

radioTherm

Bezprzewodowy system pomiaru i kontroli temperatury

**AVT
5276**


Możliwość zamieszkania w inteligentnym domu nadciąga ku nam wielkimi krokami. To, co do niedawna było marzeniem wizjonerów, na naszych oczach staje się rzeczywistością. Wszystko między innymi za sprawą inteligentnych technologii oraz dynamicznego rozwoju mikrokontrolerów. Do takich „nośników” przyszłych rozwiązań należy z pewnością standard komunikacji ZigBee. Niedawno miałem przyjemność obejrzenia systemu inteligentnego domu zarządzanego z użyciem tej prostej w użyciu (oczywiście z punktu widzenia użytkownika) technologii przyszłości. Niestety, nie ma róży bez kolców, a nasza przysłowiowa róża ma „kolce” w postaci kosztów wdrożenia takiego systemu oraz kosztów sprzętu niezbędnego do jego budowy. Cóż, zapomnijmy na chwilę o ZigBee i zastanówmy się, czy zbliżonej funkcjonalnością systemu zcentralizowanej kontroli nie można zbudować z użyciem tańszych rozwiązań.

Rekomendacje: projekt bezprzewodowego systemu monitorowania i kontroli temperatury zbudowany z użyciem tanich modułów radiowych.

Rozwiązaniem alternatywnym może być prezentowany projekt bezprzewodowego systemu monitorowania i kontroli temperatury *radioTherm* zbudowany z użyciem modułów radiowych pracujących w ogólnodostępnym paśmie ISM 433 MHz. Oczywiście, opisywany projekt jest jednym z wielu możliwych rozwiązań zagadnienia tego typu, jak

również może być rozbudowany na przykład poprzez zaprojektowanie dodatkowych, nowych modułów przeznaczonych do realizacji innych zadań (np. sterowania oświetleniem czy kontrolą dostępu).

Opisywany tutaj system stanowi sieć bezprzewodowych modułów realizujących funkcję termometru i termostatu, zarządza-

AVT-5276/1, AVT5276/2 w ofercie AVT:

- AVT-5276A/1 – płytka drukowana
- AVT-5276B/2 – płytka drukowana + elementy
- AVT-5276A/1 – płytka drukowana
- AVT-5276B/2 – płytka drukowana + elementy

Podstawowe informacje:

Moduł *radioTherm Master*

- Napięcie zasilania 230 VAC
- Moc pobierana poniżej 1 W
- Do 16 obsługiwanych modułów slave
- Do 10 znaków nazwy moduły slave
- Zakres regulacyjny dla funkcji termostatu: 5...63°C
- Zakres regulacyjny dla funkcji Eco: 5...63°C
- Częstotliwość pracy transceivera: 433,92 MHz

Ustawienia ważniejszych FUSEBIT-ów *radioTherm master*:

- CKSEL3..0: 0100
 - SUT1..0: 10
 - EESAVE: 0
- Moduł *radioTherm slave*
- Napięcie zasilania 230 VAC
 - Moc pobierana poniżej 1 W
 - 16 możliwych adresów sprzętowych
 - Zakres pomiarowy 0...127°C z dokładnością 0,5°C
 - Rozdzielczość pomiaru 1°C
 - Histeresa regulacji: +1/-1,5°C
 - Częstotliwość pracy transceivera: 433,92 MHz

Ustawienia ważniejszych FUSEBIT-ów *radioTherm slave*:

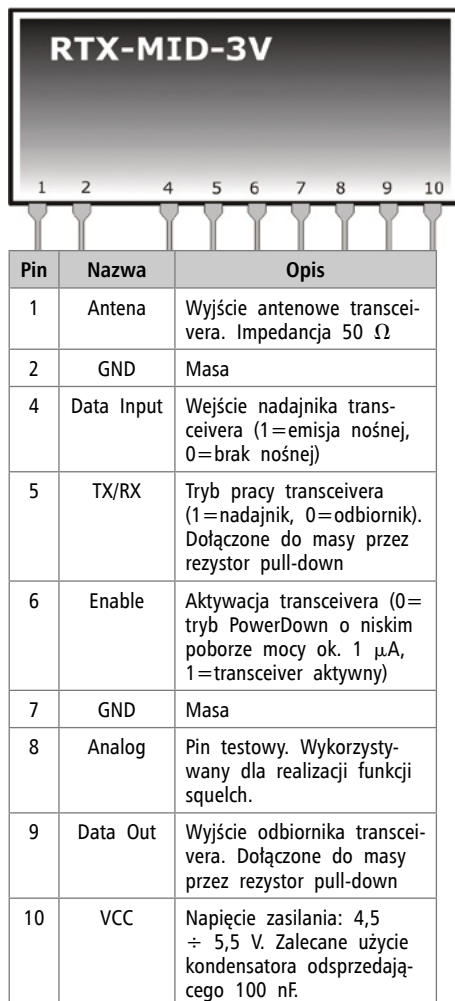
- CKSEL3..0: 0100
- SUT1..0: 10
- EESAVE: 0
- CKDIV8: 1

Dodatkowe materiały na CD i FTP:

- <ftp://ep.com.pl>, user: 17855, pass: 4s406qj2
- wzory płytek PCB
- karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w Wykazie elementów kolorem czerwonym

Projekty pokrewne na CD i FTP:

- (wymienione artykuły są w całości dostępne na CD)
- AVT-950 Termostat elektroniczny (EP 9/2006)
 - AVT-5152 Termostat dobowy (EP 10/2008)



Rysunek 1. Wygląd modułu transceivera z opisem wyprowadzeń

nych z pojedynczej jednostki głównej (master) wyposażonej w rozbudowany interfejs użytkownika. Jak wspomniano, moduły porozumiewają się z układem master za pomo-

- maksymalna prędkość transmisji 9600 bps,
- czułość toru odbiornika (-106 dBm),
- niewielkie wymiary zewnętrzne.

Wygląd modułu transceivera wraz z opisem wyprowadzeń przedstawiono na **rysunku 1**.

Wybór tego transceivera był podyktowany przede wszystkim jego dobrymi parametrami elektrycznymi, łatwością użycia oraz niewielkimi wymiarami zewnętrznymi. Oczywiście, w jego miejscu można zastosować dowolny układ tego typu, spełniający niewygórowane wymagania naszego systemu.

Zastosowanie modułu w systemie docelowym mikroprocesorowym może sprowadzać się do dołączenia odpowiednich wyprowadzeń In/Out modułu do interfejsu USART mikrokontrolera. Jednak takie rozwiązanie byłoby pozbawione wad, gdyż odbiornik transceivera nie został zabezpieczony przed błędami transmisji i to po stronie systemu mikroprocesorowego stoi zadanie odróżniania zakłóceń od ważnych ramek danych. Jedyną pomoc ze strony modułu, na jaką można liczyć, to realizacja funkcji *squelch* (pin 8 transceivera) powodująca ściągnięcie do masy wyjścia odbiornika w przypadku braku sygnału nośnej w trybie odbiornika. Jednak jej użycie niesie za sobą konsekwencje w postaci zmniejszenia czułości odbiornika (o 3 dB), jak również nie rozwiązuje wszystkich problemów związanych z potencjalnym wpływem zakłóceń na transmitowane dane.

W takiej sytuacji, aby zabezpieczyć się przed błędami transmisji, należy zastosować sprawdzony i odporny na błędy system kodowania transmisji. Jednym z nich jest kodowanie typu Manchester

wania wspomnianych przebiegów zastosowano układ czasowo-licznikowy Timer1 wbudowany w strukturę mikrokontrolera oraz dwa przerwy generowane przez te peryferia:

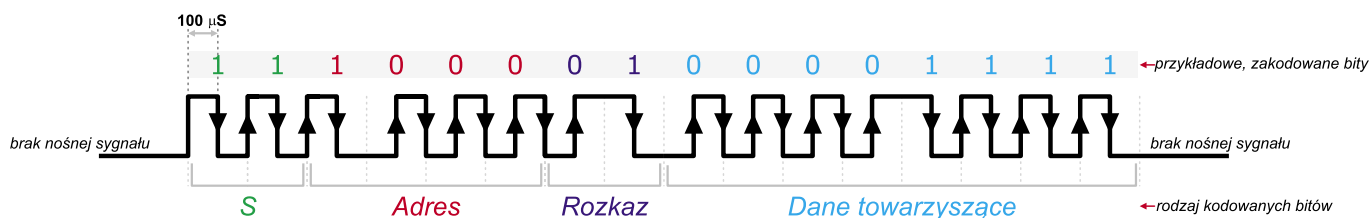
- od przechwycenia zawartości licznika Timer1, wyzwalane dynamicznie zmieniając zboczem sygnału na wejściu ICP mikrokontrolera i odpowiedzialne za pomiar czasu trwania Polbita,
- od przepełnienia zawartości licznika Timer1, zabezpieczające procedurę dekodującą przed niepełnymi lub błędnymi ramkami danych.

Dodatkowo przyjmujemy pewne założenia dotyczące konstrukcji ramki danych. Otóż pełna ramka transmisji powinna mieć następującą postać:

11	S3 S2 S1 S0	C1 C0	D7 D6 D5 D4 D3 D2 D1 D0
Bity startowe	Adres układu slave	Rozkaz	Dane towarzyszące rozkazowi

Przy jej konstrukcji przyjęto następujące założenia:

- każda ramka transmisji, niezależnie od typu transmitowanego rozkazu, składa się z 16 bitów,
- bit pierwszy i drugi stanowią sekwencję startową i zawsze są równe „1”,
- po sekwencji startowej transmitowany jest adres sprzętowy układu slave (modułu bezprzewodowego termometru/termostatu), do którego adresowane są przesyłane dane,
- po adresie transmitowany jest rozkaz sterujący,
- na końcu ramki transmisji występuje 8 bitów danych związanych bezpośrednio z rodzajem rozkazu sterującego.



Rysunek 2. Wygląd przykładowej ramki transmisji układu radioTherm

cą fal radiowych o częstotliwości 433 MHz, zaś sama transmisja odbywa się przy użyciu niedrogiego i prostego w implementacji modułu transceivera radiowego RTX-MID-5V produkowanego przez firmę Aurel. Moduł ten charakteryzuje się następującymi, wybranymi cechami funkcjonalnymi:

- praca w trybie half-duplex,
- modulacja ASK,
- bardzo krótkie czasy przełączania pomiędzy trybami nadajnika i odbiornika i odwrotnie,
- moc wyjściowa ok. 10 mW,
- bardzo niski pobór mocy w trybie PowerDown (ok. 1 μA),

(kodowanie bifazowe sygnału cyfrowego), szeroko stosowane w układach sterowania z użyciem podczerwieni. Każdy bit jest kodowany w postaci zmiany poziomów logicznych, tzw. półbitów, a zmiana ta następuje w środku czasu przeznaczanego na przesłanie pojedynczego bitu. I tak, logiczna „1” jest przesyłana jako zmiana poziomu z wysokiego na niski, natomiast logiczne „0” z niskiego na wysoki. Do naszych celów przyjmujemy, że czas trwania półbitu wynosi 100 μs, co daje prędkość transmisji równą 5000 bps, a więc mieszczącą się w zakresie możliwości układu transceivera. Dla porządku należy dodać, iż do dekode-

R E K L A M A

Tab.1 Lista dostępnych rozkazów sterujących systemem radioTherm

Rozkaz	Opis	Znaczenie bajtu danych przesyłanych przez master wraz z rozkazem	Odpowiedź układu Slave	Znaczenie bajtu danych odpowiedzi układu Slave
0x00	Włącza funkcję termostatu układu slave	Temperatura termostatu	Odsyła przesłaną ramkę transmisji w stanie niezmienionym	Ustawiona temperatura termostatu. Układ slave zapisuje przesłaną wartość w pamięci EEPROM
0x01	Wyłącza funkcję termostatu układu slave	Temperatura termostatu	Odsyła przesłaną ramkę transmisji w stanie niezmienionym	Bez znaczenia
0x02	Zapytanie o wartość mierzonej temperatury	Bez znaczenia – jest przesyłana wartość kontrolna 0xCC	Odsyła zmodyfikowaną ramkę transmisji. Zmianie ulega wartość bajta danych	Aktualna wartość temperatury mierzonej
0x03	Zapytanie o wartość temperatury termostatu	Bez znaczenia – jest przesyłana wartość kontrolna 0xCC	Odsyła zmodyfikowaną ramkę transmisji. Zmianie ulega wartość bajta danych	Aktualna wartość temperatury termostatu. Bit6 przesłanego bajta danych wskazuje stan pracy automatyki termostatu. Wartość „0” oznacza funkcję włączoną, a wartość „1” funkcję wyłączoną

Wykaz elementów Moduł master radioTherm

Rezystory:

R1: 330 Ω
R2: 22 kΩ
R3, R4: 10 kΩ
R5: 1 kΩ
R6: 10 Ω (lub zworka)
P1: potencjometr montażowy 10 kΩ

Kondensatory:

C1, C3, C5, C6, C8, C9: 100 nF (ceram.)
C2, C4: 100 μF/16 V (elektrolit., niski profil)

Półprzewodniki:

U1: 7805
U2: ATmega8 (obudowa DIP28)
T1: BC560

B1: mostek prostowniczy 1A
LED: dioda LED zielona 3 mm

Inne:

DISPLAY: wyświetlacz LCD typ AC-2004B-DIW
W/KK-E6 C PBF BLACKLINE
TSC: transceiver Aurel RTX-MID-5V
AC: złącze śrubowe typu AK500/2
SETUP, ECO/THERM: microswitch z długą ośką
BUZ: buzzer 5 V
ENC: enkoder ze zintegrowanym przyciskiem
TR1: transformator SMD typu TEZ1.5/D/9V (wysokość 22 mm)

Moduł slave systemu radioTherm

Rezystory:

R1: 1.5 kΩ
R2: 470 Ω
R3: 22 kΩ
R4: 1 kΩ
R5, R6: 4,7 kΩ

Kondensatory:

C1, C3, C5, C6: 100 nF (ceram.)
C2, C4 100 μF/16 V (elektrolit., niski profil)

Półprzewodniki:

U1: 7805
U2: ATtiny2313 (obudowa DIL20)
U3: DS18S20 lub DS1820

T1: BC547

D1: 1N4148

B1: mostek prostowniczy 1A
CMD: dioda LED 3 mm, zielona
ON: dioda LED 3 mm, czerwona

Inne:

TSC: transceiver Aurel RTX-MID-5V
REL: przekaźnik HFKW-012-1ZW
RL, AC: złącze śrubowe typu AK500/2
L1: dławik 10 μH
ADDR: przełącznik dip-switch 4-pozycyjny
TR1: transformator SMD typu TEZ1.5/D/9V (wysokość 22 mm)

Wygląd przykładowej ramki transmisji rozumianej jako przebieg zakodowany bifazowo zamieszczono na **rysunku 2**.

Co ważne, transmisji każdej ramki przeprowadzonej przez układ master towarzyszy natychmiastowa odpowiedź układu slave, która zawiera dane oczekiwane przez jednostkę zarządzającą systemem (master) lub oryginalną i niezmienioną, odebraną wcześniej ramkę transmisji (posłuży ona do kontroli poprawności transmisji). W ten prosty sposób układ nadrzędny kontroluje obecność układów slave. W przypadku braku odpowiedzi ze strony slave, master ponawia zapytanie (do 10 razy), po czym – w przypadku dalszego braku odpowiedzi – blokuje możliwość sterowania układem podrzędnym (przy użyciu interfejsu użytkownika układu master i do czasu najbliższego nawiązania łączności), sygnalizując tym samym problem transmisji z wybranym modulem. W takiej sytuacji układ slave realizuje ostatnio przesłane rozkazy sterujące np. funkcje termostatu według przesłanych ostatnio parametrów. W **tabeli 1** zamieszczono listę dostępnych rozkazów sterujących wraz z opisem ich znaczenia oraz specyfikację oczekiwaną odpowiedzi ze strony układu slave (także z opisem jej znaczenia).

Jak widać, przyjęte rozwiązanie jest dość proste, jednak (co potwierdzono w praktyce) pomimo dość dużej liczby zakłóceń w paśmie 433 MHz zapewnia ono akceptowalną stopę błędów na poziomie 1,5%, a jednocześnie zmniejsza wymagania sprzętowe po stronie układu slave. Oczywiście, by układ master (sterownik zarządzający) w ogóle mógł współpracować z jakimkolwiek układem slave (modulem bezprzewodowego termometru/termostatu), musi znać adresy wszystkich aktywnych modułów tego typu oraz ich parametry regulacyjne (stan automatyki termostatu i temperaturę ustawioną). Do tego celu przewidziano zautomatyzowaną procedurę konfigurowania wywołowaną z poziomu interfejsu użytkownika układu master.

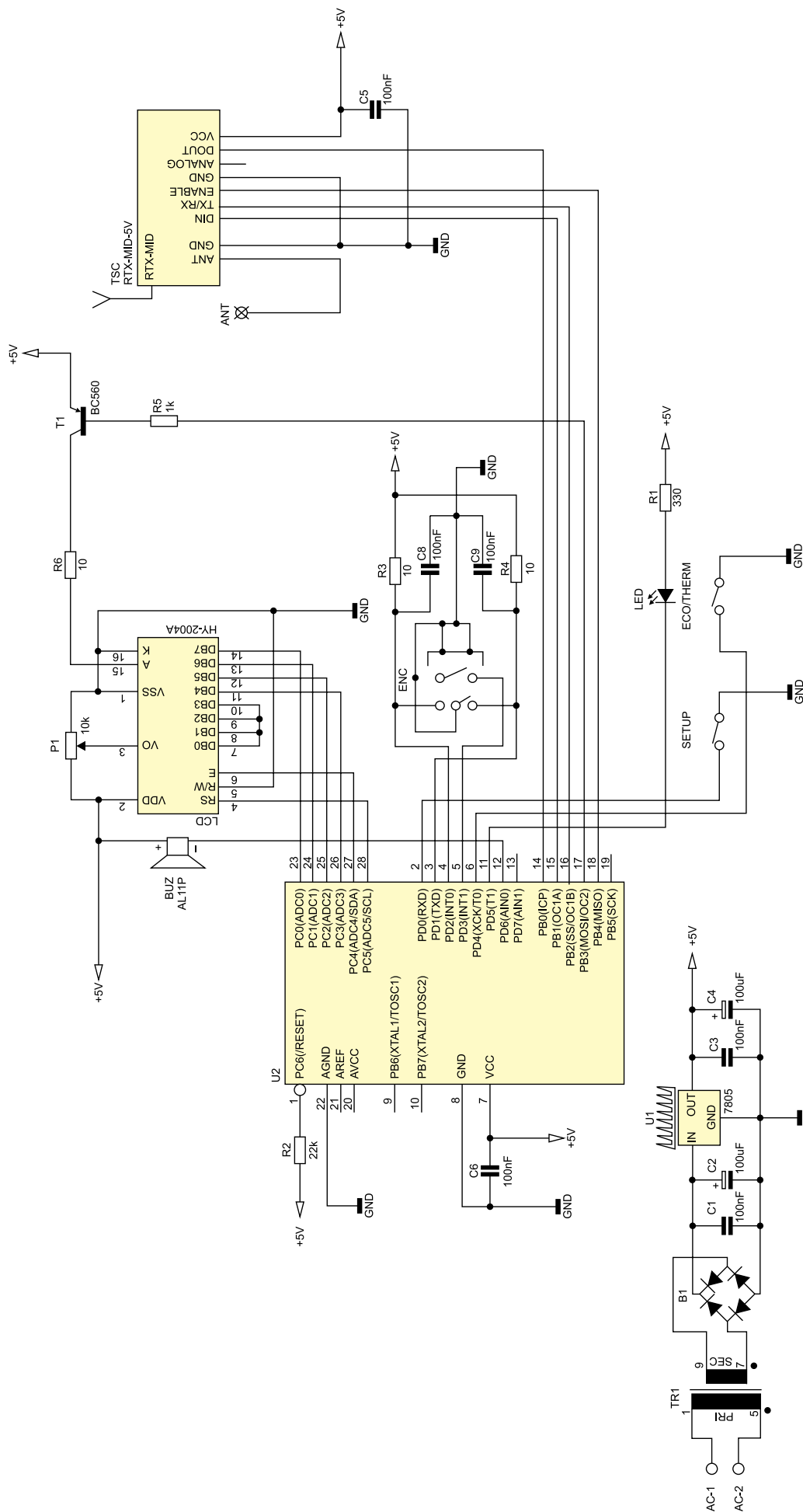
Moduł master

Na **rysunku 3** zamieszczono schemat ideowy modułu master systemu radioTherm.

Jest to system mikroprocesorowy, którego sercem, a zarazem elementem odpowiedzialnym za realizację całej założonej funkcjonalności, jest mikrokontroler ATmega8. Nastawy wszystkich parametrów systemu umożliwia enkoder ze zintegrowanym przyciskiem. Jedno z wyjść enkodera jest dołączone do portu mikrokontrolera oznaczonego INT0 i wywołującego obsługę jednego przerwania zewnętrznego. Dekoduje ona kierunek obrotów, a następnie, „posiłkując” się wartością flagi ustawianej w pętli głównej, zmienia wartość wybranego parametru. Drugim, ciekawym elementem interfejsu użytkownika jest wyświetlacz LCD. Ma on organizację 4×20 znaków i został wykonany w technologii FSTN charakteryzującej się podwyższonym kontrastem, dobrą czytelnością wyświetlanych znaków i szerokim zakresem temperatur pracy. Wyświetlacz ma dobre podświetlenie LED (w naszym przypadku jest to moduł negatywowy z białym podświetleniem). Mam nadzieję, że te unikalne właściwości funkcjonalne podniosą atrakcyjność użytkową systemu. Dodatkowo, dzięki zastosowaniu wbudowanego w strukturę mikrokontrolera układu czasowo-licznikowego Timer2, pracującego w trybie generatora PWM (końcówka OC2/PB3), możliwa stała się realizacja funkcji automatycznego przyciemniania podświetlenia wyświetlacza. Jego intensywność podlega ograniczeniu po około 30 sekundach bezczynności urządzenia (braku jakichkolwiek działań ze strony użytkownika).

Przycisk oznaczony jako „SETUP” przewidziano do inicjalizacji procedury konfiguracyjnej, której zadaniem jest wyszukanie wszystkich aktywnych układów slave, nadanie im własnych nazw (korzystając z interfejsu użytkownika) w celu dalszej, łatwej identyfikacji oraz określenie parametrów regulacyjnych. Procedura ta sprawdza także, czy wyszukany moduł slave (dokładnie jego adres sprzętowy) został już wcześniej skonfigurowany w związku. W ten sposób unika się niepotrzebnego konfigurowania w przypadku „znanych” modułów (dotyczy to zwłaszcza wprowadzania nowych nazw modułów).





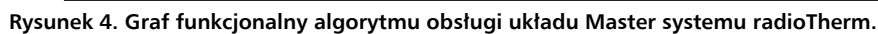
Przycisk oznaczony jako „ECO/THERM” służy do włączania trybu oszczędności dla wszystkich, aktywnych układów slave lub do załączania/wyłączania automatyki termostatu tychże układów. Jego funkcja zależy od miejsca w menu, zaś sama zmiana tego miejsca (trybu pracy urządzenia) dokonywana jest za pomocą przycisku zintegrowanego z osią enkodera. Z uwagi na fakt, że menu układu master systemu radioTherm jest dość rozbudowane, a do jego obsługi przewidziano niewiele elementów regulacyjnych, przedstawiając jednocześnie ergonomię jako cel główny, ich znaczenie w poszczególnych trybach pracy jest różne. Graf funkcjonalny algorytmu obsługi przedstawiono na **rysunku 4**.

Na **fotografiach 5...9** pokazano wygląd ekranu modułu master dla wybranych trybów pracy układu.

Dioda LED informuje o aktywnym trybie Eco (trybie oszczędnościowym), natomiast zintegrowany buzzer sygnalizuje wykonanie rozkazów sterujących (poprawne odpowiedzi modułów slave), emitując podwójny, krótki sygnał lub sygnalizuje wystąpienie problemów z połączeniem pomiędzy stronami transmisji, emitując pojedynczy, długi sygnał (dotyczy to także przypadku braku zadeklarowanych, aktywnych układów slave i potrzeby uruchomienia procedury konfiguracyjnej).

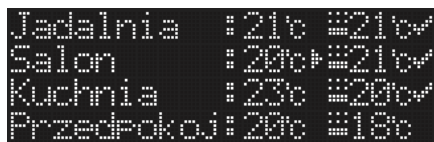
Moduł master domyślnie konfiguruje wbudowany weń transceiver do pracy w trybie nadajnika (pin TX/RX=1), przygotowując go tym samym do wysłania ramki danych sterujących (rozkazu). Jedynie po wyemitowaniu wspomnianej ramki danych, moduł transcevera jest przełączany w tryb odbiornika (pin TX/RX=0) w celu odebrania oczekiwanej odpowiedzi (odblokowywane są w tym momencie stosowne przerwania, z których korzysta procedura dekodująca), po czym moduł ten przechodzi ponownie w tryb nadajnika (a dokładnie w tryb PowerDown). Jak wspomniano, wysłanie ramki danych inicjowane jest poprzez działa-

Rysunek 3. Schemat ideowy modułu master systemu radioTherm

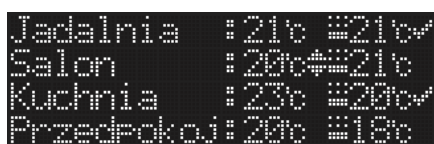




Fotografia 5. Wygląd głównego ekranu modułu master



Fotografia 6. Wygląd ekranu modułu master dla trybu wyboru układu slave w celu edycji parametrów jego termostatu



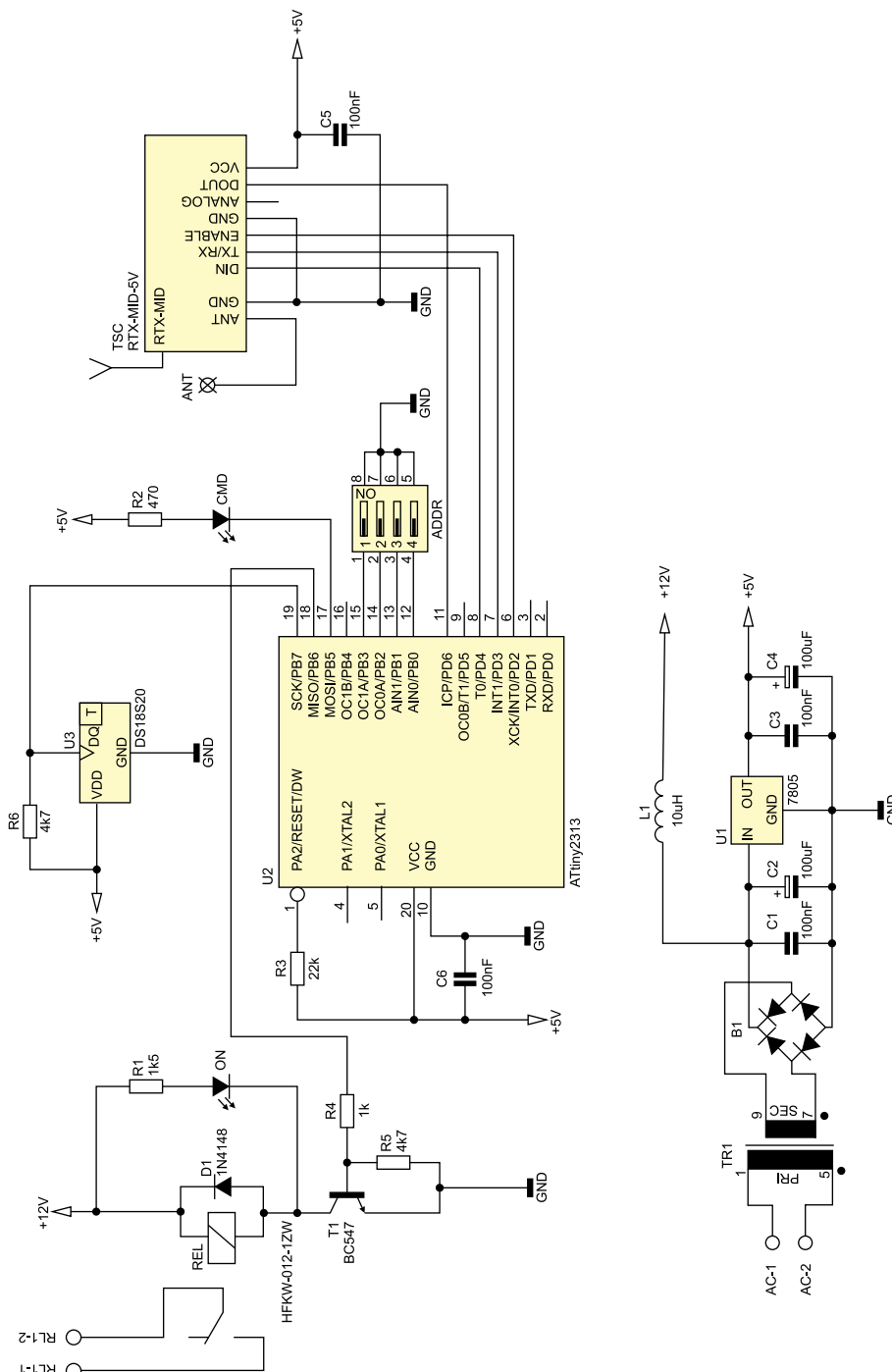
Fotografia 7. Wygląd ekranu modułu master dla trybu edycji parametrów wybranego układu slave



Fotografia 8. Wygląd ekranu modułu master dla trybu edycji wartości temperatury dla funkcji Eco



Fotografia 9. Wygląd ekranu modułu master dla trybu konfiguracyjnego (setup).



Rysunek 10. Schemat ideowy modułu slave systemu radioTherm

R E K L A M A

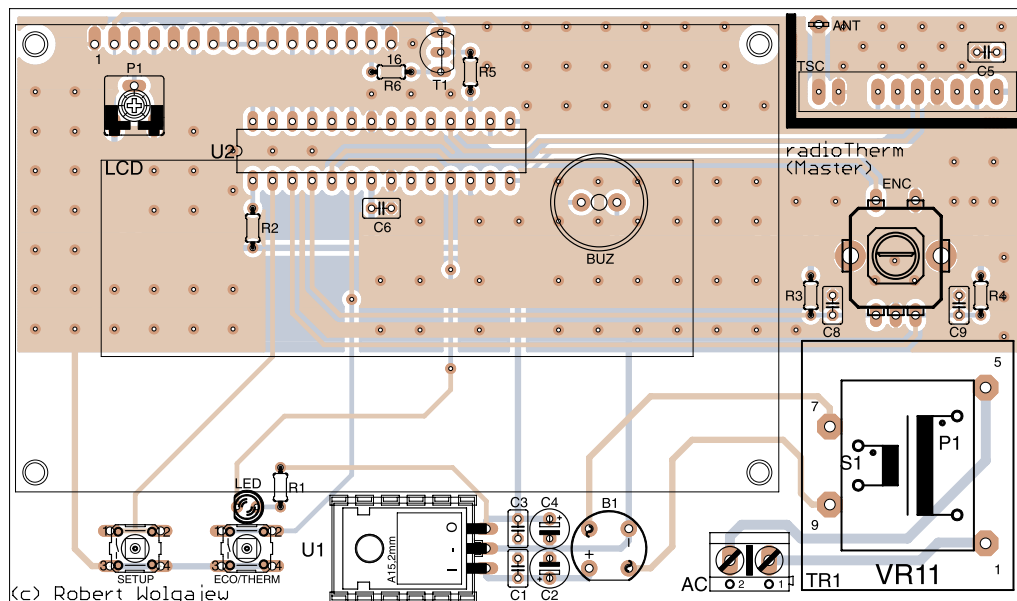
nia regulacyjne użytkownika, ale nie tylko. W stanie bezczynności urządzenia moduł master samodzielnie odpytuje kolejne aktywne moduły slave w celu aktualizacji danych interfejsu użytkownika (temperatur mierzonych przez poszczególne czujniki). Odpowiednia procedura co ok. 64 ms wysyła rozkaz 0x02 do kolejnego, aktywnego czujnika, co powoduje, że co ok. 1 s wszystkie mierzone temperatury podlegają aktualizacji.

Moduł slave

Moduł slave systemu radioTherm jest elementem pomiarowo-regulacyjnym naszego systemu. Jego schemat przedstawiono na **rysunku 10**.

Moduł slave do realizacji поставionych mu zadań używa mikrokontrolera ATtiny2313. Realizuje on obsługę transmisji za pośrednictwem transceivera domyślnie pracującego w trybie odbiornika, pomiar temperatury (realizowany za pomocą układu DS18S20 lub DS1820) oraz sterowanie pracą przełącznika mocy (poprzez typowy stopień tranzystorowy) przeznaczanego do załączania/wyłączania grzejnika. Jako że nie było potrzeby wyposażania tego systemu w żaden interfejs użytkownika, do konfigurowania adresu *Slave* modułu przewidziano 4-pozycyjny przełącznik DIP-SWITCH. Przełączenie każdego z segmentów w pozycję ON powoduje wyzerowanie stosownego bitu adresu (odpowiednio, w odniesieniu do ramki danych, S3...S0). Do sygnalizacji faktu odebrania rozkazu i jego wykonania przewidziano diodę świecącą CMD.

Jak wspomniano, moduł slave systemu radioTherm pracuje domyślnie w trybie odbiornika. Oczekuje na ważną dla niego ramkę danych sterujących (zawierającą jego adres sprzętowy) przesyłaną przez moduł sterujący (master). Po otrzymaniu takiej ramki danych, układ slave przełącza transceiver w tryb nadajnika, a następnie natychmiast odsyła potwierdzenie w postaci duplikatu tej ramki danych lub danych oczekiwanych przez układ master (w zależności od typu rozkazu sterującego). Następnie przełącza transceiver w tryb odbiornika i aktualizuje wartości odpowiednich zmiennych odpowiedzialnych za realizację algorytmu sterującego pracą termostatu. Dodatkowo, co 750 ms jest aktualizowana bieżąca wartość mierzonej temperatury, aby na żądanie układu master przesyłana wartość była zawsze wartością aktualną. Wszystkie parametry odpowiedzialne za realizację funkcji termostatu (załączenie/wyłączenie automatyki oraz wartość ustawionej temperatury) są przez slave zapisywane w nieulotnej pamięci EEPROM mikrokontrolera, co zapobiega błędnym czy niepotrzebnym działaniom układu po zaniku zasilania. Automatyka modułu slave została



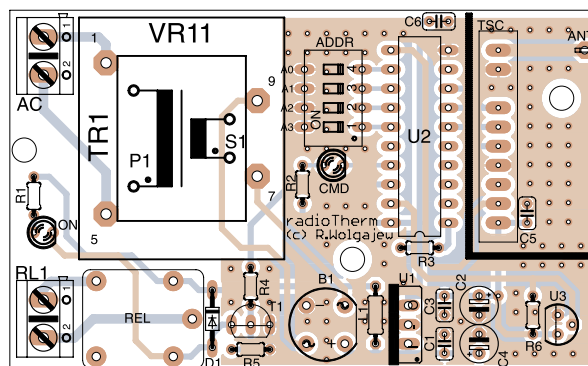
Rysunek 10. Schemat montażowy modułu master systemu radioTherm

ponadto wyposażona w odpowiednią histerezę regulacji. Zdefiniowano ją w taki sposób, aby na przykład dla ustawienia żądanej temperatury 21°C moduł slave włączył przełącznik sterujący grzałką przy temperaturze 19,5°C, a wyłączył w momencie, gdy mierzona temperatura osiągnie wartość 22°C.

Montaż

Na **rysunku 10** pokazano schemat montażowy modułu radioTherm master, natomiast na **rysunku 11** modułu radioTherm slave.

Montaż obu modułów zostanie opisany łącznie, gdyż odnosi się do zwyczajowych zasad montażu układów tego typu. Jak zwykle należy rozpocząć od wlutowania zworek, następnie: rezystorów, kondensatorów, przełączników, złącz, przycisków microswitch, a na końcu układów półprzewodnikowych. Ścieżki przewodzące duże prądy, to jest wiodące do styków wykonawczych przełącznika REL modułu slave, należy pocynować grubą warstwą cyny. Wyświetlacz LCD należy zamocować w odpowiedniej odległości od obwodu drukowanego modułu master najlepiej za pomocą tulei dystansowych, wykorzystując przewidziane w tym celu otwory, zaś same połączenie należy wykonać przy użyciu listwy goldpin (gniazdo-wtyk) lub zwykłej taśmy wieloprzewodowej. Jako anteny w obu przypadkach możemy użyć zwykłego kawałka drutu miedzianego o minimalnym przekroju 0,5 mm² i długości około 17 cm. Wymiary geometryczne takiej anteny można zmniejszyć do około 8,3 cm poprzez uformowanie z jej części cewki powietrznej położonej u podstawy anteny. Należy jednak pamiętać, że anteny nadajnika i odbiornika powinny znajdować się



Rysunek 11. Schemat montażowy modułu slave systemu radioTherm

w położeniu prostym do powierzchni masy poszczególnych płytek drukowanych, zaś ich wzajemne położenie wpływa na zasięg kompletu urządzeń. Można także skorzystać z innych, choćby dostępnych w handlu anten o impedancji 50 Ω, dostosowanych do pracy w paśmie 433 MHz. Moduł transceivera może zostać odseparowany od reszty urządzenia poprzez zastosowanie niewielkiego ekranu wykonanego z kawałka blachy, a wlutowanego w przewidziane do tego celu miejsca.

Robert Wołgajew
robert.wolgajew@ep.com.pl

Na płytkach obu układów zbudowano kompletne układy zasilające łącznie z transformatorami zasilanymi napięciem sieciowym 230 V. Dlatego istnieje niebezpieczeństwo porażenia prądem elektrycznym o napięciu 230 VAC, co może być groźne dla życia i zdrowia. Miejsca na obwodach płytek drukowanych, gdzie występuje wysokie napięcie, oznaczono odpowiednimi opisami.