

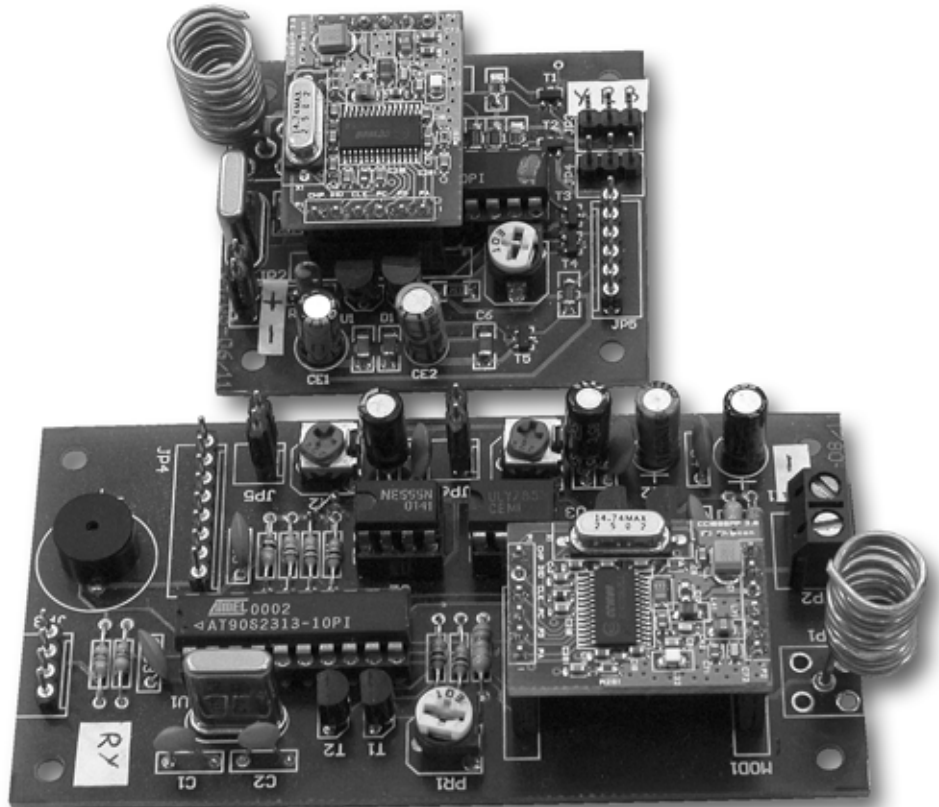
# Radiowy system zdalnego sterowania z kanałem zwrotnym, część 1

## AVT-517



*W skład prezentowanego systemu wchodzi nadajnik i odbiornik, które pozwalają sterować dwoma serwomechanizmami i dwoma wyjściami typu włącz/wyłącz. Możliwa jest praca z kanałem zwrotnym, którym przesyłane są dane z odbiornika do nadajnika.*

**Rekomendacje:** zestaw przydatny do dwukierunkowej transmisji danych na relatywnie duże odległości w nielicencjonowanym paśmie 433 MHz. Może spełniać rolę systemu zdalnego sterowania modeli lub medium transmisyjnego w lokalnych systemach telemetrycznych.

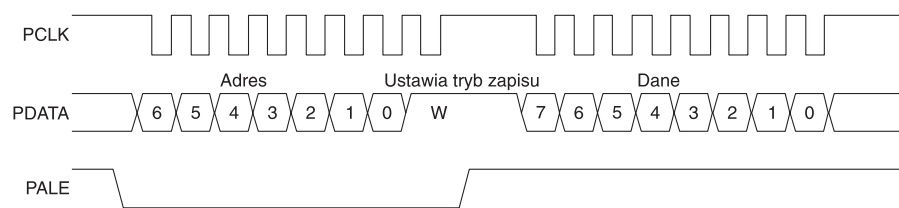


Najprostszy sposób sterowania na odległość pracą jakiegoś urządzenia polega na połączeniu go ze stanowiskiem operatora za pomocą kabla. Gdy nie jest to możliwe, najwygodniej jest użyć łącz bezprzewodowych, z których największą popularnością cieszą się łącza radiowe. Radiową transmisję danych można wykorzystać także do zdalnego sterowania modeli samolotów, łodzi lub innych pojazdów. Oprócz wymaganej niezawodności i możliwie dużego zasięgu, istnieje jeszcze jedno ograniczenie związane z wykonaniem radiowej aparatury do zdalnego sterowania/transmisji danych - jej koszt. Prezentowany w artykule zestaw można zbudować stosunkowo tanio, a jego najważniejsze parametry są następujące:

- obsługuje 2 niezależne kanały do sterowania serwomechanizmami,

- obsługuje 2 niezależnie przełączane wyjścia typu włącz/wyłącz,
- praca z kanałem zwrotnym z możliwością przekazywania do nadajnika m.in. informacji o stanie jednego wejścia typu włącz/wyłącz odbiornika,
- kontrola i sygnalizacja poziomu napięcia zasilania zarówno nadajnika, jak i odbiornika,
- zasilanie nadajnika 4,5...9 V/33 mA,
- zasilanie odbiornika 4,5...9 V/15 mA (ze względu na zasilanie serwomechanizmów zalecane 4,8...6 V),
- transmisja radiowa w paśmie 433 MHz z mocą nadajników 10 mW,
- cyfrowo kodowana transmisja danych sterujących.

Najważniejszym elementem prezentowanego systemu jest półdupleksowy radiomodem, który wykonano na układzie CC1000 firmy Chipcon. Ze względu na łatwość zastosowania i stosunko-



Rys. 1. Przebiegi czasowe sygnałów przy zapisie danych do rejestru wewnętrznego

wo niską cenę użyto gotowego modułu z tym układem - CC1000PP - produkowanego przez firmę Soyter.

### Zintegrowany transceiver CC1000PP

Zastosowanie jako kompletnego toru radiowego gotowego modułu wynika z chęci uproszczenia pracy konstruktorów. Dzięki temu, mamy „z głowy“ konieczność optymalizowania i wykonywania płytki drukowanej pod kątem wymogów stawianych urządzeniom pracującym w paśmie 433 MHz. Niewłaściwe poprowadzenie ścieżek czy powierzchni masy powoduje katastrofalne pogorszenie czułości i efektywnej mocy nadajnika, co oznacza zmniejszenie zasięgu. Kłopotliwe jest także zdobycie w ilościach detalicznych i montaż miniaturowych elementów SMD. Moduł CC1000PP ma niewielkie wymiary (28 x 21 mm) i byłoby niezwykle trudno w warunkach amatorskich samodzielnie wlutować użyte do jego budowy miniaturowe elementy.

Moduł umożliwia dwukierunkową transmisję danych. Przełączanie pomiędzy nadawaniem i odbiorem odbywa się programowo. Dzięki temu można było w łatwy sposób stworzyć kanał zwrotny, którym przesyłane są dodatkowe informacje do operatora.

Do komunikacji z modułem używanych jest 5 linii pogrupowanych w dwa interfejsy różniące się funkcjami. Wyprowadzenia PALE, PDATA i PCLK służą do programowania trybu pracy, co wiąże się z zapisem lub odczytem zawartości wewnętrznych rejestrów układu CC1000. Za pomocą tych linii można np. zaprogramować częstotliwość pracy, zmienić tryb pracy (nadawanie - odbiór), ustawić moc wyjściową w trybie nadawania, przeprowadzić kalibrację itd.

Na rys. 1 pokazano przebiegi czasowe sygnałów na wymiennych wyprowadzeniach podczas zapisu danych do jednego z rejestrów wewnętrznych układu. Dane przesyłane są linią PDATA i taktowane opadającym zboczem impulsu zegarowego linii PCLK. Najpierw, przy niskim poziomie linii PALE, transmitowany jest 7-bitowy adres wewnętrznego rejestru układu CC1000. Poziom wysoki ostatniego, ósmego bitu oznacza, że chodzi o operację zapisu. Następnie poziom na linii PALE zmienia się na wysoki i transmitowanych jest 8 bitów danych wpisywanych do wybranego wcześniej rejestru.

Linie DCLK i DIO tworzą drugi interfejs używany do wysyłania i odbioru danych przesyłanych drogą radiową. Do przesyłania bitów danych wykorzystywana jest linia DIO, natomiast na DCLK pojawiają się generowane przez CC1000 impulsy zegara synchronizujące transfer każdego bitu. W przypadku gdy moduł pracuje jako nadajnik, kolejny bit danych podawanych szeregowo na linię DIO powinien pojawić się przed narastającym zboczem impulsu zegarowego. Gdy moduł pracuje jako odbiornik, dane na linii DIO zmieniają kierunek. Wtedy zbocze narastające impulsu zegarowego określa moment, gdy z linii danych można odczytać kolejny bit odbieranych danych.

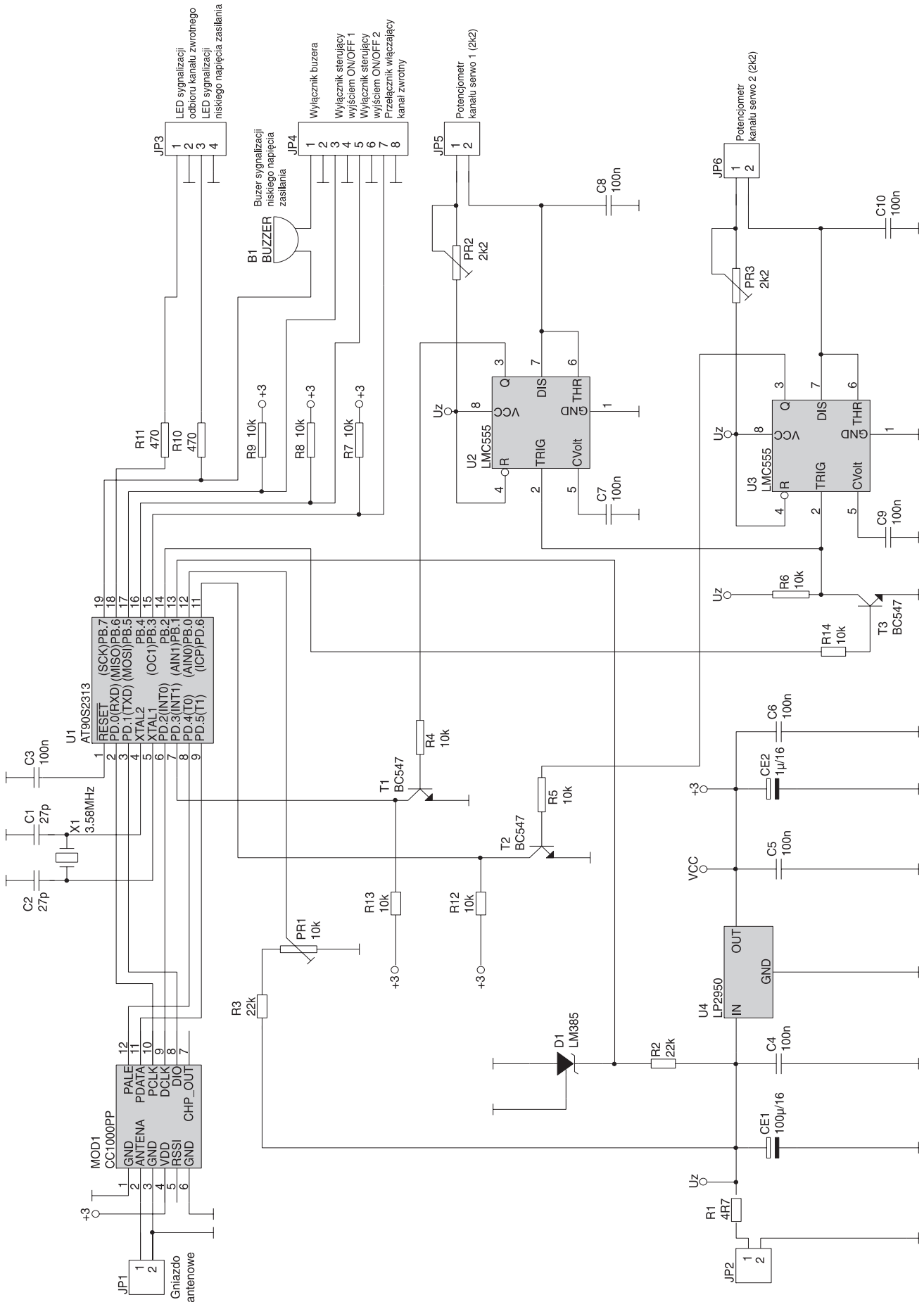
### Część operatorska - nadajnik

Ta część zestawu służy operatorowi m.in. do sterowania serwomechanizmami po stronie odbiorczej. Schemat elektryczny układu przedstawiono na rys. 2. Ze względu na przeznaczenie, schemat można podzielić na trzy funkcjonalne części: przetworniki położenia, elementy sterujące i sygnalizacyjne oraz układy dopasowujące.

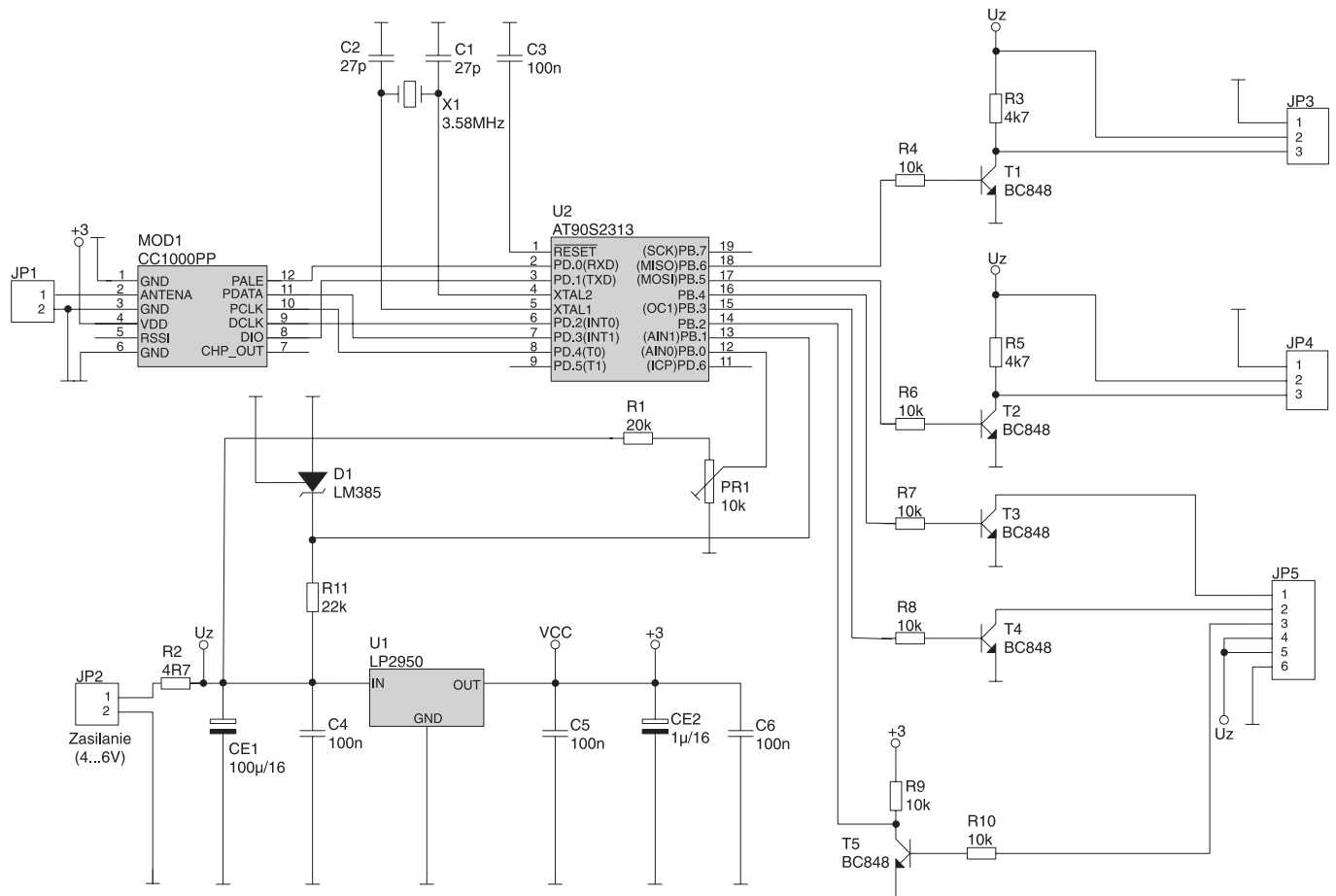
### Przetworniki położenia

Do sterowania położeniem serwomechanizmów służą operatorowi dwa potencjometry dołączone do gniazd JP5 i JP6. Zmianie położenia pokręteł potencjometrów powinien odpowiadać analogiczny ruch serwomechanizmów. Ponieważ transmisja danych odbywa się w sposób cyfrowy, położenie suwaków potencjometrów powinno być zakodowane w ten właśnie sposób. Służą do tego celu układy U2 i U3 (popularne układy czasowe typu 555). Pracują one jako generatory pojedynczego impulsu o regulowanym czasie trwania zależnym od oporności potencjometrów dołączonych do gniazd JP5 i JP6. Proces zamiany informacji o pozycji potencjometrów na postać cyfrową przebiega następująco. Najpierw procesor wytwarza na wyjściu 14 impulsów wyzwalający dla obu generatorów. Impuls ten podawany jest na wejścia TRIG U2 i U3. Powoduje to pojawienie się na ich wyjściach Q impulsu o czasie trwania zależnym od pojemności stałego kondensatora (C10 dla U3 i C8 dla U2) i oporności potencjometru sterującego. Impulsy podawane są na wyprowadzenia 7 i 11 procesora. Narastające zbocza impulsów z wyjść Q układów czasowych uruchamiają wewnętrzne programowe liczniki procesora, natomiast zbocza opadające tych impulsów zatrzymują pracę liczników. W ten sposób czas trwania impulsu może być zliczony przez licznik i zamieniony na liczbę z przedziału 0...255, proporcjonalną do położenia suwaka potencjometru sterującego.

Zastosowane w prototypie potencjometry sterujące mają oporność 2,2 kΩ i w połączeniu z kondensatorami C8 dla kanału pierwszego i C10 dla kanału 2 pozwalają wytwarzać impulsy na wyjściach Q o czasie trwania od 1 ms do 2,2 ms. Można zastosować potencjometry o innej oporności, co wiąże się z dobieraniem wartości kondensatorów C8, C10 oraz oporników korekcyjnych PR2 i PR3 tak, aby przy ustalonych skrajnych położeniach potencjometrów generowane były impulsy o czasach trwania 1 ms i 2,2 ms. Należy sko-



Rys. 2. Schemat elektryczny nadajnika



Rys. 3. Schemat elektryczny odbiornika

rzystać ze wzoru na obliczenie czasu trwania impulsu:

$$TQ = 1,1(Rx * Cx), \text{ gdzie:}$$

TQ - czas trwania impulsu na wyjściach Q układów U2 i U3 w sekundach

Rx - sumaryczna oporność potencjometrów i oporników korekcyjnych w [Ω]

Cx - pojemność kondensatorów C8 i C10 w [F]

### Elementy sterujące i sygnalizacyjne

Oprócz przetworników położenia, układ wyposażono w gniazda dla przełączników sterujących dwoma wyjściami włącz/wyłącz oraz przełącznikiem włączającym kanał zwrotny. Znajdują się one na złączu JP4. Wyjścia włącz/wyłącz przyjmują po stronie odbiorczej poziom odpowiadający stanowi logicznemu, jaki wymusza przełączniki dołączone do JP4-3 i 5. Z kolei przełącznik dołączony do JP4-7 włącza lub wyłącza kanał zwrotny. Jeżeli zewrze on to wyprowadzenie do masy, nadajnik sterujący, każdorazowo po wysłaniu dro-

gą radiową danych do części odbiorczej, będzie przełączał się na odbiór i oczekiwał transmisji zwrotnej z odbiornika. Wyłącznik dołączony pomiędzy JP4-1 i 2 będzie uaktywniał buczek sygnalizujący stany awaryjne.

Do gniazda JP3 dołączane są diody sygnalizacyjne. Dioda LED dołączona do JP3-1 i 2 informuje o stanie wejścia włącz/wyłącz odbiornika (jeżeli kanał zwrotny jest włączony), natomiast LED JP3-3 i 4 sygnalizuje niski poziom napięcia zasilania.

Do grupy elementów sygnalizacyjnych można zaliczyć także układ detekcji poziomu napięcia zasilającego. Opornik R2 i źródło napięcia odniesienia D1 wytwarzają stabilne napięcie o wartości 1,2V podawane na wejście 13 mikrokontrolera. W mikrokontrolerach AT90S2313 jest to wejście odwracające wewnętrzny komparatora. Do wejścia nieodwracającego podawane jest napięcie z suwaka potencjometru PR1 i jego wielkość jest proporcjonalna do wartości napięcia zasilania Uz.

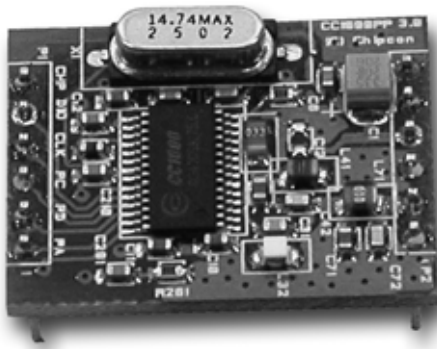
Jeżeli napięcie zasilania spadnie poniżej ustalonego potencjometrem progu, wewnętrzny komparator umożliwi procesorowi wykrycie tego faktu i poinformowanie operatora poprzez zaświecenie diody LED.

### Układy dopasowujące

Zarówno moduł transceivera, jak i procesor są zasilane stabilizowanym napięciem +3V wytwarzanym przez układ U4. Dla umożliwienia procesorowi współpracy z innymi układami zasilanymi napięciem Uz potrzebne są stopnie dopasowujące poziomy napięć. Służą do tego tranzystory T1, T2 i T3.

### Część odbiorcza

Na rys. 3 przedstawiono schemat części odbiorczej sterującej dołączonymi serwomechanizmami. Niektóre fragmenty tego układu są identyczne jak w części nadawczej układu. Dotyczy to procesora, połączonego z nim modułu transceivera i układu detekcji niskiego poziomu zasilania. Pozostałe obwody związane z tranzystorami



T1-5 pełnią funkcję obwodów wejścia/wyjścia. I tak do złącz JP3 i JP4 dołączane są serwomechanizmy. Do gniazda JP5-1 i 2 doprowadzone zostały wyprowadzenia przełączników włącz/wyłącz. Są one typu otwarty kolektor. Z kolei do JP3-3 dołączone jest wejście włącz/wyłącz odbiornika. Jeżeli zostanie podany na nie poziom wysoki napięcia, odpowiednia dioda sygnalizacyjna nadajnika zostanie zapalona.

Sterowanie serwomechanizmami odbywa się poprzez wygenerowanie co pewien czas dodatniego impulsu. Serwomechanizm obróci się w lewo, jeśli impuls będzie krótszy, a w przeciwną stronę, jeśli się wydłuży. Kąt obrotu zależy od czasu trwania impulsu, a ten z kolei od zakodowanych cyfrowo i przesłanych drogą radiową danych sterujących. Do prób z prototypem użyte zostały serwomechanizmy firmy HITEC HS300 i HS322. Wymagają one pojawiania się impulsów co 20 ms. Skrajnym położeniom serwomechanizmów odpowiadają czasy 0,9 ms i 2,1 ms. Impulsy o czasach zawartych pomiędzy tymi wartościami ustawiają serwomechanizmy w położeniach pośrednich.

### Opis działania zestawu nadajnik-odbiornik

Ponieważ większość spraw związanych z funkcjonowaniem układu została już poruszona podczas omawiania schematów ideowych nadajnika i odbiornika, teraz ograniczę się jedynie do krótkiego opisu współdziałania nadajnika i odbiornika.

Po włączeniu zasilania odbiornik automatycznie ustawia obydwa serwomechanizmy w pozycjach neutralnych, wyjścia włącz/wyłącz są wyłączone, a moduł

i procesor przechodzą w tryb odbioru danych.

Nadajnik po włączeniu odczytuje położenie potencjometrów sterujących, korzystając z przetworników położenia. Następnie odczytywany jest stan przełączników sterujących wyjściami włącz/wyłącz odbiornika i stan przełącznika załączającego kanał zwrotny. Formowane są bajty danych i następuje ich wysyłanie do odbiornika. Jeżeli kanał zwrotny nie jest aktywny, nadajnik po zakończeniu transmisji ponownie sprawdza położenie potencjometrów, przełączników i wykonuje kolejną transmisję w nieprzerwanej pętli odczytów i transmisji.

Jeżeli kanał zwrotny jest włączony po zakończeniu transmisji, nadajnik przechodzi na nasłuch i oczekuje odpowiedzi z odbiornika. Jeżeli odpowiedź nie pojawi się przez ok. 100 ms i fakt ten powtórzy się podczas kolejnych trzech transmisji, nadajnik sygnalizuje brak kanału zwrotnego migotaniem diody dołączonej do JP3-3 i 4. Jeżeli odpowiedź pojawi się, jest ona dekodowana. Zależnie od stanu wejścia włącz/wyłącz odbiornika, dioda dołączona do JP3-1 i 2 jest zapalana lub gaszona. Jednocześnie, jeżeli w informacji przesyłanej kanałem zwrotnym ustawiony zostanie bit niskiego napięcia zasilania odbiornika, dioda dołączona do JP3-3 i 4 będzie się świeciła tak długo, jak długo ten bit będzie aktywny.

Odbiornik po odebraniu transmisji dekoduje dane i zmienia parametry impulsów sterujących serwomechanizmami. Wyjścia włącz/wyłącz ustawiane są w stan zgodny z przesłanymi z nadajnika danymi. Jeżeli w transmisji ustawiony jest bit kanału zwrotnego, odbiornik odczytuje poziom wejścia włącz/wyłącz i poziom swojego napięcia zasilania. Następnie formowany jest bajt odpowiedzi i wysyłany, po czym odbiornik wraca do trybu nasłuchu.

**Ryszard Szymaniak, AVT**  
[ryszard.szymaniak@ep.com.pl](mailto:ryszard.szymaniak@ep.com.pl)

Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/pdf/lipiec03.htm> oraz na płycie CD-EP7/2003B w katalogu PCB.

### WYKAZ ELEMENTÓW

#### Nadajnik

##### Rezystory

PR1: potencjometr montażowy 10kΩ  
 PR2, PR3: potencjometr montażowy 2,2kΩ  
 R1: 4,7Ω  
 R2, R3: 22kΩ  
 R4...R9, R12...R14: 10kΩ  
 R10, R11: 470Ω

##### Kondensatory

CE1: 100μF/16V  
 CE2: 1μF/16V  
 C1, C2: 27pF  
 C3...C10: 100nF

##### Półprzewodniki

U1: zaprogramowany AT90S2313  
 D1: źródło napięcia odniesienia 1,2V LM385  
 U2, U3: LMC555  
 U4: stabilizator 3V (lub dowolny inny w obudowie TO-92A, np. LP2950-3)  
 T1...T3: BC547

##### Różne

X1: kwarc 3,58MHz  
 B1: sygnalizator akustyczny  
 MOD1: CC1000PP - moduł radiowy na pasmo 433MHz  
 Podstawka DIP20  
 Listwy złącza dla modułu 2 x 6 (gold pin)

#### Odbiornik

##### Rezystory

PR1: 10kΩ  
 R1: 20kΩ SMD1206  
 R2: 4,7Ω SMD1206  
 R3, R5: 4,7kΩ SMD1206  
 R4, R6...R10: 10kΩ SMD1206  
 R11: 22kΩ SMD1206

##### Kondensatory

C1, C2: 27pF SMD1206  
 C3...C6: 100nF SMD1206  
 CE1: 100μF/16V  
 CE2: 1μF/16V

##### Półprzewodniki

U2: AT90S2313 zaprogramowany  
 T1...T5: BC848 SMD  
 MOD1: CC1000PP - moduł radiowy na pasmo 433MHz  
 D1L źródło napięcia odniesienia 1,2V LM385  
 U1: stabilizator 3V (lub dowolny inny w obudowie TO-92A, np. LP2950-3)

##### Różne

X1: 3,58MHz  
 Podstawka DIP20  
 Listwy złącza dla modułu 2 x 6 (gold pin)