

Modem do sieci energetycznej

AVT-5085

PROJEKT
Z OKŁADKI



Sporym zainteresowaniem elektroników cieszy się ostatnio transmisja danych cyfrowych poprzez sieć energetyczną 220 VAC. W opisywanym modemie zastosowano specjalizowany układ ST7537 firmy ST Microelectronics, dzięki któremu jest on niezawodny, odporny na zakłócenia i zgodny z normami EMC.

Rekomendacje: polecamy go konstruktorom zamierzającym przesyłać dane cyfrowe na duże odległości bez instalowania przeznaczonej do tego celu sieci kablowej.

Zanim zajmiemy się konkretnymi, musimy zamieścić ostrzeżenie. **Opisywany modem jest dołączany bezpośrednio do sieci energetycznej 220 VAC. Wszelkie czynności uruchomieniowe czy pomiary wykonywane na podłączonym do sieci układzie stanowią zagrożenie dla zdrowia i życia. Mogą być wykonywane jedynie przez osoby posiadające odpowiednie kwalifikacje, z zachowaniem środków ostrożności obowiązujących przy pracach z urządzeniami pod napięciem do 1 kV.**

Na szczęście wstępne uruchomienie modemu i kontrola jego działania nie wymaga podłączania go do sieci - powyższe ostrzeżenie dotyczy więc jedynie etapu ostatecznego uruchomienia i kontroli toru przesyłowego. Poza tym, w wielu zastosowaniach, modem można dołączyć do instalacji napięcia bezpiecznego (przemienne lub stałego) - wtedy w ogóle nie będzie zagrożenia.

Scalony modem ST7537

Schemat blokowy scalonego modemu przedstawiono na rys. 1. Można w nim wyróżnić trzy główne bloki: nadajnika, odbioru oraz „logiki” kontrolnej wspomagającej

współpracę z mikrokontrolerem. Wszystkie sygnały w układzie są synchronizowane przez wewnętrzny oscylator pracujący z kwarcem o częstotliwości rezonansowej 11,059 MHz. Na wyprowadzeniu MCLK jest dostępny sygnał oscylatora - można go wykorzystać jako sygnał zegarowy dla mikrokontrolera. Wybrana częstotliwość zapewnia dla mikrokontrolera rodziny '51 najlepszą dokładność ustawienia szybkości transmisji asynchronicznej sprzętowego układu UART. Dla uproszczenia budowy zespołu ST7537-mikrokontroler, w modemie zastosowano także układy pomocnicze:

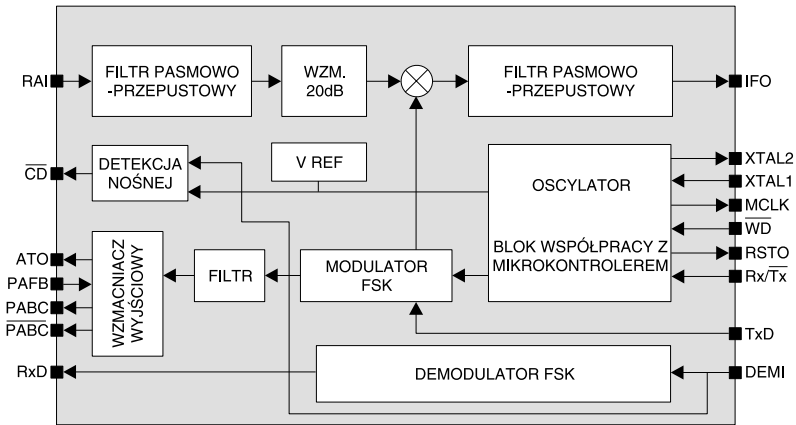
- POR (*power on reset*) - zerowanie po włączeniu zasilania z aktywnym stanem wysokim (wyprowadzenie RSTO),
- watchdog - brak zbocza opadającego na wejściu WD przez czas przekraczający 1,5 s (co wskazuje na zawieszenie się programu) powoduje na wyjściu RSTO generację impulsu zerującego o długości 50 ms.

Tor nadawania jest uruchamiany poziomem niskim na wejściu sterującym Rx/Tx. W oparciu o sygnał wewnętrznego oscylatora modulator FSK syntetyzuje sygnały (przy kwarcu 11,059 MHz):

- 131,85 kHz dla zera logicznego (TxD = 1),
- 133,05 kHz dla jedynki logicznej (TxD = 0).

Główne cechy modemu ST7537:

- ♦ półduplexowy sposób transmisji danych (transmisja może się odbywać w obu kierunkach, ale nie jednocześnie, lecz na przemian),
- ♦ asynchroniczny sposób transmisji danych (brak oddzielnego sygnału taktującego strumień przesyłanych danych),
- ♦ zastosowano modulację FSK - dane są kodowane jako dwie różne częstotliwości dla logicznego zera i jedynki (strumień bitów powoduje przełączanie pomiędzy tymi częstotliwościami i właśnie stąd nazwa *frequency-shift keying*, czyli kluczkowanie przesunięcia częstotliwości),
- ♦ maksymalna szybkość przesyłu danych 2400 bd,
- ♦ łatwość bezpośredniej współpracy z mikrokontrolerami rodziny '51.



Rys. 1. Uproszczony schemat blokowy układu ST7537

Przesunięcie częstotliwości dla modulacji FSK wynosi więc 1200 Hz. Sygnał zmodulowany przebiegiem cyfrowym dostarczany na wejście TxD jest podawany poprzez filtr pasmowo-przepustowy (redukujący składowe harmoniczne) do wyjściowego wzmacniacza współpracującego z zewnętrznym stopniem mocy.

Czas włączenia nadajnika jest ograniczony do 1 s, co zabezpiecza przed zablokowaniem linii transmisyjnej np. przez moduł z wadliwym programem sterującym (po przekroczeniu czasu należy dla wznowienia nadawania podać na wejście Rx/Tx przez co najmniej 2 μ s poziom wysoki).

Przy poziomie wysokim na wejściu Rx/Tx układ znajduje się w trybie odbioru. Sygnał nośnej 132,5 kHz (wejście RAI) po przejściu przez filtr pasmowo-przepustowy (o szerokości pasma 12 kHz) jest podawany do wzmacniacza (20 dB), który jednocześnie zapewnia symetryczne ograniczanie amplitudy. Następnie zostaje zmieszany z sygnałem wewnętrznego oscylatora, wskutek czego otrzymujemy przebieg pośredniej częstotliwości 5,4 kHz wyprowadzony poprzez filtr pasmowo-przepustowy p.cz. na wyprowadzenie IFO. Zwiększa to odstęp sygnału od szumu przed obróbką w demodulatorze FSK. Wyjście IFO jest łączone z wejściem DEMI zewnętrznym kondensatorem 100nF, co pozwala na eliminację składowej stałej. Po demodulacji gotowy sygnał cyfrowy jest przekazywany na wyjście RxD.

Zespół detekcji nośnej służy do kontroli poziomu sygnału występującego w linii transmisyjnej.

Wyjście CD osiąga stan aktywny (niski poziom), gdy odbierana nośna ma poziom wyższy od 5 mV_{rms}. Stan ten steruje też demodulatorem przy ustawionym trybie odbioru z odcinaniem słabego sygnału. Tryb odbioru jest przełączany poziomem na - pełniącym w tym momencie drugą funkcję - wejściu TxD. Poziom wysoki oznacza tryb z odcinaniem: sygnał jest demodulowany i przekazywany na wyjście RxD tylko wtedy, gdy CD jest aktywny. Poziom niski wyłącza odcinanie i umożliwia demodulację słabych sygnałów (poniżej 5 mV_{rms}, praktycznie do ok. 1 mV_{rms}). Tryb odcinania pozwala na lepszą eliminację zakłóceń i błędów przesyłania, ale też może uniemożliwić transmisję w instalacjach o dużym tłumieniu.

Budowa układu transmisyjnego

Schemat układu z modemem ST7537 przedstawiono na rys. 2. Otoczenie „wykonawcze” tego układu obejmuje:

1. Wyjściowy stopień mocy

Jest to klasyczny tranzystorowy układ komplementarny. Wyjście ATO steruje przedwzmacniaczem z elementami R10, Q2, Q6, R4...R7. Symetryczne przebiegi napięciowe wytworzone na rezystorach R4 i R6 wysterowują z kolei wyjściowe tranzystory Q3 i Q4. Rezystor R9 przekazuje wzmacniony sygnał na wejście ujemnego sprzężenia zwrotnego PAFB, co zapewnia stałą i pozbawioną zniekształceń poziom przebiegu na wyjściu. Tranzystory Q1 i Q5 sterowane z komplementarnych wyjść PABC włączają wzmacniacz tylko na czas nadawania. Podczas odbioru są

zatkane i stopień wyjściowy pozostaje w stanie wysokiej impedancji, nie wpływając na odbierany sygnał, który jest przekazywany przez R9 na wejście RAI.

W układzie wzmacniacza należy zwrócić uwagę na sposoby (nieco już zapomniane w dobie układów scalonych) poprawy stabilności ich pracy. Pierwszy z nich polega na zastosowaniu rezystorów ujemnego prądowego sprzężenia zwrotnego w obwodach emiterów (R5, R7, R2, R3). Wzrost prądu przewodzenia tranzystorów powoduje zwiększenie spadku napięcia na tych rezystorach przez co ogranicza napięcie polaryzacji bazy. Pozwala to na kompensację nierównomierności charakterystyk oraz zmniejsza wpływ nagrzewania się elementów.

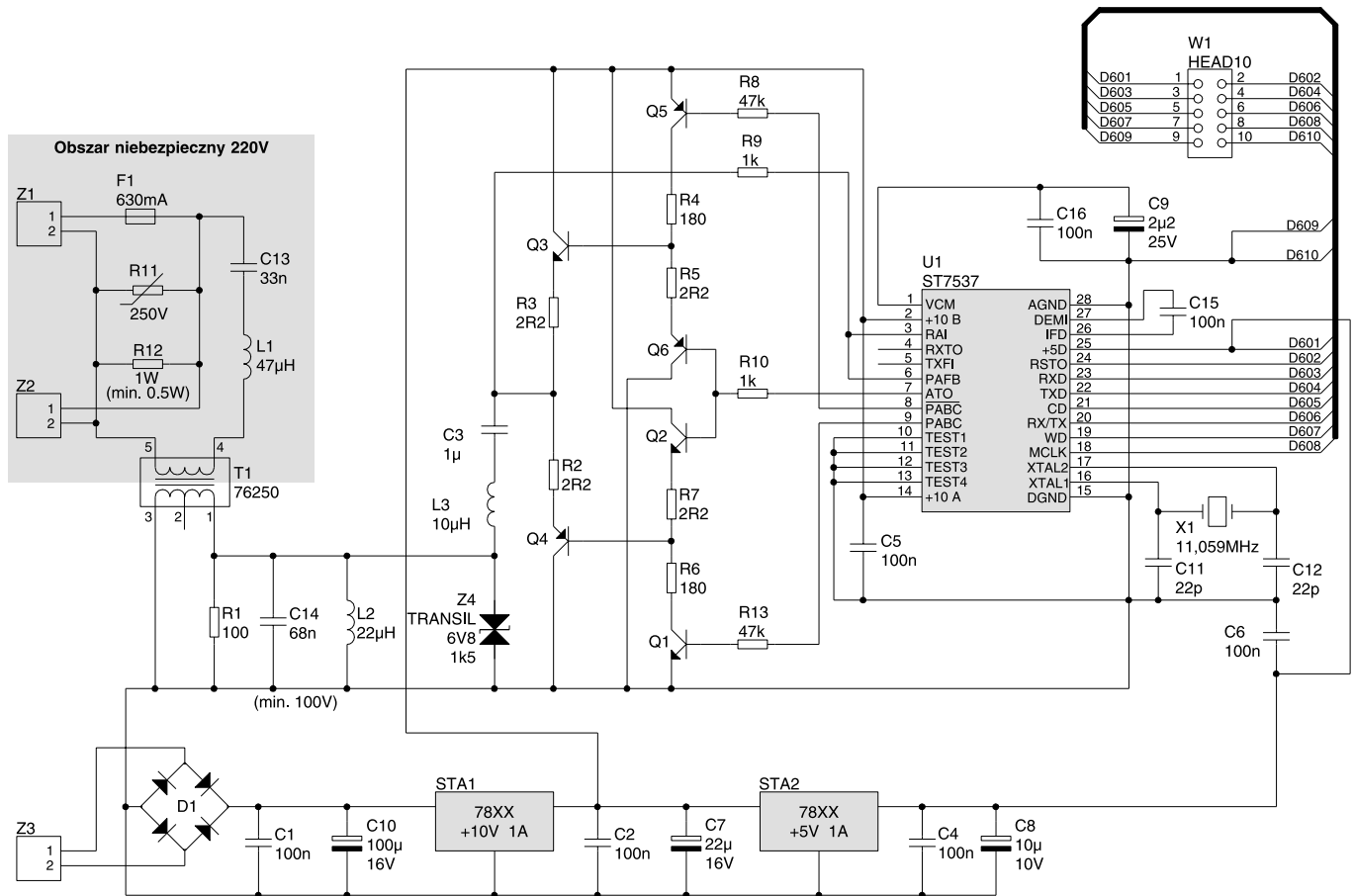
Dla tranzystora bipolarnego nagrzewanie jest przyczyną niestabilności jego pracy. Wzrost temperatury (wywołany przepływem prądu kolektora) powoduje zwiększenie wysterowania tranzystora, co z kolei powoduje dalszy wzrost prądu kolektora.

W układzie wzmacniacza zastosowano sprzężenie termiczne par tranzystorów Q4...Q6 oraz Q3...Q2. Dzięki temu przy zmianach temperatury sumy napięć przewodzenia złącz B-E w parach komplementarnych Q2+Q6 oraz Q3+Q4 zmieniają się jednakowo, co zapewnia niezbędną stabilność pracy wzmacniacza.

Kondensator C3 separuje składową stałą. Dławik L3 tłumi pasożytnicze przebiegi wysokiej częstotliwości i zapobiega wzbudzeniu się stopnia mocy.

2. Interfejs linii transmisyjnej

Interfejs ma do spełnienia dwa zadania: przekazanie sygnału pomiędzy układem a siecią energetyczną przy zapewnieniu bezpiecznej separacji oraz wyeliminowanie przebiegów niepożądanych - głównie 50 Hz/220 V. Od strony sieciowej obwód jest zabezpieczony szybkim bezpiecznikiem F1. Warystor R11 chroni przed szpiczkowymi przepięciami w sieci. Częstotliwość rezonansowa szeregowego obwodu L1+C13 jest dobrana do średniej częstotliwości nośnej, czyli 132,5 kHz. Transformator T1 zapewnia izolowanie układu modemu od napięcia sieci. R12 rozładowuje pojemność C13 po wyłączeniu



Rys. 2. Schemat elektryczny układu transmisyjnego z modemem ST7537

modemu. Elementy te nie mogą być dowolne - muszą spełniać kilka istotnych warunków:

- Kondensator C13 ze względów bezpieczeństwa powinien być klasy X2.
- Dławik L1 powinien mieć jak najmniejszą rezystancję (poniżej 1 Ω) - dotyczy to również L3. Chodzi o uzyskanie jak najniższej impedancji wyjściowej wzmacniacza, którego obciążeniem jest niskoimpedancyjna sieć energetyczna.
- T1 musi mieć wystarczająco szerokie pasmo przenoszenia, a zarazem odpowiednią wytrzymałość izolacji. Ten element sprawiał przez długi czas najwięcej kłopotów - producent przewidział stosowanie transformatora firmy TOKO T1002 - trudno dostępnego, a co gorsza, niespełniającego warunków bezpieczeństwa przy włączeniu do sieci 220V. Zastosowane rozwiązanie - z popularnym transformatorkiem C&D (dawniej Newport Components) 78250 - zaproponowane na stronie [http://](http://www.michat.com)

www.michat.com odpowiada potrzebnym wymogom.

- R12 o mocy minimum 0,5 W. Moc tracona w nim jest niewielka, ale istotne jest wykonanie zapewniające wytrzymałość na międzyszczytowe napięcie sieci (311V).

Po stronie niskonapięciowej T1 jest włączony kolejny obwód rezonansowy L2+C4 zwierający częstotliwości różną od nośnej. Tłumiący rezystor R1 jest przewidziany dla sieci o dużym poziomie zakłóceń - na wstępie można go nie montować. Transil Z4 blokuje wszelkie przepięcia, które przedostaną się przez wcześniejsze zabezpieczenia i mogłyby uszkodzić układ.

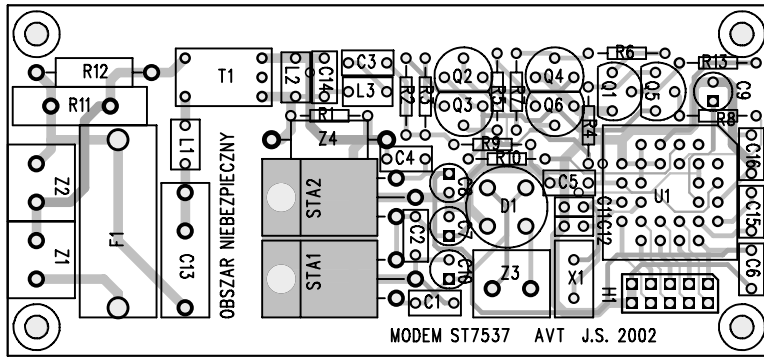
3. Zasilacz

Układ ST7537 wymaga dwóch napięć zasilających: +10V i +5V. W modemie rozwiązano ten problem w sposób tradycyjny z użyciem scalonych stabilizatorów serii 78xx, które z nadlatkiem pokrywają potrzeby mocowe bez stosowania dodatkowych radiatorów. Mostek D1 umożliwia zasilanie bezpośrednio z transformatora sieciowego podłączonego do

zacisku Z2, co eliminuje konieczność stosowania dodatkowych elementów.

Montaż i uruchomienie

Płytkę drukowaną została zaprojektowana bez minimalizacji powierzchni, jako baza do rozmaitych testów oraz zastosowań. Jej schemat montażowy przedstawiono na rys. 3. Montaż jest typowy i nie wymaga specjalnych wskazówek. Należy jedynie zwrócić uwagę na możliwą usterkę płytki - seria próbna została wykonana bez trzech przelotek, co jest proste do skorygowania przed wlutowaniem elementów, ale później może sprawić nieco kłopotów. Można też - o ile nie będą potrzebne otwory mocujące - płytkę nieco zwęzić. Wspomniane wcześniej sprzężenie termiczne tranzystorów uzyskano poprzez odpowiednie dogięcie wyprowadzeń (przed ostatecznym wlutowaniem) tak, aby doprowadzić do zetknięcia posmarowanych pastą silikonową płaskich stron obudów. Można też nałożyć opaski



Rys. 3. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej

zaciskowe - w prototypie użyto odcinków rurki termokurczliwej ostrożnie dociśniętej za pomocą małej gazowej dmuchawki. Nie montujemy rezystora R1 - dołożymy go tylko w razie potrzeby.

Po złożeniu płytki sprawdzimy - przed włożeniem ST7537 do podstawki - napięcia stabilizowane. Do uruchomienia oraz testów najlepiej użyć warsztatowego zasilacza +15V dołączonego do zacisku Z3. Gdy napięcia są prawidłowe, można umieścić układ scalony w podstawce. Następnie do złącza szpilkowego H1 dołączamy małą przystawkę: rezystorami 4,7 kΩ ustalamy wysoki poziom na wejściach Rx/Tx, TxD oraz WD, a pomiędzy Rx/Tx a masę włączamy przycisk do ręcznego uruchomienia nadajnika. Pomocny będzie w tym **rys. 4**, na którym opisano styki złącza szpilkowego.

Po włączeniu pobór prądu powinien wynosić ok. 30 mA. Na wyprowadzeniu MCLK oscyloskop powinien pokazać przebieg zegarowy 11,059 MHz, natomiast na RSTO będą występowały co ok. 1,5 s impulsy zerujące. Po wciśnięciu przycisku (przez sekundę) pobór prądu wzrasta do ok. 100 mA, zaś na wyjściu wzmacniacza (wyprowadzenie 1 transformatora T1) obserwujemy sinusoidalny przebieg 131,85 kHz.

Testowanie płytki kończymy sprawdzeniem separacji od sieci. Odłączamy wszystko od płytki i podłączamy ją przez zacisk Z1 do sieci 220 V. Próbniakiem napięcia kontrolujemy obecność wysokiego napięcia (fazy). **Próbniak nie może wskazywać „fazy“ w żadnym punkcie niskonapięciowej części płytki!** W przeciwnym razie konieczna jest wymiana transformatora T1.

Aby przeprowadzić próby połączenia, musimy przygotować dwie takie same płytki. Na razie nie włączamy ich do sieci - wystarczy połączenie zacisków Z1 odcinkiem dwużyłowego przewodu. Jako terminale możemy użyć dowolnie dostępne urządzenia z wyjściem TTL - musi mieć możliwość samodzielnego sterowania linią Rx/Tx. Prototypowa linia transmisyjna została zestawiona z dwóch komputerów PC z uruchomionym programem testowym. Porty szeregowy komputerów zostały dołączone do płytek za pośrednictwem opisanego w miniprojektach optoizolowanego adaptera (co jednocześnie pozwala na dopasowanie poziomów oraz stanowi dodatkową barierę zabezpieczającą komputer i użytkownika przed napięciem sieci).

Program testowy (dla Windows), którego okienko jest pokazane na **rys. 5**, pozwala na:

- wybranie numeru portu oraz szybkości transmisji,
- wysłanie komunikatu kontrolnego;
- automatyczną odpowiedź na komunikat kontrolny;
- odczyt modułu pomiaru temperatury (którego opis będzie przedstawiony w następnym numerze EP).

W programie zastosowano tryb transmisji z odcinaniem słabego sygnału. W tej wersji programu nie ma możliwości przełączenia na pełną czułość, jednak w materiałach pomocniczych udostępnione są wszystkie kody źródłowe, więc można samodzielnie wprowadzić odpowiednie modyfikacje (załączony projekt powstał w Delphi 5, ale nie ma żadnych problemów z jego transferem do Delphi 6 PE).

Po uruchomieniu transmisji z użyciem prowizorycznej linii

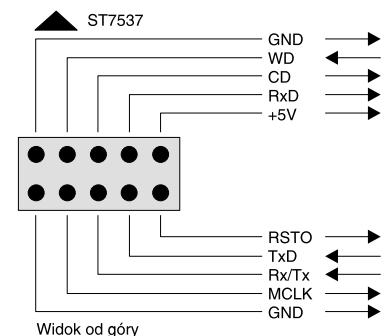
wykonujemy ostateczny test - łączymy płytki z siecią 220 V i kontrolujemy poprawność komunikacji. Jeśli wszystko wypadło pomyślnie, możemy przetestowane moduły montować w docelowych urządzeniach.

W prototypowym zestawie część oddalona została wmontowana do istniejącej rozdzielni elektrycznej bez oddzielnej obudowy. Zasilanie zapewnił stabilizator 7815 dołączony przez mostek prostowniczy do pracującego w rozdzielni transformatora bezpieczeństwa 24V. Od strony komputera płytka modemu została umieszczona w posiadanej obudowie plastikowej razem z adaptorem optoizolowanym oraz transformatorkiem sieciowym (ok. 14V napięcia wyjściowego). Jeśli podłączamy modem na stałe, wskazane jest dołączenie fazy od strony bezpiecznika F1.

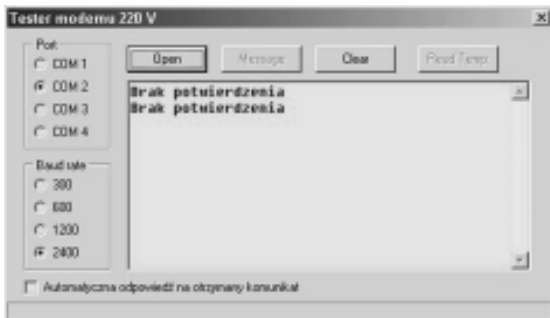
Kilka uwag praktycznych

Sieć energetyczna, która służy jako medium przesyłowe, jest środowiskiem bardzo „zaśmieconym“. Występuje tu wiele różnego rodzaju zakłóceń i przepięć. Dołączamy do niej rozmaite odbiorniki - sprzęt AGD, impulsowe zasilacze komputerowe, wysokoprądowe obciążenia typu pralka automatyczna czy grzejnik, regulatory fazowe itp. Często odbiorniki - zwłaszcza starszej generacji - nie spełniają żadnych współczesnych norm dotyczących emisji zakłóceń. Negatywny wpływ elementów instalacji na przebieg transmisji jest dwójaki:

- Wymienione powyżej zakłócenia wszelkiego rodzaju i o różnych częstotliwościach, które mogą się nakładać na sygnał użyteczny, powodując utratę danych.



Rys. 4. Wyprowadzenia złącza szpilkowego



Rys. 5. Okienko programu do testowania modemu

- Obniżanie impedancji sieci. Im niższa impedancja, tym silniej tłumiony jest sygnał nośnej, często w stopniu uniemożliwiającym dotarcie sygnału do odbiornika. Szczególnie szkodliwe są pojemności filtrujące włączane równolegle na wejściu urządzeń oraz diody prostownicze w tanich modelach zasilaczy komputerowych.

Nie należy więc spodziewać się rozwiązania „łatwego, lekkiego i przyjemnego“. Oprogramowanie komunikacyjne musi być wyposażone w dobrą kontrolę i eliminację błędów, mechanizmy powtórzeń, timeoutów, samoczynnego wznawiania przerwanej transmisji itp. W skrajnych przypadkach może być konieczna ingerencja w instalację lub osprzęt elektryczny (blokowanie dławikami lub filtrami podejrzanych odbiorników lub całych gałęzi domowej sieci). Wykracza to znacznie poza działalność elektronika-amatora i - jeszcze raz podkreślamy - **może być wykonywane jedynie przez osoby posiadające odpowiednie kwalifikacje i uprawnienia!**

Omawiane problemy wystąpiły również w testowanych układach.

Opisany na wstępie tor transmisji, współpracujący z instalacją o wielu załączanych w różnym czasie odbiornikach o charakterze zarówno domowobiurowym (czajniki, wentylatory, komputery), jak i warsztatowo-technicznym (elektronarzędzia, spawarka itp.) na ogół działa dobrze, ale może się zawieszać na dłuższe okresy - konkretna przy- czynna nie została jeszcze wykryta. Z kolei w dosyć starej instalacji domowej (dom wolno stojący, piwnice, garaż) transmisja pomiędzy niektórymi punktami jest uniemożliwiona przez niskoimpedancyjny wejściowy filtr przeciwzakłócenowy elektroniki kotła c.o., co wymaga zabiegów elektrotechnicznych opisanych powyżej.

Płytki modemu mogą być z powodzeniem zastosowane w innych rodzajach instalacji - np. napięcia przemiennego lub stałego 24 V. Tutaj także należy zwrócić uwagę na impedancję sieci. Dotyczy to zwłaszcza napięcia stałego, przy którym mamy do czynienia z filtrującymi kondensatorami elektrolitycznymi o dużej pojemności. Aby umożliwić transmisję, należy koniecznie odseparować dławikami wykorzystywany odcinek okablowania od odbiorników oraz zasilaczy.

Jerzy Szczesiul, AVT
jerzy.szczesiul@ep.com.pl

Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/?pdf/listopad02.htm> oraz na płycie CD-EP11/2002B w katalogu PCB.

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

R1: 100Ω: opcjonalny
 R2, R3, R5, R7: 2,2Ω
 R4, R6: 180Ω
 R8, R13: 47kΩ
 R9: 1kΩ/5%
 R10: 1kΩ
 R11: warystor 275VAC 14 mm
 R12: 1MΩ/0,5W

Kondensatory

C1, C2, C4...C6, C15, C16: monolityczny 100nF/50V
 C3: poliestrowy MKS2 1μF/63V
 C7: elektrolityczny 22μF/16V
 C8: elektrolityczny 10μF/10V
 C9: elektrolityczny 2,2μF/25V
 C10: elektrolityczny 100μF/16V
 C11, C12: ceramiczny 22pF
 C13: 33nF/275VAC klasa X2
 C14: poliestrowy MKS2 68nF/63V

Półprzewodniki

U1: modem ST7537PLCC 28
 D1: mostek prostowniczy 1A/250V lub podobny
 Z4: transil 1500W lub 600W 6,8 V
 Q1...Q3: tranzystor npn BC337
 Q4...Q6: tranzystor pnp BC327
 STA1: stabilizator 7810
 STA2: stabilizator 7805

Różne

F1: bezpiecznik WTA F630 mA/250 V w podstawce do druku
 H1: złącze szpilkowe dwurzędowe 10 pin
 L1: dławik Sd75 Neosid 47μH R=1,2Ω
 L2: dławik 22μH
 L3: dławik Sd75 Neosid 10μH R= 0,55Ω
 T1: transformator 78250 C&D w wersji 1,5kV lub 4kV
 X1: kwarc 11,059 MHz
 Z1-Z: zaciski śrubowe ARK2 podstawka PLCC 28