

Zbigniew MANTORSKI, Andrzej SITKO
Katedra Energoelektroniki, Napędu Elektrycznego i Robotyki
Politechniki Śląskiej

TRANSMISJA DANYCH CYFROWYCH Z WYKORZYSTANIEM SIECI ENERGETYCZNEJ NISKIEGO NAPIĘCIA

Streszczenie. Celem artykułu jest przedstawienie problemów, które stoją przed konstruktorami urządzeń do transmisji danych cyfrowych poprzez sieci energetyczne niskiego napięcia. W artykule zaprezentowano też prototypowe urządzenie realizujące taką transmisję i opisano zadania, jakie ma realizować jego oprogramowanie. Przeprowadzone testy pozwoliły wyciągnąć wnioski co do warunków, które muszą być spełnione, aby transmisja przebiegała poprawnie.

DIGITAL DATA TRANSMISSION USING A LOW VOLTAGE POWER LINE

Summary. The scope of the paper is the presentation of problems to be solved by constructors of devices for digital data transmission using a low voltage power line. The paper presents a prototype device built for this purpose and describes tasks for the software. Conclusions on the correct transmission conditions are drawn from the results of the conducted tests.

1. WSTĘP

Wykorzystanie sieci energetycznej jako medium do transmisji danych cyfrowych jest obecnie jednym z wielu środków komunikacji pomiędzy urządzeniami cyfrowymi.

Pierwsze prace nad zastosowaniem linii elektro-energetycznych jako nośników informacji rozpoczęły się już ponad 80 lat temu w Stanach Zjednoczonych. Podjęto wtedy próby realizacji zdalnego sterowania urządzeniami energetycznymi, wykorzystując istniejącą infrastrukturę sieci przesyłowych wysokiego napięcia. Wysokie koszty nie pozwoliły wówczas na dalszy rozwój tej technologii.

W Europie w 1929 w Szwajcarii uruchomiono pierwszy system przesyłający sygnały logiczne. Jego zadaniem było sterowanie światłami ulicznymi, podgrzewaczami wody, światłami wystaw sklepowych itp.

W latach 70. i 80. ubiegłego wieku zaczęto realizować przesył niewielkich pakietów danych, wykorzystując sieć elektryczną wewnątrz mieszkania, do odbiornika podłączonego do gniazdka w innym pomieszczeniu. Pojawiły się także rozwiązania służące synchronizowaniu ulicznych zegarów i światel sygnalizacyjnych.

2. SIEĆ ENERGETYCZNA NISKIEGO NAPIĘCIA JAKO MEDIUM TRANSMISYJNE

Sieć energetyczna niskiego napięcia składa się z wielu połączonych ze sobą urządzeń zasilanych ze wspólnego transformatora dystrybucyjnego. Zarówno te urządzenia, jak i otoczenie w jakimś stopniu oddziałują na nią. Ta interakcja niesie ze sobą negatywne skutki z punktu widzenia możliwości przeprowadzania transmisji danych.

2.1. Impedancja sieci

Znając parametry elementów i urządzeń, które tworzą daną sieć energetyczną niskiego napięcia, można by określić jej impedancję zastępczą dla danej częstotliwości. W praktyce, niestety, nie jest to możliwe, bo nie da się dokładnie określić, jakie odbiory, o jakim charakterze i w jakim czasie są do niej podłączone. O ile nie da się dokładnie powiedzieć, jaka będzie wartość modułu impedancji w paśmie transmisyjnym, o tyle można oszacować, w jakim przedziale będzie się on znajdować. Należy się jednak liczyć z tym, że zakres zmian tego parametru będzie bardzo szeroki.

Z punktu widzenia modemów, sieć energetyczna zachowuje się jak filtr. Aby uzyskać możliwie dobre warunki do przesyłu danych, należy dążyć do sytuacji, w której to poziom napięcia na wyjściu nadajnika

$$poziomU = 20 \log \left(\frac{U}{1 \mu V} \right), \quad (1)$$

będzie zbliżony do poziomu napięcia wejściowego odbiornika. Efekt ten uzyska się wówczas, gdy tłumienie filtra

$$Att = 20 \log \left(\frac{U_{wy_{nad}}}{U_{we_{odb}}} \right), \quad (2)$$

będzie małe.

Niskie tłumienie uzyska się przy dużej wartości impedancji w gałęzi poprzecznej filtra. Niestety, wartość impedancji sieci jest stosunkowo mała, a więc w pewnych warunkach poziom sygnału na wejściu odbiornika może okazać się niewystarczający, żeby możliwe było nawiązanie łączności.

Do innych czynników mających bezpośredni wpływ na niską impedancję sieci można zaliczyć impedancję samego transformatora dystrybucyjnego oraz przede wszystkim obciążenia podłączonego do sieci. W przypadku odbiorników o charakterze pojemnościowym możliwe jest wystąpienie szkodliwych rezonansów z indukcyjnością sieci bądź transformatora. Należy również zwrócić uwagę na fakt, że normy dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej narzucają producentom sprzętu elektrycznego wymóg stosowania filtrów przeciwzakłóceńowych. Zadaniem takiego filtra jest eliminacja zaburzeń, a więc w paśmie transmisyjnym będzie on miał bardzo małą impedancję.

2.2. Zakłócenia

Z punktu widzenia możliwości przeprowadzania transmisji danych najsilniejsze zakłócenia pochodzą od odbiorników energii elektrycznej takich, jak: regulatory oświetlenia („ściemniacze”), sprzęt RTV wyposażony w zasilacze impulsowe, jak również komputery PC, i ładowarki ogniw zasilane za pomocą tego typu układów. Nie oznacza to wcale, że wszystkie z nich będą negatywnie wpływać na transmisję danych. Jeśli częstotliwość pracy przetwornicy

impulsowej będzie leżeć poza pasmem transmisyjnym, to nie będzie ona stanowić zagrożenia dla sygnału o częstotliwości nośnej. Źródłem zakłóceń mogą być też świetlówki kompaktowe zawierające elektroniczne zapłoniki oraz wszystkie urządzenia wyposażone w przekształtniki energoelektroniczne.

Aby ograniczyć zakłócenia powstające podczas pracy układów impulsowych, stosuje się filtry EMC. Z punktu widzenia możliwości przesyłu sygnałów nie jest to jednak powód do zadowolenia, bo w zamian za korzyść w postaci redukcji zakłóceń otrzymuje się negatywny efekt obniżania się impedancji sieci w paśmie transmisyjnym.

Negatywnie wpływać na sygnał o częstotliwości nośnej mogą też świetlówki, przepięcia powstające w wyniku procesów łączeniowych oraz uniwersalne silniki małej mocy.

Urządzenia transmisyjne same w sobie są generatorami wyższych harmonicznnych. Nie ma to negatywnego wpływu na ich pracę, lecz może być niepożądane dla innych odbiorników pracujących w sieci.

Występowanie sygnałów zakłócających podczas komunikacji może powodować przekłamania w przesyłanej informacji, a w skrajnych przypadkach może prowadzić do zerwania łączności. Środkiem zaradczym jest tu zaimplementowanie odpowiednich protokołów transmisyjnych.

2.3. Fale stojące

Zmodulowany sygnał, przenoszący informację cyfrową wykorzystując sieć energetyczną ma postać fali elektromagnetycznej. Czy jednak oznacza to, że konieczne jest rozpatrywanie zjawisk charakterystycznych dla ruchu falowego? Jeśli ma się do czynienia z tzw. linią długą, to odpowiedź brzmi tak.

W przypadku projektowania wyłącznie urządzeń „automatyki domowej” (Home Automation), można pominąć analizę jakichkolwiek zjawisk falowych, bo długość okablowania domowej instalacji elektrycznej będzie zawsze wielokrotnie mniejsza od tej, przy której instalację tę należałoby traktować jako linię długą. W przypadku tzw. urządzeń PLC (Power Line Communication) sprawa diametralnie się różni. Transmisja danych przeprowadzana jest tam w pasmach rzędu MHz, co powoduje konieczność analizy zjawisk falowych. W węzłach fali stojącej amplituda sygnału wynosi zero i tym samym jeśli w miejscu, w którym jest podłączony odbiornik, wystąpi węzeł, nie będzie możliwe odbieranie sygnałów wysyłanych przez nadajnik.

2.4. Zasięg transmisji

Dystans, na jaki można przesłać dane jest ograniczany przez właściwości kanału transmisyjnego. W przypadku takiego medium, jakim jest sieć energetyczna, decydujące znaczenie będzie miało tłumienie.

Zwiększając odległość pomiędzy urządzeniami transmisyjnymi, otrzymuje się efekt w postaci wzrostu tłumienia. Gdyby nie brać pod uwagę, że do sieci energetycznej podłączone są źródła i odbiory energii elektrycznej, to o maksymalnym zasięgu transmisji zdecydowałyby głównie impedancja przewodów. Wtedy istniałaby możliwość przesyłu danych na odległości rzędu setek metrów. Niestety, w normalnych warunkach decydujący wpływ na wartość tłumienia mają odbiorniki nisko impedancyjne przyłączone do sieci. Stąd też realne do uzyskania odległości są ograniczone i wynoszą od kilku do kilkudziesięciu metrów. Jeśli chodzi o urządzenia „domowej automatyki”, jest to odległość w zupełności wystarczająca, bo dystans pomiędzy gniazdkami elektrycznymi domowej instalacji elektrycznej rzadko przekracza taką wartość. W przypadku tzw. technologii PLC udaje się uzyskać większy zasięg

(rzędu kilkuset metrów) dzięki zastosowaniu algorytmów cyfrowej obróbki sygnału bądź też wzmacniaczy.

3. BUDOWA URZĄDZEŃ TRANSMISYJNYCH

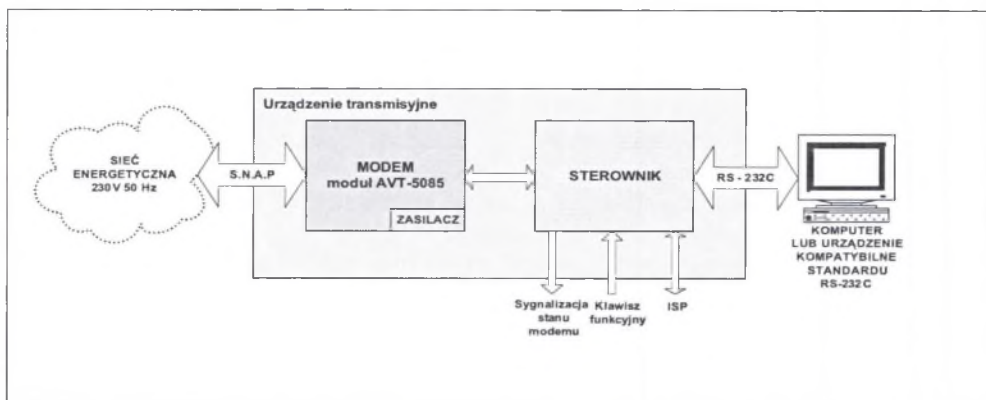
3.1. Koncepcja układu

Przy wyborze rozwiązania kierowano się:

- ceną układu,
- stopniem złożoności oprogramowania sterującego,
- ilością i rodzajem niezbędnych do wykonania urządzenia elementów zewnętrznych,
- jakością transmisji,
- popularnością układu na rynku.

Urządzenia transmisyjne muszą spełniać dyrektywy normy CENELEC o oznaczeniu PN-EN 50065 obowiązującej w całej Europie.

Urządzenie transmisyjne składa się z części analogowej (modem transmisyjny) i części cyfrowej (sterownik modemu – konwerter) będącej opracowaniem własnym. Schemat blokowy prototypu urządzenia transmisyjnego przedstawia rys. 1.



Rys.1. Schemat blokowy urządzenia transmisyjnego
Fig.1. Block diagram of the transmission device

Przyjęto też, że „hardware” wszędzie tam, gdzie jest to możliwe, powinien być zastąpiony poprzez odpowiednie procedury programowe zapisane w pamięci mikrokontrolera. Ponieważ założono, że użytkownik ma decydować o tym, do jakiego celu wykorzysta urządzenia transmisyjne, zaistniała konieczność umożliwienia mu dokonywania samodzielnych zmian w oprogramowaniu bez ingerencji w strukturę obwodu. Narzuciło to z góry wymóg doboru mikrokontrolera wyposażonego w interfejs umożliwiający programowanie go w zmontowanym systemie. Odpowiednim do tego celu okazał się procesor ATMEGA8 firmy Atmel.

Program sterujący opracowywano w języku assembler, tak więc wielkość pamięci programu (8kB) w zupełności wystarcza do implementacji wszystkich procedur. Komunikacja pomiędzy modemami jest realizowana za pomocą protokołu S.N.A.P (Scaleable Node Address Protocol), a do testowania zmontowanych urządzeń transmisyjnych wykorzystano komputer PC.

3.2. Moduł transmisyjny

Jako modem transmisyjny wykorzystano gotowy moduł AVT-5085 wprowadzając jedynie pewne modyfikacje. Większość obwodów niezbędnych do wykonania modemu energetycznego została zaimplementowana w strukturze układu ST7537HS1.

Interfejs z siecią zasilającą spełnia zasadniczo dwa zadania. Pierwszym z nich jest „przenoszenie” sygnału o częstotliwości nośnej pomiędzy siecią energetyczną a modemem, drugie polega na zapewnieniu separacji galwanicznej obu obwodów.

Do separacji obwodów wykorzystano transformator firmy C&D o oznaczeniu 78250, przeznaczony do budowy izolowanych interfejsów standardu RS-232C. Szerokie pasmo przenoszenia, jakim on dysponuje, pozwala wykorzystać go także w roli separatora sygnałów. Transformator ten nie może być bezpośrednio podłączony do sieci 230 V 50 Hz, gdyż uległby natychmiastowemu uszkodzeniu, wskutek przepływu prądu składowej podstawowej. Jej eliminację realizuje filtr w postaci szeregowego obwodu rezonansowego złożonego z kondensatora i dławika.

Moduł został wyposażony w zasilacz i elementy zabezpieczające przed różnego rodzaju zakłóceniami, a także zapewniające bezpieczeństwo użytkownikowi.

3.3. Sterownik

Sterownik wykonano na bazie mikrokontrolera ATMEGA8. Mikrokontroler jest taktowany za pomocą zewnętrznego rezonatora kwarcowego.

Biorąc pod uwagę, że będzie wykorzystywany port szeregowy USART i że mikrokontroler będzie programowany za pomocą interfejsu SPI, poszczególnym jego portom przypisano funkcje, które zestawiono w tabeli 1.

Linie kontrolno-sterujące modemu ST7537HS1 doprowadzono do złącza umieszczonego na płycie sterownika. Tak samo postąpiono w przypadku szyn zasilających +5 V.

Wymiana informacji pomiędzy sterownikiem a komputerem, bądź też innym urządzeniem zewnętrznym odbywa się za pomocą interfejsu szeregowego standardu RS-232C.

Tabela 1

Porty mikrokontrolera

Nr pinu	Nazwa	Typ	Funkcja	Zastosowanie
4	PD2	Wejście	(CD) – detekcja sygnału o częstotliwości nośnej	Komunikacja z modemem (moduł AVT – 5085)
5	INT1	Przerwanie zewn.	(Rx) – odbiór danych z modemu	
24	PC1	Wyjście	(WD) – kasowanie Watchdog (ST7537HS1)	
25	PC2	Wyjście	(Rx/Tx) – linia sterująca trybem pracy modemu	
26	PC3	Wyjście	(Tx) – wysyłanie danych do modemu	
2	RXD	Wejście USART	Odbiór danych z portu szeregowego USART	Interfejs szeregowy RS – 232C
3	TXD	Wyjście USART	Wysyłanie danych do portu szeregowego USART	
15	PB1	Wyjście	(DCD) – linia sterująca portu szeregowego	Interfejs SPI
16	PB2	Wejście	(DTR) – linia sterująca portu szeregowego	
17	PB3	Wyjście	(DSR) – linia sterująca portu szeregowego /SPI	

Nr pinu	Nazwa	Typ	Funkcja	Zastosowanie
18	PB4	Wejście	(RTS) – linia sterująca portu szeregowego /SPI	
19	PB5	Wyjście	(CTS) – linia sterująca portu szeregowego /SPI	
6	PD4	Wejście	Obsługa klawisza S1 Wizualna sygnalizacja stanu pracy modemu	
11	PD5	Wyjście		
12	PD6	Wyjście		
13	PD7	Wyjście		
14	PB0	Wyjście		
27	PC4	Wyjście		
28	PC5	Wyjście		

Sterownik wyposażony został w klawisz S1 oraz zestaw diod LED (D1 – D7). Dzięki tym elementom użytkownik ma możliwość wyboru trybu pracy urządzenia (zwiększona czułość, tryb serwisowy) oraz bieżącej kontroli wykonywanych przez niego operacji. W tabeli 2 przedstawiono funkcje, jakie sygnalizują diody LED.

Tabela 2

Funkcje sygnalizowane przez diody LED

Numer	Etykieta	Funkcja
D1	TXD	Sygnalizacja nadawania pakietu S.N.A.P
D2	RXD	Sygnalizacja odbioru pakietu S.N.A.P
D3	ACK	Sygnalizacja nadawania pozytywnego potwierdzenia (ACK Response)
D4	NAK	Sygnalizacja nadawania negatywnego potwierdzenia (NAK)
D5	OK	Sygnalizacja otrzymania pozytywnego potwierdzenia (ACK Response)
D6	CD	Sygnalizacja detekcji nośnej
D7	HS	Sygnalizacja trybu zwiększonej czułości

4. OPROGRAMOWANIE STEROWNIKA

Do stworzenia oprogramowania wykorzystano Asembler AVR, a kod źródłowy programu sterownika został opracowany za pomocą oprogramowania „AVR Studio 4” firmy Atmel. W celu ułatwienia procesu szybkiego wyszukiwania fragmentów programu projekt podzielono na kilka osobnych plików, których zestawienie podano w tabeli 3.

Tabela 3

Pliki składające się na oprogramowanie sterownika

Nazwa zbioru	Zawartość
Definicje.asm	Deklaracje: rejestrów specjalnych, stałych, bitów, zajętego obszaru pamięci SRAM. Jest to plik, który poddajemy procesowi asemblacji, toteż tutaj muszą znajdować się odnośniki do poszczególnych plików projektu oraz skoki do procedur przerwania.
Odbiór danych.asm	Procedura odbioru danych z portu szeregowego USART
Wysłanie danych.asm	Procedura wysłania danych za pomocą portu szeregowego USART
Odbiór ramki SNAP.asm	Procedura odbioru pakietu S.N.A.P

cd. tabeli 3

Nazwa zbioru	Zawartość
Odbiór ramki SNAP.asm	Procedura odbioru pakietu S.N.A.P
Nadanie ramki SNAP.asm	Procedura wysłania pakietu S.N.A.P
Detekcja ramki SNAP.asm	Procedura określająca zgodność formatu pakietu S.N.A.P z ustalonymi wcześniej dyrektywami
Stworzenie ramki SNAP.asm	Procedura tworzenia pakietu S.N.A.P na podstawie danych zawartych w buforze odbiornika RS
Procedury.asm	Zestaw procedur uniwersalnych
Modem.asm	Procedury: aktywacji mikrokontrolera, aktywacji modemu ST7537HS1, nadajnika, odbiornika, pętla główna
Serwis.asm	Procedura obsługi trybu serwisowego
Timer.asm	Procedury: generacji opóźnień czasowych, obsługi klawiatury, kasowania watchdoga modemu ST7537HS1

Plik DEFINICJE.ASM jest szkieletem całego projektu. W nim znajdują się informacje niezbędne zarówno dla kompilatora, jak i dla programisty.

Pamięć danych została podzielona na obszary tak jak przedstawiono to na rys. 2. Sporo miejsca zajmują tzw. bufony. Każda z wykorzystywanych w systemie magistral komunikacyjnych (RS-232C i S.N.A.P) ma po dwa bufony. Ich zadanie polega na przechowywaniu danych odebranych, jak i tych przeznaczonych do wysłania. Oprócz nich w pamięci ulokowano także rejestry specjalne, które nie wymagają szybkiego dostępu. Są to SNAP_R, SNAP_T oraz rejestry liczników. Te ostatnie są wykorzystywane w procedurze obsługi trybu serwisowego. Zawierają one informacje umożliwiające wyświetlenie statystyki sesji modemu. Górna część pamięci została zarezerwowana na potrzeby stosu.

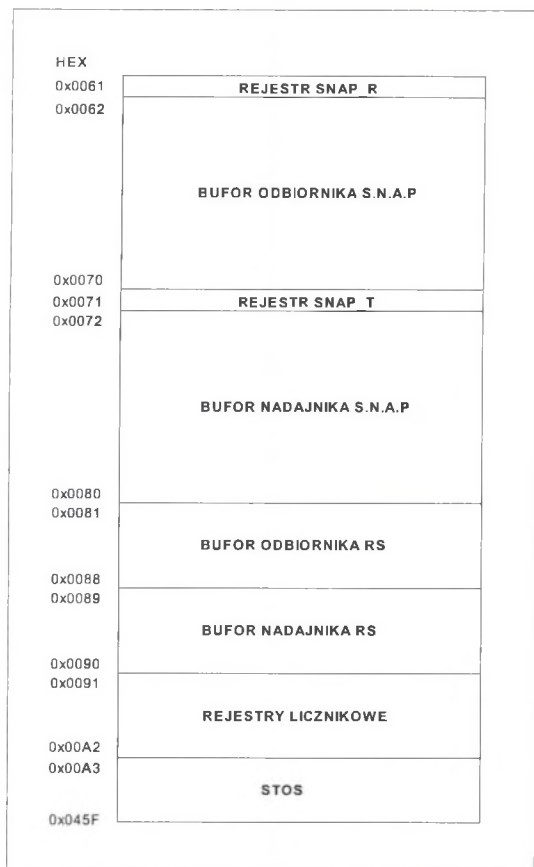
Proces wysyłania i odbioru danych za pomocą portu szeregowego realizowany jest sprzętowo. Wykorzystano do tego celu blok USART, który znajduje się na wyposażeniu mikrokontrolera ATMEGA8.

Najistotniejsze parametry związane z transmisją danych są następujące:

- | | |
|------------------------------|-----------------|
| ▪ metoda transmisji | półduplexowa, |
| ▪ typ interfejsu | asynchroniczny, |
| ▪ prędkość transmisji danych | 2400 bps, |
| ▪ rozmiar pola danych | 8 bitów, |
| ▪ ilość bitów startu | 1, |
| ▪ ilość bitów stopu | 1, |
| ▪ bit kontrolny | brak. |

Wartości te są przypisane na stałe, a ewentualna ich zmiana możliwa jest po dokonaniu korekty odpowiednich instrukcji, zawartych w zbiorze MODEM.ASM.

Blok USART nie ma możliwości kontrolowania stanów linii sterujących magistrali RS-232C. Z tego też powodu zadanie to powierzone zostało procedurom programowym.

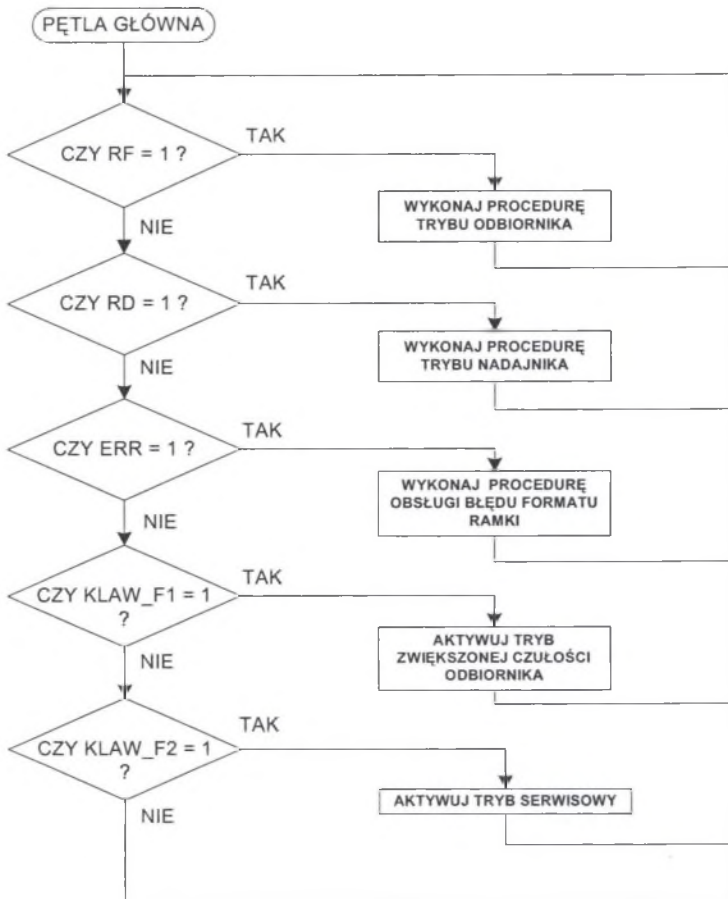


Rys. 2. Podział pamięci w sterowniku
Fig. 2. Memory map of the controller

Do zapewnienia komunikacji pomiędzy sterownikiem a modemem wykorzystuje się magistralę szeregową. Tymczasem mikrokontroler ATMEGA8 ma w swej strukturze tylko jeden blok USART, który został już przydzielony do realizacji zadań omówionych powyżej. Zdecydowano się więc zbudować programowy odpowiednik USART'a czyli tzw. „wirtualny port szeregowy”. W ten sposób mikrokontroler został wyposażony w drugi port szeregowy, niezależny od tego, którym dysponował do tej pory. Nie oznacza to jednak, że oba będą ze sobą kompatybilne. Port wirtualny powstał z myślą o transmisji pakietów S.N.A.P, a nie pojedynczych bajtów.

W czasie gdy modem znajduje się w stanie „bezczynności” (nie jest przeprowadzana transmisja danych), praca mikrokontrolera ogranicza się do wykonywania instrukcji zawartych w pętli głównej programu. Jej algorytm przedstawia rys.3.

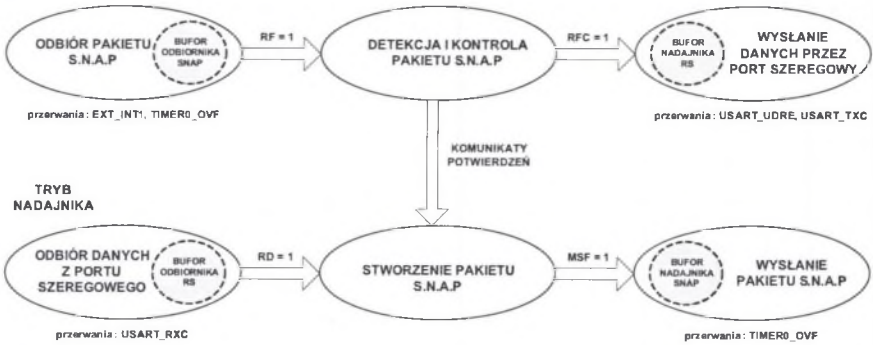
Jak widać, mikrokontroler „całą swą uwagę” poświęca procesowi monitorowania poszczególnych flag systemowych. Czynność ta wykonywana jest cyklicznie, aż do momentu wykrycia zmiany stanu którejs z nich. Taka sytuacja wymusi wyjście modemu ze stanu „bezczynności” i rozpoczęcie realizacji powierzonego mu zadania.



Rys. 3. Pętla główna programu
Fig. 3. Main program loop

Odpowiednie połączenie procedur umożliwi realizację zarówno trybu nadajnika, jak i odbiornika. Efekt takiego działania przedstawiono na rys. 4.

TRYB ODBIORNIKA



Rys. 4. Tryby pracy modemu

Fig. 4. Modem modes

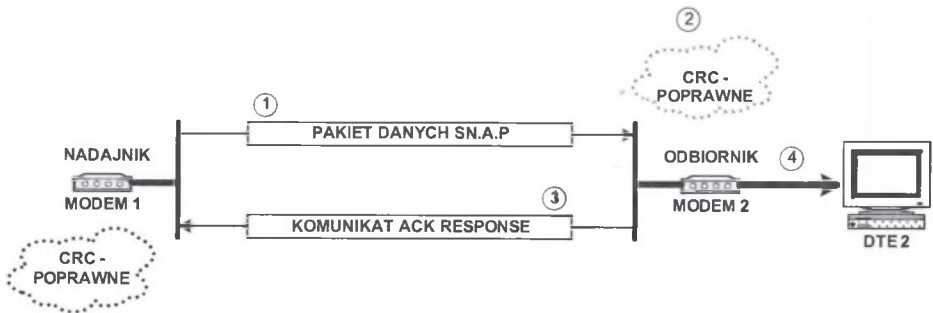
Aktywacja danego trybu pracy modemu odbywa się na poziomie pętli głównej programu. Ustawienie którejś z flag systemowych (RF lub RD) powoduje rozpoczęcie wykonywania procedury NADAJNIK (gdy $RD = 1$), bądź też ODBIORNIK (gdy $RF = 1$). Wywołanie jednej z nich blokuje drugą, do czasu zakończenia wykonywania procedury wywołanej.

W zasadzie algorytmy tych procedur powinny być proste i ograniczać swoje działanie jedynie do kontroli kolejnych flag systemowych (RFC, MSF, SSF, RFS), tak jak pokazano to na rys. 4. Rysunek nie jest jednak ścisły, gdyż nie uwzględniono na nim „mechanizmu powtórzeń”.

Każdy modem, niezależnie od trybu pracy, w jakim się znajduje, musi odpowiednio zareagować w razie wystąpienia przerw w transmisji danych, spowodowanych pojawieniem się zakłóceń bądź też zbyt wysokim tłumieniem sygnału o częstotliwości nośnej. Dlatego konieczne stało się opracowanie takich algorytmów procedur NADAJNIK i ODBIORNIK, które rozwiążą ten problemem.

Ażeby móc opracować odpowiednie algorytmy, konieczne jest poznanie wszystkich możliwych zdarzeń, jakie mogą wystąpić w czasie przeprowadzania transmisji danych w rzeczywistych warunkach. Są to:

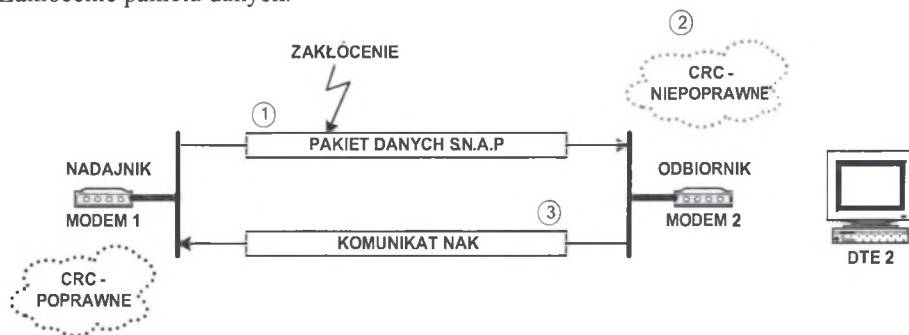
- a) Transmisja bez zakłóceń – jedyny przypadek, w którym następuje zakończenie obu procedur i powrót do pętli głównej programu zarówno przez MODEM 1, jak i MODEM 2.



Rys. 5. Transmisja bez zakłóceń

Fig. 5. Transmission without disturbances

b) Zakłócenie pakietu danych.



Rys. 6. Transmisja zakłócona – zakłócenie pakietu danych

Fig. 6. Disturbed transmission – disturbance of the data package

Otrzymanie komunikatu NAK przez MODEM 1 wiąże się z koniecznością powtórzenia transmisji tego samego pakietu. Jedynie odbiór komunikatu potwierdzenia ACK Response upoważnia MODEM 1 do zakończenia procedury NADAJNIK i powrotu do pętli głównej programu. MODEM 2 zawsze powraca do pętli głównej programu (niezależnie od tego, czy transmisja została przeprowadzona poprawnie czy też błędnie).

c) Zbyt wysokie tłumienie na linii transmisyjnej podczas nadawania pakietu danych.

Brak otrzymania komunikatu potwierdzenia przez MODEM 1 w zadanym czasie oznacza konieczność powtórzenia transmisji tego samego pakietu. MODEM 2 znajduje się w stanie bezczynności.

d) Zakłócenie pakietu komunikatu potwierdzenia.

Komunikat potwierdzenia został zafałszowany przez działanie zakłócenia. W tej sytuacji MODEM 1 „nie wie”, czy wysłany przez niego pakiet danych trafił do celu. Następuje więc powtórzenie transmisji tego samego pakietu. Ponieważ jednak MODEM 2 dostarczył dane do urządzenia końcowego dla danych DTE 2, ponowne wykonanie tej czynności (w odniesieniu do tego samego pakietu) byłoby błędem. DTE 2 otrzymałoby te same dane dwukrotnie. W tej sytuacji procedura ODBIORNIK musi zapewnić filtrację pakietów.

e) Zbyt wysokie tłumienie na linii transmisyjnej podczas nadawania pakietu komunikatu potwierdzenia.

Sytuacja ta jest podobna do przedstawionej w punkcie d), z tą tylko różnicą, że MODEM 1 nie otrzymał w ogóle odpowiedzi. Pakiet o tym samym numerze zostanie wysłany raz jeszcze.

f) Zakłócenie pakietu danych oraz zbyt wysokie tłumienie na linii transmisyjnej podczas nadawania pakietu komunikatu potwierdzenia.

Warunki panujące w kanale transmisyjnym uniemożliwiają przeprowadzenie transmisji danych. MODEM 1 będzie powtarzał czynności do momentu otrzymania komunikatu potwierdzenia ACK Response.

g) Zakłócenie pakietów danych oraz komunikatu potwierdzenia.

W kanale transmisyjnym pojawiły się silne zakłócenia, w wyniku czego oba pakiety zostały zafałszowane. MODEM 1 będzie powtarzał czynności do momentu otrzymania komunikatu potwierdzenia ACK Response.

Dzięki przeprowadzeniu analizy zdarzeń można określić, które z poszczególnych zadań mechanizmu powtórzeń mają być realizowane przez procedury NADAJNIK i ODBIORNIK.

Procedury NADAJNIK:

- poprawne interpretowanie znaczenia komunikatów potwierdzeń ACK Response i NAK,
- oczekiwanie na komunikat potwierdzenia tylko przez ściśle określony czas,
- powtórzenie procedury wysłania pakietu o tym samym numerze gdy zachodzi taka konieczność.

Procedury ODBIORNIK:

- poprawne określenie typu komunikatu potwierdzenia, jaki ma zostać wysłany,
- filtracja pakietów danych o tym samym numerze, wówczas gdy dane zostały już przekazane do DTE 2.

4. PODSUMOWANIE

Testy urządzeń przeprowadzono w domku jednorodzinny. Gniazda wtykowe instalacji elektrycznej w części mieszkalnej są zasilane z tej samej fazy. Dzięki temu możliwe było sprawdzenie poprawności transmisji danych w kilku różnych punktach. Próby rozpoczęto od podłączenia, modemów do sąsiadujących gniazdek umieszczonych w tym samym pomieszczeniu. Wynik był pozytywny – transmisja przebiegała bez zakłóceń. Następnie przeniesiono jeden z modemów do umieszczonej za ścianą łazienki. Podczas prób zaobserwowano, że łączność jest zrywana. Przeniesiono więc urządzenie do innego pomieszczenia, jeszcze bardziej oddalonego. Zabieg ten wykonywano kilkakrotnie badając różne gniazdko. Wynik był zawsze taki sam – negatywny. Oznaczało to nic innego, jak występowanie zbyt wysokiego tłumienia sygnału. Postanowiono więc zlokalizować odbiorniki nisko impedancyjne, które uniemożliwiały przeprowadzanie transmisji danych. Jak się okazało, był to w większości sprzęt RTV. Na czele listy znalazły się odbiorniki telewizyjne. Po sprawdzeniu okazało się, że na wejściu zasilacza znajduje się filtr w postaci kondensatora o pojemności kilkunastu nF. Kolejnymi urządzeniami były tunery satelitarne. W tym jednak przypadku wystąpił negatywny efekt działania zasilaczy impulsowych. Listę zamykała świetlówka kompaktowa (w jej obudowie zainstalowano filtr EMC). Żadne z urządzeń AGD (lodówka, mikser, maszyna do mielenia mięsa, młynek do kawy itp.) nie wpływało negatywnie na przeprowadzanie transmisji danych. Dysponując już tą wiedzą odseparowano odbiorniki nisko impedancyjne za pomocą dławika. W tym celu przerobiono listwę zasilającą i wykorzystano dławik symetryczny pochodzący z przetwornicy impulsowej (posiada on dwa symetryczne uzwojenia nawinięte przeciwobnie na korpusie - czyli jedna cewka jest włączana w szereg z przewodem fazowym, a druga neutralnym). Po wykonaniu tej czynności po raz kolejny przystąpiono do przeprowadzania testów. Wynik był pozytywny. Zamiast stosować opisany wyżej zabieg elektrotechniczny można również spróbować wykorzystać oryginalne listwy filtrujące przeznaczone do ochrony sprzętu elektronicznego przed przepięciami. W listwach tych standardowo montuje się dławiki ograniczające stromość narastania prądu.

Do przesyłu danych wykorzystano tylko jedną fazę. Istnieje, oczywiście, możliwość rozszerzenia obszaru działań na wszystkie 3 fazy. W takiej sytuacji trzeba wykonać odpowiednie sprzęgacze. Buduje się je w różny sposób. Najprostsze z nich składają się z kondensatorów włączanych pomiędzy przewody fazowe. Bardziej rozbudowane zawierają szeregowe filtry rezonansowe dostrojone do częstotliwości nośnej.

Realne do uzyskania prędkości transmisji danych w urządzeniach „automatyki domowej” nie są duże. Chodzi tu o liczbę bajtów danych przestanych w jednostce czasu, a nie liczbę bitów, która jest zresztą stała. W wykonanym urządzeniu liczba ta zawiera się pomiędzy kilkoma i kilkudziesięcioma bajtami, w zależności od warunków panujących w sieci energetycznej. Należy pamiętać, że w prezentowanym przypadku słowo składa się nie

z 8 a z 10 bitów. Poza tym, aby je przesłać, trzeba dodać do niego kilka bajtów konfiguracyjnych, czyli stworzyć odpowiednio zabezpieczony pakiet. Na tym się jednak proces ten nie kończy, bo urządzenie docelowe musi jeszcze potwierdzić, że go otrzymało. Od tego będzie zależała kolejna czynność wykonana przez nadajnik. Wszystkie te etapy trwają jakiś określony czas, im będzie on krótszy, tym większej szybkości transmisji danych można się spodziewać.

Konstruując urządzenia transmisyjne przyjęto pewne założenia co do rozmiaru pakietu. Liczbę bajtów danych ograniczono do 8. Chcąc zwiększyć prędkość transmisji danych można spróbować rozszerzyć pakiet. Protokół S.N.A.P nie będzie stanowił tutaj ograniczenia. Jest on elastyczny (można określić liczbę bajtów danych występujących w pakiecie). Zanim jednak spróbuje się zmienić cokolwiek w tej kwestii, należy zwrócić uwagę na to, że wykorzystywana jest transmisja asynchroniczna. Jak to ma znaczenie? W tego typu transmisji nie występuje sygnał synchronizacji, dzięki któremu byłyby określone chwile, w których odbiornik ma wykonać próbkowanie. Zarówno nadajnik, jak i odbiornik posiadają swoje własne zegary, których dokładność jest uzależniona od parametrów zastosowanych rezonatorów kwarcowych. Zegary te nie są w żaden sposób zsynchronizowane, choć różnice pomiędzy odmierzanymi przez nie czasami przy tych samych częstotliwościach pracy nie są duże. Podczas przesyłania niewielkiej ilości danych jest to niezauważalne. Jeśli jednak pakiet danych będzie miał zbyt duży rozmiar, to można być pewnym, że odbiornik niepoprawnie go zdekoduje (proces próbkowania będzie przeprowadzony albo z wyprzedzeniem, albo z opóźnieniem w stosunku do nadajnika). Jest to ograniczenie, o którym rzadko się pamięta.

Wykorzystywanie urządzeń transmisyjnych „wąskopasmowych” ma sens w praktyce. Dzięki podstawowej zalecie, jaką jest brak konieczności stosowania dodatkowego okablowania, powinny one znaleźć zastosowanie w systemach automatyki domowej. Jak wynika z przeprowadzonych testów nadają się one do tych celów. Można by również spróbować wykorzystać je w automatyce przemysłowej. Tutaj zaletą jest to, że mogą one pracować w sieciach prądu przemiennego o napięciu 24 V, a nawet sieciach prądu stałego. Nie powinny one jednak nigdy być używane w systemach, od których pewności działania może zależeć ludzkie życie.

LITERATURA

1. Cantone G.: ST7538 Power Line FSK Transceiver Demo-Kit Description. STM 2003.
2. Doliński J.: CRC doda ci pewności. *Elektronika Praktyczna* 1-5/2003.
3. Gray F.: Practical problems of using the distribution lines for Automatic Meter Reading. 1999
4. Huloux J.: ST7536 Application Note. STM 1998.
5. Huloux J, Hanus L.: ST7537 Power Line Modem Application. SGS-Thomson 1995.
6. Intelogis PLUG-IN Technology. Intelogis 1998.
7. Janeczek A.: Internet z gniazdka energetycznego. *Elektronika dla Wszystkich* 6/2002.
8. Janikowski A.: Sieci domowe. IDG 2001.
9. Nowak M.: Niech moc będzie z wami. *CHIP* 10/2001.
10. Nowak M.: Sposób na Internet. *CHIP* 2/2004.
11. Pawlak M.: Sieci pod napięciem. *CHIP* 12/1999.
12. Perykaszka D.: Bity na 220V. *PC World Komputer* 5/2002.
13. Picone J.: PLCS: A Power Line Carrier Communications System. Mississippi State University, 2000.
14. Piotrowiak J.: Inteligentny budynek – transmisja danych siecią. *Praktyczny Elektronik* 11/1999.
15. Powerline Technologies In Home Networking. Xilinx.
16. Pullen J.M.: Sieci komputerowe. 1999 (prezentacja medialna).

17. Sitko A.: Transmisja danych cyfrowych z wykorzystaniem sieci energetycznych niskiego napięcia. Praca dyplomowa. Politechnika Śląska, Gliwice 2005.
18. S.N.A.P – Scaleable Node Address Protocol ver 1.00. HTH 2002.
19. Staniewicz M. „Sieć z e-lektrowni”, CHIP 5/2002.
20. Szczesiul J.: Modem do sieci energetycznej AVT-5085. Elektronika Praktyczna 11/2002.
21. Wesołowski K.: Podstawy cyfrowych systemów telekomunikacyjnych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 2003.
22. Zbysiński P.: Domowa sieć informatyczna. Elektronika Praktyczna 8-10/1999.

Pozycje Internetowe:

- 23 Ascom Poland. <http://www.ascom.com.pl/PLC/>
- 24 Dąbrowski K.: Nie tylko fonia i CW. <http://www.sp1lop.szczecin.pl/ksiazka/>
- 25 Dodds D, Ackerman K, Hanson J.: Power Line Communication using Timed Transmission. TRILabs and University of Saskatchewan, 2004
http://engrwww.usask.ca/research/ee/faculty/ded632/files//CCNC_DoddsAckermanHanson.pdf
- 26 Echelon Corporation. <http://www.echelon.com/>
- 27 Mirocha W, Ostrowski K.: Interfejs radiowy dla pasma ISM.
<http://student.uci.agh.edu.pl/~mrowo/interfejs%20radiowy.html>
- 28 Montoya L.: Power Line Communications Performance Overview of the Physical Layer of Available protocols. <http://www.geocities.com/luisferm/pdf/plc.pdf>
- 29 Pattern Communications. <http://pattern.pl/WWW/html/>
- 30 Watson B.: FSK: Signals and Demodulation.
http://www.wj.com/pdf/technotes/FSK_signals_demod.pdf

Wpłynęło do Redakcji dnia: 31 października 2005 r.

Recenzent: Dr hab. inż. Roman Muszyński