

Figura 2.15. Fenomenul de neliniaritate asociat măsurării cu ajutorul senzorilor.

Procedura de conversie în valori relative trebuie să transforme valoarea întreagă  $N_{CAN}$  primită de la CAN într-o reprezentare procentuală relativă asociată gamei 4–20 mA,  $y_r$ . Relația de calcul este imediată:

$$y_r = 100 \frac{N_{CAN} - N_{min}}{N_{max} - N_{min}} [\%]. \quad (2.6)$$

(În zonele neliniarităților, relația (2.6) este evident imprecisă.)

Această abordare este valabilă în condițiile în care circuitul electronic de măsură are parametri ideali, adică rezistența de conversie are valoarea exactă de 100  $\Omega$ , filtrul trece-jos are amplificarea în regim staționar 1, senzorii au caracteristici perfect liniare, etc.

În situațiile reale, semnalul prelucrat prin intermediul unui echipament electronic de măsură este afectat de o serie de erori datorate imperfecțiunilor elementelor de circuit. Deoarece majoritatea circuitelor electronice uzuale (la nivelul tehnologic actual) nu prezintă neliniarități semnificative, modalitatea în care imperfecțiunile elementelor de circuit afectează semnalele prelucrate poate fi descrisă de o relație liniară de tipul:

$$U \equiv (1 + \varepsilon_a) U^* + \varepsilon_{off}, \quad (2.7)$$

unde:  $U^*$  este valoarea corectă a semnalului,  $U$  este valoarea semnalului afectată de erori,  $\varepsilon_a$  este eroarea de amplificare a (pre-)filtrului analogic, iar  $\varepsilon_{off}$  este eroarea sistematică de offset cumulată a senzorilor și altor componente electronice.

Soluția clasică de eliminare a acestor erori este aceea de a realiza calibrarea echipamentului electronic prin introducerea în circuitul de măsură a unui număr de elemente de reglaj fin, atât pentru amplificarea diferitelor etaje, cât și pentru introducerea unui offset controlat cu rolul de a compensa devierea de la valorile nominale ale acestor parametri. Această soluție prezintă o serie de dezavantaje dintre, care pot fi menționate următoarele: creșterea complexității circuitului, cu efecte negative asupra costului și miniaturizării; posibilitatea dereglării circuitului, ca urmare a unor șocuri mecanice la transport sau în timpul exploatării; imposibilitatea automatizării procedurii de reglare, care presupune, în majoritatea cazurilor, o intervenție manuală asupra unui număr de potențiometri semireglabili prezenți în circuit.

O soluție mult mai bună este aceea de a realiza această calibrare a echipamentului electronic prin software. Soluția pornește de la observația că, în cazul prezenței erorilor,

valorile numerice corespunzătoare limitelor inferioară și superioară a domeniului de măsură sunt diferite de cele ideale dar pot fi determinate experimental. Astfel, valoarea  $N_{\min}$  se va citi direct din CAN, în condițiile în care, la intrarea circuitului, se aplică un semnal avînd valoarea egală cu limita inferioară a domeniului de măsură (4 mA). Ea se va nota prin  $\hat{N}_{\min}$  (semnul superior „^” indică faptul că valoarea a fost estimată experimental). În mod similar valoarea  $N_{\max}$  se determină aplicînd la intrare un semnal cu valoarea corespunzătoare limitei superioare a domeniului (20 mA). Rezultă  $\hat{N}_{\max}$ .

O dată determinate valorile estimate  $\hat{N}_{\min}$  și  $\hat{N}_{\max}$ , se poate realiza calibrarea circuitului de măsură utilizînd chiar relația (2.6) de transformare a valorii recepționate de la convertor în reprezentarea procentuală, înlocuind  $N_{\min}$  cu  $\hat{N}_{\min}$  și  $N_{\max}$  cu  $\hat{N}_{\max}$ .

Pentru aplicarea corectă a acestei metode de calibrare software, trebuie îndeplinite anumite condiții, asupra cărora ne vom apleca în continuare.

- Erorile existente în circuitul de măsură trebuie să nu provoace intrarea în saturație a elementelor de circuit pentru nici o valoare a semnalului de intrare din gama de măsură. Saturațiile pot apărea din cauza fie a unor amplificări mai mari decît cele nominale, fie a tensiunilor de offset ale elementelor de circuit. În cazul circuitului de măsură al interfeței VISA, această situație nu este posibilă, deoarece limita inferioară a semnalului primit de la senzori este suficient de mare astfel încît, în prezența oricărei erori de offset rezonabile, să nu conducă la apariția unui semnal cu valoare negativă. Valoarea maximă a semnalului de la intrarea în CAN este mai mică decît cea pe care o poate măsura acesta (2 V față de 2.5 V). În acest fel, chiar dacă amplificarea reală a circuitului de măsură este mai mare, nu există riscul depășirii limitei maxime măsurabile de convertor.
- Erorile trebuie să fie stabile atît în timp cît și față de variațiile de temperatură. În caz contrar, valorile determinate pentru  $N_{\min}$  și  $N_{\max}$  variază, iar relația de calcul (2.6) nu mai conduce la o valoare corectă.
- În cazul sistemelor de achiziție multicanal (cum este și cazul VISA), este necesară determinarea experimentală a valorilor  $N_{\min}$  și  $N_{\max}$  pentru fiecare canal de achiziție în parte. De asemenea, aceste valori trebuie actualizate de fiecare dată cînd se înlocuiește o componentă a circuitului electronic de măsură.

Practic, operația de calibrare se reduce la evaluarea relației de transformare din unități convertor în procente. Deși acest calcul nu ridică probleme deosebite legate de implementare, particularitățile microcontrolerului ADUC832 impun anumite adaptări ale relației de calcul în scopul eficientizării implementării.

O primă observație legată de posibilitățile de calcul ale acestui tip de microcontroler este aceea că permite realizarea mult mai eficientă a operațiilor de înmulțire decît a celor de împărțire. Acest lucru se datorează existenței instrucțiunii de înmulțire pe 8 biți, care, printr-un algoritm relativ simplu, permite efectuarea operațiilor de înmulțire asupra unor operanzi de 16 biți. Pentru efectuarea împărțirilor, nu există suport special în setul de instrucțiuni, aceste operații realizîndu-se prin intermediul unor algoritmi prohibitivi din punctul de vedere al volumului de operații și, implicit, consumatori de timp. Din acest motiv, relația de transformare (2.6) va fi rescrisă astfel, ca o funcție liniară de valoarea numerică returnată de CAN:

$$y_r = 100 \frac{N_{CAN} - \hat{N}_{\min}}{\hat{N}_{\max} - \hat{N}_{\min}} = \Delta (N_{CAN} - \hat{N}_{\min}). \quad (2.8)$$

În acest fel, calculul se reduce la o operație de scădere, urmat de una de înmulțire, care pot fi efectuate în mod eficient. Se observă utilizarea unui coeficient  $\Delta$ , care este

independent de valoarea  $N_{CAN}$ . Deși în evaluarea lui se face apel la o operație de împărțire (mai lentă), aceasta nu va influența în mod negativ viteza de calcul deoarece împărțirea se efectuează o singură dată la pornirea sistemului. Dacă s-ar fi implementat relația de calcul originală (2.6), împărțirea ar fi trebuit efectuată la fiecare conversie a unui număr  $N_{CAN}$  într-o valoare procentuală  $y_r$ .

### 2.3.2. Generarea semnalelor de probă

Semnalele de probă sunt utile în aplicațiile de identificare a proceselor [SoSt89], [SCS05]. Pentru determinarea modelului matematic asociat comportamentului unui proces la acțiunea unor stimuli, se poate încerca modelarea analitică a procesului pornind de la analiza fenomenelor (fizice, chimice, etc.) care stau la baza funcționării acestuia [PoSt06], [CuSt08] sau se poate proceda la identificarea unui model aproximativ, pe baza unor proceduri numerice de identificare experimentală [SCS05]. Prima abordare, deși permite obținerea unui model precis al procesului analizat, se concretizează de cele mai multe ori într-o procedură complexă, adesea neimplementabilă pe un mijloc automat de calcul, din diferite cauze obiective (existența unui număr mare de variabile de stare (parametri fizici), prezența unor neliniarități de diferite tipuri, etc.). De asemenea, aplicarea acestei metode este limitată de imposibilitatea determinării exacte a unor parametri care descriu modelul.

Din acest motiv, în practică, se preferă utilizarea modelelor numerice și a metodelor bazate pe identificarea experimentală. Aplicarea acestor metode presupune realizarea unui experiment de identificare, care constă în stimularea procesului cu un ansamblu de semnale de probă avînd caracteristici cunoscute și înregistrarea modului în care procesul reacționează la această stimulare, dacă acest demers este posibil. Identificarea experimentală nu este însă restricționată de posibilitatea de a stimula un anumit proces. Acesta este și cazul proceselor ecologice, care, în marea lor majoritate, nu pot fi stimulate. Tot ce se poate obține este un set de date măsurate de la unul sau mai mulți parametri (de exemplu, temperatură, umiditate, viteza vîntului, cantitate de precipitații, intensitatea radiației solare, etc.), pe baza cărora să se construiască un model matematic cu precizie controlată. Acesta este și obiectivul proiectului de față. Însă, pentru a nu limita capacitățile interfeței VISA, s-a decis adăugarea generatorului de semnale de stimul/probă.

Semnalele de probă pot fi de diferite tipuri, de la cele elementare (impuls, treaptă unitară, armonic elementar – sinusoid, etc.), pînă la semnale mai complexe, de tipul *semnalului pseudo-aleator binar* (SPAB) [SCS05].

Semnalele simple au o utilitate limitată în identificarea proceselor. Din contră, dacă este posibilă stimularea procesului cu un SPAB, atunci această semnal va fi preferat întotdeauna în fața celor elementare. Acest semnal este deosebit de util în experimentele de identificare, deoarece aproximează foarte bine un zgomot alb, adică fiind caracterizat de un spectru de frecvențe relativ uniform (ceea ce constituie una dintre condițiile de bază în obținerea unui model de identificare adecvat, valid și precis). Prezența în cadrul semnalului a unei game largi de frecvențe contribuie la obținerea unor informații consistente referitoare la comportamentul procesului, deoarece pune în evidență toate constantele de timp care există în proces. Practic, utilizarea SPAB în cadrul unui experiment este echivalentă cu realizarea mai multor experimente folosind semnale de probă de tip sinusoidal avînd frecvențe diferite.

Generarea semnalelor de probă elementare nu ridică probleme deosebite la implementare. Este necesară, însă, oferirea posibilității de a configura caracteristicile acestor semnale de către utilizator. Parametrii de configurare pentru cîteva tipuri uzuale de semnale elementare sunt:

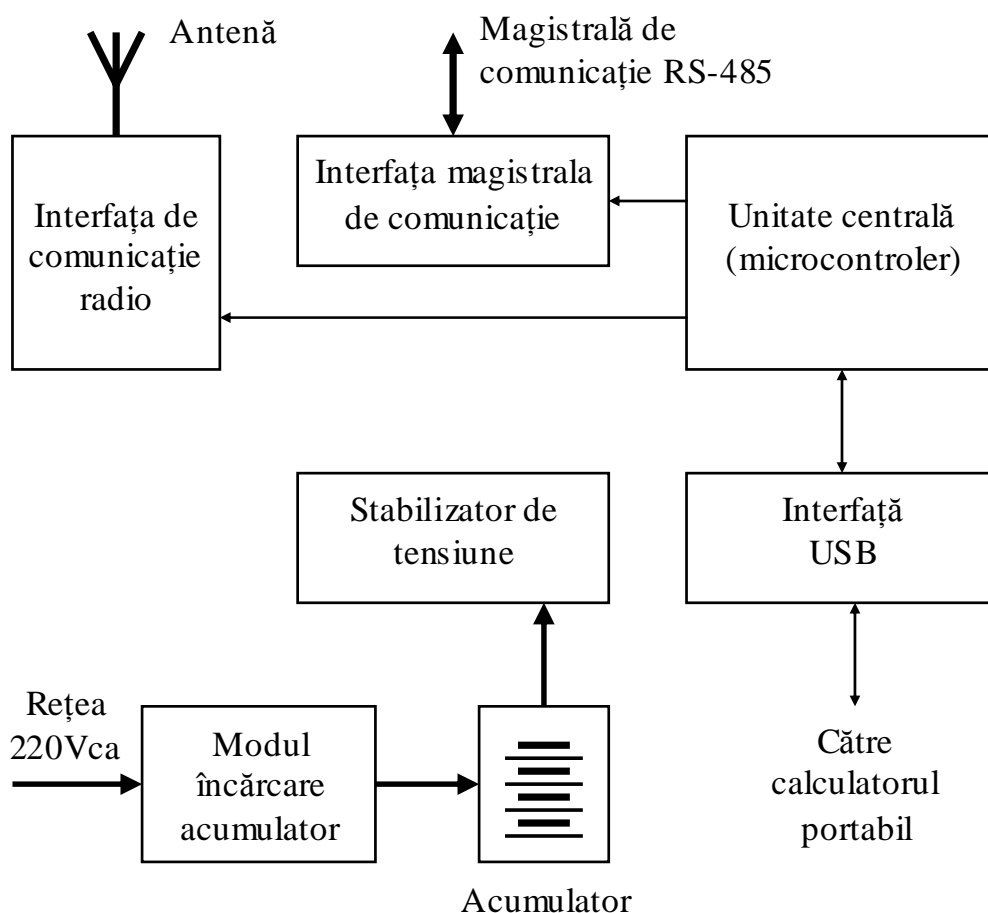
- amplitudinea și momentul de aplicare – pentru semnale de tip impuls și treaptă;
- amplitudinea, frecvența și faza – pentru semnale de tip sinusoidal.

În ceea ce privește generarea SPAB, există două mari categorii de metode: de tip hardware și de tip software [SCS05]. Din a doua categorie fac parte și algoritmi destul de sofisticati, cum este cel al lui Baker, bazat pe *Principiul eșantionării stocastice universale* [BaJe85], [BaJe87], [SCS05]. În cadrul modulului generator de semnale, au fost implementați, deocamdată, algoritmi de generare a semnalelor elementare. Urmează ca etapele următoare să aducă îmbunătățiri, prin adăugarea unui circuit cablat hardware și a unei versiuni implementate software a Algoritmului lui Baker, în vederea generării de SPAB.

## 2.4. Modulul de conectare

Modulul de conectare cu sistemul de achiziție este un dispozitiv special proiectat, care funcționează ca o “punte” între calculatorul portabil, restul subsistemului de achiziție (format din modulele de interfață) și subsistemul de senzori.

Arhitectura propusă pentru modulul de conectare este prezentată în **Figura 2.16**. Blocurile acestea vor fi descrise pe rând în continuare.



**Figura 2.16.** Schema bloc a modului de conectare al interfeței VISA.

### 2.4.1. Unitatea centrală

Unitatea centrală utilizată în cadrul modulului de conectare este similară celei utilizate de către modulele de interfață. Se utilizează același tip de microcontroler (ADUC832). Schema de conectare a microcontrolerului este prezentată în **Figura 2.17**. Singura modificare semnificativă o constituie utilizarea portului 0 ca magistrală multiplexată de date și adrese (AD0...AD7) și a liniilor P3.6 și P3.7 ca semnale de control ale magistralei pentru scriere ( $\overline{WR}$ ), respectiv citire ( $\overline{RD}$ ).

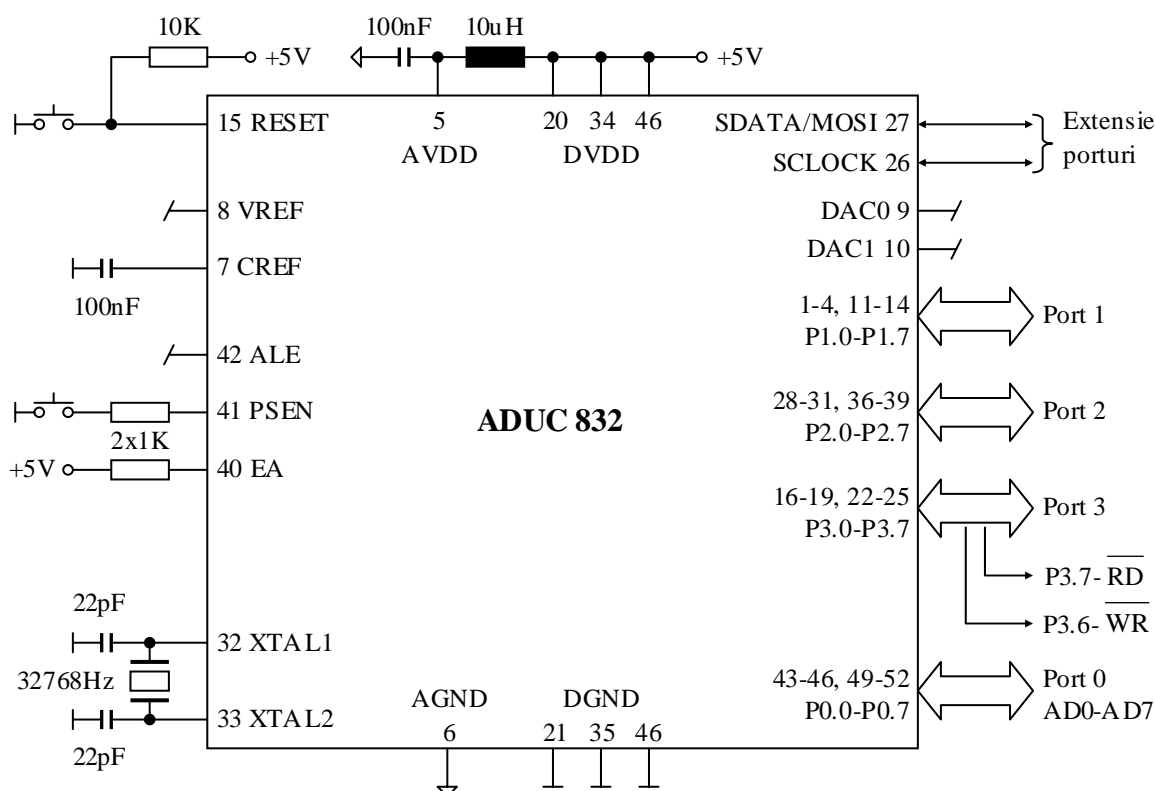


Figura 2.17. Structura microcontrolerului de conectare ADUC832 în circuit.

#### 2.4.2. Interfața pentru magistrala de comunicație

Ca și în cazul unității centrale, interfața pentru magistrala de comunicație este identică cu cea utilizată în cadrul modulelor de interfață. Se utilizează aceeași schemă bazată pe transceiverul bidirecțional compatibil RS-485 de tip SN75LBC176.

#### 2.4.3. Interfața de comunicație radio

Interfața de comunicație radio este identică cu cea utilizată în cadrul modulelor de interfață. Se utilizează aceeași schemă bazată pe transceiverul radio de tip BIM2A-434-64. Detaliile de proiectare și realizare a interfeței radio se găsesc în subsecțiunea finală.

#### 2.4.4. Interfața USB

Interfața USB este utilizată pentru conectarea cu calculatorul portabil. S-a ales acest tip de conexiune deoarece, în cazul calculatoarelor portabile, celelalte tipuri convenționale de interfețe de comunicație (serială asincronă și paralelă) au început să nu mai fie utilizate, în special din cauza conectorilor de mari dimensiuni care sunt incompatibili cu cerințele de miniaturizare și diversificare a interfețelor.

Pentru implementarea comunicației USB, se apelează la un circuit specializat de tip FT245R [FTD05] (produs de firma Future Technology Devices International Ltd. (<http://www.ftdichip.com>)). Acest circuit se comportă ca o pereche de memorii biport, având o organizare de tip FIFO (*First In First Out*). Prima memorie este utilizată pentru transmiterea de informație de la portul USB spre sistemul gazdă, iar ce de-a doua – pentru transmiterea de informație în sens invers.

Sistemul gazdă accesează cele două memorii prin intermediul unei interfețe paralele de 8 biți, controlată prin intermediul a două semnale care comandă operațiile de scriere și citire și a două semnale de stare, care indică stările celor două memorii din punct de vedere al umplerii respectiv golirii acestora.

Schema circuitului de interfață USB este prezentată în Figura 2.18.

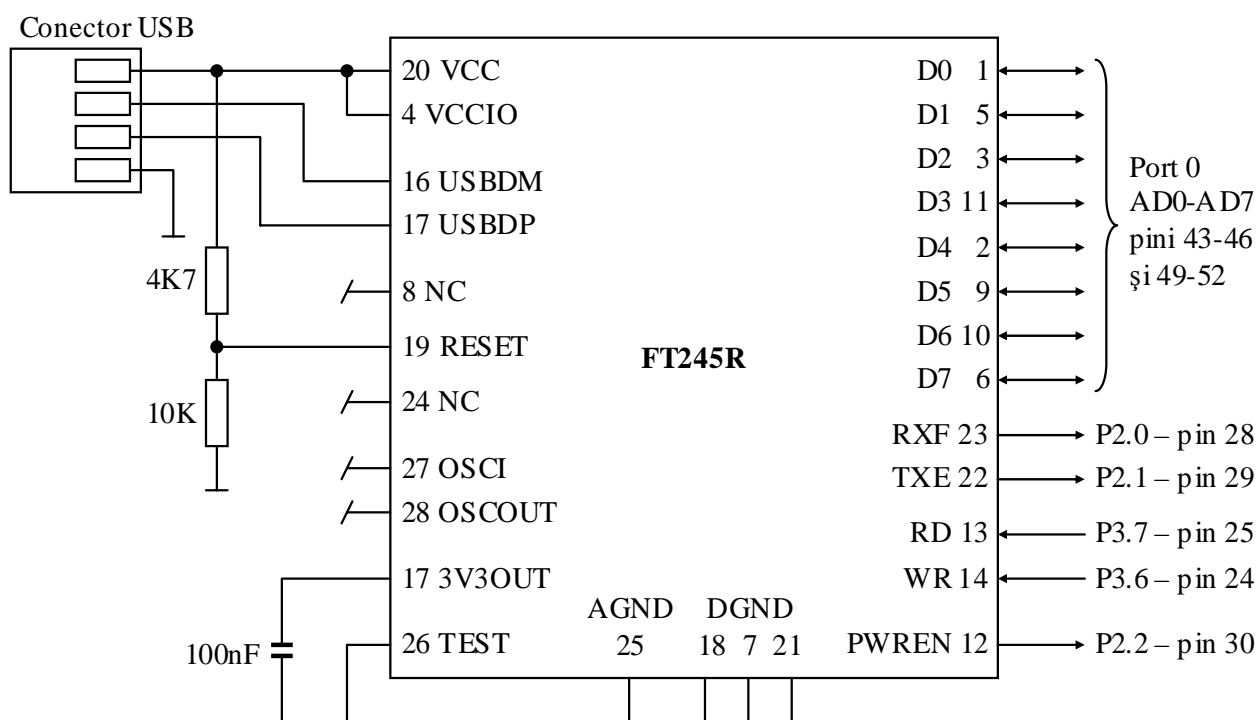


Figura 2.18. Circuitul de interfață USB.

Circuitul se conectează la microcontroler prin intermediul portului 0 și a liniilor P3.6-  $\overline{WR}$  respectiv P3.7-  $\overline{RD}$ , care formează interfața pentru magistrala externă a microcontrolerului. Liniile P2.0, P2.1 și P2.2 sunt utilizate pentru conectarea la microcontroler a semnalelor de stare TXE (FIFO transmisie vid), RXF (FIFO recepție plin), respectiv PWREN (conexiune USB prezentă).

Conexiunea cu portul USB se face în mod direct, deoarece circuitul FT245R conține toate elementele de interfață necesare. Se remarcă conectarea intrării de RESET a circuitului la linia de alimentare pe care o oferă portul USB. În acest fel, se va genera o comandă de inițializare a circuitului de interfață ori de câte ori se realizează o conectare prin intermediul portului USB.

#### 2.4.5. Acumulatorul și stabilizatorul de tensiune

Și în acest caz, acumulatorul și stabilizatorul de tensiune sunt identice cu cele utilizate în cadrul modulelor de interfață. Se va utiliza un acumulator etanș cu plumb, având capacitatea de 2.2 Ah și o tensiune nominală de 12 V. Stabilizatorul de tensiune va utiliza un circuit integrat stabilizator liniar de tip LM2940CT-5.0.

#### 2.4.6. Modulul pentru încărcarea acumulatorului

Spre deosebire de modulele de interfață, încărcarea acumulatorului se efectuează doar de la rețeaua de curent alternativ. Panourile solare nu sunt utilizate în acest caz, deoarece modulul de conectare se află în apropierea calculatorului portabil și poate avea acces la rețeaua electrică. În situația în care nu este disponibilă alimentarea din rețea, atât calculatorul portabil cât și modulul de conectare vor funcționa pe baza energiei stocate în proprii acumulatori.

Absența facilității de încărcare folosind panourile solare simplifică într-o oarecare măsură schema circuitului de încărcare a acumulatorilor, schema acestuia fiind prezentată în Figura 2.19.



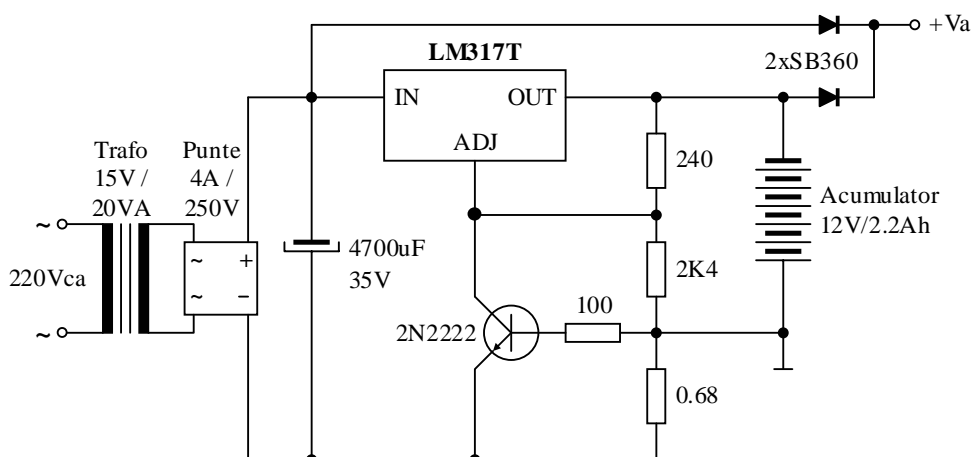


Figura 2.19. Circuitul pentru încărcarea acumulatorului.

#### 2.4.7. Funcțiile modului de conectare

Modulul de conectare are două funcții principale:

- interogarea modulelor de interfață în scopul recepționării datelor achiziționate;
- transmiterea acestor date către calculatorul portabil.

Pentru simplificarea funcționării acestui modul, se va prefera să se comaseze cele două funcții într-una singură și anume cea de “punte” între calculatorul portabil și modulele de interfață. Practic, calculatorul portabil va accesa modulele de interfață prin intermediul modului de conectare pentru a citi informația achiziționată sau a realiza operații de configurare. Modulul de conectare va avea rolul de a mijloci transferul informației în mod transparent, realizând adaptarea modalităților de transmisie la caracteristicile specifice fiecărui mediu de comunicație (interfață USB magistrală de comunicație RS-485 sau radio).

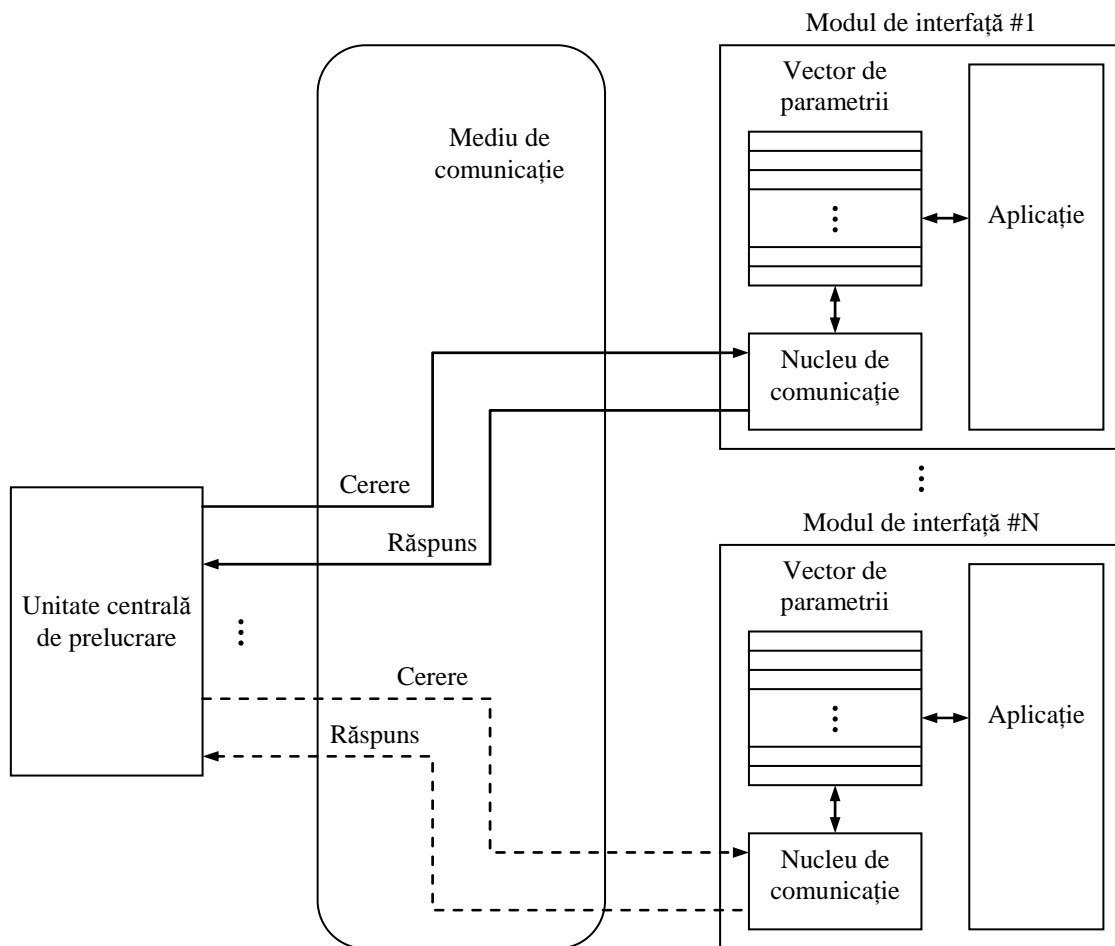
Descrierea funcțiilor modului de conectare este strâns legată de protocoalele de comunicație utilizate, din acest motiv, ele vor reieși din descrierea acestora (în subsecțiunea care urmează).

### 2.5. Modelul de comunicație

Funcțiile de comunicație reprezintă o componentă foarte importantă a subsistemului mobil. În cele ce urmează vor fi prezentate în detaliu aspecte ale mecanismelor care stau la baza funcțiilor de comunicație (mai exact, o descriere a protocoalelor de comunicație utilizate).

Modelul comunicației se referă la organizarea informației în interiorul diferitelor dispozitive și la modul în care această informație este accesată. Modelul propus pentru subsistemul mobil este inspirat din cele utilizate în multe protocoale de comunicație din mediul industrial (MODBUS, PROFIBUS, etc.). Principiul său de funcționare este ilustrat în Figura 2.20.

La nivelul modulelor de interfață, informația este organizată sub forma unor vectori de valori numerice. Fiecare element poate fi adresat prin intermediul poziției acestuia în cadrul vectorului și corespunde unei informații achiziționate, unui parametru de configurare, unei informații de stare, etc. Accesul la informația stocată în acești vectori se realizează prin solicitarea unei operații de citire sau scriere, emisă din partea unității centrale de prelucrare (calculatorul portabil) și adresată modului de interfață în care se află respectiva informație. Modulul de interfață recepționează această solicitare, o interpretează, efectuează operația cerută și transmite înapoi către unitatea centrală de prelucrare un răspuns prin care confirmă finalizarea operației solicitate; în cazul cererii de citire, el transmite în plus și valoarea parametrului cerut.



**Figura 2.20. Modelul comunicației.**

Cererile și răspunsurile vehiculate în timpul procesului de comunicație se prezintă sub forma unor pachete de date cu structură bine determinată, ca în **Figura 2.21**.

Adresă echipament	Număr parametru	Tip operație citire/scriere	[ Date ]
----------------------	--------------------	--------------------------------	----------

**Figura 2.21. Formatul unui mesaj vehiculat pe canalul de comunicație.**

Mesajul conține un număr de maxim 4 câmpuri și anume:

- adresa echipamentului – o valoare numerică pe 8 biți, care identifică echipamentul destinat al mesajului (0 = unitatea centrală, 1,2,...= module de interfață);
- numărul parametrului – o valoare numerică pe 16 biți, care indică numărul parametrului solicitat pentru citire sau scriere;
- tipul operației – un câmp binar care indică dacă se dorește o operație de citire (0) sau de scriere (1);
- datele vehiculate, dacă este cazul; acest câmp apare la mesajele care solicită o operație de scriere sau la cele care răspund unei cereri de citire și reprezintă valoarea numerică (reprezentată pe 16 biți) a parametrului solicitat.

Modalitatea efectivă prin care se transmit aceste mesaje folosind diferite medii de comunicație (interfață USB, magistrală de comunicație RS-485 sau radio), precum și detaliile referitoare la implementarea propriu-zisă a protocoalelor de comunicație sunt descrise în subsecțiunea următoare (finală).



## 2.6. Proiectarea interfeței de comunicație radio

Așa cum s-a menționat, rolul interfeței de comunicație radio este acela de a asigura transferul de informație între modulul de interfață și cel de conectare prin intermediul unei legături radio. În această ultimă subsecțiune, va fi descrisă maniera de proiectare adoptată în vederea construcției unei asemenea interfețe, adaptate la cerințele proiectului de cercetare.

### 2.6.1. Elemente de bază

Performanțele impuse acestei interfețe sunt următoarele:

- viteza de transmitere a datelor de minim 4800 biți/secundă (net);
- raza de acțiune să fie minim 300 metri;
- transfer corect de informație asigurat atât printr-un grad ridicat de imunitate la perturbații cât și prin proceduri de detecție și corecție a eventualelor erori.

Elementul hardware de bază al interfeței de comunicație radio este transceiverul integrat de tip BIM2A-434-64 [Rad07]. Acest transceiver permite două tipuri de modulație a datelor și anume:

- modulație digitală (numerică) în banda de bază;
- modulație analogică a unei purtătoare de joasă frecvență.

*Modulația digitală în banda de bază* presupune transmiterea prin canalul de comunicație a unui semnal de tip logic, generat pe baza secvenței de biți care trebuie transferată către destinație. Modalitatea de generare a acestui semnal este aleasă astfel încât semnalul rezultat să respecte cerințele impuse de către canalul de comunicație. În cazul comunicației radio, cele mai importante cerințe care trebuie respectate de către semnalul transmis sunt următoarele:

- valoarea medie a semnalului să fie egală cu zero (să nu conțină componentă continuă);
- frecvența maximă din spectrul semnalului să nu depășească banda de frecvențe permisă de canalul de comunicație;
- zgomotul prezent în canalul de comunicație să afecteze cât mai puțin posibil datele codificate de semnal.

Una dintre cele mai utilizate metode de generare a semnalului purtător de informație este *Modulația în cod Manchester* [CIMP97], prezentată în Figura 2.22.

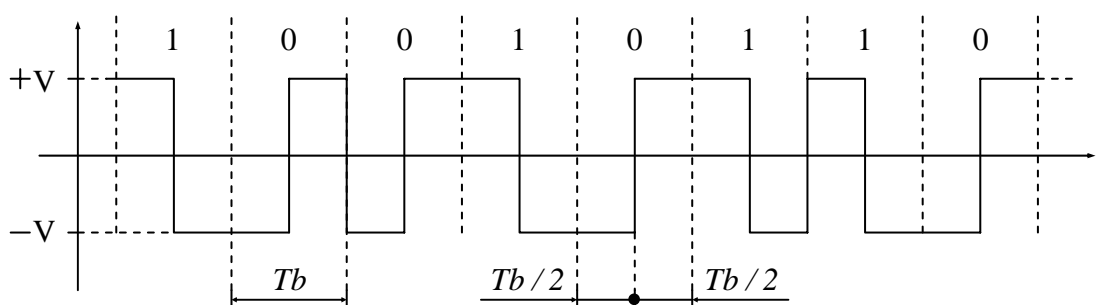


Figura 2.22. Modulația în cod Manchester.

Modulația în cod Manchester alocă pentru fiecare bit care trebuie să fie transmis un interval de timp fix ( $T_b$ ) divizat în două subintervale egale avînd durata  $T_b/2$ . În funcție de valoarea logică a bitului, valorile semnalului pe durata celor două subintervale sunt diferite. Astfel, pentru un bit „1”, semnalul are valoarea  $+V$  pe durata primului subinterval și  $-V$  pe durata celui de-al doilea. Pentru un bit „0”, semnalul va avea valoarea  $-V$  pe durata

primului subinterval și  $+V$  pe durata celui de-al doilea. Semnalul obținut prin această metodă de modulație respectă condiția referitoare la valoarea medie deoarece, la nivelul fiecărui interval de bit ( $T_b$ ), semnalul are valoarea medie nulă.

Deoarece semnalul modulat în cod Manchester prezintă tranziții rapide între cele două valori, spectrul de frecvențe rezultat este foarte extins, ceea ce face dificilă încadrarea acestuia în banda de frecvențe permisă de canalul de comunicație. Pentru asigurarea încadrării, este necesară reducerea vitezei de transmitere a biților sau păstrarea acestuia și filtrarea semnalului prin intermediul unui filtru de tip trece-jos care să reducă amplitudinea componentelor de înaltă frecvență. Deoarece reducerea vitezei de transmitere nu reprezintă o soluție acceptabilă în majoritatea situațiilor, filtrarea semnalului reprezintă singura modalitate de a asigura încadrarea acestuia în banda de frecvențe admisă de canal. Problema principală care apare în acest caz este aceea că, prin filtrare, se alterează forma semnalului iar decodificarea informației conținute în acesta devine mai dificilă și mai sensibilă la zgomote.

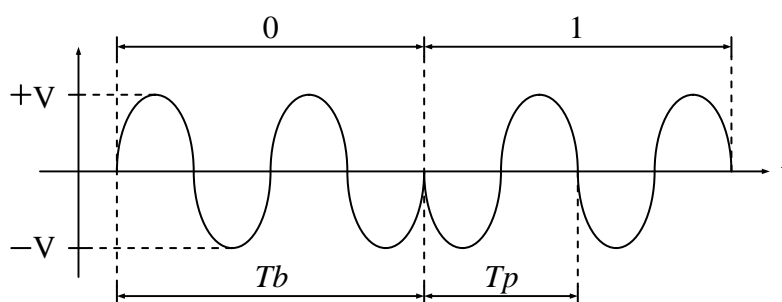
*Modulația analogică a unei purtătoare de joasă frecvență* presupune transmiterea prin canalul de comunicație a unui semnal de tip sinusoidal al cărui parametri sunt modificați în funcție de valorile biților transferați. Un semnal sinusoidal este caracterizat de trei parametri principali: amplitudine, frecvență și fază.

Fiecare dintre acești parametri (sau combinație a acestora) poate fi ales (aleasă) pentru a codifica informația transmisă. În practică, rezultate foarte bune se obțin prin utilizarea fazei ca parametru modulat. Cea mai simplă metodă de modulație în fază presupune alocarea pentru fiecare bit care trebuie transmis a unui interval de timp fix ( $T_b$ ). Semnalul transmis într-un astfel de interval depinde de valoarea logică a bitului codificat, fiind de forma:

$$x(t) = \begin{cases} A_p \sin(\omega_p t + \varphi_0) & \text{pentru bitul "0"} \\ A_p \sin(\omega_p t + \varphi_1) & \text{pentru bitul "1"} \end{cases} \quad (2.9)$$

unde  $\varphi_0 = 0$  și  $\varphi_1 = \pi$ .

Un exemplu de semnal obținut prin modulația în fază descrisă anterior este prezentat în **Figura 2.23**, în care s-a presupus că perioada frecvenței purtătoare este  $T_p = \frac{2\pi}{\omega_p} = \frac{T_b}{2}$ .



**Figura 2.23. Modulația în fază.**

Semnalul obținut prin această metodă de modulație prezintă un spectru de frecvențe mult mai redus decât în cazul codului Manchester, fiind mult mai potrivit pentru transmiterea pe canalul de comunicație. De asemenea, procesul de decodificare a informației conținute în acesta este mai puțin sensibil la zgomote. Din aceste motive, în cadrul interfeței de comunicație radio a fost utilizată o metoda de modulație de tip analogic.

Operațiile de modulare respectiv demodulare au fost realizate prin intermediul unor module software implementate într-un microcontroler cu procesor digital de semnal de tip DSPIC33FJ12GP201 [MiTe08].