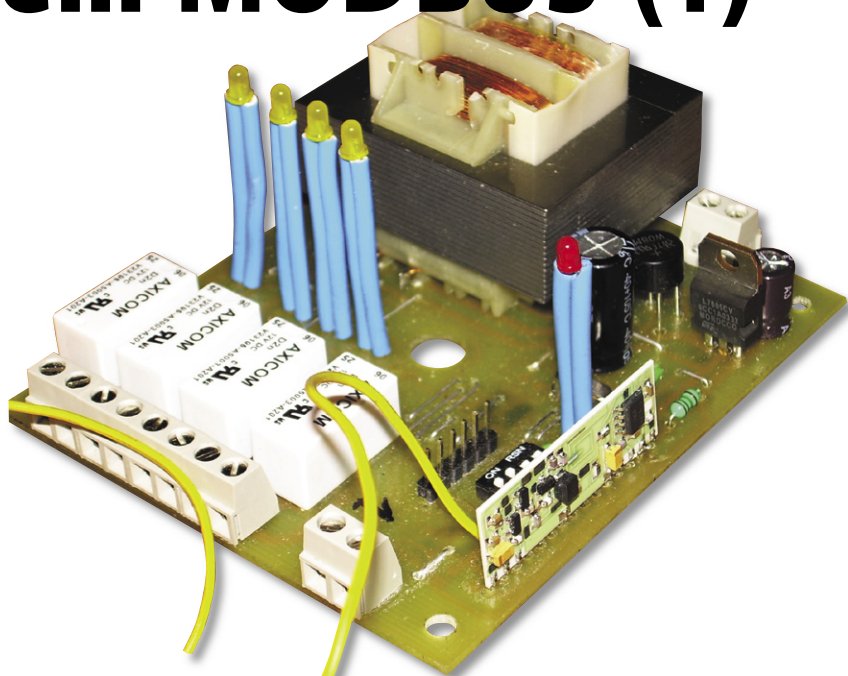


# 4-kanałowe radiowe zdalne sterowanie RFM1 z interfejsem MODBUS (1)

W handlu istnieje wiele tanich jedno- i dwukanałowych modułów zdalnego sterowania produkcji dalekowschodniej. Ich stosowanie jest rozwiązaniem zadowalającym i najtańszym w dużej części zastosowań, jednak gdy zachodzi potrzeba sterowania większą liczbą kanałów, i to z użyciem komputera, konieczne jest samodzielne stworzenie odpowiedniego sterownika.

**Rekomendacje:**  
urządzenie dedykujemy elektronikom budującym systemy zdalnego sterowania dające się łatwo przystosować do własnych wymagań.



## AVT-5143

W ofercie AVT jest dostępna:  
– [AVT-5143A] – płytka drukowana

### PODSTAWOWE PARAMETRY

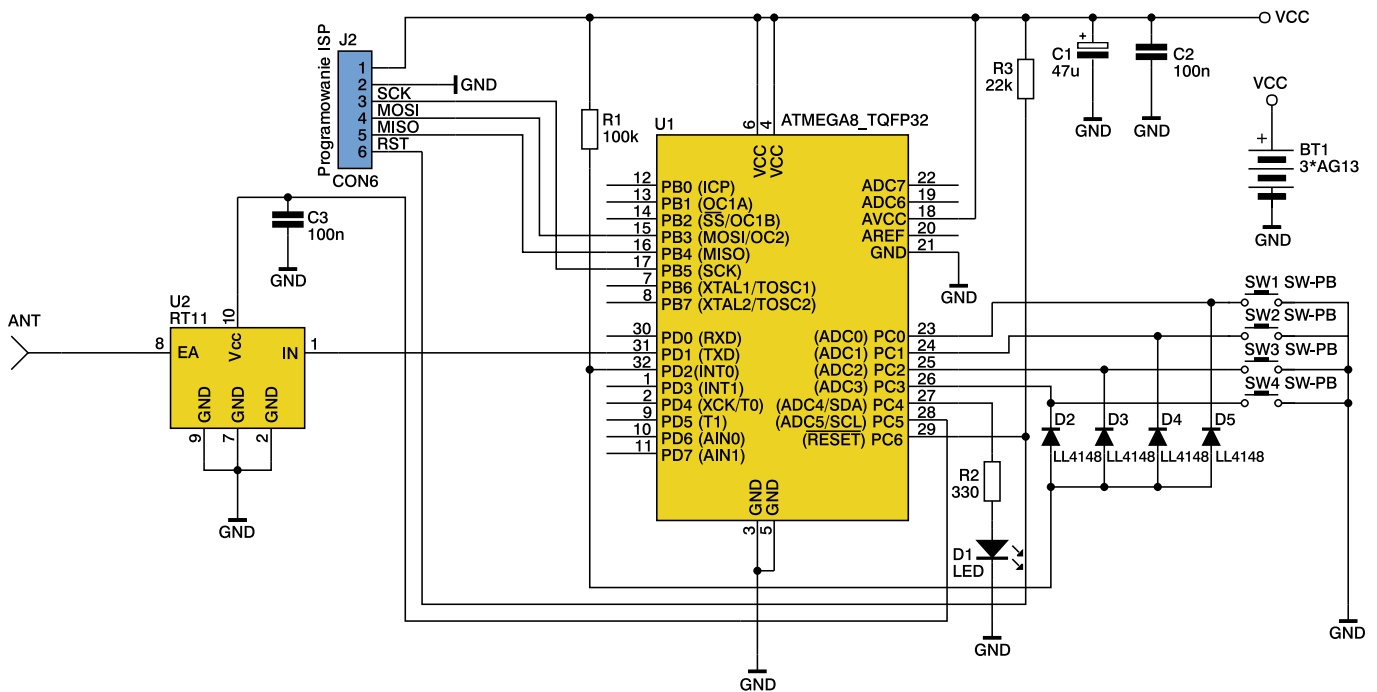
- Płytko o wymiarach 89x84 mm (sterownik), 70x32 mm (pilot)
- Zasilanie sterownika RFM1: sieciowe 230 V/6 VA
- Zasilanie pilota zdalnego sterowania: 4,5 V (3 baterie AG13)
- Liczba kanałów: 4 niezależne z wyjściami przekaźnikowymi
- Obciążalność prądowa wyjść przekaźnikowych: 3 A
- Tryby pracy: bistabilny lub monostabilny (niezależnie dla każdego kanału)
- Częstotliwość pracy toru radiowego: 433 MHz
- Zabezpieczenie transmisji przed nieautoryzowanym dostępem: transmisja radiowa ze zmiennym kodem
- Interfejs: RS485 (protokół MODBUS) umożliwiający sterowanie wyjściami za pomocą komputera nadrzędnego
- Parametry transmisji przez RS485: ramka 9600,n,8,1
- Parametry transmisji: 1200, 8,e,1

Idea budowy układu radiowego zdalnego sterowania opisywanego w tym artykule powstała podczas realizacji projektu „inteligentnego budynku”, gdy stało się konieczne zdalne sterowanie oświetleniem terenu posesji oraz otwieranie bramy wjazdowej za pomocą pilota. Innym urządzeniem, które stanowiło inspirację do napisania tego artykułu był prototyp sterownika RFM1 pozbawiony modułu transmisji z komputerem, który znalazł zastosowanie do zdalnego sterowania starego rzutnika do przeźroczy. Dzięki zastosowanym w RFM1 przekaźnikowym układom wykonawczym o obciążalności prądowej do 3 A mamy możliwość sterowania czterema urządzeniami dołączonymi bezpośrednio do sieci elektroenergetycznej. Każdy z kanałów może być skonfigurowany niezależnie. W trybie bistabilnym każde wciśnięcie klawisza pilota powoduje zmianę stanu przekaźnika danego kanału na przeciwny, w trybie monostabilnym natomiast styki są załączone tylko w czasie naciskania klawisza na pilocie. Do transmisji radiowej pomiędzy pilotem a sterow-

### PROJEKTY POKREWNE

wymienione artykuły są w całości dostępne na CD

Tytuł artykułu	Nr EP/EdW	Kit
Radiowy pilot zdalnego sterowania	EP 12/1993	AVT-501
Odbiornik 430 MHz	EP 1/1994	AVT-502
Zdalne sterowanie rygla	EP 1/1994	AVT-503
Odbiornik DTMF – zdalne sterowanie przez telefon	EP 3-4/1997	AVT-251
Pilot radiowy	EdW 11/1998	AVT 2298/99
Radiowy pilot do sterowania 15 urządzeniami	EdW 2/1999	AVT-2328
Nietypowe zdalne sterowanie	EdW12/1999	AVT-2400
Czterokanałowe zdalne sterowanie	EdW 4/2001	AVT2482
Zdalny sterownik 4 urządzeń	EP 7/2001	AVT-1308
Moduł zdalnego sterowania PC	EP 7-8/2001	AVT-5031
Klaskacz – akustyczne zdalne sterowanie	EdW 5/2004	AVT-721
8-kanałowy przelącznik RC5/SIRC	EP 4/2005	AVT-390
Zdalne sterowanie przez telefon	EdW 1/2007	AVT-2809
Dwukanałowe zdalne sterowanie	EP 3/2007	AVT-972
Zdalne sterowanie „pilotowe”	EdW 4/2007	AVT-757
Zdalne sterowanie (nie tylko) RC5	EdW 1/2008	AVT-2851



Rys. 1. Schemat elektryczny pilota

nikiem RFM1 wykorzystano ogólnodostępne pasmo 433 MHz z ramką ze zmiennym kodem. Zabezpiecza to układ przed przejęciem kontroli nad sterowanymi urządzeniami przez niepowołanego użytkownika. Do sterowania przekaźnikami wykonawczymi od strony komputera wykorzystano protokół MODBUS, warstwę transportową stanowi interfejs RS485. Dane są przesyłane z prędkością 9600 bps z 8 bitami danych oraz 1 bitem stopu. Dzięki temu urządzenie może być umieszczone w dowolnym pomieszczeniu znacznie oddalonym od komputera sterującego.

## Budowa urządzenia

Opis urządzenia zaczniemy od pilota (rys. 1). Zastosowano w nim nieśmiertelny mikrokontroler ATmega8L (U1) posiadający 8 kB pamięci Flash oraz 1 kB pamięci RAM. Zasoby sprzętowe mikrokontrolera znacznie przekraczają potrzeby tego projektu, jednak zdecydowano się na niego z uwagi na cenę porównywalną z mniejszymi mikrokontrolerami AVR (ATtiny). Mikrokontroler jest zasilany bezpośrednio z baterii BT1 (4,5 V), którą stanowią 3 bardzo tanie ogniwa pastylkowe AG13 o napięciu 1,5 V. Do linii PC0...PC3 dołączono prostą klawiaturę 4-przyciskową. Każda z linii klawiatury jest doprowadzona za pomocą 4-wejściowej bramki AND zrealizowanej na diodach D2...D5 i rezystora R1 do linii PD2, któ-

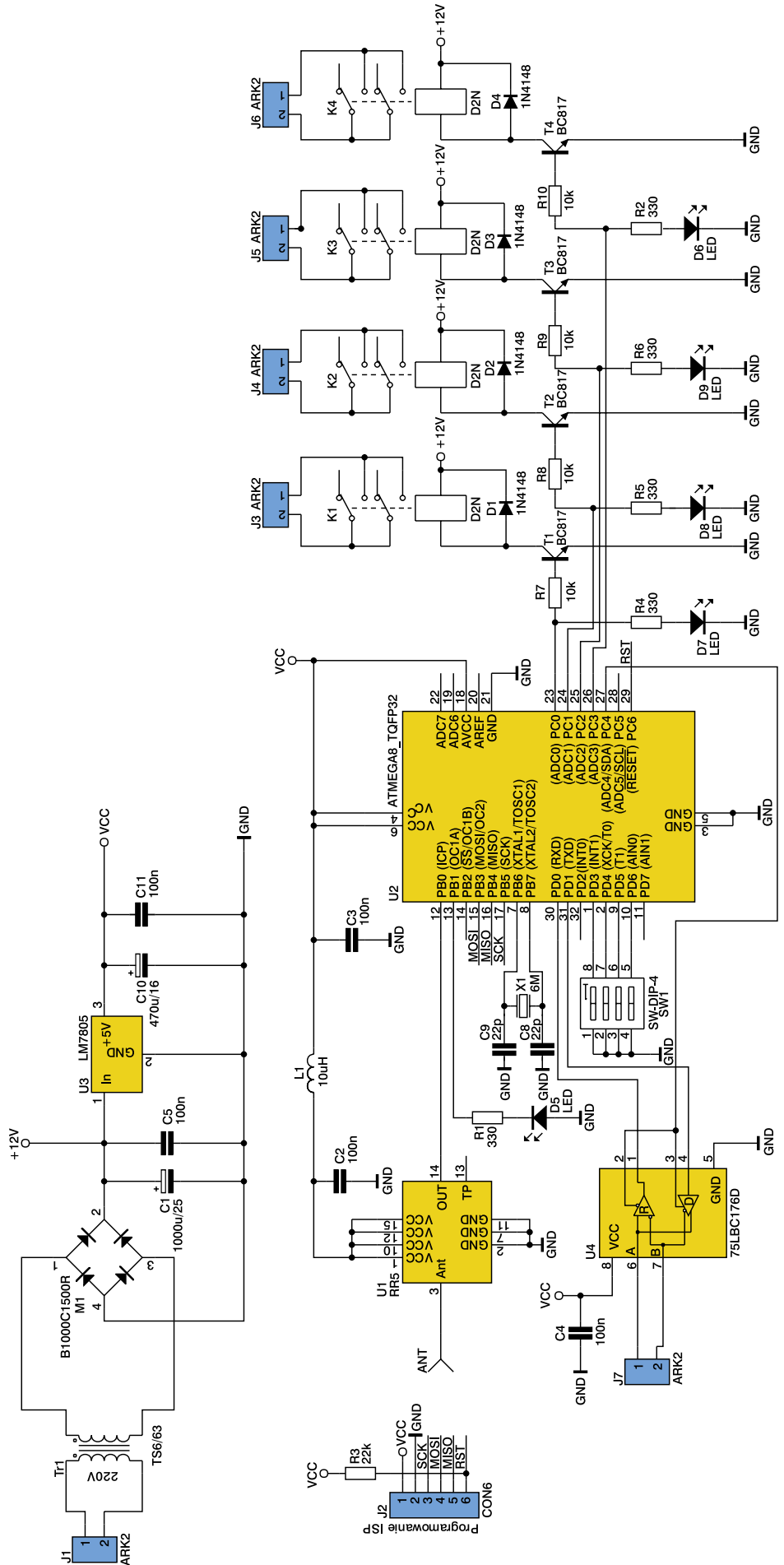
ra stanowi także wejście przerwania INT0 mikrokontrolera. Dzięki takiemu rozwiązaniu mikrokontroler pozostając w spoczynku może znajdować się w stanie *Power Down*, pobierając z baterii prąd o natężeniu około 0,1  $\mu$ A. Wciśnięcie dowolnego klawisza powoduje podanie stanu niskiego na wejście przerywające INT0, w efekcie czego mikrokontroler zostanie wybudzony i rozpocznie nadawanie kodu wciśniętego klawisza. Do linii PC4 za pomocą rezystora ograniczającego R2 dołączono diodę LED (D1) sygnalizującą stan pracy nadajnika. Do transmisji radiowej wykorzystano zintegrowany nadajnik radiowy Telecontroli RT11 (U2) pracujący w paśmie 433 MHz z modulacją ASK. Zwalnia nas to z konieczności projektowania toru w.c.z. Ze względu na niewielki pobór prądu przez nadajnik (kilkanaście mA), jest on zasilany bezpośrednio z pinu PC5 mikrokontrolera, umożliwiając w ten sposób jego bezpośrednie sterowanie przez mikrokontroler. Do modulacji nadajnika wykorzystano sprzętowy interfejs RS232 mikrokontrolera, którego linia TXD (PD1) jest dołączona do wejścia modulatoryjnego (IN) nadajnika (U2). Należy jednak podkreślić, że do portu RS232 nie są bezpośrednio przekazywane dane ramki, ale są one wcześniej zamieniane na kod Manchester eliminujący składową stałą, której tor radiowy nie przenosi. Na złącze J2 zostało wyprowadzone złącze SPI oraz

sygnał RESET mikrokontrolera, które służy do programowania mikrokontrolera w systemie (ISP). Mikrokontroler nie posiada dołączonego rezonatora kwarcowego, a sygnał taktujący jest wytwarzany w wewnętrznym generatore RC, który został skonfigurowany za pomocą fuses bitów tak, aby wytwarzał częstotliwość ok. 1 MHz. Należy podkreślić, że nie jest wymagana wysoka stabilność częstotliwości generatora taktującego mikrokontroler w pilocie, ponieważ aktualna prędkość ramki jest automatycznie wyznaczana w odbiorniku na podstawie preambuły, o czym będzie mowa w dalszej części artykułu.

Schemat elektryczny sterownika RFM1 przedstawiono na rys. 2. Podobnie jak w nadajniku użyto tu mikrokontrolera ATmega8, który tym razem pracuje w swojej klasycznej aplikacji z wykorzystaniem rezonatora kwarcowego 4 MHz (X1). W tym przypadku wymagany jest stabilny sygnał z generatora zegarowego do transmisji szeregowej RS485. Zasilacz sterownika został zrealizowany w sposób klasyczny z wykorzystaniem transformatora TS6/63 (TR1) oraz stabilizatora liniowego 7805 (U3) służącego do zasilania części cyfrowej układu. Cewki przekaźników wykonawczych, są zasilane bezpośrednio niestabilizowanym napięciem 12 V z mostka B1000C1500R (M1) tak, aby nie wydzielać dodatkowej mocy strat na stabilizatorze

liniowym U3. Do linii portów PC0...PC3 podłączone są za pośrednictwem rezystorów ograniczających (R7...R10) bazy tranzystorów BC817 (T1...T4) oraz za pośrednictwem (R2, R5, R6, R4) diody LED (D6...D9) sygnalizujące stan załączenia poszczególnych kanałów wyjściowych. W obwodzie kolektorów tranzystorów (T1...T4) znajdują się cewki przekąźników wykonawczych zabezpieczone przed przepięciami za pomocą diod LL4148 (D1...D4). Do linii RXD i TXD portu szeregowego mikrokontrolera dołączono układ 75LBC176D (U4) pełniący rolę interfejsu pośredniczącego pomiędzy sygnałami różnicowymi występującymi na magistrali RS485 a poziomami napięć występującymi na liniach IO mikrokontrolera. Do linii PD3...PD6 dołączono prosty 4-pozycyjny przełącznik DIP-SWITCH służący do konfiguracji poszczególnych wyjść sterownika jako bistabilnych lub monostabilnych. Podobnie jak w nadajniku, w torze odbiornika zastosowano gotowy moduł odbiornika superakcyjnego Telecontroli RR11 (U1). I tym razem odpada więc problem ze strojeniem toru odbiorczego. Wyjście cyfrowe OUT sygnału odbiornika (U1) zostało dołączone do linii PB0/ICP mikrokontrolera, która jest wejściem przechwytyującym (Capture) układu czasowolicznikowego T1. Tryb CAPTURE licznika T1 jest wykorzystywany do wyznaczania prędkości transmisji oraz wykrywania nagłówka. Zasilanie odbiornika U1 zostało dołączone za pośrednictwem filtra LC (L1, C3), oddzielającego odbiornik od części cyfrowej układu. Do linii PB1 mikrokontrolera została dołączona dioda LED (D5), która jest wykorzystywana do sygnalizacji odebrania prawidłowego sygnału z pilota. Do złącza J2 został podłączony interfejs SPI mikrokontrolera oraz sygnał RESET, co umożliwi programowanie mikroprocesora w systemie (ISP). Jako układ wykonawczy sterujący urządzeniami zastosowano przekaźniki AXICOM D2N12-960 posiadające cewki dostosowane do napięcia 12 V oraz styki o wydajności prądowej 3 A.

**Lucjan Bryndza, EP**  
**lucjan.bryndza@ep.com.pl**



Syry 2. Schemat elektryczny sterownika

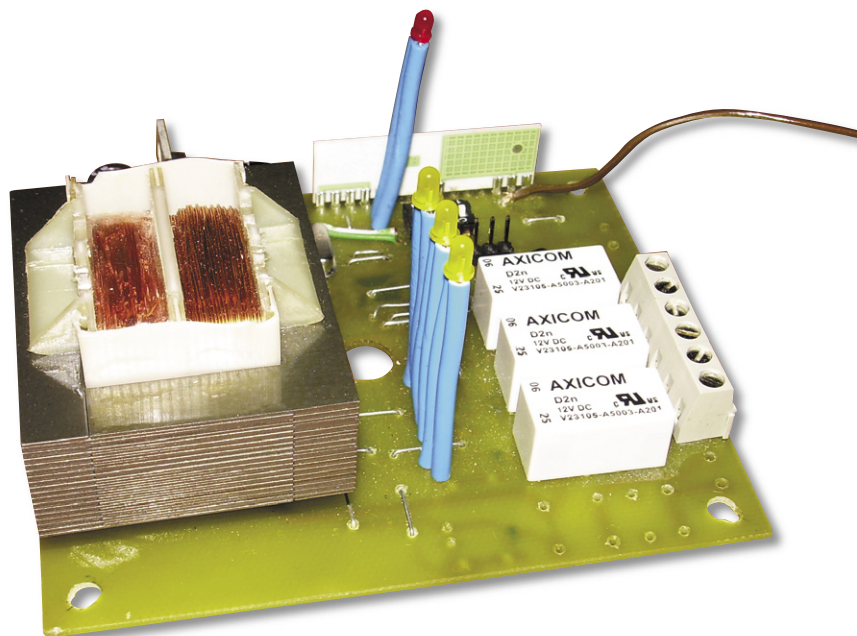


# 4-kanalowe radiowe zdalne sterowanie RFM1 z interfejsem MODBUS (2)

W drugiej części przedstawiamy szczegółowy opis oprogramowania sterującego pracą układów sterownika. Ponadto zawarto informacje dotyczące montażu, uruchomienia i obsługi. Po prawidłowym wykonaniu mamy do dyspozycji urządzenie, które umożliwia sterowanie przy użyciu dedykowanego pilota oraz komputera z wykorzystaniem protokołu MODBUS.

### Rekomendacje:

urządzenie dedykujemy elektronikom budującym systemy zdalnego sterowania dające się łatwo przystosować do własnych wymagań.



cz. I artykułu  
dostępna na CD

## AVT-5143

W ofercie AVT jest dostępna:  
– [AVT-5143A] – płytka drukowana

### PODSTAWOWE PARAMETRY

- Płytko o wymiarach 89x84 mm (sterownik), 70x32 mm (pilot)
- Zasilanie sterownika RFM1: sieciowe 230 V/6 VA
- Zasilanie pilota zdalnego sterowania: 4,5 V (3 baterie AG13)
- Liczba kanałów: 4 niezależne z wyjściami przełącznikowymi
- Obciążalność prądowa wyjść przełącznikowych: 3 A
- Tryby pracy: bistabilny lub monostabilny (niezależnie dla każdego kanału)
- Częstotliwość pracy toru radiowego: 433 MHz
- Zabezpieczenie transmisji przed nieautoryzowanym dostępem: transmisja radiowa ze zmiennym kodem
- Interfejs: RS485 (protokół MODBUS) umożliwiający sterowanie wyjściami za pomocą komputera nadrzędnego
- Parametry transmisji przez RS485: ramka 9600,n,8,1
- Parametry transmisji: 1200,8,e,1

### Oprogramowanie

Oprogramowanie sterownika oraz pilota zostało napisane z wykorzystaniem kompilatora GCC dla mikrokontrolerów AVR i jest ono dostępne wraz z kodami źródłowymi na licencji GPL. Ze względu na to, że pasmo przenoszenia toru radiowego RT4-RR11 mieści się w zakresie od około 100 Hz do 3 kHz, nie jest wskazane, aby poprzez tor radiowy przesyłać bezpośrednio dane wysyłane poprzez port szeregowy. Przebieg generowany przez protokół RS232 w przypadku przesyłania np. szeregu znaków 0x00 lub 0xff posiada dużą składową stałą, która nie „przejdzie” przez tor radiowy. Konieczne jest więc zastosowanie bifazowej modulacji Manchester, w której logicznemu zeru odpowiada zmiana stanu w środku bitu z wysokiego na niski, jedynie zaś z niskiego na wysoki (rys. 3). Dzięki takiemu kodowaniu wyeliminowana jest składowa stała, co umożliwia przenoszenie tak zmodulowanego sygnału za pomocą toru radiowego lub transformatorów. Do modulacji danych nadajnika kodem

### PROJEKTY POKREWNE

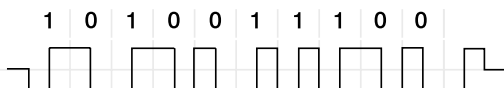
wymienione artykuły są w całości dostępne na CD

Tytuł artykułu	Nr EP/EdW	Kit
Radiowy pilot zdalnego sterowania	EP 12/1993	AVT-501
Odbiornik 430 MHz	EP 1/1994	AVT-502
Zdalne sterowanie rygla	EP 1/1994	AVT-503
Odbiornik DTMF – zdalne sterowanie przez telefon	EP 3-4/1997	AVT-251
Pilot radiowy	EdW 11/1998	AVT 2298/99
Radiowy pilot do sterowania 15 urządzeniami	EdW 2/1999	AVT-2328
Nietypowe zdalne sterowanie	EdW12/1999	AVT-2400
Czterokanałowe zdalne sterowanie	EdW 4/2001	AVT2482
Zdalny sterownik 4 urządzeń	EP 7/2001	AVT-1308
Moduł zdalnego sterowania PC	EP 7-8/2001	AVT-5031
Klaskacz – akustyczne zdalne sterowanie	EdW 5/2004	AVT-721
8-kanałowy przetłacznik RC5/SIRC	EP 4/2005	AVT-390
Zdalne sterowanie przez telefon	EdW 1/2007	AVT-2809
Dwukanałowe zdalne sterowanie	EP 3/2007	AVT-972
Zdalne sterowanie „pilotowe”	EdW 4/2007	AVT-757
Zdalne sterowanie (nie tylko) RC5	EdW 1/2008	AVT-2851

Manchester świetnie nadaje się port szeregowy mikrokontrolera, ponieważ ramka danych w najpopularniejszym formacie 8,n,1 ma postać 0, d0, d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7, 1, gdzie d0...d7 są poszczególnymi bitami danych. Zatem za pomocą jednego znaku w formacie RS232 możemy przesłać 4 bity informacji, kodując odpowiednio bit o wartości „1” jako „01”, a bit o wartości „0” jako „10”. Aby wysłać jeden bajt danych zakodowanych w kodzie Manchester przesyłamy zatem przez port szeregowy dwa 10-bitowe znaki, które zawierają 16-bitów użytecznej informacji. W środku bajtu, po 4 bicie, znajduje się zawsze sekwencja 10 (STOP-START, generowana automatycznie przez port szeregowy. Sekwencja ta w odbiorniku jest wykorzystana tylko do sprawdzenia poprawności bitu, który powinien mieć zawsze wartość 0 (zmiana z 1 na 0). Na **list. 1** przedstawiono zastosowaną w pilocie procedurę kodującą jeden bajt danych do kodu Manchester.

Prędkość transmisji portu szeregowego została ustawiona na 1200 bitów na sekundę, tak więc efektywna szybkość transmisji toru radiowego wynosi 600 bitów na sekundę, co jest wartością w zupełności wystarczającą w pilocie. Format ramki danych przesyłanych pomiędzy nadajnikiem zdalnego sterowania a odbiornikiem przedstawiono na **rys. 4**.

Każda ramka nadawana przez pilota zdalnego sterowania zawiera 6 bajtów danych oraz 1 bajt nagłówka (preambuły), który jest wykorzystywany do wykrywania początku transmisji oraz synchronizacji odbiornika z nadajnikiem, ponieważ pilot do taktowania transmisji wykorzystuje prosty generator



Rys. 3. Kodowanie danych kodem Manchester

**List. 1. Procedura kodowania danych kodem Manchester**

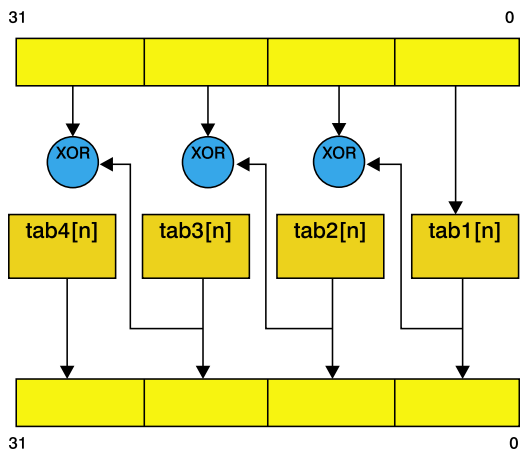
```
static u16 encode_byte(u08 byte)
{
    u16 word = 0;
    for(u08 i=0; i<8; i++)
    {
        word<<=2;
        if(byte & 0x80) word |= 0x0002;
        else word |= 0x0001;
        byte<<=1;
    }
    return word;
}
```

Preambuła	Kod	sekwencja0	sekwencja1	sekwencja2	sekwencja3	CRC8
0	1	2	3	4	5	6

Rys. 4. Format ramki danych przesyłanych pomiędzy nadajnikiem zdalnego sterowania a odbiornikiem

RC. Nagłówek posiada sekwencję bitów 111010101010101010, które są przesyłane w kolejności od bitu najmłodszego do najstarszego. Ciągła sekwencja bitów 0101 umożliwia wykrycie przez odbiornik początku transmisji oraz umożliwia synchronizację prędkości pomiędzy odbiornikiem i nadajnikiem. Na końcu preambuły przesyłana jest sekwencja 11, która w kodzie Manchester nigdy nie występuje i jest wykorzystywana jako znacznik początku transmisji, od którego rozpoczyna się próbkowanie danych. Po preambule występują właściwe dane zakodowane Manchesterem, gdzie pierwszy bajt (Kod) jest kodem wciśniętego klawisza. Bity 0...6 zawierają kod wciśniętego klawisza, natomiast 7 najstarszy bit zawiera informację czy klawisz wciśnięto pierwszy czy kolejny raz (tzw. *repeat code*). Bajty od 2 do 5 są wykorzystywane jako liczba 32-bitowa (u32) i zawierają specjalną zmienną sekwencję kodową, unikatową dla danej pary nadajnik-odbiornik. Sekwencja kodowa pozwala zabezpieczyć kanał radiowy przed sterowaniem urządzeniem przez niepowołane osoby za pomocą takiego samego pilota, lub podsłuchanej wcześniej transmisji. Ostatni, 6. bajt danych zawiera sumę kontrolną CRC8 całej ramki danych, która umożliwia weryfikację poprawności odebranej informacji. Sekwencja kodowa jest liczbą 32-bitową uzyskiwaną ze zwykłego licznika, zwiększaną o 1 po każdym wciśnięciu klawisza, który jest kodem nie powtórzonym. Jest ona prowadzona niezależnie, zarówno przez nadajnik, jak i odbiornik. Przed wysłaniem licznik jest kodowany za pomocą specjalnego algorytmu szyfrującego z 4 tablicami kodowymi, unikatowymi dla każdej pary nadajnik-odbiornik, a następnie przesyłany przez tor radiowy jako sekwencja0...3. Odbiornik po stwierdzeniu poprawności ramki za pomocą tablic odwrotnych dekoduje zawartość licznika przekazaną przez pilota i porównuje ją z licznikiem prowadzonym przez

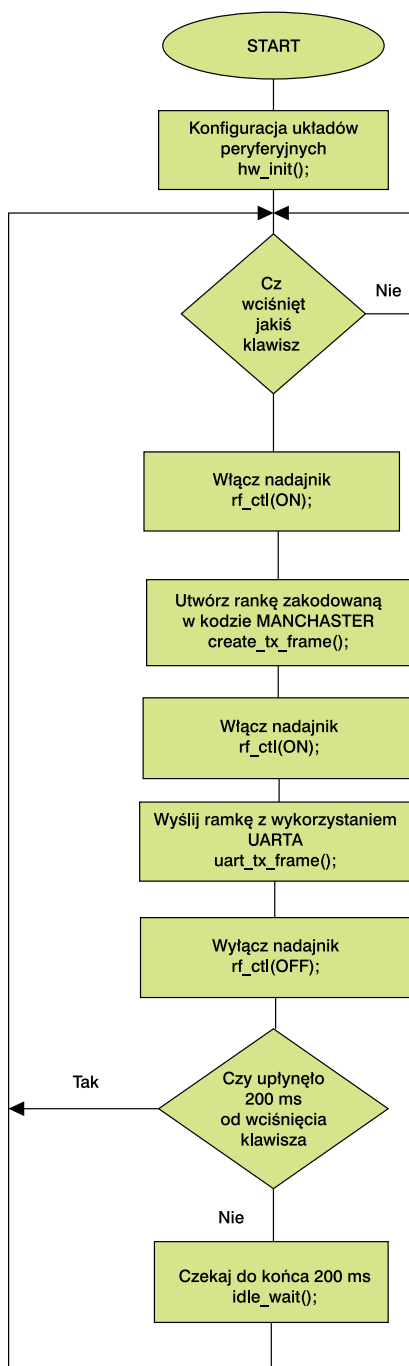
odbiornik. Jeżeli różnica pomiędzy obiema wartościami jest mniejsza od 8, wówczas kod klawisza jest akceptowany, a zawartość licznika w odbiorniku jest zsynchronizowana z licznikiem nadajnika. Jeżeli odebrana zawartość licznika nadajnika jest mniejsza niż sekwencja prowadzona w odbiorniku lub większa niż 8, wówczas odebrany kod jest odrzucany. W przypadku, gdy odbiornik zgubi więcej niż 8 sekwencji nadajnika, na przykład w przypadku 8-krotnego kliknięcia pilota poza zasięgiem odbiornika, musi on przejść proces synchronizacji polegający na odzyskaniu numeru sekwencyjnego w odbiorniku, który następuje po dwukrotnym wciśnięciu klawisza na pilocie. Jeżeli kod dwóch po sobie następujących wciśnień jest większy o 1, wówczas oznacza to, że nadajnik i odbiornik posiadają ten sam klucz kodowy, a więc odtworzony numer sekwencyjny jest wpisywany do odbiornika. Teraz ponowne trzecie kliknięcie odbiornika zawierające prawidłową sekwencję spowoduje akceptację kodu i zmianę stanu wybranego wyjścia. Wprowadzenie takiego mechanizmu obniża bezpieczeństwo, ale podnosi komfort użytkownika, ponieważ przypadkowe wciśnięcie nadajnika (na przykład w kieszeni) poza zasięgiem odbiornika nie powoduje rozsynchronizowania się kodu. Stosunkowo mało prawdopodobne, aczkolwiek możliwe jest 8-krotne przypadkowe wciśnięcie klawisza nadajnika. Jeżeli dojdzie do rozsynchronizowania odbiornika, wówczas możemy łatwo przez 2-krotne wciśnięcie pilota zsynchronizować go ponownie. W przypadku, gdy nie znamy tablic kodowych nadajnika i odbiornika, kolejne wciśnięcia klawisza będą generować zupełnie inny kod sekwencyjny, a więc nie będzie możliwa synchronizacja. Algorytm kodowania i dekodowania opiera się na 4 tablicach zawierających 256 bajtów losowych liczb generowanych przez przygotowany program *seqtabgen*. Program ten losuje 4 tablice 256 bajtów różnych liczb dla nadajnika, oraz tworzy



Rys. 5. Algorytm kodowania liczby sekwencyjnej

tablicę odwrotną umożliwiającą odtworzenie na podstawie liczby losowej indeksu tablicy. Tablice te stanowią więc klucz kodowy dla danej pary nadajnik – odbiornik. Algorytm kodowania liczby sekwencyjnej przedstawiono na rys. 5.

32-bitowy numer sekwencyjny dzielony jest na 4 bajty, gdzie pierwszy bajt stanowi indeks pierwszej tablicy szyfrującej, indeksy tablicy kolejnych bajtów wyznaczone są jako XOR wartości danego bajtu i wartości losowej powstałej z indeksu poprzedniego bajtu. Proces deszyfrowania odbywa się w odwrotny sposób, czyli każdy bajt podawany jest na tablicę funkcji odwrotnej, a następnie wykonywana jest operacja XOR z poprzednim bajtem



Rys. 6. Algorytm działania pilota zdalnego sterowania

wejściowym, w wyniku czego uzyskujemy zdekodowany numer sekwencyjny. Przedstawiony algorytm nie jest zbyt trudny do złamania za pomocą kryptoanalizy, niemniej jednak za pomocą sterownika RFM1 nie będziemy otwierać sejfu, a co najwyżej sterować jakimiś prostymi urządzeniami. Zastosowany algorytm pomimo swojej prostoty uniemożliwia sterowanie urządzeniem poprzez nagranie i późniejsze odtworzenie podsłuchanej transmisji. Na rys. 6 przedstawiono algorytm działania pilota zdalnego sterowania.

Działanie programu pilota jest bardzo proste i sprowadza się w zasadzie do wysyłania za pomocą portu szeregowego ramki danych w cyklu 200 ms, jeżeli dowolny klawisz na pilocie jest wciśnięty. Po pierwszym uruchomieniu (włączenie baterii) wywoływana jest funkcja *hw\_init()*, która konfiguruje wszystkie układy peryferyjne mikrokontrolera oraz porty wejścia-wyjścia, i jeżeli nie został wciśnięty żaden klawisz, wówczas przechodzi w tryb uśpienia pobierając jedynie około 0,1  $\mu$ A. Jeżeli na pilocie zostanie naciśnięty dowolny klawisz, wówczas na linię wejścia INT0 podawany jest stan niski, co powoduje wybudzenie mikrokontrolera ze stanu uśpienia. W tym momencie mikrokontroler odczytuje stan linii

portów IO stwierdza, który klawisz został wciśnięty, włącza nadajnik, przygotowuje w buforze ramkę zakodowaną w formacie Manchester oraz rozpoczyna nadawanie ramki z wykorzystaniem portu szeregowego. Proces nadawania kolejnych znaków ramki odbywa się w programie głównym, bez wykorzystania systemu przerwań, ponieważ jedynym zadaniem mikrokontrolera jest wysyłanie danych. Po zakończeniu nadawania znaku nadajnik jest wyłączany i następuje oczekiwanie w pętli do zakończenia cyklu, który trwa 200 ms. Po zakończeniu cyklu ponownie jest sprawdzany stan klawisza i w zależności od tego mikrokontroler jest usypiany lub przechodzi do nadawania kolejnej ramki. Zdecydowanie więcej rzeczy do wykonania ma mikrokontroler w sterowniku RFM1, ponieważ oprócz dekodowania ramek odebranych od pilota musi również obsługiwać komunikację z PC-tem w protokole MODBUS. Algorytm działania programu sterownika RFM1 przedstawiono na rys. 7.

Po włączeniu zasilania sterownik RFM1 rozpoczyna inicjalizację układów peryferyjnych niezbędnych do działania dekodera ramek pilota oraz inicjalizuje w kierunku wyjścia linie portów IO sterujących przełącznikami. Następnie program przechodzi do inicjalizacji modułu obsługi interfejsu MODBUS, po czym wchodzi do pętli głównej. W pętli tej najpierw wykonywana jest obsługa interfejsu MODBUS, umożliwiająca komunikację z komputerem nadrzędnym, a następnie wykonywana jest procedura sprawdzająca czy odebrano ramkę danych z pilota zdalnego sterowania. W przypadku stwierdzenia odebrania ramki danych, sprawdzana jest jej poprawność za pomocą weryfikacji sumy CRC8. Jeżeli suma jest nieprawidłowa, ramka jest natychmiast odrzucana. W przypadku, gdy ramka jest prawidłowa program przechodzi do zdeszyfrowania numeru sekwencyjnego, a następnie do porównania zdekodowanego numeru sekwencyjnego z numerem prowadzonym wewnątrz sterownika zgodnie z algorytmem opisanym wcześniej. Jeżeli numery sekwencyjne są zgodne, ramka jest akceptowana, a kod wciśnięcia klawisza jest przekazywany do procedury sterującej przełącznikami. Procedura ta sprawdza



stan linii portów PD3...PD6, które odzwierciedlają stan przełącznika SW1, i w zależności od tego zmienia stan wybranego wyjścia na przeciwny (tryb bistabilny) lub powoduje załączenie/potrzymanie przekaźnika (tryb monostabilny). Protokół MODBUS w sterowniku implementuje tylko funkcję 3 (READ HOLDING REGISTERS) oraz 16 (WRITE MULTIPLE REGISTERS) oraz zawiera tylko dwa rejestry A100 oraz A500. Rejestr A100 służy do odczytywania lub zmiany stanu przekaźników, natomiast rejestr A500 umożliwia ustawienie na magistrali adresu sterownika. Procedura odbierania i dekodowania ramki z toru radiowego wykonywana jest z wykorzystaniem systemu przerwań od układu czasowo-licznikowego T1. Licznik ten na początku jest skonfigurowany w trybie przechwytywania (*capture*), gdzie każde nara-

stające zbocze na linii ICP (do linii tej dołączone jest wyjście odbiornika) powoduje zatrzaśnięcie wartości licznika w momencie wystąpienia zdarzenia, a następnie wywołanie przerwania, którego procedurę obsługi przedstawiono na list. 2.

Procedura obsługi przerwania ma na celu wykrycie nagłówka transmisji (preambuły) oraz zmierzenie czasu trwania pojedynczego bitu sygnału. Jak pamiętamy nadajnik wykorzystuje wewnętrzny generator RC o niewielkiej stabilności. Zawartość rejestru ICR1 jest porównywana z dopuszczalnym czasem trwania bitu, który powinien mieścić się w zakresie 900...1500 b/s i jeżeli mieści się on w tym zakresie, wówczas zwiększany jest licznik bitów oraz czas trwania bitu dodawany jest do średniej. W przypadku wystąpienia 5 następujących po sobie impulsów o czasie trwania mieszczącym się w dopuszczalnym zakresie (900...1500 b/s), wyznaczany jest średni czas trwania 4 ostatnich bitów, a następnie licznik T1 jest przełączany w tryb porównania (*Compare*) oraz ustawiany jest tak, aby przerwanie od trybu Compare następowało zawsze w połowie czasu trwania każdego bitu. Procedura obsługi przerwania trybu porównania (*Compare*) rozpoczyna poszukiwanie znacznika początku transmisji (11), który powinien być znaleziony w przeciągu 15 bitów. Jeżeli tak się nie stanie, licznik jest przełączany ponownie w tryb przechwytywania i cała procedura dekodowania ramki zaczyna się od nowa. Po znalezieniu prawidłowej sekwencji startowej przechodzimy do próbkowania poszczególnych bitów ramki, gdzie badana jest zmiana stanu z 01 i 10 oraz zbierany jest stan poszczególnych bitów ramki w tablicy. W przypadku nieprawidłowej sekwencji bitów, ramka jest uznawana za nieprawidłową i cały proces dekodowania rozpoczyna się od nowa. Po odebraniu wszystkich bitów informacji ustawiany jest znacznik odebrania prawidłowej ramki, a procedura dekodowania przechodzi w stan początkowy. Jako, że ramka danych w nadajniku jest

## List. 2. Obsługa przerwania układu czasowo-licznikowego T1

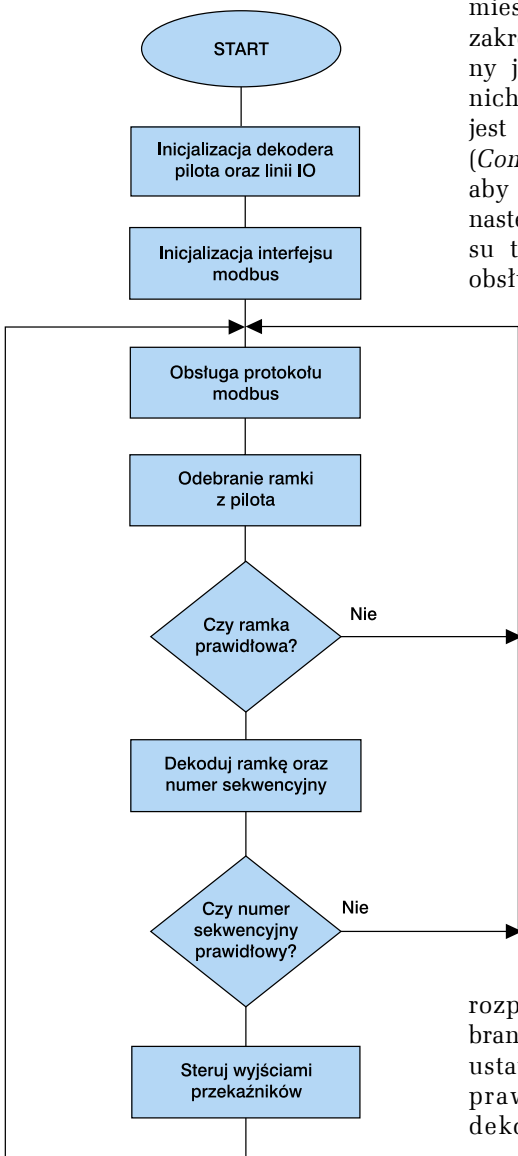
```
static volatile u16 avg_f = 0;
static volatile u08 comp_state = 0;

SIGNAL(TIMER1_CAPT_vect)
{
    static u08 edge_cnt = 0;
    TCNT1 -= ICR1-36;
    if(comp_state!=0) return;
    u16 val= ICR1;
    if(ICR_RANGE(val))
    {
        edge_cnt++;
        if(edge_cnt>1) avg_f += val/2;
        if(edge_cnt==5)
        {
            avg_f /= 4;
            edge_cnt = 0;
            OCR1A = avg_f/2; //za 1/2 bitu
            t1_compare();
            comp_state = 1;
        }
    }
    else
    {
        edge_cnt = 0;
        avg_f = 0;
        comp_state = 0;
    }
}
```

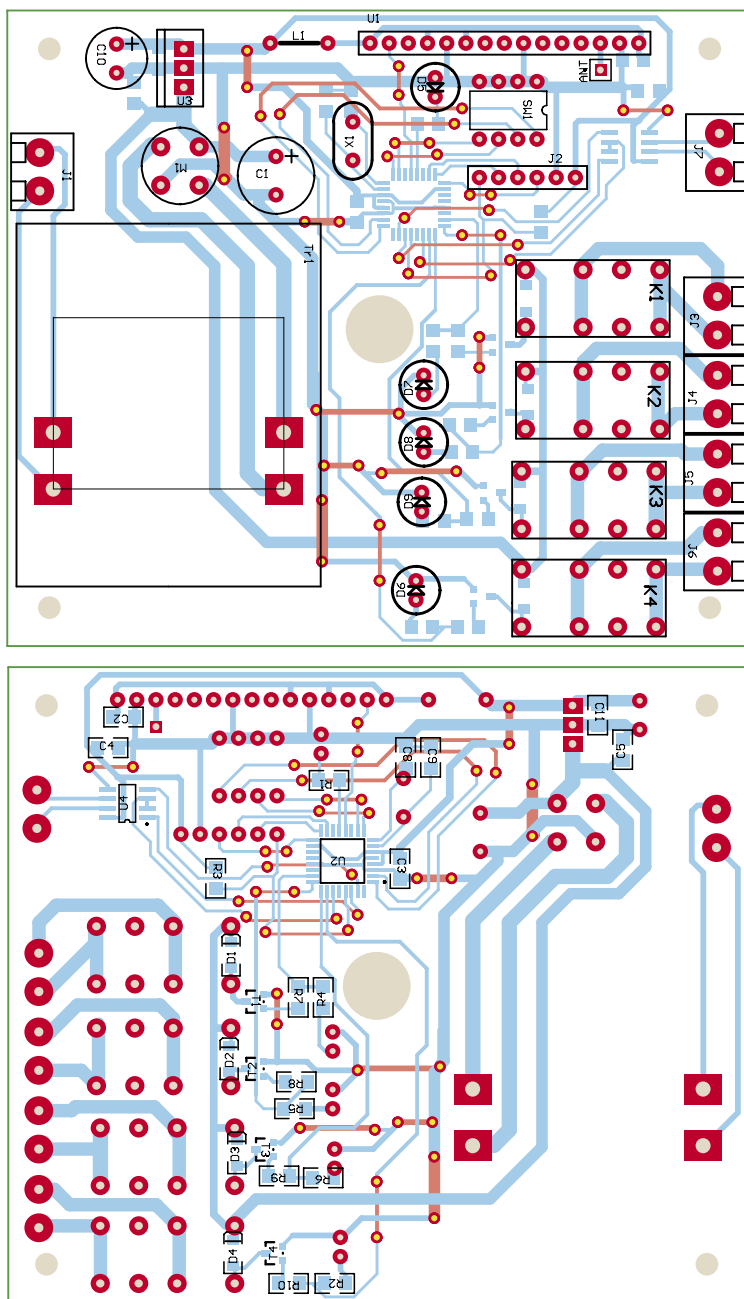
nadawana z wykorzystaniem portu szeregowego, co każde 4 bity informacji znajduje nieużyteczny piąty bit o wartości 0 (sekwencja „10”).

## Montaż i uruchomienie

Płytką drukowaną sterownika RFM1 została zaprojektowana tak, aby mieściła się w standardowej obudowie KM-47, natomiast płytką pilota została dostosowana do obudowy KM-14/4. Schematy montażowe płytek drukowanych dla pilota i sterownika RFM1 przedstawiono na rys. 8 i 9. Przed rozpoczęciem montażu należy w płytce drukowanej pilota wyciąć wgłębienie na baterie AG13. Płytki zostały wykonane w technologii dwuwarstwowej z wykorzystaniem elementów SMD. W związku z tym montaż należy rozpocząć od wlutowania zworek z kawałków drutu, a następnie należy przylutować styki, które będą stanowić złącze baterii. W egzemplarzu modelowym do tego celu wykorzystano świetnie się do tego nadające styki ze starego użytego stycznika. Kolejnym etapem jest montaż wszystkich elementów SMD, poczynając od elementów RC, a skończywszy na mikrokontrolerach ATmega8, zarówno w pilocie, jak i sterowniku. Po wykonaniu montażu elementów SMD przechodzimy do elementów przewlekanych, montując je w kolejności od najmniejszych, takich jak kondensatory elektrolityczne do największych, takich jak transformator, przekaźniki czy przyciski w nadajniku zdalnego sterowania.



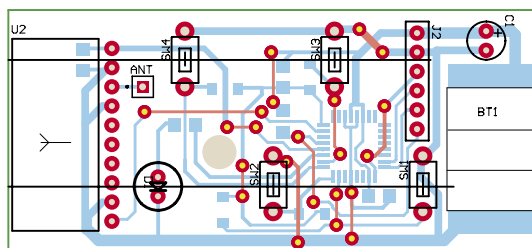
Rys. 7. Algorytm działania programu sterownika RFM1



Rys. 8. Schemat montażowy płytki drukowanej sterownika RFM1

Montaż sterownika i pilota przebiega w sposób klasyczny i nie wymaga dłuższego komentarza. Należy również pamiętać, aby do obu płytek drukowanych zarówno w nadajniku, jak i odbiorniku włutować kawałek przewodu stanowiącego antenę. Po zmontowaniu sterownika RFM1 możemy do złącza J1 podłączyć napięcie zasilające 230 V i sprawdzić za pomocą woltomierza, czy na wyjściu stabilizatora występuje napięcie 5 V zasilające część cyfrową układu. Jeżeli napięcie zasilające jest poprawne, możemy

przystąpić do wgrывania oprogramowania do pilota i sterownika. Możemy wykorzystać skompilowane przez autora gotowe pliki wynikowe *receiver.hex*, *receiver.eep* dla sterownika oraz *pilot.hex* dla pilota. Wykorzystując gotowe pliki należy liczyć się z tym, że zawierają one domyślne klucze kodowe, które mogą





WYKAZ ELEMENTÓW	
<b>pilot</b>	SW1...SW4: mikroprzełączniki TACT34 BT1: ogniwa 1,5 V AG13 (3 szt.)
<b>Rezystory</b> R1: 100 kΩ R2: 330 Ω R3: 22 kΩ	<b>sterownik</b>
<b>Kondensatory</b> C1: 47 μF/25 V C2, C3: 100 nF	<b>Rezystory</b> R1, R2, R4...R6: 330 Ω R3: 22 kΩ R7...R10: 10 kΩ
<b>Półprzewodniki</b> U1: ATmega8 (TQFP32) D1: dioda LED D2, D3, D4, D5: LL4148 (MMELF)	<b>Kondensatory</b> C1: 1000 μF/25 V C2...C5: 100 nF C8, C9: 22 pF C10: 470 μF/16 V
<b>Inne</b> J2: złącze szpilkowe U2: nadajnik radiowy RT11 Telecontroli	<b>Półprzewodniki</b> U2: ATmega8 (TQFP32) U3: LM7805
	U4: 75LBC176D (SO-G8) D1...D4: 1N4148 (MMELF) D5...D9: dioda LED M1: mostek prostowniczy B1000C1500R T1...T4: BC817 (SOT-23)
	<b>Inne</b> X1: 6 MHz L1: 10 μH J1, J3...J7: złącze ARK2 J2: złącze szpilkowe K1...K4: przekaźnik D2N U1: odbiornik superreakcyjny RR5 Telecontroli SW1: mikroprzełącznik SW-DIP-4 Tr1: transformator TS6/63

my baterie zasilające (3xAG13), a do złącza J2 podłączamy programator ISP oraz uruchamiamy program do obsługi programatora. Następnie programujemy pamięć Flash mikrokontrolera pilota zawartością pliku *pilot.hex* oraz ustawiamy *fuse* bity mikrokontrolera według poniższego opisu: lb1-, lb2-, blb01-, blb02-, blb11-, blb12-, bootrst+, bootsz0-, bootsz1-, eesave+, ckopt+, spien-, wdton+, rstdisbl+, cksel0+, cksel1-, cksel2-, cksel3-, sut0-, sut1+, boden+, bodlevel+.

Po zaprogramowaniu sterownika i pilota urządzenia są od razu gotowe do pracy, możemy więc sprawdzić działanie toru radiowego. Wciśnięcie dowolnego przycisku w pilocie powinno powodować błyskanie diody D1 pilota. Równocześnie w takt impulsów pilota powinna błyskać w sterowniku czerwona dioda D5, co świadczy o prawidłowym dekodowaniu ramek z nadajnika. Wciśnięcie odpowiedniego klawisza powinno powodować także włączenie lub wyłączenie odpowiadającego kanału wyjściowego. Jeżeli urządzenie działa prawidłowo, za pomocą przełącznika SW1 należy skonfigurować dany kanał w tryb pracy bistabilnej (ON) lub monostabilnej (OFF) w zależności od charakteru pracy sterowanego urządzenia.

## Obsługa urządzenia

Po prawidłowym uruchomieniu sterownika RFM1 należy do styków wykonawczych przekaźników wyjściowych (złącza J3...J6) podłączyć sterowane urządzenia, a do złącza J7 dołączyć magistralę RS485 służącą do komunikacji z komputerem nadrzędnym. W przypadku, gdy jest to ostatnie urządzenie na magistrali, należy również dołączyć rezystor terminujący o wartości około 100...120 Ω. Następnie należy ustawić przełącznik

SW1 zgodnie z charakterem sterowanego urządzenia. Przełączenie wybranego kanału w pozycję ON powoduje, że dany kanał pracuje jako bistabilny, natomiast ustawienie wybranego kanału w pozycję OFF ustawia dany kanał w trybie monostabilnym. Po dołączeniu sterowanych urządzeń oraz konfiguracji poszczególnych kanałów urządzenie jest od razu gotowe do pracy, a wciśnięcie odpowiedniego klawisza na pilocie będzie powodowało sterowanie odpowiedniego kanału wyjściowego. Oprócz sterowania urządzeniem za pomocą pilota zdalnego sterowania możemy sterować wyjściami z wykorzystaniem komputera, poprzez łącze RS485. Sterownik pracuje z ramką danych o szybkości 9600 b/s, 8 bitami danych, jednym bitem stopu, bez kontroli parzystości. Sterownik udostępnia funkcję 3 i 16 protokołu MODBUS umożliwiającą odpowiednio odczytanie i ustawienie zawartości rejestrów. Do dyspozycji mamy dwa rejestry: rejestr A100 (99) umożliwiający sterowanie poszczególnymi kanałami wyjściowymi oraz rejestr A500 (499), umożliwiający skonfigurowanie adresu MODBUS sterownika RFM1. Sterownik jest domyślnie skonfigurowany z adresem 1, dlatego przy pierwszym podłączeniu do magistrali MODBUS należy zmienić adres sterownika, zgodnie z prowadzoną polityką przydziału adresów. Aby zmienić adres sterownika, wystarczy za pomocą funkcji 16 przesłać do rejestru A500 nowy adres sterownika. Od tego momentu sterownik będzie widoczny pod nowym adresem wpisanym do rejestru A500. Adres sterownika jest zapamiętywany w nieulotnej pamięci EEPROM mikrokontrolera, w związku z czym jest on pamiętany również po wyłączeniu napięcia zasilającego. W zasadzie jedynym rejestrem służącym do obsługi sterownika RFM1 jest

rejestr A100. Odczytanie tego rejestru powoduje zwrócenie stanu bitowego poszczególnych kanałów wyjściowych, gdzie bit 0 odpowiada 1 kanałowi, bit 1 – drugiemu itd. Zapis rejestru A100 powoduje z kolei ustawienie poszczególnych kanałów wyjściowych zgodnie z wartością wpisaną do tego rejestru. Należy tutaj zaznaczyć, że w ten sposób możemy zmieniać tylko stan kanałów, które zostały skonfigurowane do pracy w trybie bistabilnym, ponieważ wykorzystując komunikację z komputerem sterowanie monostabilne nie ma sensu. Próba ustawienia bitu kanału skonfigurowanego jako monostabilny powoduje wygenerowanie negatywnej odpowiedzi sterownika (SLAVE\_DEVICE\_NEGATIVE\_ACK).

## Zakończenie

Zaprojektowany sterownik RFM1 umożliwia sterowanie urządzeniami zarówno za pomocą pilota zdalnego sterowania, jak i komputera z wykorzystaniem protokołu MODBUS. Jest to możliwość bardzo rzadko spotykana wśród sterowników produkowanych seryjnie. Praktyczne próby wykazały, że zasięg działania pilota z prostymi antenami z kawałka drutu wynosi około 100 m. Jeżeli zależy nam na zwiększeniu zasięgu, możemy zastosować fabryczną antenę na 430 MHz lub wymienić prosty superreakcyjny odbiornik RR11 na jego wersję superheterodynową, co również znacząco powinno zwiększyć zasięg toru radiowego urządzenia. Jeżeli nie chcemy sterować urządzeniami za pomocą komputera, możemy nie montować układu 75LBC176 (U4) i wykorzystać urządzenie jako klasyczny sterownik zdalnego sterowania.

**Lucjan Bryndza, EP**  
lucjan.bryndza@ep.com.pl