



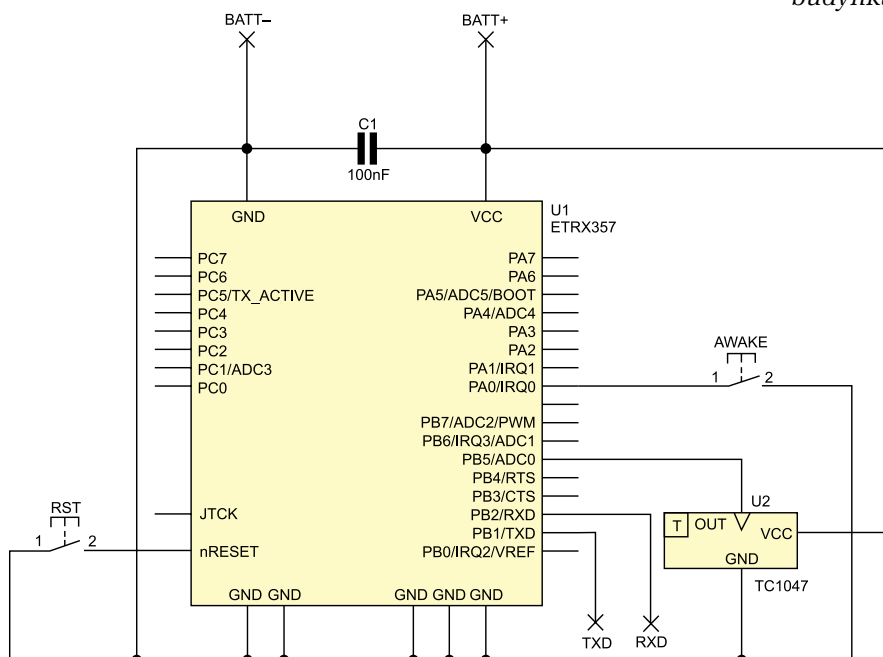
# ZigT

## System kontrolno-pomiarowy pracujący z użyciem łączności ZigBee

**AVT 5332**

Tematyka elektroniki użytkowej dla domu cieszy się ogromną popularnością. Prezentujemy opis konstrukcji koordynatora/koncentratora danych pracującego w sieci ZigBee. Wyposażono go w czytelny wyświetlacz, 24 linie I/O, wejścia analogowe, przerwań itd. Dodatkowo, autor zaimplementował zestaw 50 funkcji realizowanych przez moduł automatycznie po wystąpieniu zdarzenia.

**Rekomendacje:** urządzenia przydadzą się w instalacji inteligentnego budynku.



Rysunek 1. Schemat ideowy modułu pomiarowego temperatury systemu ZigT

**AVT-5332 w ofercie AVT:**  
AVT-5332A – płytka drukowana

### Podstawowe informacje:

- Sterownik główny
- Napięcie zasilania: 5 V DC.
- Maksymalny prąd zasilania: 40 mA.
- Liczba obsługiwanych modułów pomiarowych: 16.
- Zasięg w terenie otwartym: ok. 100 m (w warunkach zaburzeń np. współlistnienie sieci WiFi) zaleca się użycie modułów w wersji z gniazdem anteny zewnętrznej.
- Moduł pomiarowy
- Źródło napięcia zasilania: 2 baterie typu AA.
- Czas pracy na zasilaniu baterijnym: >2 lata.
- Zasięg w terenie otwartym: ok. 100 m.
- Zakres pomiarowy temperatury: -40°C...+99°C.
- Dokładność pomiaru temperatury: ±1°C (w całym zakresie), ±0.25°C (w zakresie 0°C...99°C)

### Ustawienie fuse bits:

CKSEL3...0: 1111  
SUT1...0: 11  
CKOPT: 0  
JTAGEN: 1  
BODEN: 1  
SPIEN: 0  
OCDEN: 1  
BOOTRST: 1

### Dodatkowe materiały na CD/FTP:

- <ftp://ep.com.pl>, user: 13057, pass: 41sjv430
- wzory płytek PCB
- karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w Wykazie elementów kolorem czerwonym

### Projekty pokrewne na CD/FTP:

- (wymienne artykuły są w całości dostępne na CD)
- AVT-5313 IntelliDom – System sterowania inteligentnego budynku z interfejsem ZigBee (EP 10-11/2011)
- AVT-5276 RadioTherm – Bezprzewodowy system pomiaru i kontroli temperatury (EP 2/2011)
- AVT-5126 iDom – System automatyki domowej (EP 3/2008)

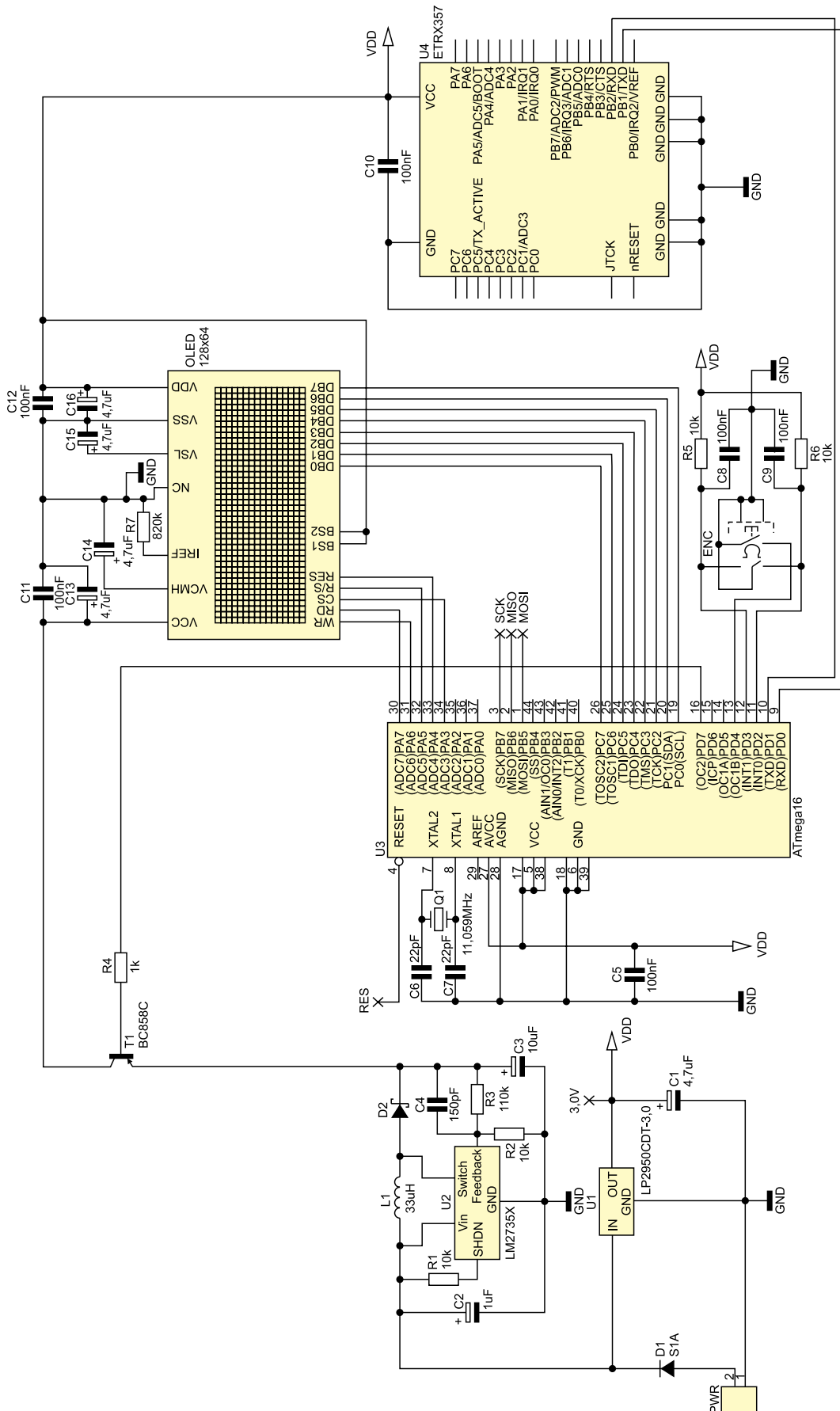
Niedawno stanąłem przed problemem konstrukcyjnym zbudowania energooszczęd- nego, wielopunktowego systemu pomiaru temperatury charakteryzującego się dużą

elastycznością konfiguracji i prostotą imple- mentacji. Pierwszą myślą było wykorzystanie jednego z popularnych przemysłowych in- terfejsów komunikacyjnych, choćby RS-485.

Rozwiązanie proste i tanie, lecz z uwagi na potrzebę prowadzenia setek metrów prze- wodów trudne w implementacji i dość koszt- ownie. Mając pewną wiedzę i doświadczenie

w budowie bezprzewodo- wych systemów transmisji danych, pomyślałem o za- stosowaniu popularnych modułów transceiverów przeznaczonych do transmisji w paśmie ISM. Układy te spełniałyby wszystkie postawione założenia, nie- stety poza wymogiem energo- oszczędności. W takim wypadku nie pozostało mi nic innego, jak sięgnięcie po najnowsze rozwiąza- nia układowe pod postacią technologii ZigBee, która to jest idealnym nośnikiem dla tego typu systemów speł- niając wszystkie, wstępne założenia projektowe.

Technologia ta jest światowym standardem bezprzewodowej transmisji danych w sieciach PAN o topologiach mesh (kraj- ta), gwiazda, drzewo czy peer-to-peer w systemach automatyki domowej, monitoringu i kontroli dostę- pu czy bezprzewodowych sieciach pomiarowych. Moduły transmisyjne stosowane do ich budowy charakteryzują się bardzo niskim poborem energii (czas pracy na zasilaniu ba- teryjnym nawet kilka lat), prostą i taną budową oraz ograniczonym zasięgiem (zwykle rzędu kilkudziesię- ciu metrów). Bezprzewo- dowa transmisja pakietów danych, w ramach specyfi- kacji ZigBee, odbywać się może w nielicencjonowa- nych pasmach 868 MHz, 915 MHz lub 2,4 GHz, przy czym komunikacja ta charakteryzuje się niewiel- kimi przepływnościami danych (do 250 kbps), co w naszym wypadku nie ma większego znaczenia. Po- nadto, specyfikacja ZigBee określa w szczególności spos- ób parametry wszystkich warstw fizycznych i pro- gramowych interfejsu da- nych jak, również definiuje mechanizmy bezpieczeń- stwa (możliwe jest użycie



Rysunek 2. Schemat ideowy sterownika głównego systemu ZigT

128-bitowego szyfrowania AES) i zarządzania siecią minimalizując niezbędne działania po stronie użytkownika. Co najważniejsze, cały skomplikowany mechanizm utrzymania sieci ZigBee, sterowania ruchem pakietów danych, znajdowania nowych dróg transmisji pomiędzy urządzeniami wymieniającymi dane oraz buforowania danych, jest poza użytkownikiem. O to dba specyfikacja stosu ZigBee i oprogramowanie producenta konkretnego modułu ZigBee (tzw. firmware). W takim razie pozostało tylko znaleźć odpowiednie rozwiązanie układowe, które wymagałoby minimum konfiguracji po stronie użytkownika i zapewniałoby maksymalny czas pracy na zasilaniu bateryjnym (moduł pomiarowy temperatury). Wybrałem moduły typu ETRX357 produkowane przez firmę Telegesis (UK) Limited ([www.telegesis.com](http://www.telegesis.com)), charakteryzujące się następującymi wybranymi cechami funkcjonalnymi:

- wbudowany mikrokontroler sterujący ARM® Cortex-M3 z 192 kB pamięci flash i 12 kB pamięci RAM (implementacja stosu EmberZNet ZigBee stack),
- szeroki zakres napięcia zasilającego (2,1...3,6 V),

- mały pobór prądu w trybie uśpienia (1  $\mu$ A),
- może pracować jako *end device*, *router* lub *koordynator* (ustawienie w pełni konfigurowalne),
- 24 linie I/O do swobodnego wykorzystania,
- 6 kanałów wejściowych wbudowanego przetwornika ADC,
- 4 wejścia zewnętrznych przerwań sprzętowych,
- 8 wbudowanych układów czasowo-licznikowych w pełni konfigurowalnych,
- 14 w pełni konfigurowalnych zdarzeń sprzętowych mogących generować automatyczne akcje,
- zestaw 50 akcji automatycznych realizowanych przez moduł samodzielnie po wystąpieniu dedykowanego zdarzenia,
- możliwość pracy jako koncentrator danych (funkcjonalność „sink” wprowadzona wyłącznie w modułach firmy Telegesis),
- wyspecjalizowana i wygodna w użyciu lista komend sterujących AT,
- wysoka czułość toru radiowego (-100 dBm) i odporność na współistniejące sieci WiFi i Bluetooth,

- sprzętowy mechanizm szyfrujący wykorzystujący kodowanie AES-128,
- aktualizacja oprogramowania dzięki wbudowanemu interfejsowi RS232 lub poprzez sieć ZigBee,
- małe rozmiary modułu i wygodny w montażu rodzaj obudowy SMT (25 mm×19 mm).

Te wszystkie cechy funkcjonalne sprawiły, że implementacja obsługi tego rodzaju modułu stała się dość prosta a sprowadza się do odpowiedniej konfiguracji sprzętowych cech modułu odpowiedzialnych za cykliczną transmisję danych. Skorzystano przy tym ze specjalnych i unikalnych mechanizmów, w które firma Telegesis wyposażyla swoje produkty a które to wydatnie upraszczają implementację w naszym systemie pomiarowym. Mowa o konfigurowalnych zdarzeniach sprzętowych, które mogą inicjować wykonanie pewnych, automatycznych akcji po stronie modułu jak i o funkcjonalności koncentratora danych. Konfigurowalne zdarzenia sprzętowe (i przypisane im akcje automatyczne) to funkcjonalność, dzięki której w wielu praktycznych zastosowaniach moduły takie mogą pracować autonomicznie

Na CD: karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w wykazie elementów kolorem czerwonym

### Wykaz elementów

#### Moduł sterownika głównego

##### Rezystory: (SMD1206)

- R1, R2: 10 k $\Omega$  1%
- R5, R6: 10 k $\Omega$
- R3: 110 k $\Omega$  1%
- R4: 1 k $\Omega$
- R7: 820 k $\Omega$  1%

##### Kondensatory:

- C1, C13...C16: 4,7  $\mu$ F/20 V (tantalowy, „B”, EIA 3528-21R)
- C2: 1  $\mu$ F/20 V (tantalowy, „B”, EIA 3528-21R)
- C3: 10  $\mu$ F/20 V (tantalowy, „B”, EIA 3528-21R)
- C4: 150 pF (SMD1206)
- C6, C7: 22 pF (SMD1206)
- C5, C8...C12: 100 nF (SMD1206)

##### Półprzewodniki:

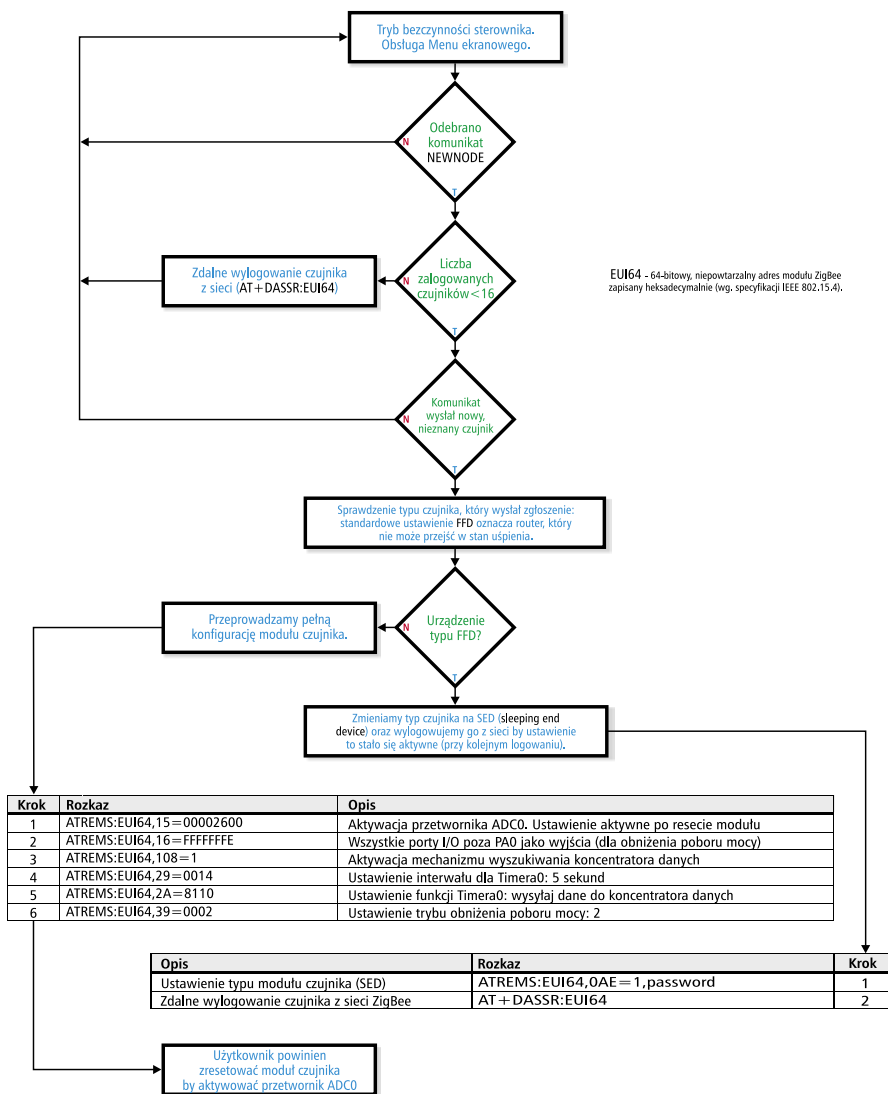
- U1: LP2950CDT-3.0 (DPAK)
- U2: LM2735X (SOT23-5)
- U3: ATmega16 (TQFP44)
- U4: ETRX357
- D1: S1A (dioda prostownicza, DO214AC)
- D2: MBR0530T1 (dioda Schottky, SOD123)
- T1: BC858C (SOT23-BEC)

##### Inne:

- OLED: wyświetlacz OLED 128×64 px typu WEG012864L (Winstar, złącze 30 pin)
- Q1: rezonator kwarcowy 11,0592 MHz niski
- L1: dławik 15  $\mu$ H DE0703-33 (DE0703)
- PWR: gniazdo męskie, kątowe 2-pin (NSL25-2W)
- ENC: enkoder ze zintegrowanym przyciskiem
- ZIF: złącze typu ZIF do montażu powierzchniowego (raster 0,5 mm, 30-pin, styki od góry)
- Taśma połączeniowa dla złącz typu ZIF (raster 0,5 mm, 30 styków, długość około 4 cm)

#### Moduł pomiarowy

- C1: 100 nF (SMD1206)
- U1: ETRX357
- U2: TC1047 (SOT23)
- RST, AWAKE: microswitch SMD (2-pin)



EU164 - 64-bitowy, niepowtarzalny adres modułu ZigBee zapisany heksadecymalnie (wg. specyfikacji IEEE 802.15.4).

Rysunek 3. Algorytm konfiguracyjny

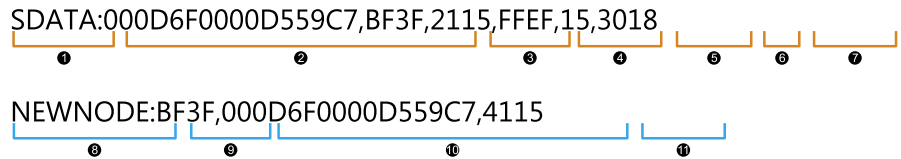
bez potrzeby stosowania mikrokontrolera jako medium sterującego. Zdarzenia, dla których przewidziano akcje automatyczne to:

- 4 przerwania zewnętrzne wyzwalane zmianą stanów na portach wejściowych modułu (dowolnie skonfigurowane),
- zdarzenie uruchomienia modułu po włączeniu zasilania,
- zdarzenie zalogowania się do sieci ZigBee,
- zdarzenia generowane przez 8 16-bitowych liczników wbudowanych w moduł ZigBee taktowanych przebiegiem o częstotliwości 4 Hz (dokładnie przez zdarzenie przepełnienia się licznika), dla których konfiguracji podlega zarówno czas przepełnienia się licznika (wartość maksymalna licznika) jak i rodzaj automatycznej akcji podejmowanej przez moduł po wystąpieniu zdarzenia.

W naszym wypadku skorzystano ze zdarzenia przepełnienia się licznika Timer0, dla którego interwał ustawiono na czas 5 sekund. Zdarzenie to generuje z kolei przypisaną mu akcję automatyczną, która polega na wysłaniu pakietu danych do koncentratora danych (tu: koordynatora sieci). Pakiet ten standardowo zawiera informację o stanie wszystkich wejść modułu, zmierzone poziomy napięć wejściach ADC0 i ADC1 przetwornika ADC, poziom napięcia baterii oraz kolejny numer transmisji.

Wspomniany wcześniej termin „koncentrator danych” jest funkcjonalnością wprowadzoną wyłącznie przez firmę Telegesis do modułów ZigBee serii ETRX2 i ETRX3. Dzięki niej każdy moduł dowolnego typu może w sposób automatyczny wysyłać dane do zdefiniowanego wcześniej koncentratora danych (modułu ZigBee skonfigurowanego jako tenże koncentrator) bez znajomości jego parametrów sieciowych. Funkcjonalność tą wprowadzono przede wszystkim do wykorzystania przez wbudowane mechanizmy akcji automatycznych. Dzięki tym wszystkim cechom możliwe stało się zbudowanie prostego modułu pomiarowego zasilanego bateryjnie, który większość czasu pozostaje w stanie uśpienia pobierając znikomo mały prąd ze źródła zasilania i co pewien, określony czas (w naszym przypadku 5 sekund) wychodzi z tego stanu przesyłając oczekiwany pakiet danych do zdefiniowanego wcześniej koncentratora danych. W ten prosty sposób nasz moduł pomiarowy zbudowany być może wyłącznie z wykorzystaniem modułu ETRX357 oraz prostego przetwornika temperatura-napięcie TC1047 podłączonego do kanału ADC0 przetwornika, co pokazano na **rysunku 1**.

Czas na prezentację sterownika głównego, którego zadaniem jest obsługa modułów pomiarowych oraz prezentacja otrzymanych danych. Schemat sterownika głównego pokazano na **rysunku 2**. Jest to nieskompliko-



- ❶ Nagłówek komunikatu: pakiet danych dla koncentratora danych
- ❷ Sprzętowy adres modułu (EUI64), który wysłał pakiet danych
- ❸ Stany portów I/O modułu, który wysłał pakiet danych (zapis heksadecymalny)
- ❹ Napięcie na wejściu przetwornika ADC0 modułu, który wysłał pakiet danych (zapis heksadecymalny)
- ❺ Napięcie na wejściu przetwornika ADC1 modułu, który wysłał pakiet danych (zapis heksadecymalny)
- ❻ Kolejny numer transmisji
- ❼ Napięcie zasilania modułu, który wysłał pakiet danych
- ❽ Nagłówek komunikatu: zalogowanie nowego modułu pomiarowego
- ❾ 16-bitowy unikalny (tzw. krótki) adres sieciowy zalogowanego modułu ZigBee (nadawany przez koordynatora)
- ❿ Sprzętowy adres (EUI64) zalogowanego modułu ZigBee
- ⓫ 16-bitowy unikalny (tzw. krótki) adres sieciowy "rodzica" zalogowanego modułu ZigBee (nadawany przez koordynatora)

Rysunek 4. Specyfikacja obsługiwanych komunikatów

wany system mikroprocesorowy zbudowany z użyciem mikrokontrolera ATmega16 odpowiedzialnego za obsługę modułu ETRX357, skonfigurowanego jako koordynator sieci ZigBee i koncentrator danych z nowoczesnym wyświetlaczem graficznym OLED o przekątnej ekranu 2,7", rozdzielczości 128×64px, 16 odcieniami koloru bursztynowego oraz jedyne elementu regulacyjnego pod postacią enkodera ze zintegrowanych przyciskiem. Dodatkowo, z uwagi na wymóg odnośnie do napięcia zasilającego wyświetlacz OLED (logikę sterującą i macierz diod OLED), zastosowano zaawansowane rozwiązanie układowe pod postacią stabilizatora liniowego LDO typu LP2950CDT-3.0 dla zasilania systemu mikroprocesorowego i logiki wyświetlacza OLED oraz przetwornicy *step up* typu LM2735X dla uzyskania napięcia 15 V zasilającego macierz diod OLED.

Wyświetlacz OLED wybrano z uwagi na minimalizację poboru mocy sterownika głównego jak i efekt wizualny. Wyświetlacze tego typu charakteryzują się doskonałym odwzorowaniem barw (dla wyświetlaczy kolorowych), niespotykanym wręcz kontrastem (ponad 2000:1, matryca OLED sama jest źródłem światła), wysoką jasnością (ok. 100 cd/m²), doskonałą czernią (w przeciwieństwie do modułów LCD, których czerń jest po prostu szara za sprawą niezbędnego podświetlenia), bardzo szerokim kątem widzenia w każdej płaszczyźnie wynoszącym prawie 180 stopni, bardzo krótkim czasem reakcji wynoszącym poniżej 10 μs oraz wspomnianym wcześniej niskim poborem mocy.

Tak jak wspomniano wcześniej, sterownik główny odpowiada za obsługę komunikatów wysyłanych przez moduły pomiarowe, za ich logowanie do sieci ZigBee oraz za konfigurację tych modułów przeprowadzaną zdalnie. To ostatnie zadanie wynika z założeń konstrukcyjnych modułów pomiarowych związanych z prostotą ich budowy. Co oczywiste, można byłoby przeprowadzać lokalną konfigurację każdego z modułów pomiarowych, lecz wymagałoby to zastosowania interfejsu komunikacyjnego do podłączenia np. z komputerem klasy PC i programu ter-

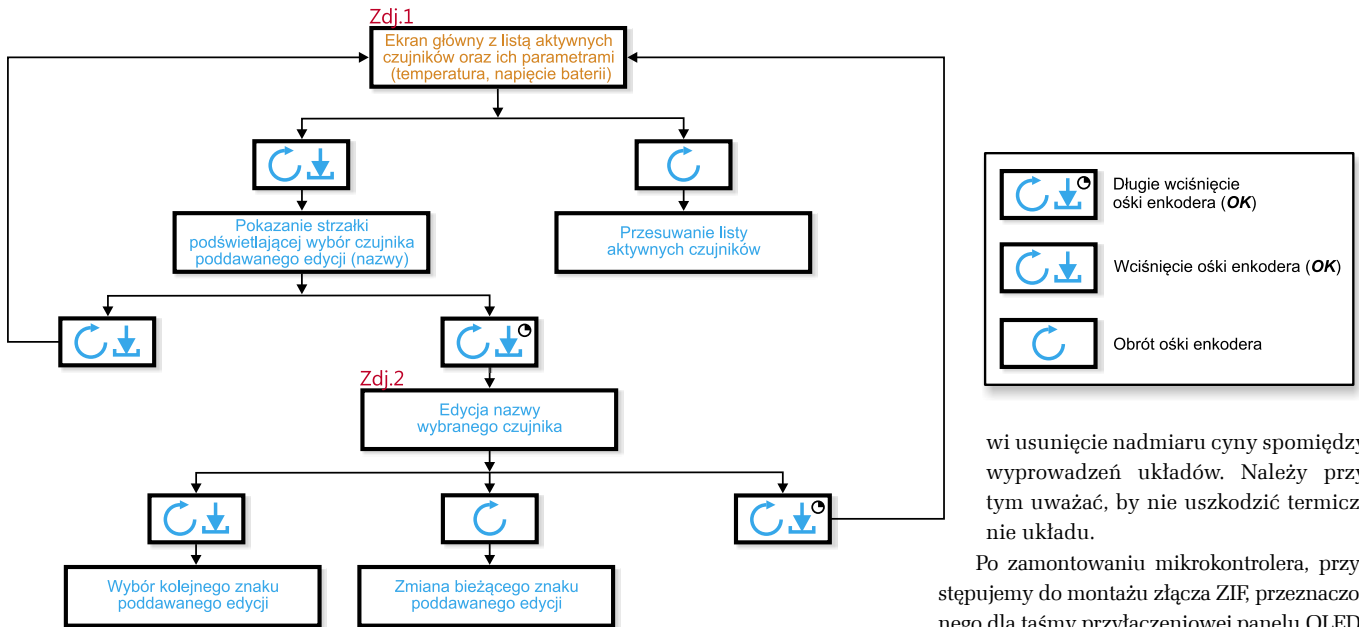
minalowego, za pomocą którego miałyby ona być wykonana. Zastosowane rozwiązanie znacznie upraszcza obsługę systemu ZigT, gdyż konfiguracja każdego z modułów pomiarowych wykonywana jest automatycznie przez sterownik główny w czasie logowania modułu do sieci ZigBee. Z uwagi na fakt, iż pewne cechy sprzętowe modułów ETRX357 stają się aktywne dopiero po restarcie modułu lub też w czasie logowania do sieci proces konfiguracji nowego elementu tego typu przeprowadzany przez sterownik główny jest nieco bardziej skomplikowany aniżeli wynikałoby to z pobieżnej oceny a jego algorytm przedstawiono na **rysunku 3**. Należy zauważyć, iż logowanie modułu pomiarowego do sieci ZigBee następuje po upływie 1 minuty od włączenia zasilania tego modułu czy też po zdalnym wylogowaniu z sieci. Jest to ustawienie domyślne akcji automatycznej inicjowanej standardowym ustawieniem wbudowanego licznika Timer3 modułu ETRX357.

Dodatkowo, sterownik główny obsługuje dwa rodzaje komunikatów wysyłanych przez moduły pomiarowe: komunikat logowania do sieci i komunikat pakietu danych adresowanych do koncentratora danych. Specyfikację wspomnianych komunikatów pokazano na **rysunku 4**.

Ostatnim zadaniem, za jakie odpowiada mikrokontroler jest obsługa *Menu ekranowego*. Podstawowym założeniem projektowym była chęć zbudowania możliwie najprostszego a zarazem czytelnego i funkcjonalnego środowiska współpracy urządzenia z użytkownikiem zważywszy na fakt, iż jedynym elementem regulacyjnym, w jaki wyposażono urządzenie jest enkoder ze zintegrowanym przyciskiem, za pomocą którego dokonujemy wszystkich nastaw. Graf funkcjonalny algorytmu obsługi systemu ZigT przedstawiono na **rysunku 5**.

Standardowo, po włączeniu zasilania, sterownik główny oczekuje na logowanie co najmniej jednego modułu pomiarowego i do tego czasu nie pozwala na obsługę *Menu ekranowego*. Każdy logujący się moduł pomiarowy zostaje z kolei automatycznie dodany do listy wyświetlanych modułów z przypisaną mu





Rysunek 5. Graf funkcjonalny algorytmu obsługi systemu ZigT

standardową nazwą „No name”, którą w ramach opcji Menu możemy dowolnie edytować. W wypadku, gdy sterownik główny straci kontakt z modułem pokojowym, jego nazwa i pokazywane parametry zostaną wyświetlone ciemniejszym odcieniem koloru żółtego. Dodatkowo, wprowadzono możliwość rekonfiguracji systemu ZigT, która to możliwa jest dzięki wprowadzeniu dedykowanej opcji aktywnej wyłącznie podczas włączania zasilania sterownika głównego. Jeśli podczas włączania sterownika głównego przytrzymamy wciśniętą oś enkodera, sterownik główny wyloguje

wszystkie moduły pomiarowe z sieci oraz wykasuje z pamięci EEPROM mikrokontrolera informację o ich adresach sieciowych umożliwiając tym samym ponowną konfigurację systemu. Przed przeprowadzeniem takiej operacji należy jednak „wybudzić” wszystkie moduły pomiarowe (ze stanu niskiego poboru mocy) poprzez chwilowe naciśnięcie na każdym z nich przycisku oznaczonego jako „AWAKE”. W przeciwnym wypadku, moduły pomiarowe pozostające w trybie PowerDown nie będą w stanie odebrać komend sterujących wysłanych przez sterownik główny. Niezależnie od tego, standardowe ustawienia modułu ETRX357 (dokładnie jego Timera2, dla którego interwał ustawiono na 1 min 1 sek) powodują, że każdy taki moduł opuści sieć, jeśli pozostał sam tzn. bez aktywnego koordynatora sieci.

**Montaż**

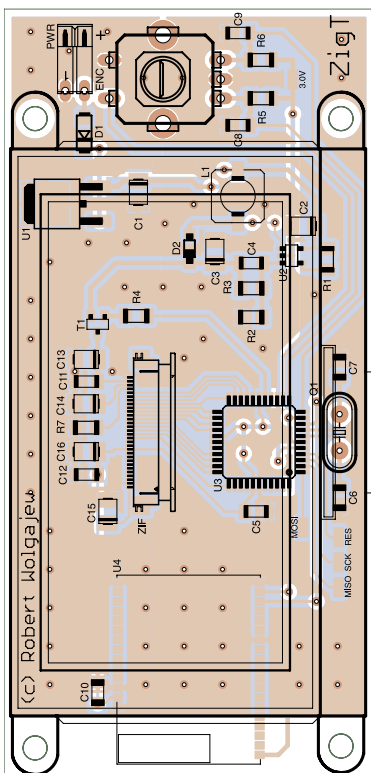
Schemat montażowy sterownika głównego pokazano na **rysunku 6** a modułu pomiarowego na **rysunku 7**. Moduł pomiarowy jest urządzeniem niezmiernie prostym w budowie, skupimy się na szczegółach montażu dotyczących sterownika głównego.

Płytkę sterownika głównego zaprojektowano w taki sposób, by można ją było przykręcić do wyświetlacza w typowej konstrukcji „kanapkowej”. Zdecydowana większość elementów (łącznie z modułem ZigBee) znajdzie się w tym wypadku pod panelem wyświetlacza. Montaż układu rozpocząć należy od wlutowania mikrokontrolera, co może być trudne. Najłatwiejszym sposobem montażu elementów o takim zagęszczeniu wyprowadzeń, niewymagającym jednocześnie posiadania specjalistycznego sprzętu, jest użycie typowej stacji lutowniczej, dobrej jakości cyny z odpowiednią ilością topnika oraz plecionki rozlutowniczej, która umożli-

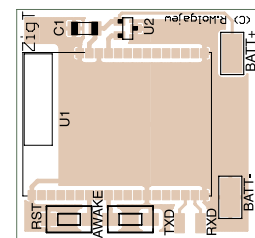
wi usunięcie nadmiaru cyny spomiędzy wyprowadzeń układów. Należy przy tym uważać, by nie uszkodzić termicznie układu.

Po zamontowaniu mikrokontrolera, przystępujemy do montażu złącza ZIF, przeznaczonego dla taśmy przyłączeniowej panelu OLED, postępując w analogiczny sposób, jak poprzednio. Następnie, kierując się obrysem obudowy, przylutowujemy moduł ZigBee używając do tego celu pół lutowniczych umieszczonych na krawędziach jego obwodu drukowanego. Na końcu montujemy pozostałe elementy przeznaczone do montażu przewlekane. Tuż przed przykręceniem wyświetlacza do płyty naszego układu, należy go dołączyć korzystając ze złącza ZIF umieszczonego po stronie elementów i odpowiedniej długości taśmy połączeniowej. Poprawnie zmontowany układ (warto sprawdzić jakość montażu mikrokontrolera i pozostałych elementów o dużym zagęszczeniu wyprowadzeń) powinien działać tuż po podłączeniu zasilania.

Robert Wołgajew, EP



Rysunek 6. Schemat montażowy sterownika głównego systemu ZigT



Rysunek 7. Schemat montażowy modułu pomiarowego systemu ZigT

REKLAMA

**WWW.STM32.EU**

**JAK zacząć z STM32?**

**Sprawdź!**

- ♦ programy ♦ narzędzia
- ♦ porady ♦ przykłady

**ST** **KAMAMI**