

## Capitolul 7: Aplicații mobile

### 7.1. Introducere

Multe dintre aplicațiile cu microcontroller necesită o transmisie de date fără fir. Comunicațiile fără fir înseamnă transferul informației prin intermediul câmpului electromagnetic în gama de frecvență 9kHz-300GHz. Spectrul electromagnetic este o resursă publică și alocarea gamelor de frecvențe pentru diferite transmisii se realizează de către organisme naționale și internaționale. În spectru există benzi de frecvență pentru care trebuie licență și benzi libere, așa cum este banda ISM (Industrial, Scientific and Medical - 2,4GHz). Istoricul transmisiilor fără fir începe cu David E. Hughes care a transmis codul Morse în 1878 cu o bobină parcursă de curent electric și a patentat invenția. În urma acestui patent s-a născut compania Western Union Telegraph. Thomas Alva Edison (1847 – 1931), un prolific inventator, care a inventat becul cu incandescență, microfonul etc. a inventat în 1888 o metodă de transmisie fără fir cu ajutorul unui magnet vibrator, invenție patentată și aplicată la căile ferate. Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894) a avut realizări importante în domeniul teoriei câmpului electromagnetic. A demonstrat teoretic posibilitatea transmisiei radio dar nu a realizat experimente. Nikola Tesla (1856 – 1943) a avut realizări experimentale deosebite, cum ar fi de exemplu realizarea unui model de vapor telecomandat de la distanța de câțiva kilometri, a construit antene, sisteme de transport al energiei fără fir etc.

În cel de-al doilea război mondial rachetele și torpilele începuseră să fie ghidate prin radio, dar bruierea semnalului făcea ca ghidarea să nu reușească. Hedy Lamarr care a privit multă vreme activitatea navelor în porturi a inventat în 1942 un mod de a schimba frecvențele de transmisie foarte repede în timpul transmisiei pentru ca transmisia să nu poată fi bruiată. Schimbarea frecvenței se făcea prin programul înscris pe un tub, ca și cel al flașnetei. Invenția a fost făcută cu 20 de ani prea devreme. Prima aplicație a fost realizată de armata SUA în timpul crizei rachetelor din Cuba, metoda de salt de frecvență fiind folosită la ghidarea rachetelor. Astăzi, metoda este folosită la WLAN, Bluetooth, ghidarea rachetelor, comunicații prin satelit etc. Această invenție istorică, cunoscută de puțină lume dovedește că pasiunea pentru noutate și patriotismul nu sunt doar vorbe.

Există în prezent o mare varietate de transmisii fără fir. Alegerea uneia sau alteia se face în funcție de aplicație. Dacă este nevoie ca transferul de date să fie între două module cu microcontroller la distanță mică și aplicația trebuie să fie ieftină atunci se pot folosi protocoale proprietare implementate în module ieftine. Dacă este vorba de un aparat care transmite date direct în Internet și este situat mai departe de civilizație atunci se poate folosi o transmisie GPRS. Dacă receptorul de date este un PDA sau un telefon mobil și distanța de transmisie este mică atunci o transmisie Bluetooth este cea mai potrivită. Necesitatea integrării într-o rețea de măsură existentă poate obliga proiectantul să aleagă metoda folosită în rețea, de exemplu ZigBee. O transmisie cu debit mare de informație poate determina

alegerea unei transmisii WLAN, costurile fiind însă mai mari ca la variantele anterioare. În consecință, principalele criterii de alegere a metodei de transmisie sunt:

- Distanța de transmisie;
- Debitul de informație;
- Restricții determinate de conectarea la o rețea existentă;
- Poziția geografică;
- Costurile admisibile.

## 7.2. Transmisii simple

Pentru a realiza o transmisie simplă de date la distanțe de câțiva metri, cu debit mic de informație și care nu trebuie să fie interconectată printr-un anumit standard într-o rețea de date se pot folosi module sau interfețe cu protocol proprietar. Consultând pagina web a unei firme de componente ([www.adelaida.com](http://www.adelaida.com)) se pot găsi multe asemenea module, cu prețuri variind între 6 și 50 de dolari la cumpărarea unei bucăți.

### 7.2.1. Module RF

Perechea de circuite RFM01 (receptor) și RFM02 (emițător), figura 7.1 sunt echipate cu interfață SPI, lucrează în banda 433MHz iar debitul de informație maxim este de 115,2Kbps la o distanță de maximum 300m. Prețul unui asemenea modul este de aproximativ 8 dolari.

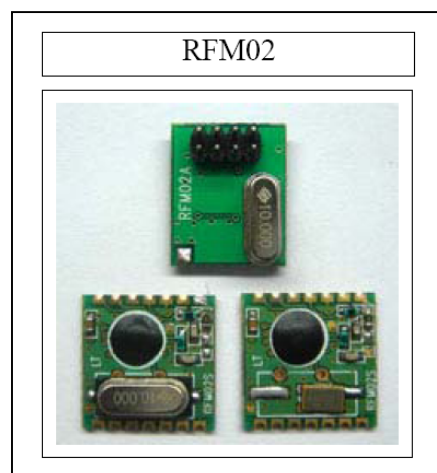


Figura 7.1: Perechea de circuite RFM

Modulația datelor este FSK, receptorul conține o buclă PLL și pot fi alimentate între 2,4V și 5,4V, făcând posibilă realizarea de module portabile, alimentate de la două baterii. Dimensiunile mici de 18mm x 14mm x 9mm asigură posibilitatea miniaturizării aplicațiilor. Receptorul are protecție la subtensiune și poate asigura reglajul automat al unor parametri ai antenei. Schemele simple a receptorului din figura 7.2 și a transmițătorului în figura 7.3 arată simplitatea interconectării cu un microcontroller din familia ATmega.

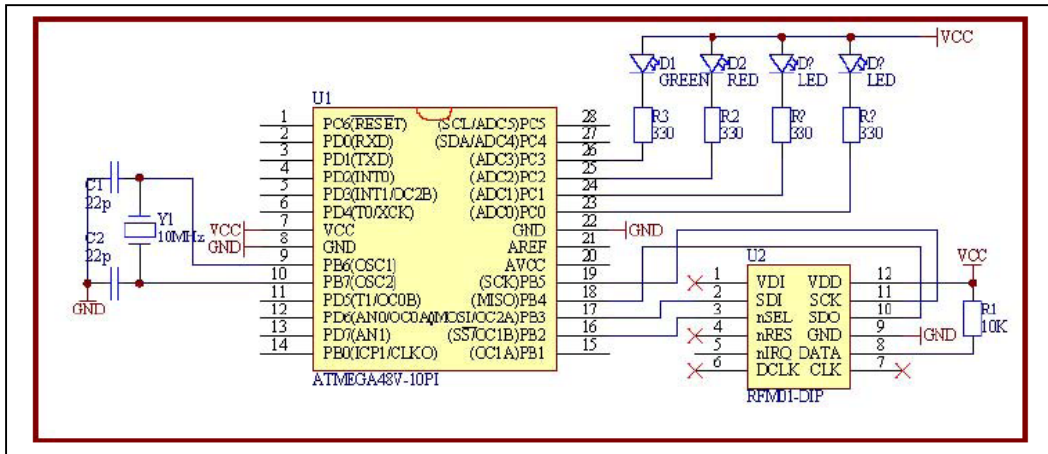


Figura 7.2: Receptor cu RFM01

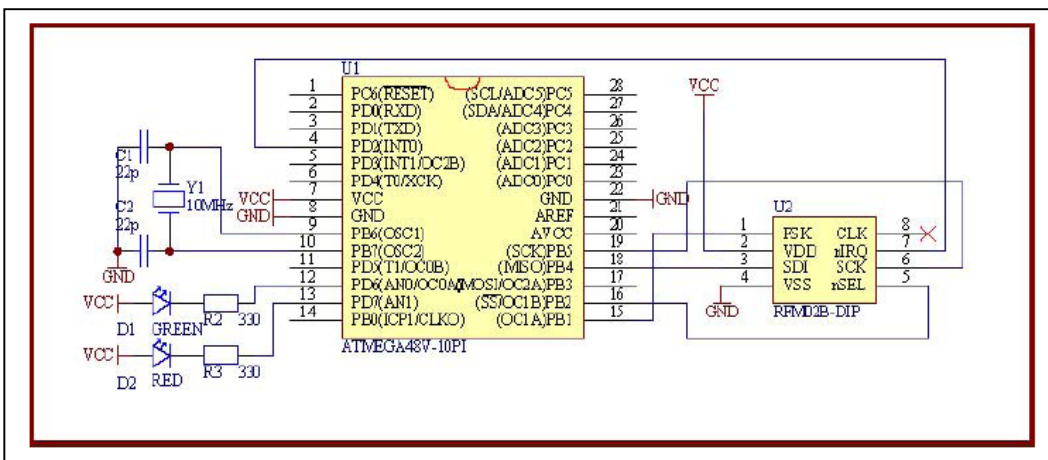


Figura 7.3: Transmițător cu RFM02

Poate cea mai simplă soluție este folosirea perechii de circuite hibride TLP434A/ RLP434, figura 7.4.

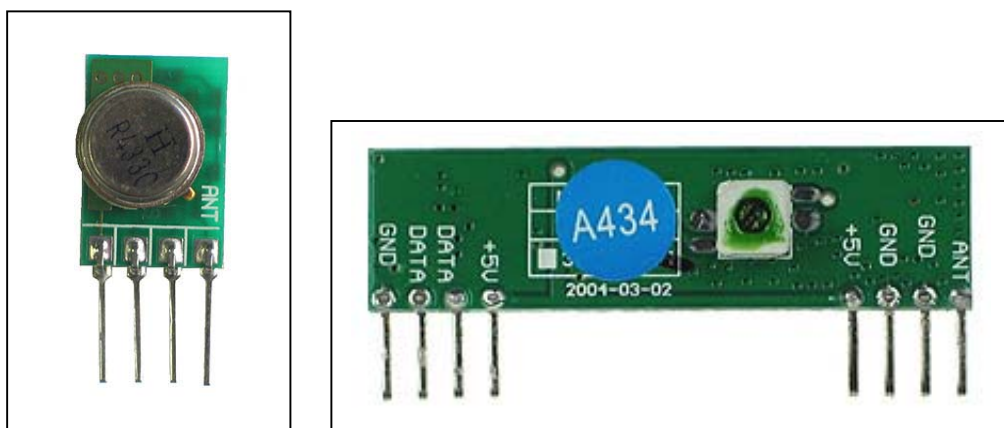


Figura 7.4: Circuite TLP434A (stânga) și RLP434 (dreapta)

Frecvența de lucru este 433,92MHz, debitul maxim este de 4,8Kbps la o distanță de maximum 200m cu o antenă adaptată. Tensiunea de alimentare este de 3V-12V iar interfața cu microcontrollerul este serială. Modulația datelor este ASK iar prețul unui circuit este sub 6

dolari. Un proiect realizat cu această pereche de circuite este dat în [1], datele seriale transmise fiind codate Manchester de un microcontroller PIC12F509. Schema este extrem de simplă.

O altă variantă este circuitul HM-TR (figura 7.5) construit de Hope Microelectronics Co. Ltd. [2] care conține un receptor și un transmițător pe aceeași placă care pot asigura comunicația half duplex între două puncte, interfața fiind RS232.

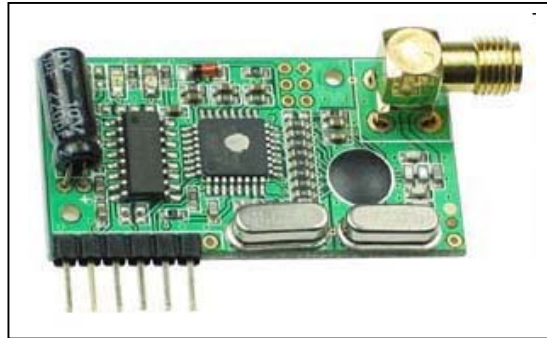


Figura 7.5: Circuitul HM-TR, RS232, half duplex

Circuitul lucrează în banda de frecvențe între 310,24Mhz și 929,27MHz, deci se poate lucra la 433MHz sau 868MHz., modulația fiind FSK. Debitul maxim este de 19,2Kbps, dimensiunile modulului fiind 24x43mm. Distanța maximă determinată într-un spațiu fără obstacole este de 330m. Denumirea circuitului HM-TR 433/RS232 sau HM-TR 866/TTL sugerează frecvența de lucru și nivelele de tensiune de interfață (RS232 sau TTL).

### 7.2.2. Interfețe RF

O interfață radio modem realizată de Atmel este AT86RF211 [3], destinată emisie și recepției de date în banda 400-950Mhz, cu posibilitatea selecției digitale a canalului. Viteza de transfer a datelor este de până la 50kbps, ce refacerea ceasului la recepție, modularea fiind de tip FSK. Banda de transmisie nu necesită licență. Circuitul are nevoie de un minim de componente externe: condensatori, rezistoare, filtre și bobine. Interfața cu microcontrollerul este simplă, formată dintr-un canal de date serial pe două linii și un canal serial de programare cu trei linii. Câteva dintre caracteristicile principale ale circuitului sunt:

- posibilitatea de transfer de date bidirecțional, half duplex, având un comutator RX TX integrat, trecerea între TX și RX realizându-se în mai puțin de 200 $\mu$ s;
- putere de emisie mare, conform cu standardele internaționale (+10dBm) la tensiuni mici de alimentare (2,4V), puterea fiind reglabilă soft în 8 trepte prin registre de control;
- frecvența de lucru pentru RX/TX este programabilă digital prin registre de control, oscilatorul local fiind integrat în întregime, atât pentru RX cât și pentru TX. Frecvența de lucru poate fi stabilită cu o precizie de 200Hz. Modificarea frecvenței se poate face cu o viteză mare - 100kHz/ $\mu$ s;
- economia de energie este realizată prin intrarea într-un mod de operare cu energie redusă în care circuitul de recepție testează periodic șirul de date recepționate pentru a

determina când este adresat. În acest moment se poate transmite o întrerupere microcontrollerului asociat pentru a începe recepția datelor.

Schema bloc a circuitului AT86RF211 este dată în figura 7.6.

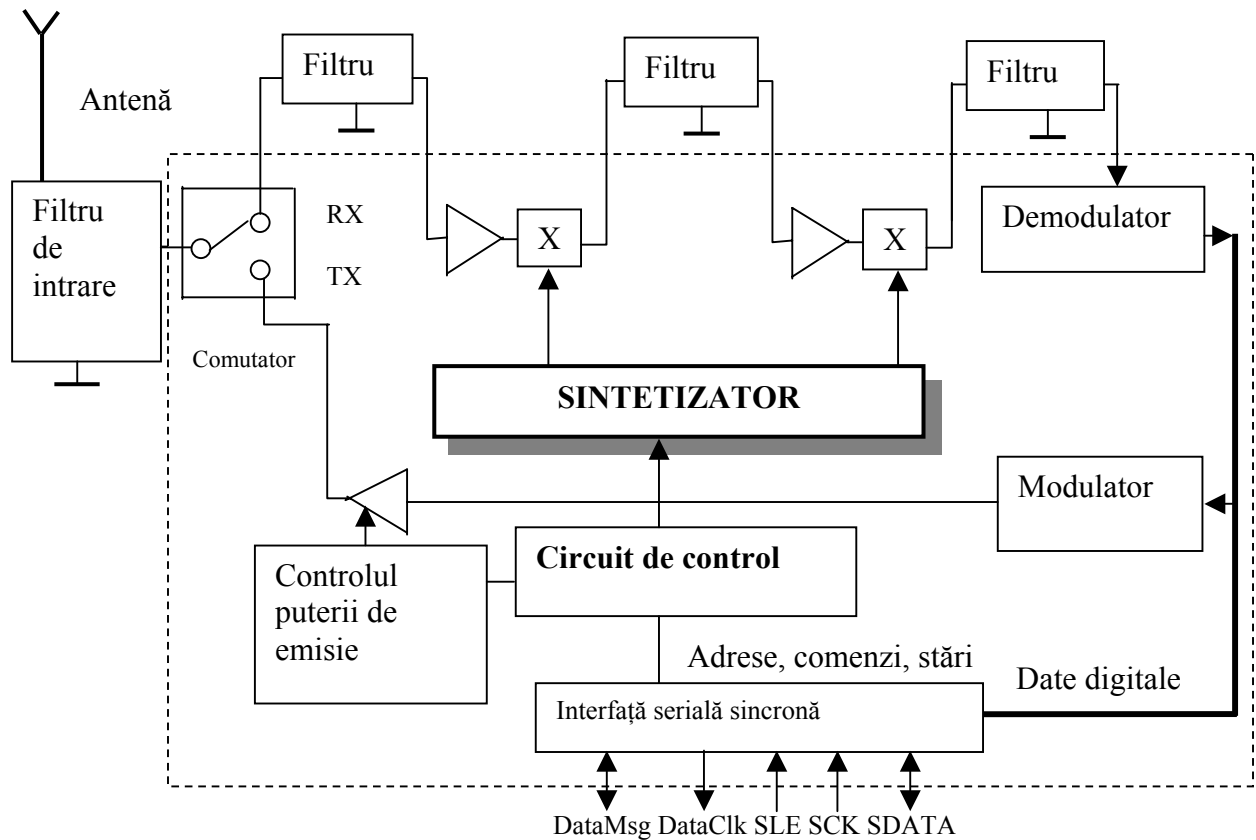


Figura 7.6: Schema bloc a modemului radio

Ca și receptor a fost aleasă o structură de superheterodină cu 2 etaje, frecvența intermediară fiind aleasă cu valorile cele mai populare pentru ca filtrele externe să fie ușor de obținut. Sunt posibile două frecvențe intermediare:

- 10,7MHz, cea mai populară opțiune;
- 21,4MHz, la care frecvența imagine este suficient de departe de purtătoare pentru ca la intrare să se poată utiliza un filtru ceramic mai ieftin;

Circuitul poate lucra în două benzi, 400-480MHz și 800-950MHz, pentru schimbarea benzii fiind nevoie de schimbarea filtrului de intrare și a unei impedanțe de intrare. Selectarea canalului în bandă se face software, prin comandarea blocului sintetizator. Singura componentă externă pentru sintetizator este filtrul pentru bucla PLL. Sintetizatorul conține un oscilator comandat în tensiune, cu panta de 150MHz/V. Viteza de modificare a frecvenței funcție de tensiunea de comandă trebuie să fie mai mare pentru a se putea realiza modularea FSK a datelor. Pentru un șir de date cu debitul de 50kbps, la care fiecărui bit  $i$  se asociază o frecvență dacă este 0 și alta dacă este 1, viteza de modificare a frecvenței trebuie să fie de 100kHz/50 $\mu$ s. Cele 2 frecvențe de codificare sunt preîncărcate în circuit prin programarea unui registru.

Toate celulele receptorului sunt concepute să poată lucra între 400-1000MHz. Amplificarea primei celule este programabilă prin registrul CTRL1. Comutatorul RX/TX protejează intrarea receptorului de excursia mare de tensiuni a emițătorului (până la 10V vârf la vârf la o tensiune de alimentare de 5,5V). Comutatorul este comandat de un bit de control. Demodulatorul este format dintr-un oscilator care oscilează la frecvența  $F_{in}$  (a semnalului de intrare), frecvența liberă de oscilație fiind  $F_0$ . Faza semnalului de ieșire din oscilator este proporțională cu diferența între  $F_{in}$  și  $F_0$ . Un circuit SAU EXCLUSIV transformă diferența de fază în factor de umplere, apoi un filtru trece jos o transformă în tensiune. Dacă  $F_{in} = F_0$  factorul de umplere este 50% și tensiunea de ieșire este  $V_{DD}/2$ . Chiar și primul bit poate fi detectat corect așa încât nu mai este nevoie să se insereze un șir de biți 010101..... pentru sincronizarea receptorului. Tensiunea de ieșire este convertită în nivele CMOS cu un comparator cu rezoluție mare. Tensiunea de comparație se extrage din valoarea medie a semnalului analogic demodulat. Pentru un cod de tip Manchester cu un număr de zerouri aproape egal cu cel de unu, schema este eficientă. Tensiunea de comparație este scoasă la un pin exterior. O altă posibilitate este de a fixa tensiunea de comparație din exterior la  $V_{DD}/2$  cu un divizor rezistiv. Astfel sunt posibile și codări NRZ. Pentru a permite comparații foarte exacte, tensiunea de comparație se poate modifica în jurul valorii  $V_{DD}/2$  prin program. Este implementat un DAC de 4 biți, programarea făcându-se în registrul DTR.

Amplificatorul de putere de ieșire poate genera 10dBm (10mW) în 3 canale foarte utilizate (434MHz, 868MHz și 915MHz) (la 2,4V alimentare). Puterea maximă poate fi mai mare dacă tensiunea de alimentare este mai mare, astfel în canalul 400MHz, la 4V, puterea poate fi până la +19dBm. În banda 868MHz circuitul poate genera 14dBm, ceea ce reprezintă nivelul maxim admis în Comunitatea Europeană. Curentul absorbit de circuit pentru a obține aceste puteri de ieșire este de 39-46mA, funcție de canal. Controlul puterii se poate face în 2 moduri:

- Un rezistor extern stabilește puterea maximă, funcție de reglementările legale în țara respectivă;
- Cu 2 biți din registrul de control CTRL1 se pot stabili 8 nivele de putere, sub puterea maximă.

Stabilirea puterii prin soft este utilă la economia de energie. Astfel, 2 circuite care se află în legătură radio pot comunica nivelul de putere și îl pot micșora până la nivelul la care comunicația se mai poate desfășura corect. Etajul de putere are integrată o buclă de control a puterii pentru a micșora sensibilitatea puterii de ieșire la modificarea temperaturii sau a tensiunii de alimentare. Cu cât excursia tensiunii de ieșire este mai mare, cu atât și eficiența etajului de putere este mai mare. Cu o alimentare de 3V, tensiunea de ieșire este de +5V vârf la vârf sau 1,77V valoare eficace. Pentru a emite cu 10mW (10dBm) rezistența de sarcină este  $R_S=314\Omega$ . Impedanța antenei fiind de  $50\Omega$  este nevoie de un filtru pentru adaptarea de impedanță. Filtrul trebuie realizat cu atenție, cu componente SMD de suprafață mică, cu mase bune pentru a nu radia armonici superioare. Filtrul, în afară de rolul de adaptare de impedanțe poate micșora nivelul de armonici superioare generate în antenă, conform cu reglementările din țara respectivă.

Microcontrollerul poate controla și monitoriza circuitul printr-o interfață serială sincronă cu 3 fire:

- SLE validare intrare;
- SCK tact (semnal de intrare);
- SDATA date de intrare/ieșire

Dacă SLE=1 interfața este inhibată. Un ciclu de citire/scriere începe dacă SLE trece în 0 și se termină când SLE trece în 1. Într-un ciclu de acces se poate realiza o singură operație: un singur registru poate fi citit sau scris. Un mesaj este format din 3 câmpuri:

- Adresa (4 biți, la început MSB);
- Selecția R/W;
- Date (32 de biți maxim, la început MSB).

Diagrama de semnale pentru scriere /citire este dată în figura 7.7.

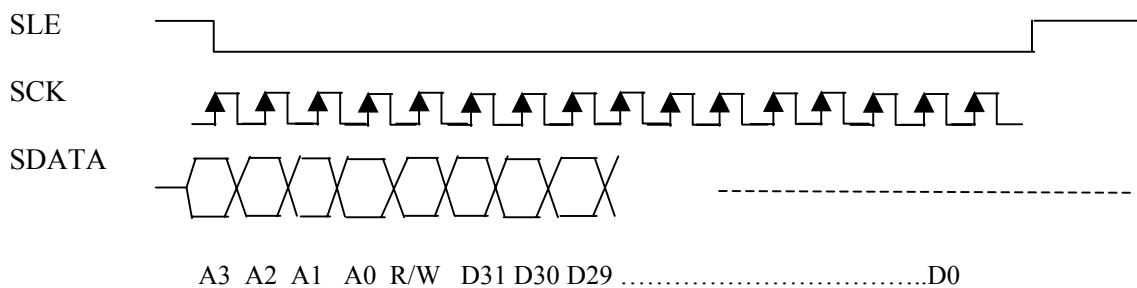


Figura 7.7: Diagrama de semnale pentru scrierea /citirea serială sincronă

Datele transmise sau recepționate circulă în mod half duplex pe linia bidirecțională DataMsg cu tactul DataClk. Interfața între microcontroller și modemul radio se realizează ca în schema bloc din figura 7.8.

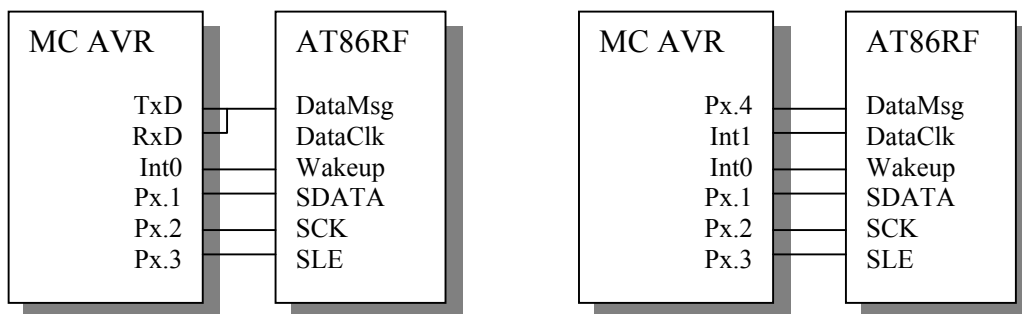


Figura 7.8: Conectarea prin UART (stânga) și la porturi paralele de uz general (dreapta)

În stânga este prezentată o variantă de conectare a radio modemului la interfața UART a microcontrollerului. Liniile RxD și TxD sunt unite pentru că DataMsg este bidirecțional. Canalul UART trebuie programat half duplex. Semnalul Wakeup generat de modem comandă pe o linie de întrerupere ieșirea din stand by a microcontrollerului. Pentru comenzi se folosesc trei linii dintr-un port paralel, SDATA fiind o linie bidirecțională, toate liniile fiind comandate software. Dacă nu este disponibil un port UART se poate folosi varianta din figura 7.8

dreapta, toate semnalele provenind din porturi paralele de uz general. Tactul pentru date DataClk este generat de modem la mijlocul bitului de date.

### 7.3. Transmisia datelor prin GPRS

Datorită necesității de a putea avea acces la informație și de a fi totodată mobil, s-a recurs la folosirea terminalelor mobile GSM pentru transmisii de date. Comunicațiile de date prin intermediul rețelelor de telefonie mobilă au devenit mult mai eficiente în momentul în care a fost împrumutată o idee de la rețelele de calculatoare, cea a comutației de pachete. Informația este încapsulată în pachete care circulă prin intermediul unor echipamente de rețea până la destinație. Adresele sursei și destinației sunt conținute în pachet. Astfel a luat naștere GPRS (General Packet Radio Services).

#### 7.3.1. Structura și module tipice GPRS

Pentru transmisia de date modulele din rețeaua GSM sunt completate cu un PCU (Packet Control Unit) care trimite datele spre SGSN (Serving GPRS Support Node). SGSN are sarcina de rutare a pachetelor, atribuirea de IP și gestionarea legăturii la trecerea de la o celulă la alta (handover). GGSN (Gateway GPRS Support Node) este conectat la un server din Internet. HLR (Home Location Register) conține o bază de date a utilizatorilor. Arhitectura GPRS este dată în figura 7.9.

Rata de transfer maximă care se poate obține prin GPRS este de 171,2 kbps adică 21.4kBps. Transferul datelor poate fi efectuat prin UDP (User Datagram Protocol), sau prin TCP/IP. Avantajul transferului prin TCP/IP constă în faptul că pachetele ajung la destinație în ordinea în care au fost transmise și există o garanție a transmisiei corecte a pachetelor.

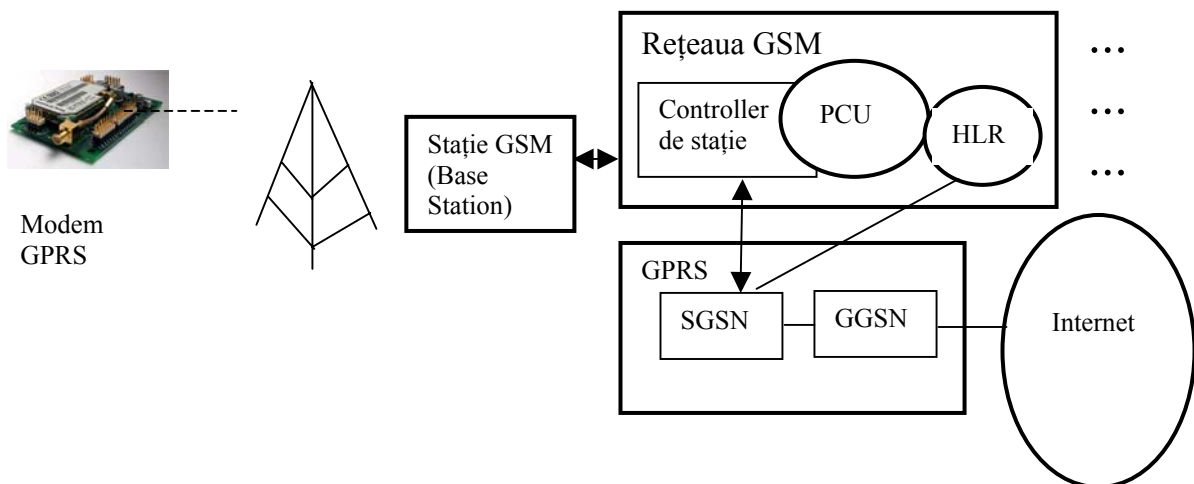


Figura 7.9: Arhitectura GPRS

Din punct de vedere al modalității de transmisie a datelor, sistemul se comportă în felul următor: unitatea de procesare inițiază o conexiune a modemului GPRS către un BS (Base Station) a unei rețele de telefonie mobilă, apoi este efectuată o cerere pentru conexiunea la internet prin GPRS. BS-ul sesizează acest lucru și prin intermediul PCU-lui (Packet Control Unit), comunică cu SGSN-ul în vederea obținerii unei adrese IP și a alocării unui canal de



transmisie între acestea din urmă. Prin interfața dintre BS și SGSN circulă pachete de date, SMS-uri în mod GPRS și semnalizări. Astfel, SGSN verifică HLR (registru de localizare), alocă o adresă IP, deschide un canal logic pentru transmisia datelor către PCU și îi cere acestuia alocarea și gestionarea resurselor necesare pentru stabilirea comunicației între stația mobilă și BS.

Sistemul de transmisie GPRS este pus la dispoziție de operatorii de telefonie mobilă și datele achiziționate sunt trimise la un server al utilizatorului. Fiecare modul GPRS trebuie să aibă un card SIM furnizat de operatorul de telefonie mobilă cu un tip de abonament sau în sistem preplătit pentru transferul de date. Tarifele sunt de regulă funcție de traficul realizat.

În aplicațiile realizate au fost folosite două tipuri de module GPRS, produse de TELIT [4], modelul GM862-GPRS și modelul EZ10. Ambele modele sunt echipate cu interfețe RS232, figura 7.10.

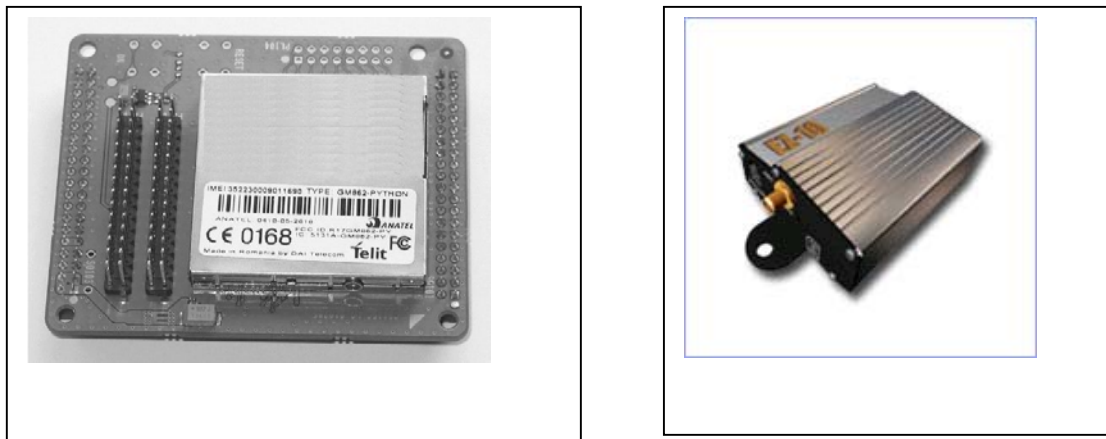


Figura 7.10: Modulul GPRS GM862 (stânga) și EZ10 (dreapta)

Modulul GPRS GM862-GPRS a fost achiziționat împreună cu placa pe care se montează pentru a evita lipirea direct la pinii modului. Conexiunea modului GM862 se face prin interfața serială RS232, la nivele de tensiune de 3,3V, de aceea trebuie construită o interfață pentru modificarea nivelului cu circuite specializate MAX2232. În figura 7.11 este dată schema electrică de conectare a modului GM862 la interfața RS232 pentru interfațarea cu un microcontroller.

Modulul GM862 are și o interfață USB, utilă pentru conectarea la un PC în faza de punere la punct a programelor software de aplicație, figura 7.12.

EZ10 este un modul GPRS/GPS construit ca ansamblu separat de placa cu microcontroller la care se conectează prin o conexiune serială RS232. Modulul este construit pe baza circuitului GM862, având suplimentar și funcția de GPS. EZ10 administrează intern stiva TCP-IP și ușurează astfel implementarea aplicației. Alimentarea modului se face de la un alimentator extern.

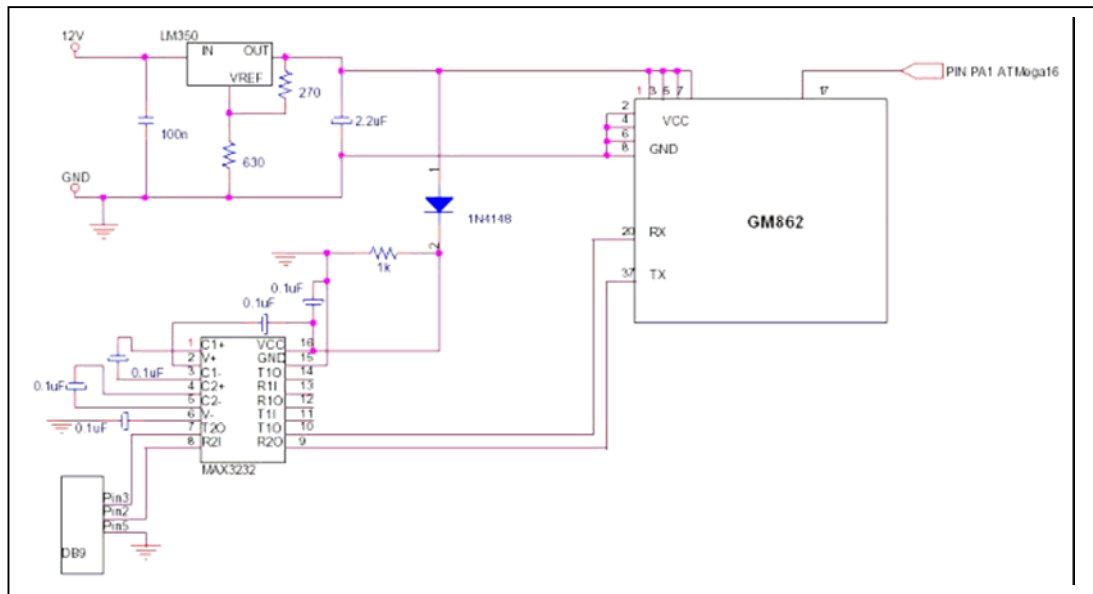


Figura 7.11: Schema electrică de conectare a modului GM862 la interfața RS232

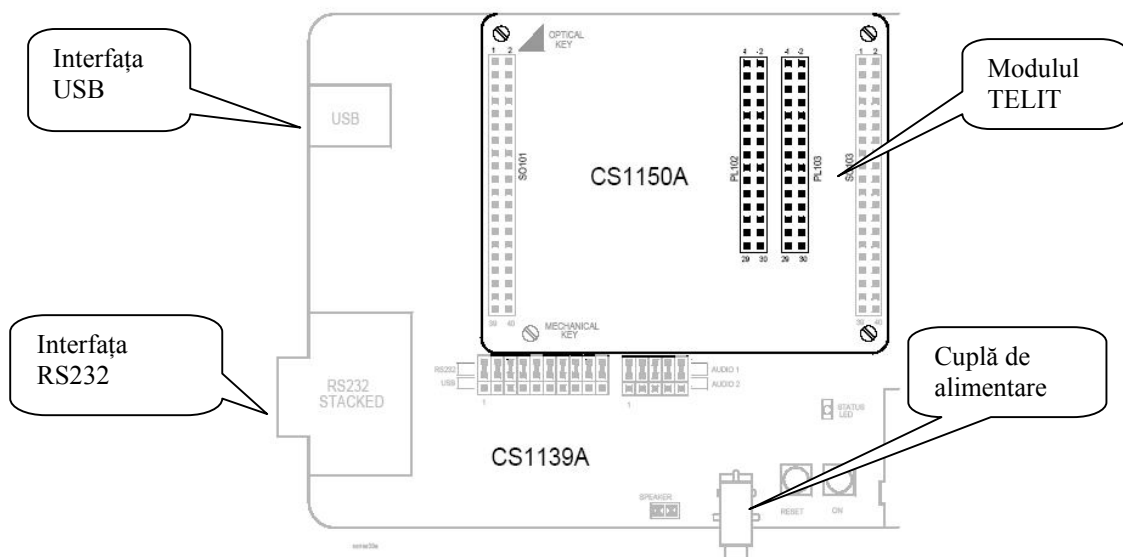


Figura 7.12: Placa cu modulul GM862 și interfețele RS232 și USB

Caracteristicile principale ale modulelor GPRS sunt:

- Dual Band 900-1800MHz
- EASY GPRS (comenzi AT incluse) RS232 UART, nivele CMOS la GM862 și RS232 la EZ10
- Auto-bauding de la 2.4 până la 57.6 Kbps Interfață card SIM, 3V și 1.8V Maxim 13 x GPIO porturi 2 convertoare A/D
- Agendă numere de telefon
- Este suportat codul PUK2 pentru condiția de blocare.
- Audio integrat

- Posibilitatea de lucru cu SMS
- GPS integrat (în EZ10).

### 7.3.2. Comenzi AT

Conexiunea modului TELIT cu microcontrollerul se face prin interfața serială RS232, comunicația fiind bazată pe comenzi AT. Comenzile AT sunt șiruri de date care încep cu prefixul AT și pot fi trimise modului cu un program cum este de exemplu Hyper-Terminal din Windows dacă modulul este conectat la un PC prin interfața RS232 sau direct de la microcontroller. Conectarea la un PC este utilă în faza inițială de punere la punct a părții software. După ce programul a fost pus la punct se programează microcontrollerul care comunică cu modulul GPRS tot prin interfața serială RS232, cu aceleași comenzi AT.

La activarea conexiunii GPRS trebuie specificați parametrii rețelei și numărul de telefon apelat și se stabilește o conexiune între modem și un server de date (nu se poate stabili o conexiune între două modemi GPRS). Conectarea cu o aplicație aflată pe un server se realizează astfel:

- Cu o comandă AT se setează proprietățile GPRS pentru a permite modemului GPRS activeze conexiunea GPRS ori de câte ori este nevoie de un transfer de date;
- Cu o comandă AT se setează parametrii de autentificare, nume utilizator și parolă care vor fi folosiți pentru validarea conectării;
- Cu o comandă AT se definesc portul de conectare la server și protocolul UDP sau TCP-IP;
- Se pornește conexiunea cu o comandă de formare a numărului și conectare.

Câteva dintre comenzile utilizate la conectare sunt:

- **AT**- Comandă vidă, va întoarce întotdeauna răspunsul „OK” , folosită sub forma **AT**
- **AT#USERID**[=<user>] – se trimite numele rețelei pentru autentificare, folosită sub forma **AT#USERID="net.vodafone.ro"** (autentificare)
- **AT#PASSW**= <pwd> - se trimite parola pentru autentificare, folosită sub forma **AT#PASSW="vodafone"** (parolă)
- **AT+CPIN**[=<pin> [,<newpin>]] – se trimite codul PIN, folosită sub forma **AT+CPIN=2649** (cod PIN)
- **AT+CREG**=? - După ce se introduce codul PIN al cartelei SIM se așteaptă până când se efectuează conectarea. Comanda a fost folosită în forma: **AT+CREG?**
- **AT+CGDCONT**=1 - Se utilizează o conexiune IP prin serverul GGSN cu numele „net.vodafone.ro” fără o compresie a datelor sau a header-ului pachetelor. Comanda a fost folosită în forma: **AT+CGDCONT=1,"ip","net.vodafone.ro","0.0.0.0",0,0**
- **AT#GPRS**[=[<mode>]] – activare GPRS cu 1, dezactivare cu 0, transmisia a fost activată cu **AT#GPRS=1** . **AT#GPRS?** interoghează starea modemului

- **AT#SKTD=0** - Tipul socketului folosit este TCP, numărul portului pe care ascultă serverul este 2222, adresa de IP a serverului este „86.125.93.184” iar conexiunea se închide când serverul închide portul. Comanda a fost folosită în forma: **AT#SKTD=0,2222,"86.125.93.184",0**Programul arată astfel:

```
at
OK
at+cpin=2649
OK
at++CREG: 0,1
OK
at#userid="net.vodafone.ro"
OK
at#passw="vodafone" OK
at+cgdcont=1,"ip","net.vodafone.ro","0.0.0.0",0,0
OK
at#gprs=1
+IP: 172.23.65.136
OK
at#sktd=0,2222,"86.125.93.184",0
CONNECT
```

După această secvență urmează transmiterea datelor. Practic tot ce primește modulul prin USART va fi transmis către server urmând ca după închiderea conexiunii modulul să fie trecut în stare oprită. O listă completă a comenzilor AT se poate găsi în documentațiile TELIT, de exemplu în [5]. Oprirea sa se va face hardware. Transferul de date între modulul cu microcontroller și modemul GPRS are loc în aplicațiile realizate astfel:

1. Unitatea de procesare selectează prin intermediul circuitului de selecție ieșirea USART-ului către modemul GPRS.
2. Unitatea de procesare activează modemul.
3. Unitatea de procesare inițializează înregistrarea în rețeaua GSM a modemului și conectarea la GPRS.
4. Unitatea de procesare transmite efectiv pe USART datele de transmis. Aceste date vor fi transmise prin intermediul modemului la server-ul cu o anumită adresă IP. Pe acest server este rulat un program ce ascultă și primește pe portul 2222 pachete prin TCP/IP. Aceste pachete conțin ca identificator codul IMEI (International Mobile Equipment Identity – Identitatea Internațională a Echipamentului Mobil) al modemului, cod ce este unic. Ca măsură de siguranță, acest cod este căutat într-o listă în care se află toate codurile IMEI ale echipamentelor ce vor fi utilizate, iar dacă codul IMEI nu se află în lista echipamentelor va închide conexiunea.
5. Unitatea de procesare dezactivează modemul;

Principala dificultate în aceste aplicații este faptul că se utilizează de regulă mai multe canale USART. Astfel la primele aplicații s-au folosit module GPRS și GPS diferite, deci două canale USART folosite. EZ10 realizează o transmisie GPRS și GPS pe același canal, dar a

trebuie implementată o comunicație cu un PC pentru realizarea de teste. Într-o aplicație a fost nevoie de conectarea unui contor Geiger Muller pe un canal UART și EZ10 pe celălalt. În prima etapă s-a căutat un microcontroller cu două canale USART dar au fost dificultăți de aprovizionare și s-au mărit costurile. În a doua etapă s-a implementat un multiplicator de canale seriale [6], figura 7.13.

Aplicațiile GPRS sunt mai simplu de implementat decât pare la prima vedere, aceasta datorită în primul rând programabilității medemurilor GPRS cu comenzi AT (Easy GPRS). Nu este necesară cunoașterea traseului datelor până la serverul utilizatorului, singura condiție pusă serverului fiind să aibă atribuit un IP fix.

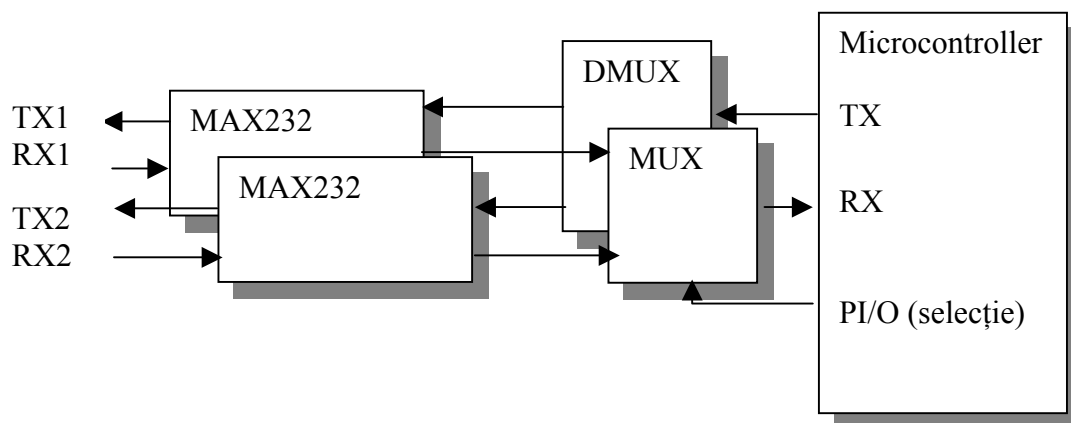


Figura 7.13: Multiplicare porturi USART

Transmisia GPRS se pretează la aplicații în care nu există un receptor în apropierea punctului de culegere de date dar există acoperire de telefonie mobilă. Singura variantă posibilă de transmisie de date pentru aplicația de măsurare a Radonului realizată de colectivul nostru de cercetare și prezentată într-un capitol special, în care punctele de măsură sunt plasate de-a lungul unor falii seismice în câmp a fost transmisia GPRS.

#### 7.4. Bluetooth

Prin Bluetooth se realizează transferuri de date pe distanțe scurte între un calculator și diverse echipamente periferice, de exemplu căști, telefoane mobile, playere, imprimante, camere video, GPS etc. Numele provine de la numele unui rege danez, Blatand din secolul 10 care a unit triburile scandinave. Modulația datelor este asemănătoare cu cea de la WLAN, adică împărțirea spectrului alocat în mai multe canale și o modulație GFSK (Gaussian Frequency-Shift Keying) a datelor pe fiecare canal. În modul de transmisie de date salturile de frecvență sunt 1600/s, iar în modul de descoperire poate fi de 3200/s pentru a micșora timpul de conectare. Spectrul alocat este situat în banda de 2,4GHz, între 2,402GHz și 2,480GHz. Distanța de transmisie este de uzual de 1m, viteza fiind de 1Mbps, dar există unele dispozitive cu putere mai mare de emisie care asigură distanțe până la 100m. Conectarea unui dispozitiv

Bluetooth la un calculator gazdă se realizează printr-un software de descoperire. O descriere bună a sistemului Bluetooth este în [7].

Ca și la alte interfețe prezentate în această carte există două variante de implementare a unui sistem înglobat cu transmisie Bluetooth, prin utilizarea unei interfețe Bluetooth conectate la un microcontroller existent sau utilizarea unui microcontroller cu Bluetooth integrat. Momentan prima soluție este preferată asigurând o viteză de implementare mai mare și costuri mai mici.

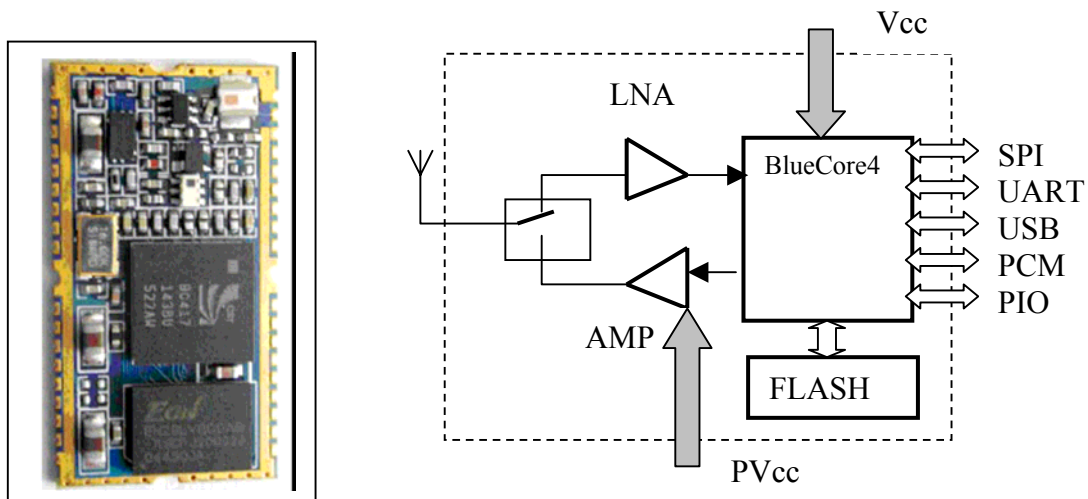


Figura 7.14: Interfața Bluetooth, aspect (stânga) și schema bloc (dreapta)

#### 7.4.1. Interfețe Bluetooth

Interfața Bluetooth de la Rayson BTM222. figura 7.14 conține un nucleu BlueCore4 cu interfețe de conectare SPI, UART, USB și o interfață PCM (Pulse Code Modulation) pentru conectarea unui modul audio. De la nucleu datele sunt emise printr-un amplificator de putere prin antenă, iar datele recepționate sunt amplificate cu un LNA. Alimentarea de putere și cea a nucleului sunt diferite.

Interfața asigură transfer Bluetooth versiunea 2 cu EDR (Enhanced Data Rate) de până la 3Mbps. Sunt posibile moduri de lucru cu economie de energie. Alimentarea este între 3V și 3,6V, puterea de emisie fiind de 18dBm.

Acest tip de modul Bluetooth admite comenzi AT. Comenzile AT sunt formate din prefixul AT, o literă care reprezintă tipul comenzii, apoi parametri:

**ATAn** – stabilire conexiune cu dispozitivele n=1-8

**ATB?** – afișează adresele dispozitivelor slave conectate

**ATD=xxxxxxxxxxxx** – definește o adresă de 12 digiți pentru un dispozitiv cuplat

**ATEX** – stabilește ecoul la o transmisie USART, X=0 fără ecou, X=1 cu ecou, X=? se interoghează starea curentă

**ATF?** – caută dispozitive timp de 60s și afișează numele lor

**ATHX** – setează permisiunea de descoperire, X=0 nu poate fi descoperit, X=1 poate fi descoperit, X=? se interoghează starea curentă

**ATI?** – interoghează versiunea software

**ATKX** – stabilește numărul de biți de Stop la transmisia serială

**ATLX** - stabilește viteza de transfer la transmisia serială

**ATMX** – stabilește controlul de paritate

**ATN=xxx...** – stabilește un nume dispozitivului, maximum 16 caractere

**ATO** – comandă de conectare automată

**ATP=xxxx** – trimite codul PIN

**ATQX** – setează trimiterea confirmării execuției unei comenzi

**ATRX** – stabilește modul master sau slave

**ATU=parola** – permite accesul cu parolă la upgrade de firmware

**ATZ** – restaurează setările inițiale

Un alt modul de interfață Bluetooth este modulul Erisson ROK 101 008, echipat cu interfețe serială USART, PCM și I<sup>2</sup>C, figura 7.15 [8].

Modulul conține un transceiver radio PBA313 construit pe baza unui circuit ASIC de la care datele sunt transmise prin circuite BALUN (BALanced UNbalanced) prin amplificatoare spre antenă. La recepția datelor este folosită o buclă PLL. Microcontrollerul este un ARM7 cu capacitatea de prelucrare voce de tip ROP101. Un tact de 13MHz cu acuratețea de 20ppm este montat pe placă. O schemă electrică tipică de utilizare pentru transferul de date și voce, în principiu valabilă pentru ambele module prezentate este dată în figura 7.16.

Pentru comanda modulului și transferul datelor se folosesc comenzile HCI (Host Control Interface) conform standardului Bluetooth v1.0B. Ericsson are câteva comenzi HCI proprii, așa cum este de exemplu cea de stabilire a vitezei de comunicație prin RS232. Ericsson pune la dispoziția dezvoltatorilor un sistem de dezvoltare în care intră HCIdriver, un driver pentru folosit de gazdă (PC), L2CAP, RFCOMM pentru emularea unui port serial și SDP (Service Discovery Protocol) pentru identificarea serviciilor disponibile la un dispozitiv Bluetooth.

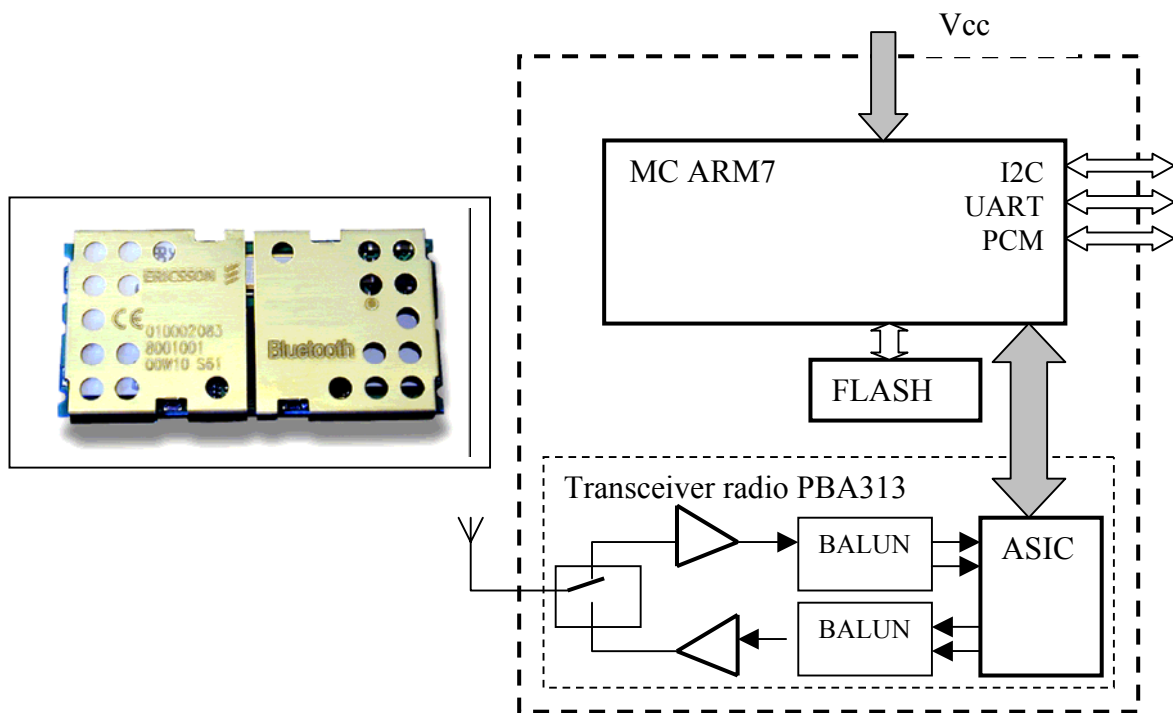


Figura 7.15: Modul Bluetooth Ericsson ROK 101

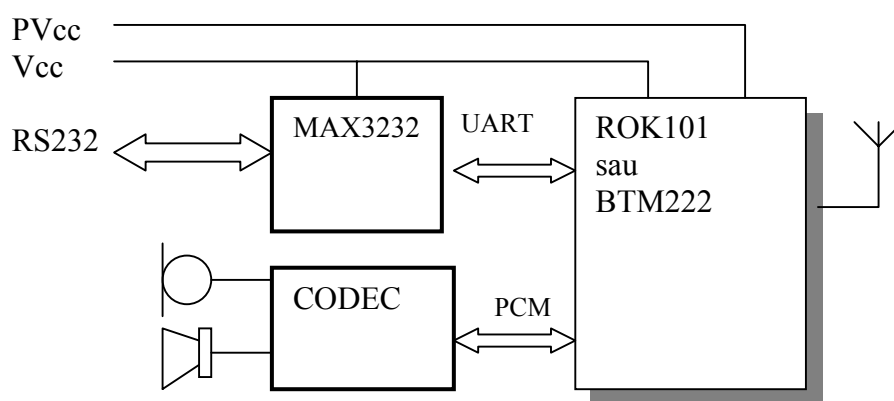
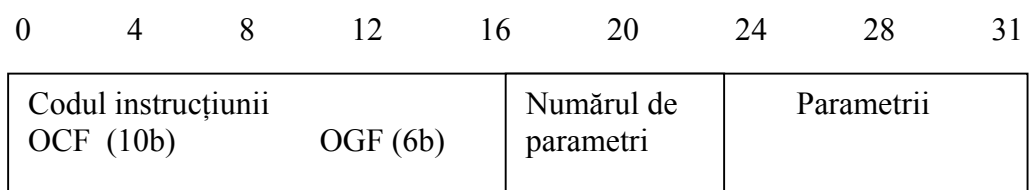


Figura 7.16: Schema electrică tipică de utilizare pentru transferul de date și voce

Comenzile HCI au următorul format, figura 7.17.





OCF- OpCode Command Field, 10 biți      OGF-OpCode Group Field, 6 biți

Figura 7.17: Formatul comenzilor HCI

Comenzile HCI sunt de mai multe tipuri:

- Pachet HCI de comandă, de la gazdă la dispozitiv;
- Pachet HCI **ACL** date (Asynchronous Connectionless Link) care asigură benzi diferite pentru sensuri diferite de transfer;
- Pachet HCI **SCO** date de la PCM (voce) (Synchronous Connection Oriented Link) care asigură viteze egale pentru cele două sensuri de transfer;
- Pachet HCI de evenimente, de la dispozitiv la gazdă.

O legătură între două module Bluetooth este asigurată între Host-B care așteaptă o scanează cererile de conexiune și Host-A care solicită conexiunea. De exemplu descoperirea unui modul Bluetooth de către Host-B se poate face cu comenzile HCI:

- **Read\_BD\_ADDR** care are ca răspuns din partea Host-A pachetul HCI **Command\_Complete\_Event** care conține adresa solicitată ca parametru;
- Inquiry are ca răspuns adresa Host-A.

Pentru ca Host-A să poată răspunde la o scanare trebuie programat cu pachetul HCI **HCI\_Write\_Scan\_Enable** (OCF este 001AH). Legătura este creată prin pachetul **HCI\_Create\_Connection**. De exemplu comanda HCI fără parametri **HCI\_Inquiry\_Cancel** are codul OCF + OGF cu 00H parametri *020400H* care se trimite pe seriala RS232 și produce abandonarea descoperirii dispozitivelor Bluetooth.

Transferul de date se realizează full duplex, prin TDD (Time Division Duplex). Pachetele de date sunt trimise în perioade fixe de timp de 625μs și un pachet poate ocupa maximum 5 asemenea intervale de timp. Un pachet este trimis folosin același canal radio. Pachetele de voce SCO pot ocupa maximum două canale de 64kbps. Pentru pachetele ACL se pot defini vitezele de transfer în ambele direcții, de exemplu în pachetul de tip DH5 723,2kbps într-un sens și 57,6kbps în sensul opus, asimetria fiind maximă, dar există și posibilitatea de viteze egale, cum sunt pachetele DM1 cu 108,8kbps în ambele sensuri.

Un alt modul Bluetooth care poate fi utilizat în aplicații cu microcontrollere este adaptorul serial LM058, figura 7.18 [9].

Acest adaptor este conform cu specificațiile v2.0+EDR, și asigură o distanță de transmisie de 100m, viteza maximă fiind de 115,2kbps dar și 230,4kbps cu tact transmis. Alimentarea poate fi realizată cu un alimentator de 5V, prin cupla USB sau de la un semnal serial nefolosit.



Figura 7.18: Adaptorul Bluetooth serial LM058

Modulul poate fi programat cu comenzi AT. Câteva comenzi AT sunt:

AT – verificare

AT+ENQ – afișează toate setările, cele de Bluetooth și de RS232

AT+ACON – validează conectarea automată

AT+CONN =xxxxxxxxxxxx– stabilește o conexiune cu dispozitivul a cărui adresă este xxxxxxxxxxxx

AT+FIND – caută un dispozitiv Bluetooth timp de un minut

AT+NAME – stabilește un nume pentru un dispozitiv Bluetooth

AT+PIN – trimite codul PIN

AT+RESET –inițializează dispozitivul

AT+BAUD – stabilește viteza de comunicație prin RS232

Lista completă a comenzilor AT este dată în foile de catalog.

#### 7.4.2. Microcontroller Bluetooth

Un microcontroller complex Bluetooth este Atmel AT76C551 bazat pe un nucleu ARM7. Microcontrollerul prototip este echipat cu interfețe USB, UART și PCMCIA și se folosește la punerea la punct a aplicațiilor. Pentru producția în serie se fabrică microcontrollere cu una dintre interfețe. Microcontrollerul poate fi folosit la realizarea adaptoarelor USB Bluetooth pentru calculatoare desktop, adaptoare PCMCIA pentru notebook-uri, adaptoare USB pentru imprimante, adaptoare pentru camere digitale, telefoane mobile, PDA etc.

O schemă bloc simplificată a acestui microcontroller este dată în figura 7.19.

Microcontrollerul are o structură complexă, capsula prototipului fiind LQFP 176. Arhitectura microcontrollerului se bazează pe nucleul ARM7TDMI, toate interfețele și memoria SRAM internă de 32k fiind conectate printr-o magistrală internă pe 32 de biți. Frecvența este de 24MHz și este posibilă oprirea oricărei interfețe pentru economia de energie. Nucleul ARM este un procesor RISC pe 32 de biți care poate executa instrucțiuni pe 32 de biți sau un subset de instrucțiuni compresate pe 16 biți în modul Thumb®.

Datele de la interfețele USB și PCMCIA pot fi stocate în memoria internă dar și într-o memorie externă organizată în cuvinte de 8 sau 16 biți, de tip SRAM sau Flash cu capacitate maximă de 512ko la organizare pe 8 biți și 1Mo la organizare pe 16 biți. Memoria externă este accesibilă prin două porturi, unul dedicat nucleului ARM și unul interfețelor USB sau PCMCIA. Interfața PCMCIA 2.1 este o interfață pe 8 biți cu posibilitatea de acces la memoria internă și externă și care conține regiștri pentru programarea, citirea stării și schimbul de date cu interfața Bluetooth.

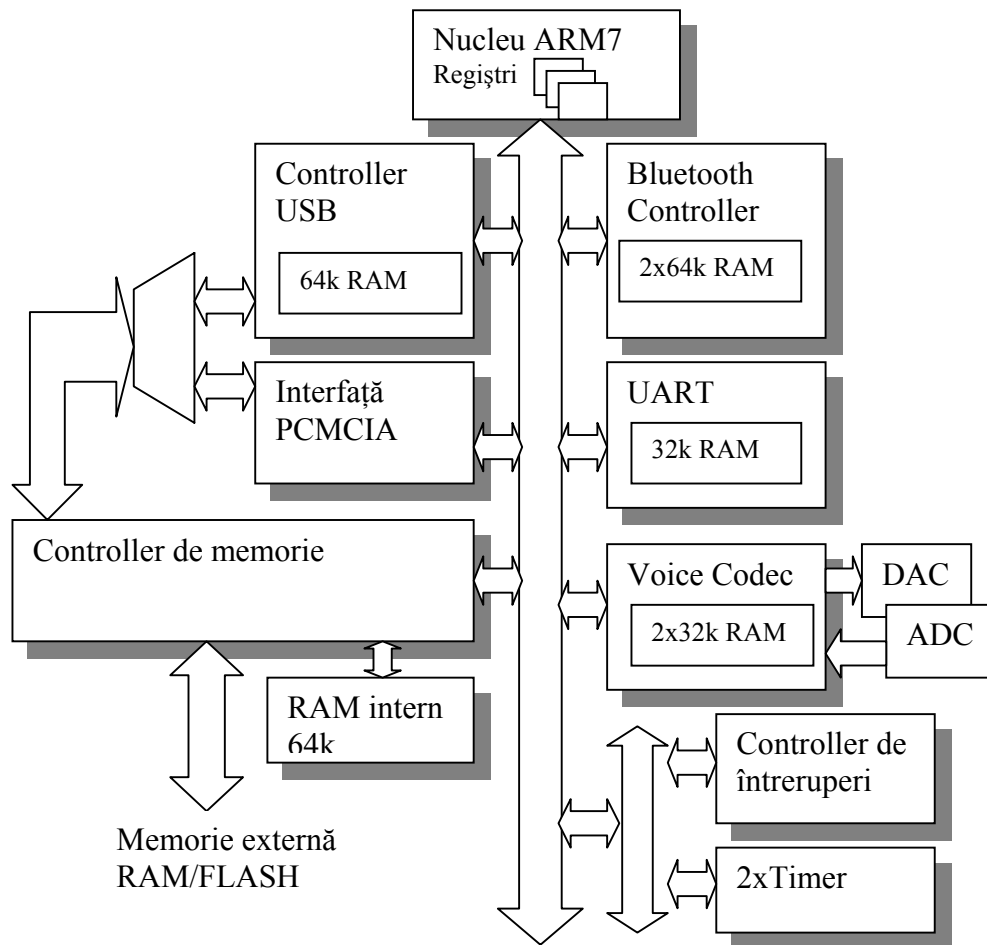


Figura 7.19: Schema bloc simplificată a microcontrollerului AT76C551

Interfața Bluetooth asigură nivelul de legătură, conținând un numărator de 28 de biți care asigură temporizările necesare procesării, un generator de salturi de frecvență, un generator de coduri de acces la alte module Bluetooth și circuite de verificare a corectitudinii transferului. Acestea sunt FEC (Forward Error Correction) în care secvența transmisă se repetă de 3 ori sau se generează prin cod Hamming 5 biți suplimentari la fiecare 10 biți, HEC (Header Error Check) pentru verificarea informației importante din antet și CRC (Cyclic Redundancy Generation and Check) pentru informația din anumite cadre Bluetooth. Interfața mai conține circuite de criptare/ decriptare, circuite pentru accelerarea procesului de autentificare, un indicator al puterii semnalului RSSI (Receiver Signal Strength Indicator) realizat cu un

convertor A/D. Interfața Bluetooth conține și secvențiatoarele necesare formării cadrului transmis sau recepționat pentru a elibera nucleul de aceste operații. Secvențierea este realizată diferit în funcție de tipul de cadru. Între nucleu și secvențiator există două buffere FIFO de 64 de octeți, unul pentru date recepționate iar unul pentru date transmise. La recepția cu succes a unui pachet, interfața verifică antetul și verifică HEC, apoi în funcție de pachet secvențiatorul extrage datele pe care le trimite în bufferul de recepție. Codecul de voce suportă codări PCM și CVSD (Continuous Variable Slope Delta) cu rata de 64kbps.

Interfața USB este realizată în principal de nucleul ARM. Partea hardware suplimentară constă din trei părți: motor serial SIE (Serial Interface Engine) care realizează separarea tactului de date, codarea/decodarea NRZI, generarea și verificarea CRC, introducerea biților suplimentari, conversia serie paralel și paralel serie. SBC (Serial Bus Controller) asigură 6 endpoint-uri și asigură gestionarea adreselor și a bufferelor. SI (System Interface) asigură conectarea SBC la nucleu.

Interfața UART este compatibilă 16550 [10]. Interfața are buffere de transmisie și recepție de 16 octeți și viteza poate fi programată între 1200bps și 921kbps.

Microcontrollerul Bluetooth conține mecanismul de prelucrare a cadrelor în banda de bază și pentru a realiza o aplicație Bluetooth completă schema trebuie completată cu un transceiver. Un astfel de transceiver este T2901 de la Temic [11], circuit cu 48 de pini, datele fiind transmise la microcontroller serial. Diagrama de semnal pentru protocolul serial de transmisie date este dată în figura 7.20.

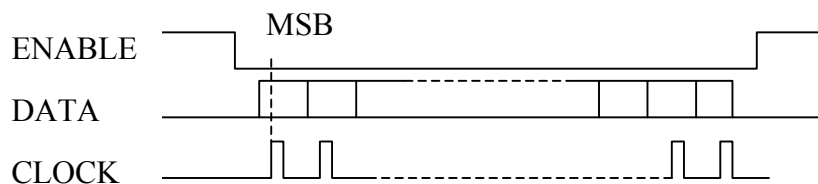


Figura 7.20: Protocol serial pe 3 fire

Datele transmise conțin serial și cuvintele de programare pentru modelele interne programabile ale transceiverului, cum ar fi de exemplu puterea de emisie. Cadrul de programare conține un cuvânt de 23 de biți urmat de un bit de adresă 1, apoi un cuvânt de 11 biți urmat de bitul de adresă 0.

Transceiverul conține un amplificator de putere la transmisie cu 3dBm la 2,4GHz, un receptor, circuite de modulare și demodulare, filtre și un bloc de măsurare a RSSI alimentarea fiind între 2,7 și 3,3V, cu regulator intern.

Prin urmare se poate vedea că utilizarea unui modul Bluetooth cuplabil pe serială și programabil cu comenzi AT este simplă, dar proiectarea hardware și software a unui modul cu microcontroller și transceiver este mult mai complexă.

## 7.5.Zigbee

Transmisia ZigBee este o transmisie wireless mai ieftină decât Bluetooth, asigură un consum mai redus de energie și dimensiuni mici dar asigură și un debit mai mic de date. Numele se pare că provine de la zborul în zig zag al albinelor care își transmit date referitoare la poziția sursei de hrană. Acest tip de transmisie se pretează la aplicații de tip rețea de senzori (rețele *mesh*). Prima apariție a ZigBee a fost în 1998, ca urmare a nevoii de o interfață mai ieftină decât Bluetooth pentru aplicații cu mulți senzori în care rețeaua se auto-configurează la intrarea sau ieșirea unor senzori din activitate. Ca aplicații se pot menționa sisteme de senzori în domeniul casnic (incendiu, fum etc.), industrial, medical pentru urmărirea datelor provenite de la un pacient, în telecomunicații etc. Banda alocată este 2,4GHz, dar și alte 2 benzi folosite în diferite țări. Modulația este în cuadratură, QPSK.și asigură 250kbps la o distanță uzual până la 70m. Intervalul de bandă folosit este între 2,405GHz și 2,480GHz, împărțit în canale de 5MHz. Modulele ZigBee pot lucra în modul punct la punct sau punct la multipunct și o rețea de astfel de dispozitive necesită un dispozitiv cu funcția de coordonator. Rețeaua *mesh* permite conexiuni radio de date între dispozitive mai îndepărtate decât raza de acțiune radio prin interpunerea unor noduri ZigBee intermediare iar defectarea unui nod poate fi transparentă prin preluarea sarcinilor de alt nod. Zigbee a fost standardizat de IEEE cu numele IEEE 802.15.4.

### 7.5.1.Module și interfețe ZigBee

Cea mai simplă soluție este utilizarea unui modul ZigBee, așa cum este de exemplu [12], la care există sisteme de dezvoltare și software. Un modul XBee, interoperabil în rețele ZigBee este dat în figura 7.21.



Figura 7.21: Modul XBee

XBee asigură o rată de transfer de 250kbps la distanțe de maximum 100m în spații închise și 1,6km în spații fără obstacole, iar datele sunt furnizate printr-o interfață serială care admite și comenzi AT, viteze posibile fiind între 1200bps și 1Mbps. Comunicarea radio poate fi criptată (AES) iar corectitudinea transmisiei este asigurată de un mecanism de confirmare (ACK) și

reîncercare. Puterea de emisie este de maximum 50mW (17dBm) la 2,4GHz. Pentru legătura cu senzorii modulul are 10 pini de I/O și un canal de conversie A/D pe 10 biți. Tensiunea de alimentare poate fi între 2,1V și 3,3V, curentul maxim (în cazul transmisiei) fiind de 295mA. Există și variante de module cu consum mic și rază de transmisie mai mică.

Aceste module pot realiza o rețea *mesh* și astfel se pot implementa rețele cu proprietăți de descoperire a noilor dispozitive, eliminarea dispozitivelor defecte etc. Astfel modelul XBee-PRO asigură doar o comunicație punct la punct iar XBee Znet poate fi interconectat într-o rețea *mesh*.

Un transceiver ZigBee care se poate conecta cu ușurință la un microcontroller este transceiverul MRF24J40 de la Microchip, compatibil cu speciificațiile IEEE.15.4. Pe lângă protocolul ZigBee transceiverul poate implementa și MiWi sau protocele proprietare. Pentru conectarea cu microcontrollerul se folosește o interfață SPI cu 4 fire. Structura și performanțele circuitului sunt asemănătoare cu ale unui transceiver Bluetooth. Circuitul are integrate două generatoare de tact, unul de 20MHz care poate fi folosit și ca tact pentru microcontroller și unul de 32,768kHz. Curentul absorbit este mai mic de 22mA la emisie și 18mA la recepție, fiind tipic de 2μA în modul adormit. Capsula este mică, 40 de pini QFN. Schema bloc simplificată a circuitului este dată în figura 7.22.

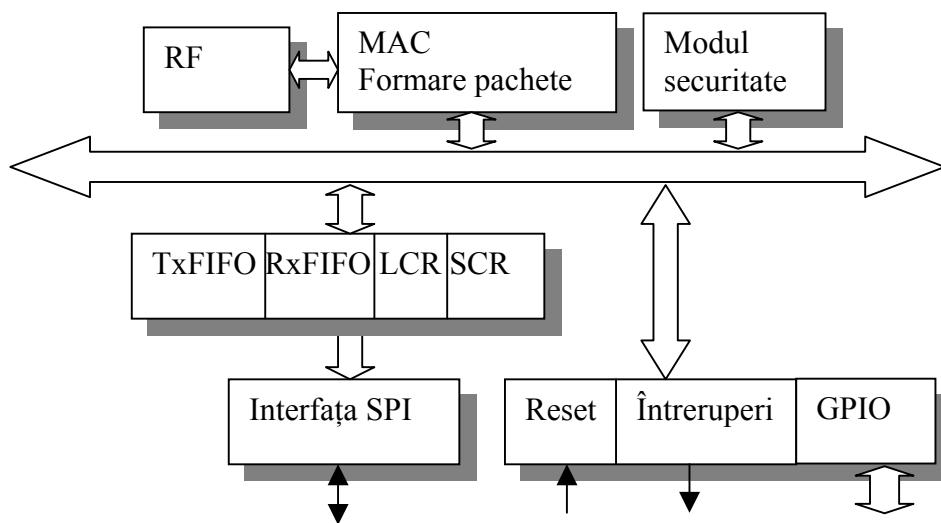


Figura 7.22: Schema bloc simplificată a transceiverului MRF24J40

Schema bloc prezintă funcționalitatea logică fără să prezinte amănunte referitoare la funcționarea radio, asemănătoare cu cea a unui circuit Bluetooth.

Memoria SRAM internă a circuitului este formată din bufferele de transmisie și recepție TxFIFO și RxFIFO, bufferul de securitate și registrele de control LCR (Long Control Register) și SCR (Short Control Register). Registrele de control se pot scrie și citi direct prin interfața SPI și sunt folosite pentru configurarea, controlul și citirea stării circuitului. Adresele LCR sunt pe 10 biți iar adresele SCR sunt pe 6 biți. Modulul de securitate realizează criptarea

datelor la transmisie, decriptarea la recepție și criptarea datelor în memoria RAM. Un bloc de I/O oferă 6 linii de I/O de uz general.

Interfața SPI este folosită pentru citirea /scrierea datelor precum și pentru citirea / scrierea adreselor SCR și LCR, figura 7.23.

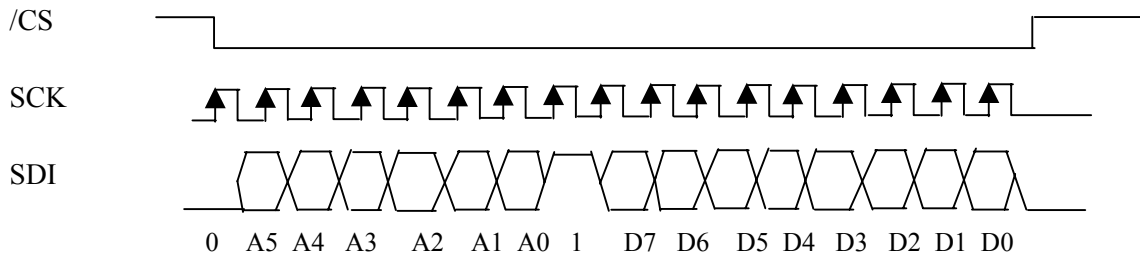


Figura 7.23: Scrierea pe SPI a unei adrese SCR

Spațiul de adresare pentru registrele SCR este accesat prin trimiterea unui 0 ca prim bit, după care urmează adresa registrului urmată de un bit de 1 și datele de scris. La fel se face și citirea unui registru SCR, după adresa trimisă pe SDI se trimite un bit de 0, apoi pe SDO se pot citi cei 8 biți ai registrului. La scrierea / citirea LCR adresa de 10 biți este încadrată de un bit de 1 la început și un bit de 0 la sfârșit la citire, respectiv 1 la scriere. Bufferele de date sunt mapate în memorie și pot fi citite / scrise ca și registrele LCR.

Pachetele ZigBee sunt formate în blocul circuitului dedicat acestui scop și au lungimea între 5 și 127 de octeți, figura 7.24. Pachetul începe cu un **preambul** de 4 octeți urmat de un octet **început de cadru** (*Start of Frame SFD*). Această informație este inserată automat de MRF24J40 la transmisie și eliminată la recepție, ușurând astfel sarcina microcontrollerului. Urmează apoi un octet care reprezintă **lungimea pachetului**, fără să fie socotit preambulul, SFD și el însuși.

Câmpul **control cadru** descrie tipul cadrului, far (semnalizare), ACK, de date etc., dacă este criptat sau nu, dacă solicită un cadru de confirmare ACK sau nu, specifică formatul adreselor sursă și destinație, informația fiind folosită de microcontrollerul gazdă. Câmpul **număr secvență** este utilizat în procesul de confirmare ACK. Un pachet ACK nu conține adrese așa că doar din acest câmp se poate determina dacă pachetul a ajuns la destinație.

**Câmpul de adrese** poate să lipsească, poate fi o adresă scurtă sau lungă, așa cum este specificat în câmpul Control Cadru. La sosirea unui pachet circuitul rejectează cadrele care nu îi sunt adresate, fără nicio intervenție din partea microcontrollerului gazdă. Adresa lungă constă din trei octeți numiți EUI (Extended Organizationally Unique Identifier, distribuit de IEEE 802.15.4). Adresa sursei este automat introdusă în cadru iar adresa destinației trebuie introdusă de microcontrollerul gazdă.

Tip câmp	Lungime (octeți)
Preambul	4
Început cadru	1
Lungime cadru	1
Control cadru	2
Număr secvență	1
Adresa destinației	0, 4, 10
Adresa sursei	0, 2, 4, 8, 10
Date	0-122
CRC	2

↑  
Intră în  
calculul  
CRC
↑  
Intră în calculul  
lungimii  
cadrului

Figura 7.24: Cadrul ZigBee

**Câmpul de date** poate fi între 0 octeți și 122 octeți. Dacă lungimea cadrului depășește 127 octeți, cadrul va fi rejectat. **Câmpul CRC** numit FCS (Frame Check Sequence) are 2 octeți și este verificat la recepția unui cadru. MRF24J40 poate abandona cadrul la care CRC nu este corect sau îl poate transmite microcontrollerului în funcție de o setare la recepție. La transmisie MRF24J40 adaugă automat CRC.

Modulul MAC din MRF24J40 se ocupă cu transmisia și recepția cadrelor. La transmisie adaugă automat preambulul și începutul de cadru și eventual CRC dacă este programat. Microcontrollerul trebuie să scrie în bufferul TxFIFO restul de câmpuri din cadru. Înainte de transmisie MRF24J40 trebuie inițializat. Modulul MAC asigură controlul bufferelor TxFIFO, asigură alinierea în timp a informației transmise (conform CSMA-CA, Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance). Sunt implementate patru buffere TxFIFO pentru stocarea cadrelor de semnalizare (Beacon), normale sau GTS (Guaranteed Time Slot). MAC asigură asamblarea supercadrelor. Supercadrul este o structură opțională, figura 7.25.

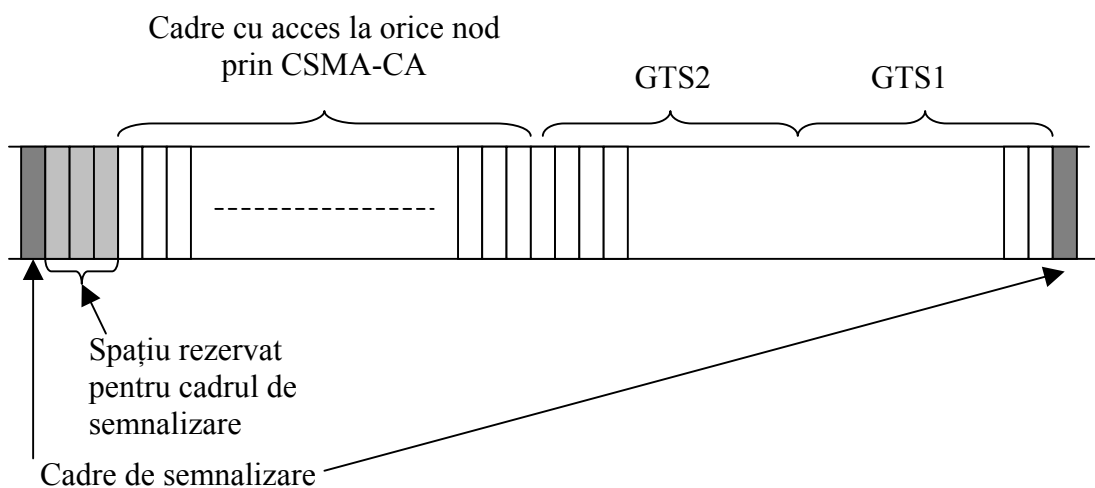


Figura 7.25: Structura unui supercadru

Coordonatorul emite un cadru de semnalizare prin care stabilește structura cadrelor și forțează nodurile care au date de trimis să le trimită în perioada rezervată după cadrul de semnalizare.



Urmează apoi o perioadă rezervată accesului liber al nodurilor prin CSMA-CA, dacă nu este în curs o altă transmisie. Partea a doua a supercadrelui este alocată transmisiilor de date care au nevoie de o bandă garantată, GTS. Alocarea unui slot de timp transferurilor care au nevoie este un concept întâlnit și la USB și la IEEE 1394. La recepția cadrelor fiecare cadru este verificat conform cu filtrul de acceptanță definit. Dacă cadrul este adresat circuitului respectiv, dacă tipul cadrului este corect, eventual dacă CRC este corect (dacă circuitul este programat în acest sens) cadrul este stocat în RxFIFO și microcontrollerul gazdă este anunțat printr-o întrerupere.

Cadrul rămâne în RxFIFO până gazda îl citește. Se poate defini un mod de citire numit mod de eroare în care se citesc toate cadrele cu preambul și delimitatori corecți, chiar dacă nu au trecut celelalte condiții de acceptanță. MAC adaugă în RxFIFO doi octeți, unul LQI (Link Quality Index) și RSSI (Receive Signal Strength Indicator) pentru a putea fi citiți de gazdă.

### 7.5.2. Microcontroller ZigBee

O soluție ZigBee pe un singur chip de la ST este microcontrollerul SN250 [13], un circuit mic, cu 48 de pini. Microcontrollerul include o unitate centrală XAP2b pe 16 biți și un transceiver IEEE 802.15.4, figura 7.26.

Transceiverul conține blocul de recepție cu filtre concepute pentru a evita interferențele cu WLAN și Bluetooth și blocul de emisie cu puterea de 3dBm. Memoria integrată este de 128k octeți Flash și 5k octeți SRAM. Două controllere seriale asigură standardele de interfață I<sup>2</sup>C, UART și SPI. Ca circuite de timp sunt integrate două timere de 16 biți și un watchdog. Un convertor ADC sigma delta de 12 biți asigură achiziția de semnale analogice și 17 linii de I/O de uz general cu semnificații duble asigură interfața cu procesele digitale. Circuitul poate lucra în moduri cu economie de energie, în mod Sleep consumând 1μA cu tact generat intern cu un circuit RC. Este posibilă și conectarea unui tact extern de 32,768kHz pentru moduri Sleep care necesită acuratețe temporală. Microcontrollerul este livrat cu software numit ZNet pentru implementarea stivei ZigBee.

Microcontrollerul este împărțit în două domenii de alimentare, unul alimentat tot timpul care conține blocul GPIO, un canal serial, watch dog-ul și alte câteva blocuri esențiale pentru controlul funcționării și un domeniu care poate avea alimentarea întreruptă pentru economia de energie.

Microcontrollerul poate fi utilizat în două moduri de acces. Primul, **mod sistem** asigură accesul la toate resursele interne- MAC, RF, Power Management, Watch dog, PTI (Packet Trace Interface). Pentru a proteja software-ul ZNet de eventuale erori, în al doilea mod numit **mod aplicație** designer-ul de aplicații nu are acces la toate resursele.

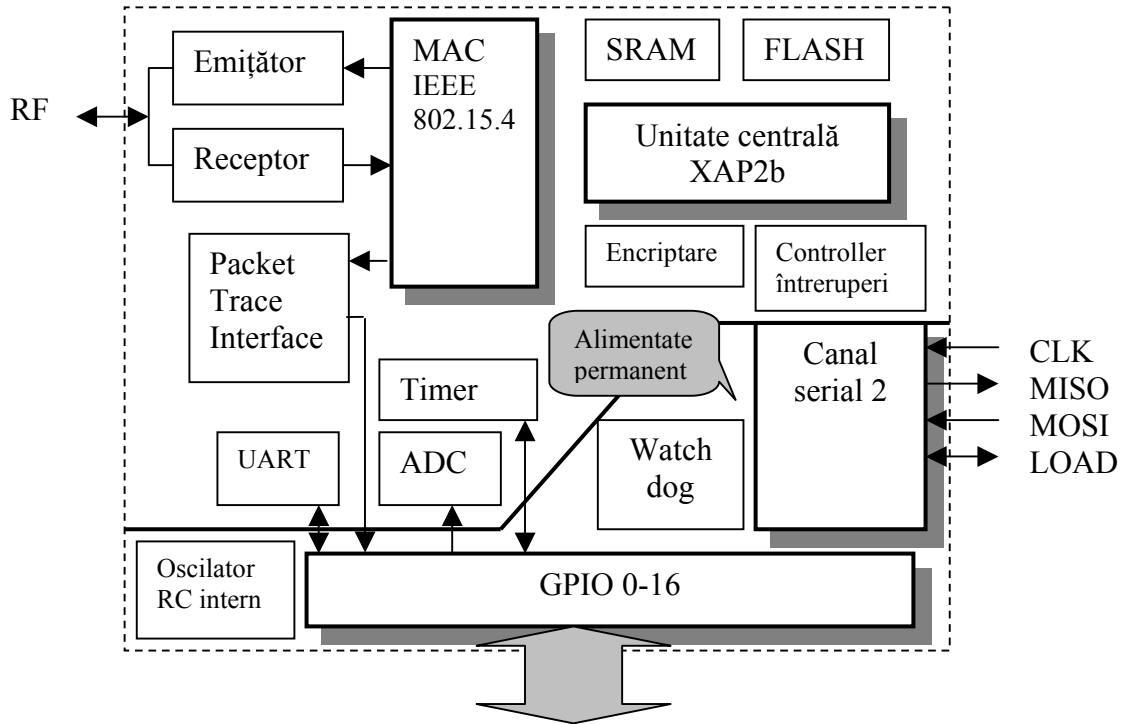


Figura 7.26: Schema bloc a microcontrollerului ZigBee SN250

Calea de recepție conține un receptor superheterodină diferențial, semnalul de RF fiind transformat în semnal de 4MHz într-un mixer. Semnalul din mixer este convertit în semnal digital cu un ADC de 12Mps. Semnalul digital este demodulat și sincronizat prin preambulul ZigBee. Blocurile analogice ale receptorului sunt calibrate de către ZNet, inclusiv datorită variației cu temperatura și tensiunea de alimentare. Receptorul calculează RSSI (Receive Signal Strength Indicator) într-o perioadă de 8 simboluri și la sfârșitul cadrului. Transmițătorul are o structură diferențială ca și receptorul, realizează modularea semnalului, conversia DAC și poate fi calibrat. Dacă o aplicație necesită putere mai mare de emisie, SN250 are un semnal TX\_ACTIVE care poate fi folosit pentru validarea unui amplificator de putere extern.

Modulul MAC lucrează DMA cu memoria RAM pentru a minimiza intervenția unității centrale. Când un cadru este gata de transmisie software-ul indică modulului MAC locația din RAM, modulul MAC așteaptă eliberarea canalului de comunicație, calculează CRC-ul și îl adaugă la cadru și transmite cadrul către transmițător. În majoritatea timpului modulul MAC este în modul recepție, verificând cadrele recepționate și filtrând informația. Modulul MAC verifică lungimea cadrului eliminând cadrele prea lungi, citește tipul cadrului și calculează CRC. Dacă cadrul este destinat circuitului el este salvat prin DMA în memoria RAM. La sfârșitul cadrului este adăugată informații statistice despre cadrul recepționat. Sarcinile MAC sunt:

- Generarea CRC, verificare și adăugare;
- Stabilirea perioadelor de timp pentru cadru;

- Adăugare automată preambul și început de cadru;
- Recunoaștere adresă și filtrare cadre la recepție;
- Transmitere automată de confirmare;
- Gestionarea transferului de date prin DMA cu memoria RAM;
- Atașarea informației la cadrele recepționate: LQI, RSSI, amplificare, stare pachet etc.;

Un modul special PTI (Packet Trace Interface) poate fi folosit la diagnosticarea rețelei. Acest modul monitorizează toate cadrele Tx și Rx printr-o interfață asincronă de 500kbps unidirecțională, doar de citire a cadrelor.

Unitatea centrală XAP2b a fost dezvoltată de Cambridge Consultants și are o arhitectură Harvard pe 16 biți, atât pentru date cât și pentru instrucțiuni. Adresarea este pe 15 biți pentru date, deci un spațiu adresabil de 32k și de 16 biți pentru instrucțiuni, deci 64k. Unitatea centrală are un sistem de protecție care permite programului ZNet să aibă acces la toate resursele în mod sistem, iar programul utilizator care rulează în mod aplicație are anumite restricții. Scrierea unor regiștri sau zone de memorie protejate în mod aplicație va determina o eroare în etapa de punere la punct a programului în mediul de dezvoltare.

Memoria Flash de 128k integrată este împărțită în 8 părți de 16k și este accesibilă o parte în zona de date și una în zona program. O zonă numită EEPROM simulat este accesibilă în modul aplicație. O zonă de 1024 octeți este rezervată datelor de identificare ale circuitului, inclusiv date de calibrare. Accesul la memoria RAM și EEPROM este permis la citire și scriere în mod sistem, iar în mod aplicație este permis la citire în toată memoria și la scriere doar în anumite zone, dedicate aplicației. În memorie este implementat și acceleratorul de criptare AES (Advanced Encryption Standard).

În modul aplicație este posibil accesul la modulele GPIO, controllerele seriale, timere și ADC. Liniile de I/O sunt comandate de câte doi regiștri de citire date, scriere date, direcție, validare rezistoare de pull up și validare rezistoare de pull down. Prin intermediul pinilor cu semnificații duble din GPIO pot fi accesate unele module interne. Un registru de control configurează semnificația acestor pini.

Controllerul serial UART realizează transmisia asincronă UART și sincronă SPI sau I<sup>2</sup>C dar nu simultan. Schema bloc modulului este dată în figura 7.27.

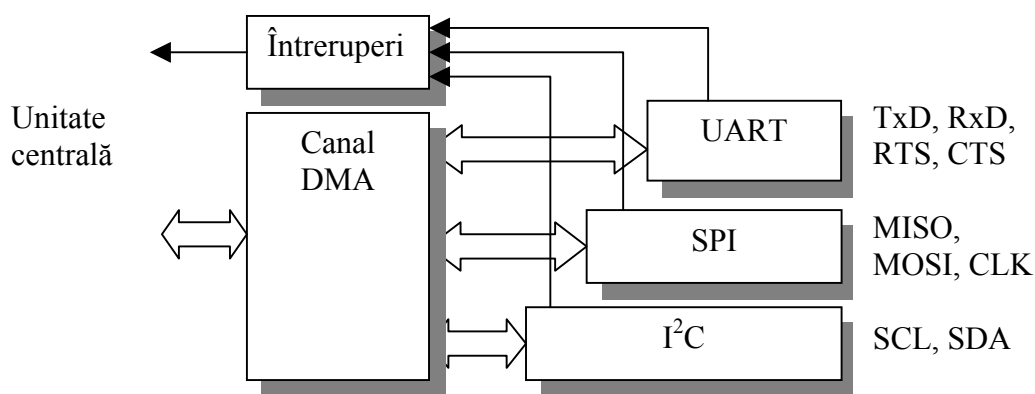


Figura 7.27: Schema bloc a controllerului serial UART

Transferul datelor are loc prin DMA, datele fiind stocate în buffere de 4 octeți. Al doilea canal serial are o schemă bloc asemănătoare, lipsește însă interfața UART.

Convertorul ADC este un convertor sigma delta cu frecvența de eșantionare programabilă, maximum 1MHz, figura 7.28. Timpul de eșantionare poate fi ales între 32μs și 4096μs în registrul de configurare al ADC. Sursele de semnal analogic pot fi 4 intrări ADC ADC0-ADC3 unipolare sau diferențiale ADC0-ADC1 și ADC2-ADC3, iar pentru test se pot alege ca surse tensiunea de alimentare la intrare (2,1V-3,6V, se poate astfel monitoriza starea bateriei de alimentare), sursa de alimentare pentru nucleu (1,8V) sau Vref. Tensiunea Vref este realizată din tensiunea de alimentare, este de 1,2V și se poate folosi pentru calibrarea convertorului. După validarea funcționării convertorului cu un bit în registrul de configurare convertorul va realiza conversii continuu, după fiecare conversie activând un semnal de întrerupere. Bitul de întrerupere trebuie șters pentru ca terminarea unei noi conversii să îl poată seta din nou.

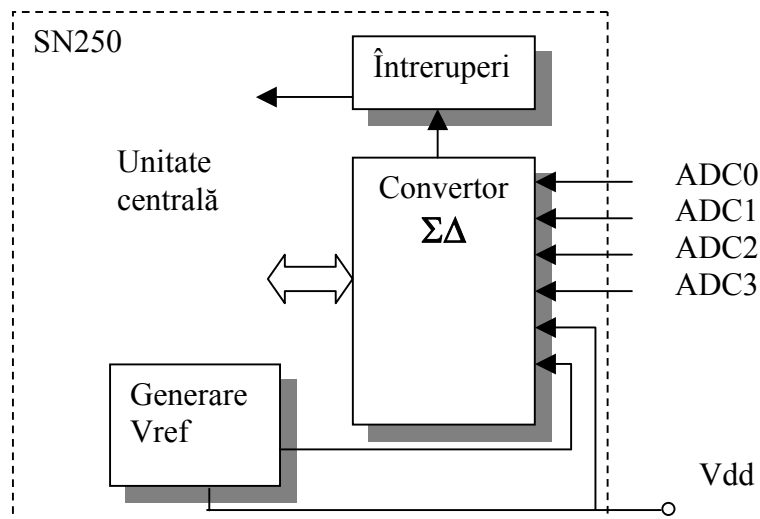


Figura 7.28: Schema bloc a convertorului sigma delta

SN250 conține două timere pe 16 biți cu următoarele caracteristici:

- Tact configurabil, tact principal 12MHz, 32,768kHz, tact RC 1kHz, sau de la o sursă externă, toate aceste tacte având posibilitatea de divizare;
- Regiștri de numărare pot fi încărcăți;
- Fiecare timer are asociați 2 regiștri de comparare la ieșire și 2 de captură la intrare;
- Timerele pot fi configurate pentru a genera semnale PWM;
- Funcționarea poate fi cu o singură numărare sau continuă.

În modul numărare timerul admite numărare înainte, înapoi și alternantă (înainte, înapoi, înainte). La numărarea înainte numărarea continuă până la atingerea unei valori stocate într-un registru, iar cea înapoi până la zero. În modul de comparare, se introduc 2 regiștri suplimentari CMP A și CMP B de comparare. În modul captură la intrare există 2 regiștri care rețin valoarea numărată la apariția unui semnal de declanșare din exterior.

În figura 7.29 se dau ca exemplu formele de undă pentru modul de comparare la ieșire.

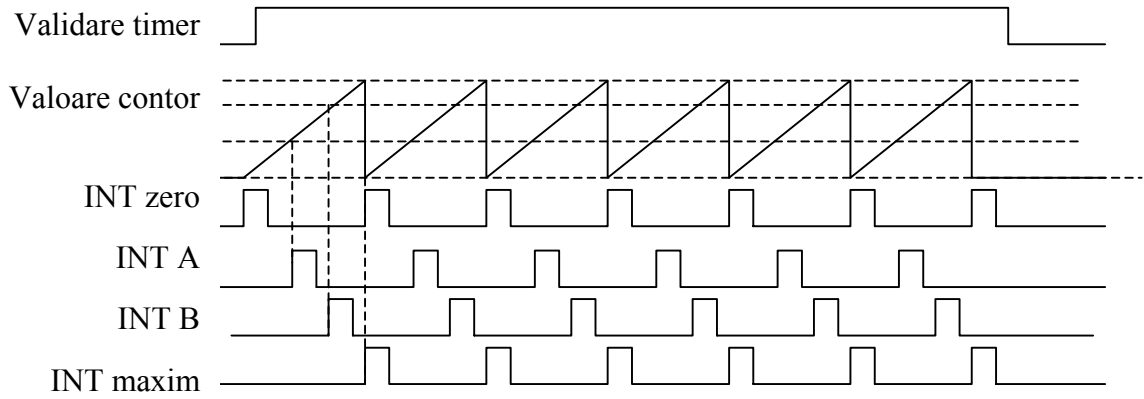


Figura 7.29: Funcționarea timerului în mod comparare la ieșire

Contorul se incrementează între 0 și valoarea stocată în registrul de valoare maximă, apoi numărarea este reluată. Se cer întreruperi la atingerea valorii de zero, a valorii din registrul CMP A, CMP B și registrul de valoare maximă. Mai multe amănunte despre timere sunt date în [14].

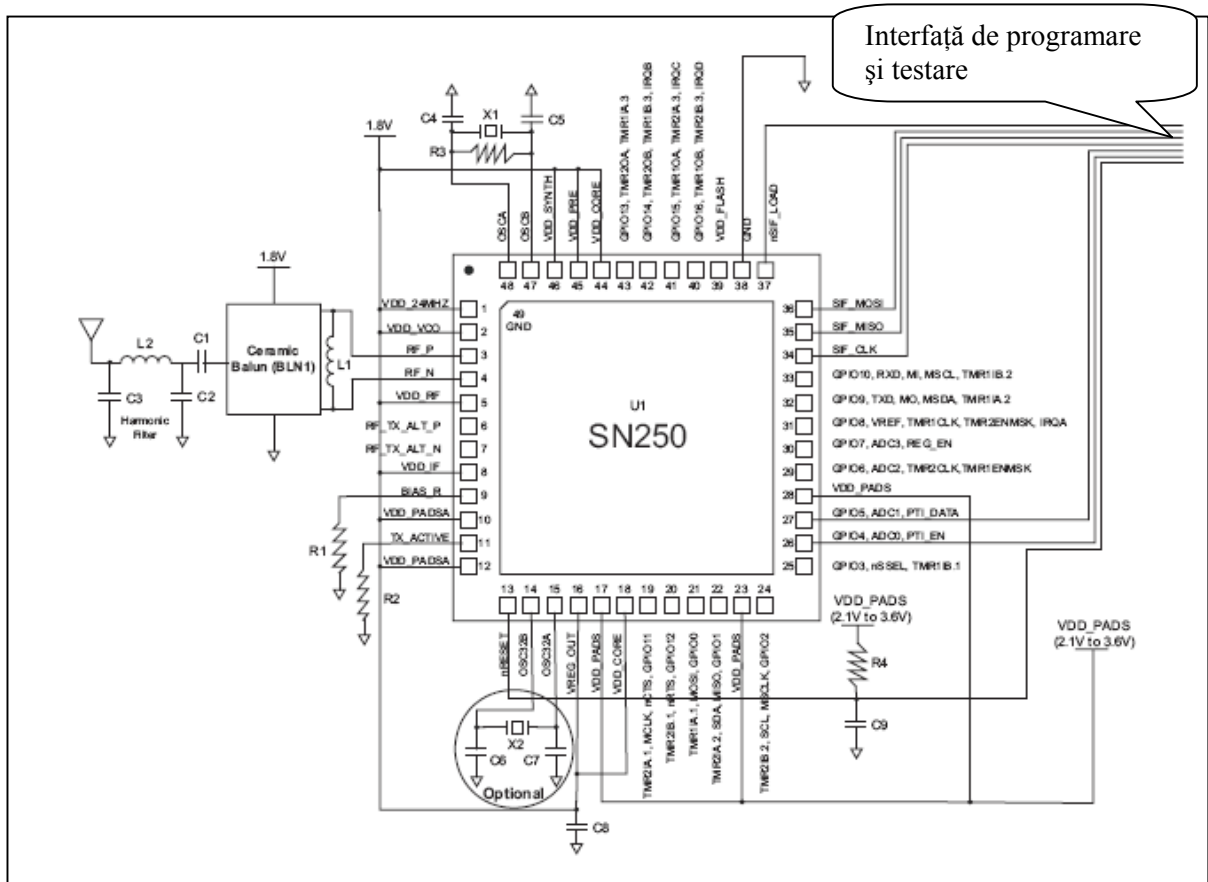


Figura 7.30: SN250, schema electrică de aplicație tipică

O interfață special concepută de Cambridge Consultants este interfața SIF, serială sincronă destinată diagnosticului și programării circuitului SN250. Prin această interfață se pot citi și scrie regiștri din memorie în timp real, fără a afecta funcționalitatea circuitului. Această interfață se folosește la testarea în stadiul de producție a circuitului și în stadiul de producție a plachetei echipate, precum și pentru dezvoltarea de programe. Interfața este de tip SPI cu un semnal suplimentar de LOAD care trezește circuitul din modul de lucru cu economie de energie.

O schemă electrică a unei aplicații tipice este dată în figura 7.30. Un Balun (Balanced Unbalanced) adaptează impedanțele între SN250 și antenă pentru Tx și Rx. Un cristal de 24MHz asigură tactul de bază pentru circuit iar cristalul de 32,768kHz (opțional) asigură tactul pentru modul de lucru cu economie de energie.

## 7.6. RFID

Identificare prin frecvență radio (*Radio-Frequency Identification* sau RFID) este o metodă de identificare automată care se bazează pe stocarea și regăsirea datelor la distanță, folosind dispozitive numite etichete RFID (*tag RFID*) și transmițătoare RFID. Tehnologia necesită o cooperare a unui aparat cititor de RFID cu eticheta RFID. O etichetă RFID este un obiect mic sau foarte mic (sub 1 mm x 1 mm) care poate fi aplicat sau încorporat într-un produs, animal, sau chiar persoană, cu scopul de identificare și urmărire, folosind undele radio. Unele etichete pot fi citite de la mulți metri depărtare, chiar mult peste 50 m, iar eticheta se poate afla și în afara razei de vedere a cititorului.

O istorie a RFID scrisă de unul dintre cei care au dezvoltat această tehnologie este [15]. H. Stockman a scris în 1948 prima lucrare care prevede posibilitatea RFID “Communication by Means of Reflected Power”. În 1960 R. F. Harrington studiază teoretic RFID dar primul patent a fost acordat lui H.W. Cardullo în 1973 pentru o etichetă RFID cu memorie [16]. În 1970 guvernul SUA a început cercetările la Los Alamos pentru un sistem de urmărire a materialelor nucleare, avându-l ca membru pe J. Landt. Preluarea ideii de RFID în comerțul retail a constat în eticheta de un bit- articol plătit sau nu, în 1960. După Los Alamos cercetătorii au fondat propria companie pentru dezvoltarea de aplicații comerciale. Primele etichete au fost realizate cu funcționare la 125kHz, dar frecvența a crescut ulterior pentru a extinde raza de acțiune. În 1999 a fost fondat la MIT Auto-ID Center de câteva companii importante pentru a realiza tag-uri ieftine care se pot atașa pe orice produs. La Auto-ID Center s-au alipit peste 100 de companii până în 2003 și au dezvoltat EPC (Electronic Product Code) și o arhitectură de rețea cu acces Internet pentru gestionarea datelor.

Cele mai multe etichete (tag-uri) RFID conțin cel puțin două părți, figura 7.31.

- un circuit integrat pentru stocarea și prelucrarea de informații, modulare și demodulare a unui semnal de radio-frecvență (RF), și alte funcții de specialitate (*transponder RFID*);
- o antenă pentru recepționarea și transmiterea de semnale radio.

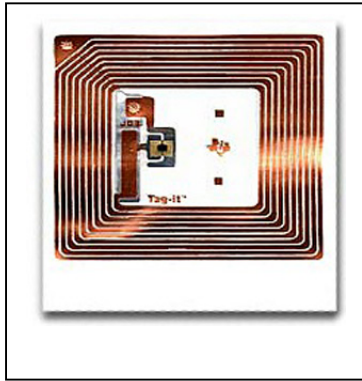


Figura 7.31: Eticheta RFID

Astăzi tehnologia RFID este deja folosită în domenii foarte numeroase. De exemplu în lanțul de aprovizionare al întreprinderilor, pentru a îmbunătăți eficiența inventarelor, pentru urmărirea produselor în cursul fabricației și pentru managementul produselor. Alte exemple care sunt rezolvate automat cu ajutorul RFID:

- măsurarea timpului de la cursele atletice;
- controlul pașapoartelor;
- aplicarea taxelor rutiere pe anumite autostrăzi etc.;
- urmărirea produselor (vacile unei cirezi, cărțile unei biblioteci, transcontainerele unui vapor);
- urmărirea locomotivelor și vagoanelor la căile ferate;
- autentificarea persoanelor care doresc să intre în zone speciale;
- paza și inventarierea în muzee.

Din cauza miniaturizării permanente a tag-urilor, ajunsă până acolo încât ele sunt din ce în ce mai greu de văzut și recunoscut, a apărut și o problemă gravă - cea a potențialului pentru spionaj aproape invizibil, în cele mai diverse domenii.

În figura 7.32 se observă cititorul (stânga) care generează un câmp electromagnetic pentru alimentarea transponderului din eticheta RFID. Aceeași bobină este folosită ca antenă pentru transferul de date.

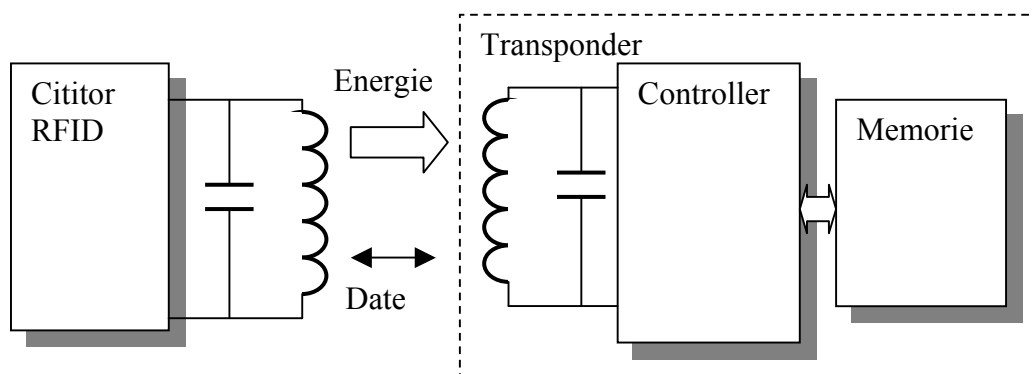


Figura 7.32: Structura sistemului RFID

Etichetele pot fi pasive (ca în figura 7.32, cazul cel mai frecvent), ele folosesc energia furnizată de cititor, fiind astfel mai mici, mai ieftine și având o viață mai lungă. Pentru extinderea razei de funcționare etichetele pot fi active, având o sursă de alimentare proprie.

Frecvența de lucru poate fi 125kHz care asigură un preț scăzut dar o rată mică de transfer și o etichetă de dimensiuni mai mari. O altă frecvență este de 13,56MHz care elimină dezavantajele de la 125kHz dar costurile sunt mai mari. Alte frecvențe utilizate în prezent sunt cea de 869MHz – 950MHz (funcție de zona geografică) și 2,4GHz, banda ISM în care se aglomerează aproape toate tipurile de comunicații de rază scurtă. O aplicație RFID la frecvența de 125kHz cu etichetă activă a fost descrisă în capitolul de aplicații auto la monitorizarea presiunii în pneuri.

Din punctul de vedere al inițierii transferului există două situații, când eticheta inițiază transferul când intră în zona de acțiune a cititorului (TTF, Tag Talks First) cu dezavantajul că intrarea simultană a mai multe etichete duce la apariția unor întârzieri și a doua situație când cititorul interoghează continuu zona de acțiune și identifică eticheta care intră în zonă (RTF, Reader Talks First).

### 7.6.1. Sistem RFID- cea mai simplă implementare

Cel mai simplu mod de implementare este de a achiziționa o interfață specializată de citire /scriere a etichetelor, cum este cea de la Netronix, H1M-005 [17]. Interfața lucrează la frecvența de 125kHz, poate fi alimentată între 4,1V și 5,5V, asigură un debit de 4kbps la maximum 20cm. Legătura cu un calculator gazdă sau microcontroller se face prin RS232 la viteza de 9600Bd. Conectarea este simplă, ca în figura 7.33.

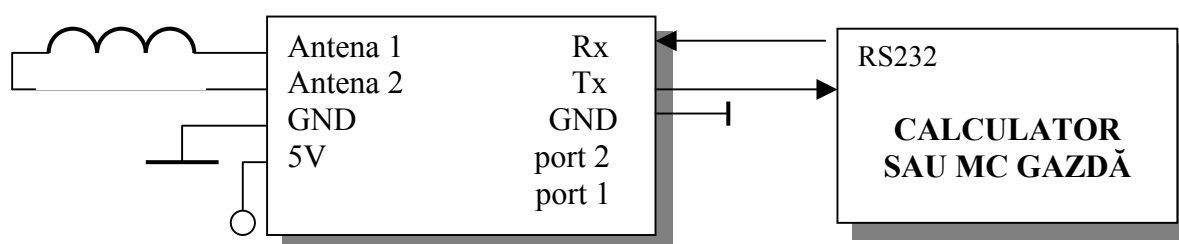


Figura 7.33: Conectarea modulului Netronix H1M-005

Formatul comenzii către etichetă și al răspunsului primit sunt date în Tabelul 1 respectiv Tabelul 2:

Tabelul 1

Adresa modulului	Lungime cadru	Comandă	Parametri (1..n)	CRC
1 octet	1 octet	1 octet	n octeți	2 octeți



Tabelul 2

<b>Adresa modulului</b>	<b>Lungime cadru</b>	<b>Răspuns</b>	<b>Parametri (1..n)</b>	<b>Confirmare operație</b>	<b>CRC</b>
1 octet	1 octet	1 octet	n octeți	1 octet	2 octeți

Fiecare etichetă are o adresă, dacă adresa pusă de cititor este 00H nu va răspunde nici un modul, dacă este FFH vor răspunde toate modulele aflate în raza de acțiune. Parametri există sau nu în funcție de tipul comenzii. Confirmarea operației specifică în răspuns corectitudinea execuției.

Transponderul HITAG1 din etichetă este văzut de cititor ca o memorie organizată în 16 blocuri, fiecare bloc are 4 pagini, fiecare pagină are 4 octeți, deci un total de 256 octeți în 64 de pagini. Blocurile 0 și 1 sunt rezervate pentru configurare. Unele blocuri sunt publice, iar altele sunt protejate la citire.

Pentru exemplificare se descriu câteva comenzi și răspunsuri care pot fi trimise de calculatorul gazdă spre HIM-005 prin interfața serială în formatul din Tabelul 1 respectiv Tabelul 2:

- Scriere în etichetă - codul instrucțiunii este A0H, parametri sunt 4 octeți de scris și adresa paginii (sunt 64 de pagini, adresa este între 00H și 3FH). Codul răspunsului este A1H, ca parametri este dată adresa etichetei și confirmarea operației care este FFH dacă s-a scris cu succes;
- Citirea din etichetă - codul instrucțiunii este A2H, parametru este adresa paginii. Codul răspunsului este A3H, ca parametri este dată adresa etichetei, cei 4 octeți de date citiți și confirmarea operației care este FFH dacă s-a citit cu succes;
- Comanda de cuplare / decuplare a câmpului electromagnetic generat de antenă - codul comenzii este 10H /12H, fără parametri, răspunsul are codul 11H /13H și confirmarea operației întotdeauna FFH;
- Scrierea / citirea unui bit din liniile de I/O locale ale HIM-005- codul comenzii este E0H / E2H, parametru este numărul portului și bitul de scris, codul răspunsului este E1H / E3H, parametru bitul citit și confirmarea operației întotdeauna FFH;
- Setarea amplificării receptorului - codul comenzii este F0H, parametru este amplificarea (0,1,2 sau 3), codul răspunsului este F1H și confirmarea operației întotdeauna FFH.

În figura 7.34 este arătat un model experimental de sistem RFID cu Netronix HIM-005 realizat ca și proiect de licență. În stânga este modulul electronic cu HIM-005 și un microcontroller ca și sistem gazdă, cu antena cuplată și o etichetă HITAG1 în partea de jos a fotografiei. În dreapta este o captură de ecran a softului pus la dispoziție de Netronix pentru citirea / scrierea etichetei.

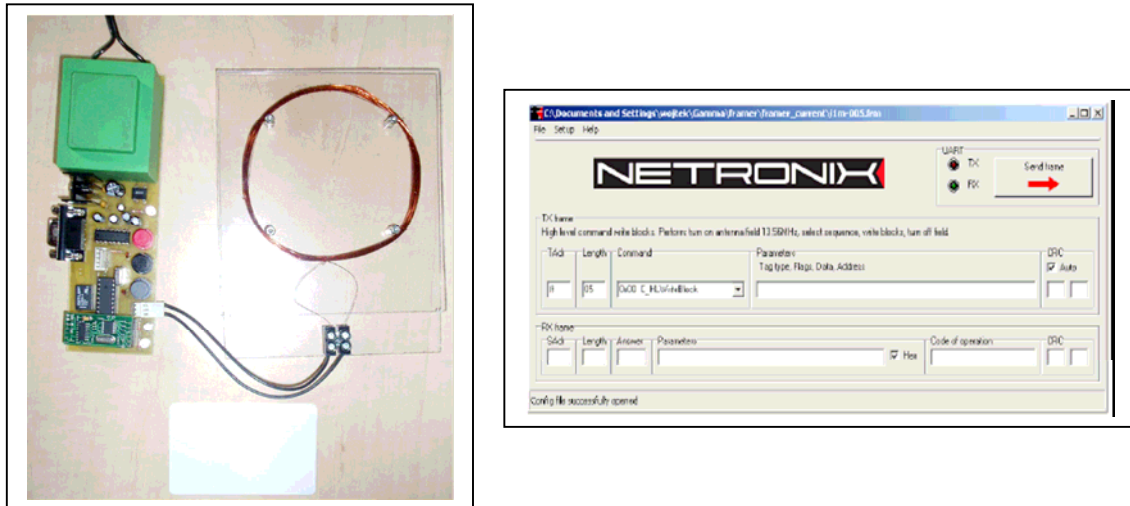


Figura 7.34: Model experimental de sistem RFID cu Netronix HIM-005

### 7.6.2. Eticheta RFID

O etichetă RFID la frecvența de 125kHz poate fi implementată cu transponderul Atmel U3280M. Acest transponder conține în principal o memorie EEPROM de 256 biți organizată în 32x16 biți, o interfață serială pe 2 fire pentru comunicația cu un microcontroller gazdă cu un debit de maximum 10kBd, un modul de codificare / decodificare a datelor în cod bifazic sau Manchester, permite modularea datelor în amplitudine și gestionarea alimentării din câmpul electromagnetic sau de la baterie. Utilizări posibile sunt la sisteme de acces, senzori de poziție wireless, etc. Schema bloc a unei etichete cu U320M este dată în figura 7.35.

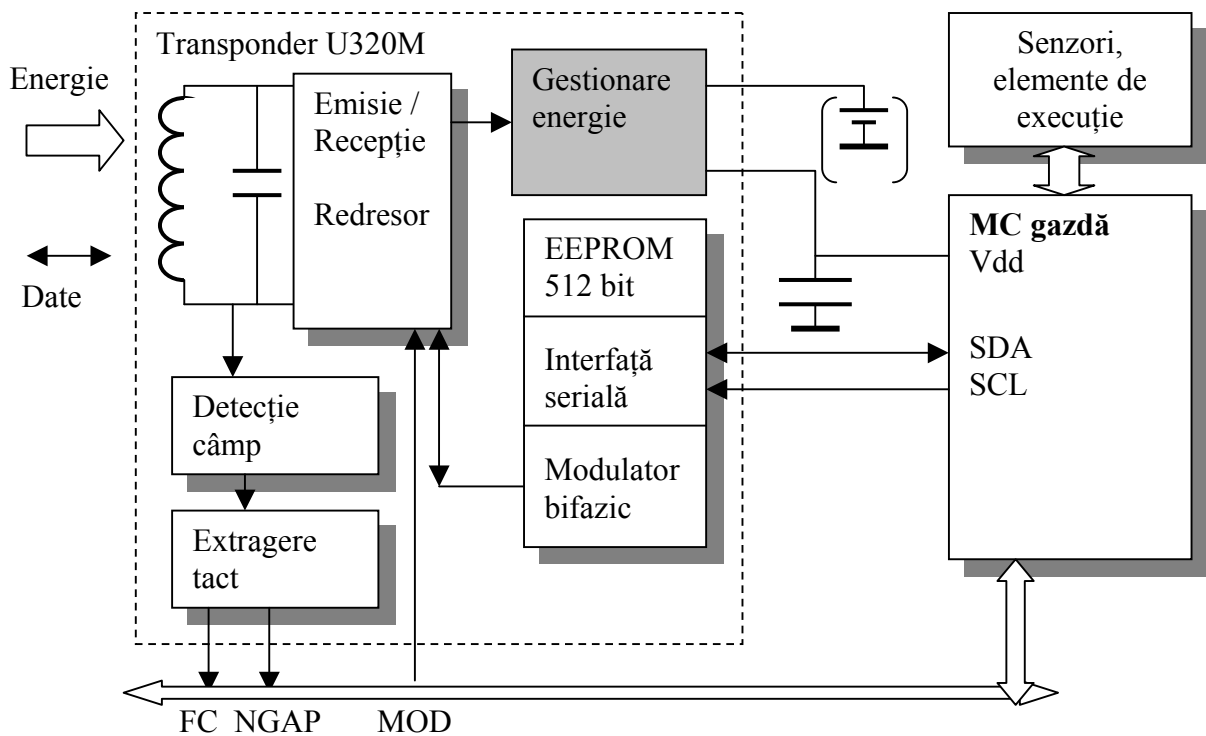


Figura 7.35: Schema bloc a unei etichete cu U320M

Circuitul de intrare preia energia și semnalul din câmpul electromagnetic prin circuitul oscilant LC și îl redresează. Circuitul de gestionare a energiei comută alimentarea pe o baterie externă (opțional) sau pe energia câmpului, dacă acesta există. Tensiunea de alimentare este scoasă la un pin astfel încât să poată fi alimentat și microcontrollerul gazdă. Un condensator asigură existența tensiunii pe perioada în care câmpul este folosit pentru comunicare. Pentru comunicare se poate modula intensitatea câmpului (cu pinul MOD) iar un circuit de intrare detectează lipsa câmpului (gap) și generează semnalul NGAP. Un circuit extrage tactul din câmp și formează semnalul FC, figura 7.36. Pentru ca microcontrollerul să fie trezit la apariția câmpului semnalul NGAP trebuie conectat la o cerere de întrerupere.

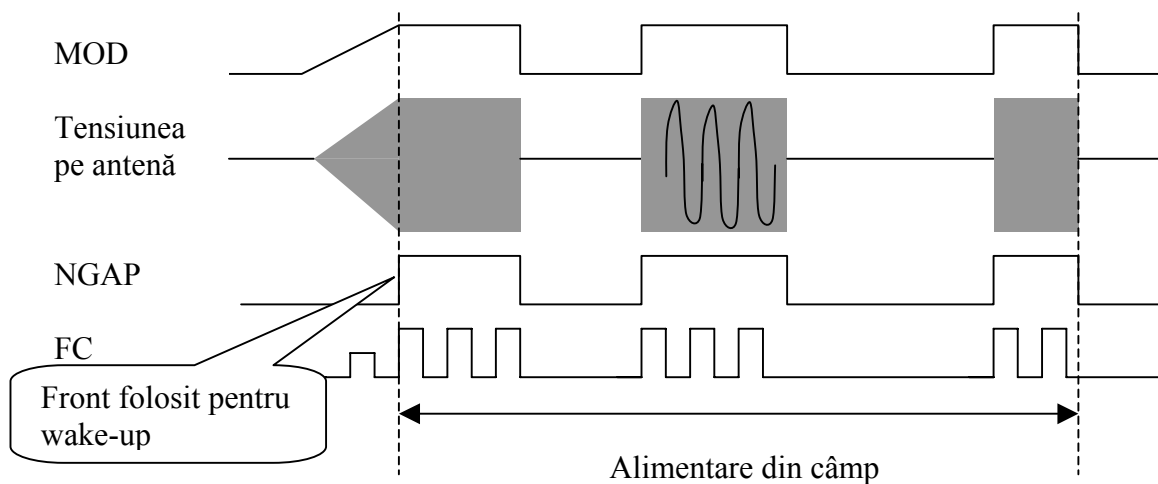


Figura 7.36: Diagrame de timp pentru circuitul de antenă

Interfața de comunicație este o interfață serială pe 2 fire ( $I^2C$ ) care trebuie controlată de un master și prin care se pot scrie sau citi date din EEPROM. Prin interfața serială se pot controla modulatorul sau blocul care gestionează energia. Cele 2 linii care compun interfața serială sunt SCL (tact) și SDA (date).

Formatul secvenței de date la transfer este următoarea:

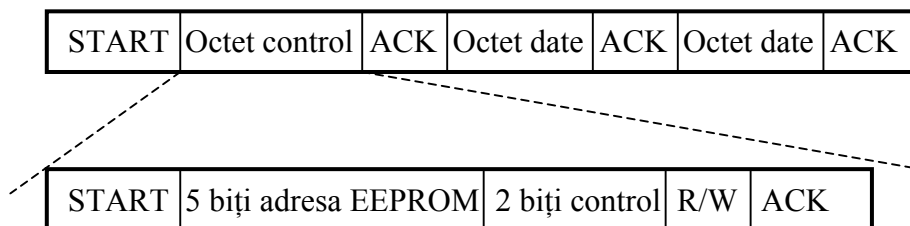


Figura 7.37: Structura secvenței de transfer prin interfața serială

Condiția de START este un front descrescător al SDA când SCL este 1 logic iar STOP un front descrescător când SCL este 1 logic. Biții de date apar când SCL este 0 logic. Pentru confirmarea ACK master-ul inserează un tact SCL în plus și slave-ul pune linia în 0 dacă transmisia a fost corectă și în 1 dacă nu a fost corectă.

Octetul de control conține adresa de rând a memoriei EEPROM organizată în 32x16 cuvinte. Bitul R/W arată dacă este vorba de o citire sau scriere. În urma acestei comenzi un buffer de date de 16 biți se umple cu informația citită din EEPROM sau transmisă prin serială pentru a fi scrisă în EEPROM. Cei doi biți de control permit definirea octetului care se citește / scrie primul, cel mai semnificativ sau cel mai puțin semnificativ. Se poate defini și un mod de citire cu incrementarea automată a adresei.

Cu o combinație a biților de control se poate programa cu octetul de control modularea-bifazică sau Mancheste și modul de lucru cu comutarea automată de la alimentarea de la baterie la cea din câmpul electromagnetic. După alegerea modulării se pot trimite/ recepționa date de la modulator prin interfața serială, figura 7.38.



Figura 7.38: Structura secvenței de transfer cu modulatorul

### 7.7.Concluzii

1. Concepția, proiectare și realizarea practică a unei comunicații wireless este mai simplă decât pare, aceasta datorită circuitelor de interfațare specializate. Utilizarea circuitelor specializate micșorează timpul de realizare a unei aplicații – *Time to market*.
2. Concepția unui sistem electronic de comunicații începe cu un studiu pe net în ceea ce privește existența circuitelor specializate (pe paginile constructorilor de circuite- ATMEL, TI, Microchip etc.) apoi disponibilitatea comercială (pe paginile furnizorilor din România- Vitacom, ECAS, Adelaida, Farnell etc.);
3. Interfațarea unui circuit specializat cu un microcontroller se reduce de cele mai multe ori la conectarea printr-o interfață standard serială sau paralelă, de aceea este importantă studierea detaliată a acestor interfețe.

În [10] sunt date amănunte folositoare pentru înțelegerea acestui capitol și completări utile, de exemplu explicații privind comenzile AT, descrierea protocolului serial RS232 și compatibilitatea 16550 etc.

Un tabel comparativ al standardelor parcurse în acest capitol cu avantaje și dezavantaje este dat în tabelul următor:

	<b>ZigBee</b>	<b>GPRS</b>	<b>802.11</b>	<b>Bluetooth</b>	<b>Protocoale proprieta-re</b>
<b>Aplicații</b>	Monitorizare și control	Rețele internaționale de date și voce	Internet	Conectivitate între dispozitive	Conectivitate între dispozitive
<b>Durata bateriei</b>	Ani	Săptămâni	Săptămâni	Săptămâni	Luni
<b>Viteza</b>	250kps	2Mbps	54Mbps (300Mbps la n)	720kbps	115kbps
<b>Raza</b>	100m	Km	100m	100m	200m
<b>Avantaje</b>	Putere și cost mic	Rază mare de acțiune	Viteza	Comoditate	Preț și consum mic, simplitate
<b>Rețea</b>	Posibilă	Acces Internet	Posibilă	Posibilă	Greu de implementat

Prin analiza acestui tabel se pot deduce variantele optime de transmisie radio pentru fiecare aplicație. După alegerea principiului de transmisie se trece la alegerea variantei constructive. În acest capitol sunt prezentate de regulă câte trei variante constructive. Prima, cea mai simplă, care optimizează timpul de realizare a unei aplicații este folosirea unui modul specializat. A doua, un compromis între timpul necesar dezvoltării și costului este folosirea unui circuit de interfață conectat la microcontrollerul aplicației. A treia, care asigură costul cel mai redus al aplicației este utilizarea unui microcontroller care conține integrată interfața de comunicații aleasă. Totuși, în această variantă mai trebuie adăugat de regulă un circuit transceiver (partea de RF).

## **Bibliografie**

- [1] [http://www.coolcircuit.com/project/rf\\_remote/](http://www.coolcircuit.com/project/rf_remote/)
- [2] <http://www.hoperf.com/>
- [3] Ogruțan P., Gerigan C., Banciu N., *Memorii, interfețe și periferice. Interfețe specializate*, Ed. Transilvania Brașov, 2003, 190 pagini, ISBN 973-635-118-1
- [4] <http://www.telit.com/en/>
- [5] [www.semiconductorstore.com/pdf/newsite/Telit/GM862-GPS/GM862-GPS\\_Software\\_User\\_Guide\\_r4.pdf](http://www.semiconductorstore.com/pdf/newsite/Telit/GM862-GPS/GM862-GPS_Software_User_Guide_r4.pdf)
- [6] Gerigan C., Ogruțan P., Pană Gh., *Connecting More Measurement Devices to the Serial Asynchronous Interface*, Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Optimisation of Electric and Electronic Equipment, Brașov, May16-17 2002, ISBN 973-635-012-6, Vol III ISBN 973-635-015-0, pp 711-716

- [7] <http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [8] [www.adelaida.ro](http://www.adelaida.ro)
- [9] [www.farnell.ro](http://www.farnell.ro)
- [10] Gerigan C., Ogruțan P., *Tehnici de interfațare*, Ed. Transilvania Brașov, 2000, 315p., ISBN 973-9474-94-2
- [11] [www.temic.com](http://www.temic.com)
- [12] <http://www.digi.com/>
- [13] [www.st.com](http://www.st.com)
- [14] Ogrutan P., *Microcontrollere si controllere grafice Fujitsu*, Ed. Universitatii Transilvania Brasov, 2006, 182 pag, ISBN 973-635-621-3
- [15] Landt J., *The history of RFID*,  
[http://www.transcore.com/pdf/AIM%20shrouds\\_of\\_time.pdf](http://www.transcore.com/pdf/AIM%20shrouds_of_time.pdf)
- [16] <http://www.rfidjournal.com/article/view/1338/1/129>
- [17] [www.netronix.pl](http://www.netronix.pl)
- [18] Ogrutan P., Romanca M., Kertesz C.Z., *A Multisensor GPRS-Based Security System for Intelligent Building*, Acta Technica Napocensis, Electronics and Telecommunications, vol.48, Nr. 3, 2007, ISSN 1221-6542, pp. 45-48
- [19] Alexandru, M., Romanca, M., Ogrutan, P., *Remote temperature recording using Bluetooth technology*, Acta Technica Napocensis, Electronics and Telecommunications, vol.48, Nr. 3, 2007, ISSN 1221-6542, pp. 27-30