowanego sygnału. Obowiązują one również w stanach przejściowych (start, wyłączenie zasilania) tak, aby nie zakłócała działania innych urządzeń pracujących w kanałach sąsiednich. Odbiorniki muszą mieć również odpowiednią czułość, selektywność i odporność na zakłócenia. Urządzenia takie są stosunkowo drogie, zwłaszcza przy większej liczbie kanałów. W warunkach amatorskich, bez specjalistycznego sprzętu pomiarowego RF, praktycznie nie ma możliwości wykonania aparatury spełniającej powyższe wymagania.

Decydując się na samodzielne wykonanie aparatury i biorąc pod uwagę wymienione uwarunkowania, zdecydowałem się na użycie gotowych modułów nadawczych i odbiorczych na pasmo 433 MHz. Są to moduły: BT27 firmy STE – dwustopniowy, stabilizowany rezonatorem SAW nadajnik o mocy ok. 10 mW oraz superheterodynowy odbiornik BR27, o stosunkowo wysokiej czułości, również wyposażony w filtr SAW. Zarówno mała moc, jak i użyte pasmo czynią prezentowane urządzenie legalnym w świetle prawa oraz zapewniają, że nie wpłynie ono na działanie fabrycznych aparatów RC pracujących w pobliżu. Niemniej jednak należy pod-

kreślić istniejące ryzyko, wynikające z faktu, że pasmo 433 MHz jest dostępne ogólnie i jest wykorzystywane do takich celów jak alarmy samochodowe, sterowanie bram, telemetria itp. Trzeba się więc liczyć z ryzykiem występowania zakłóceń, zwłaszcza w terenach miejskich. Z tego względu opisywana aparatura jest przeznaczona do zdalnego sterowania raczej prostych i małych (niegroźnych dla otoczenia w razie awarii) modeli pływających, jeżdżących lub latających, na dystansach nie przekraczających 200...300 m.

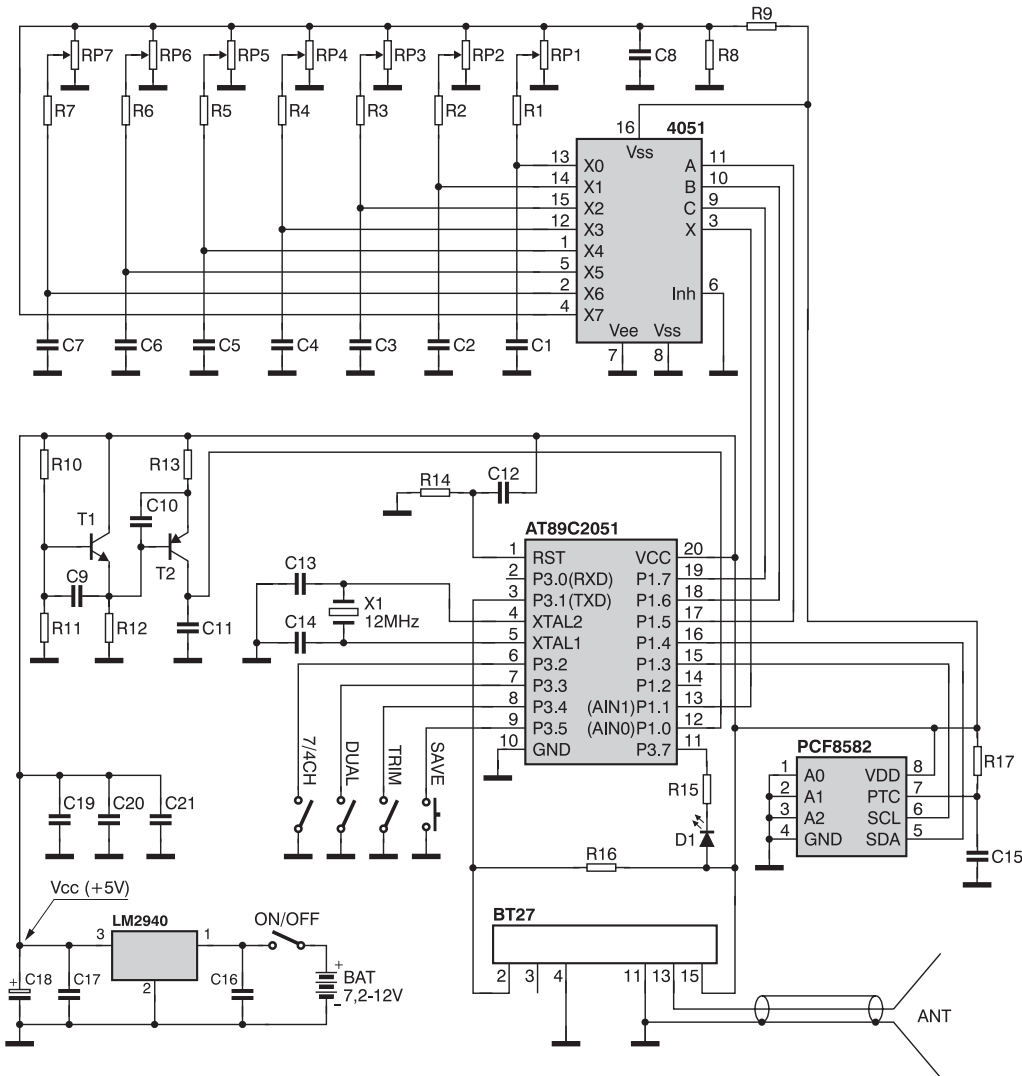
### Sygnaly wyjściowe

Najczęściej wykorzystywanym w modelarstwie mechanizmem wykonawczym jest serwomechanizm (serwo). Standardowy sygnał sterujący serwomechanizmem ma postać dodatniego impulsu (+5 V) o czasie trwania od 1 do 2 ms, powtarzanego co ok. 20 ms. Zakres 1...2 ms długości impulsu odpowiada znamionowemu zakresowi ruchu ramienia serwa (zwykle 90°). Większość serwomechanizmów jest w stanie przyjąć sygnał w nieco szerszych granicach wartości, a zakres ruchu wielu z nich przekracza 120°. Nie jest to jednak regułą.

Opisywana aparatura generuje na wyjściach odbiornika takie właśnie standardowe sygnały sterujące. Praktycznie wszystkie inne stosowane w modelarstwie urządzenia końcowe, takie jak np. regulatory obrotów silników elektrycznych, czy nawet dwustanowe przełączniki, wymagają sygnałów wejściowych tego samego typu, można więc ich używać z opisywaną aparaturą.

### Działanie nadajnika

Napięcia z potencjometrów RP1...RP7 (**rys. 1**) są podawane poprzez filtry dolnoprzepustowe R1...R7, C1...C7 na wejścia X0...X6 multipleksera analogowego HC4051, które są wybierane adresami podawanymi przez procesor do wejść A, B, C. Napięcie z wyjścia X multipleksera jest kierowane na wejście (-) komparatora wbudowanego w procesor (P1.1). Na wejście (+)



Rys. 1. Schemat nadajnika

komparatora (P1.0) jest podawane napięcie z kondensatora C11. Kondensator ten jest ładowany stałym prądem, ze skompensowanego temperaturowo źródła prądowego wykonanego na tranzystorach T1 i T2. Przed pomiarem napięcia, na wyjściu P1.0 występuje stan niski, zatem C11 jest zwarty do masy. W momencie startu pomiaru, port P1.0 przechodzi w stan wysokiej impedancji. Napięcie na kondensatorze rośnie liniowo i w pewnym momencie przekracza wartość napięcia z odczytywanego potencjometru. Procesor mierzy czas, po jakim to następuje. Jest on proporcjonalny do mierzonego napięcia. Po zakończeniu pomiaru procesor adresuje kolejne wejście multiplexera i cykl się powtarza.

Zastosowanie kompensacji temperaturowej w źródle prądowym T1, T2, wraz z dobraniem kondensatora C11 o niskim współczynniku temperaturowym okazało się konieczne, aby przy dużych zmianach temperatury (np. zi-

mowe wyjście w plener) pomiar i sterowanie było powtarzalne. Jest to dość ważne w wypadku np. modeli latających, gdzie nawet małe zmiany położenia elementów sterujących wpływają silnie na zachowanie w locie.

Wyjście szeregowe wewnętrznego UART-a (P3.1) jest podłączone bezpośrednio do wejścia kluczującego nadajnika BT27 (nóżka 2). Poprzez to wyjście wysyłane są paczki danych zawierające wartości kanałów i sumy kontrolne. Transmisja odbywa się z prędkością ok. 1800 b/s, która jest w miarę bezpieczna dla zastosowanego nadajnika BT27 (przy 2400 b/s niektóre egzemplarze miały kłopoty z transmisją). Problemy te, jeśli wystąpią, można znacznie ograniczyć dokonując niewielkiej modyfikacji nadajnika BT27 (opis w dalszej części artykułu).

Układ może pracować w trybie 4 lub 7 kanałów. Tryb jest wybierany mikroprzełącznikiem „7/4CH” (rozwar-ty – 4 kanały, zwarty – 7 kanałów).

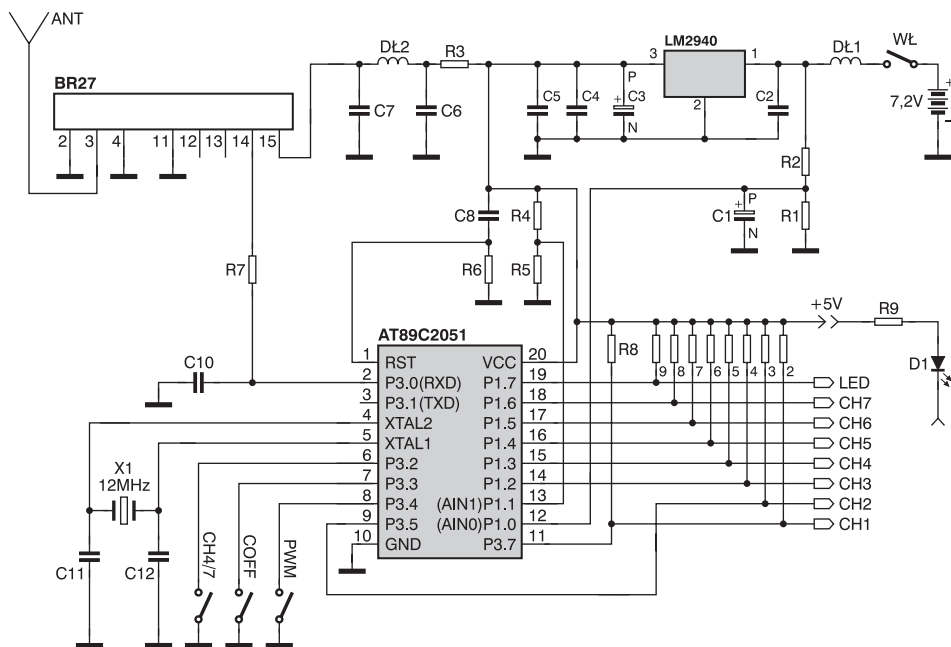
Jeśli nie korzystamy z większej liczby kanałów, zaleca się ustawienie wersji 4-kanałowej. Wtedy ramki transmisyjne są krótsze i częściej powtarzane, co zwiększa płynność działania układu. Oczywiście odbiornik musi być również przestawiony we właściwy tryb. Jeśli urządzenie ma pracować wyłącznie w trybie 4-kanałowym, potencjometry RP5...RP7 nie będą potrzebne, podobnie jak podłączone do nich elementy R i C. Wejścia X4, X5, X6 multiplexera należy wtedy zwrzeć do masy.

### Funkcje dodatkowe

Dość przydatną cechą aparatury RC jest możliwość trymowania wartości kanałów. Nazywamy tak niewielkie regulacje (przesunięcie) nadawanych wartości kanałów, pozwalające na precyzyjne ustawienie serwo-mechanizmów w zadanej pozycji, przy określonej pozycji potencjometrów. Mam tu na myśli zwłaszcza „neutralne” ustawienia powierzchni sterowych w modelu samolotu w momencie, gdy ślizgacze potencjometrów w nadajniku znajdują się w swoich środkowych położeniach. Oczywiście, można to osią-

gnąć poprzez regulacje mechaniczne w modelu, ale niewątpliwie szybciej i wygodniej (zwłaszcza w warunkach polowych) robi się to po stronie nadajnika.

W opisanej aparaturze trymowanie jest dostępne dla kanałów 2, 3 i 4, przeznaczonych głównie do sterowania za pomocą drążków, powracających samoczynnie w pozycje środkowe. Zakres trymowania wynosi około  $\pm 25\%$  nominalnego zakresu wartości wyjściowych. Domyślnie wartość trymu wynosi 0. Aby ją zmienić, należy najpierw ustawić potencjometry kanałów 2...4 w pobliżu pozycji środkowych, a następnie wprowadzić nadajnik w tryb trymowania (zewrzeć przełącznik „TRIM”). W tym stanie, odchylenie dowolnego z potencjometrów o więcej niż około 1/3 zakresu w górę lub w dół od wartości środkowej (neutrum), skutkuje powolnym zwiększaniem lub zmniejszaniem wartości trymu. Po osiągnięciu zadawalającej wartości trymowań,



Rys. 2. Schemat odbiornika

parametry te można zapamiętać w pamięci EEPROM (PCF8582), naciskając przycisk SAVE. Aby szybko wyzerować wszystkie trymowania, należy włączyć nadajnik z drążkami potencjometrów w neutrum oraz wciśniętym przyciskiem TRIM. Zostaną ustawione zerowe wartości trymów. Jeśli w planowanym zastosowaniu aparatury trymowanie jest zbędne, układ można uprościć, nie montując elementów pamięci EEPROM (PCF8582, R17 i C15) oraz przycisków TRIM i SAVE. Układ będzie działał poprawnie, a wartości trymów będą zerowe.

Inną często przydatną funkcją, zwłaszcza przy nauce sterowania modelami latającymi, jest tzw. „dual rate”, czyli zmniejszenie (zwykle dwukrotne) maksymalnych wychyleń sterów. Model jest wtedy łatwiejszy do opanowania, mniej „narowisty”. W opisywanym układzie funkcja ta jest dostępna po zwarceniu przycisku DUAL w nadajniku. Dotyczy ona (tak jak w przypadku trymowania) kanałów nr 2, 3 i 4.

### Działanie odbiornika

Sygnal z modułu odbiornika BR27 (rys. 2) jest podawany przez filtr R7, C10 na wejście szeregowego UART-a (RXD). Po zdekodowaniu paczka danych sprawdzana jest poprawność bajtów kontrolnych. Błędne paczki są odrzucane. Po odebraniu każdej poprawnej paczki dioda LED zmienia stan na przeciwny, zatem przy 100% poprawnej transmisji mruga ona w szybkim tempie, synchronicznie do diody w nadajniku.

Po zdekodowaniu odebranych wartości procesor wysyła impulsy sterujące na wyjścia kanałów CH1...CH4, lub CH1...CH7, zależnie od trybu pracy (4 czy 7 kanałowy). Tryb wybiera się zworką „7/4CH”, w stanie rozwartym ustawiony jest tryb 4-kanałowy. Oczywiście musi być identyczny jak ustawiony aktualnie w nadajniku.

W obwodzie zasilania użyto stabilizatora LM2940, mogącego pracować już od napięcia 5,5 V. Zasila on nie tylko odbiornik, ale i podłączone do niego serwomechanizmy. Wydajność ok. 1 A pozwala na zasilanie kilku serw klasy mini lub mikro (np. popularnych typów HS55, HS81, itp.). Jeśli chcemy zasilać więcej cięższych serw, trzeba zastosować do nich zasilanie zewnętrzne +5 V o większej wydajności.

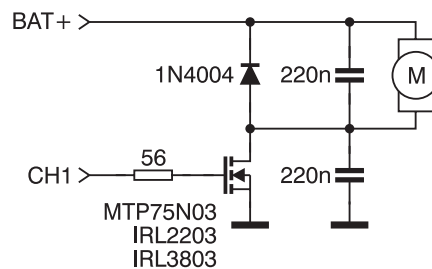
Kanał nr 1 odbiornika może pracować w dwóch trybach. W pierwszym wysyła standardowe impulsy sterujące (1...2 ms), takie same jak pozostałe kanały. W drugim trybie wystawia sygnał PWM o częstotliwości kilkuset Hz i wypełnieniu od 0 do 100%, propor-

cjonalnie do wartości kanału. Tryb PWM jest wybierany przełącznikiem „PWM” (port P3.4). Sygnal taki można wykorzystać do sterowania silnikiem elektrycznym, za pomocą prostego klucza sterującego, opartego na tranzystorze FET, tak jak pokazano na rys. 3. Rozwiązanie to jest znacznie tańszym odpowiednikiem standardowego, modelarskiego regulatora obrotów silnika. Oczywiście można użyć również regulatorów fabrycznych, wtedy kanał 1 powinien zostać ustawiony w tryb standardowy.

Dodatkową funkcją ułatwiającą używanie kanału nr 1 wraz z silnikiem elektrycznym, jest tzw. „cut off”, czyli odcinanie silnika w momencie spadku napięcia zasilania poniżej wartości krytycznej. Ma to zapobiec zupełnej utracie kontroli nad modelem wskutek wyczerpania się źródła zasilania. Po pierwszym zadziałaniu odcięcia, dalsze sterowanie jest jeszcze przez pewien czas możliwe, ale ze zredukowaną mocą – tak, aby napięcie zasilania nie opadało poniżej wyznaczonej granicy. Zwykle jest to czas zupełnie wystarczający do bezpiecznego sprawdzenia modelu w bezpiecznym miejscu.

Układ odcięcia jest zrealizowany na rezystorach R1, R2 oraz R4, R5 i wbudowanym w procesor komparatorze. Wartości dzielników pomiarowych są tak dobrane, że zrównanie się napięć na wejściach następuje przy napięciu zasilania około 5,8 V. Po wykryciu spadku poniżej tej granicy, na kanał nr 1 jest wystawiana wartość minimalna, adekwatnie do trybu kanału jest to impuls 1 ms lub sygnał PWM o wypełnieniu 0% (tzn. 0 V). Funkcję odcięcia można wyłączyć zwiernając przełącznik COFF.

Jak wiemy, odbiornik ignoruje błędne paczki, eliminuje to całkowicie zjawisko „trzępiania” serw w obecności zakłóceń, znane z odbiorników analogowych. W obecności zakłóceń lub zaniku sygnału, odbiornik przez ok. 1 sekundę generuje sygnały sterujące równe ostatnio odczytanej paczce danych. Przy przedłużającym się zaniku sygnału, ustawia na wszystkich wyjściach wartość średnią, oprócz kanału 1, gdzie podawana jest wartość minimalna (patrz opis uruchomienia nadajnika). Jest to funkcja tzw. „fail-safe”, dzięki której straty wywołane utratą panowania nad modelem mogą być ograniczone. Przykładowo, stateczny model samolotu przechodzi wtedy do lotu szybowego na wprost.



Rys. 3. Klucz sterujący silnikiem elektrycznym wykonany na tranzystorze FET

Jakub Witkowski