

LUCRAREA NR. 4

Tehnici de codare digitală a semnalelor în banda de bază

4.1 Introducere

Într-o transmisiune de date, informația transmisă poate fi de origine analogică sau numerică. Un semnal este considerat numeric (digital) dacă el este discretizat în timp și în amplitudine, ceea ce înseamnă că amplitudinea sa poate lua doar anumite valori, care rămân constante pe intervale bine precizate de timp (respectiv pe intervalul corespunzător duratei unui simbol). Pentru semnalele analogice, amplitudinea acestora variază de o manieră continuă în timp.

O informație analogică poate fi convertită în numeric, de exemplu semnalele video sau audio. De asemenea și procesul invers este posibil, respectiv conversia din numeric în analogic.

4.1.1 Codarea semnalelor în banda de bază

Spunem despre o transmisie de date că se face „în banda de bază” dacă semnalul de date nu suferă nici un fel de deplasare spectrală datorată modulației. Semnalele în banda de bază sunt supuse atenuărilor introduse de către liniile de transmisie, ele trebuind regenerate periodic în cazul transmisiilor pe distanțe lungi.

În general, semnalul binar propriu zis nu este transmis pe linia de comunicație sub forma sa brută, ci se utilizează diverse tehnici de codare a acestuia în prealabil. Motivele care stau la baza acestei codări sunt diverse:

- Recuperarea tactului necesar unei transmisii sincrone este facilitată de către secvențele binare care prezintă tranziții cât mai numeroase între două stări care corespund unor simboluri. Este astfel de dorit evitarea transmiterii unor secvențe de date care să corespundă unor șiruri lungi de 1, respectiv 0.
- Formarea spectrală („spectrum shaping”) a semnalului ce se transmite fără a utiliza tehnici de modulare sau filtrare. Acest lucru poate fi important de exemplu

în aplicațiile pe liniile telefonice, care introduc atenuări puternice ale semnalului la frecvențe mai mari de 300kHz

- Eliminarea componentei continue din semnal
- Utilizarea eficientă a benzii de frecvență. Se pot transmite date cu un debit mai mare utilizând aceeași bandă de frecvență

4.2 Prezentarea unor tehnici de codare

- **Codarea NRZ (Not Return to Zero)**

Acest tip de codare folosește două nivele de tensiune diferite. Astfel un „1” logic este reprezentat printr-un nivel pozitiv de tensiune (+V), în timp ce unui „0” îi corespunde fie o tensiune nulă (0V)- în varianta unipolară NRZ, fie o tensiune negativă (-V) dacă ne referim la NRZ bipolar.

Codarea NRZ cunoaște câteva variante:

- NRZ-L(Level): echivalent cu NRZ (1 - nivel ridicat, 0 – nivel coborât)
- NRZ-M(Mark): 1- apare o tranziție, 0 – nu apare nici o tranziție
- NRZ-S(Space): 1 – nu apare nici o tranziție, 0 – apare o tranziție

Debitul maxim teoretic care poate fi atins într-o transmisie NRZ este egal cu dublul benzii de frecvență ocupată de către semnal (pot fi transmiși 2 biți/Hertz).

Principalul dezavantaj al codării de tip NRZ îl constituie lipsa tranzițiilor în cazul unor secvențe lungi de biți identici, ceea ce poate duce la pierderea sincronizării la receptor.

- **Codarea NRZI (Not Return to Zero Inverted)**

Utilizări: Fast Ethernet (100 Base Fx), FDDI

Codarea NRZI produce o tranziție în semnal pentru fiecare „1”, iar „0” este reprezentat prin lipsa tranziției. Se poate observa că transmiterea unui șir lung de „0” poate provoca desincronizări. Eficiența de utilizare a benzii este aceeași ca la NRZ.

- **Codarea bifazică**

Se utilizează trei variante ale acestui tip de codare (BIΦ-L, BIΦ-M, BIΦ-S). Prima dintre ele este cunoscută și sub denumirea de codare Manchester, și va fi prezentată ulterior. În ceea ce privește codarea BIΦ-M, ea presupune apariția unei tranziții la începutul oricărui interval de bit. Dacă bitul este de „1”, atunci o a doua tranziție va apare la mijlocul intervalului de bit. Pentru transmisia unui „0” nu se va mai produce nici un fel de tranziție. Codarea BIΦ-S este exact inversa codării BIΦ-M (tranziție la începutul intervalului de bit, urmată de o altă tranziție la jumătatea acestui interval dacă se transmite „0”, sau fără tranziție dacă se transmite „1”).

- **Codarea Manchester**

Utilizări: Ethernet 10Base5, 10Base2, 10BaseT, 10 BaseFL

Ideea care stă la baza codării Manchester este aceea de a determina o tranziție pentru semnalul emis, tranziție care să apară la mijlocul perioadei de bit. Astfel, un „1” este reprezentat printr-o tranziție de la nivelul +V la nivelul -V, în timp ce unei tranziții de la nivelul -V la nivelul +V îi corespunde un „0”. Este evident că în acest fel se asigură sincronizarea între emițător și receptor, chiar și în cazul transmisiei unor secvențe lungi de „0” sau „1”. Mai mult decât atât, întrucât simbolurile binare sunt reprezentate prin tranziții și nu prin nivele constante (stări) ca la codajul de tip NRZ, scade drastic probabilitatea apariției unor erori cauzate de mediul de transmisie. Un zgomot care afectează semnalul poate modifica nivelele transmise, dar este puțin probabil că el va duce la inversarea tranziției sau la lipsa ei, conducând astfel la erori la recepție.

Dezavantajul codării Manchester constă în faptul că, pentru a transmite cu un anumit debit binar, este nevoie de o bandă de frecvențe disponibilă dublă față de cea pe care am utiliza-o în cazul altor tipuri de codare (de exemplu pentru a transmite cu un debit de 10Mbps avem nevoie de o lățime de bandă de 10MHz). Acest inconvenient face codarea Manchester dificil de utilizat pentru debite ridicate.

- **Codarea Manchester diferențială**

Utilizare: rețelele de tip Token-Ring

La baza codării Manchester diferențiale stă prezența sau absența unei tranziții la începutul intervalului de tact. Astfel, un bit de „1” este reprezentat prin lipsa unei tranziții, în timp ce fiecare bit de „0” este semnatificat prin prezența unei tranziții. Avantajele, respectiv dezavantajele acestui tip de codare sunt în general aceleași ca la codarea Manchester nediferențială.

- **Codarea AMI bipolară (AMI-Alternate Mark Inversion)**

Utilizare: transmisia ADSL (Additional Digital Subscriber Loop)

Principiu: zerourile sunt reprezentate printr-un potențial nul (absența semnalului electric pe linie), în timp ce biții de „1” sunt reprezentați alternativ prin tensiuni pozitive (+V), respectiv negative (-V). În acest tip de codare pot exista intervale lungi de lipsă semnal (pentru secvențe lungi de „0”), lucru care poate duce la pierderea sincronizării.

Există și varianta inversată a acestei codări, anume **codajul pseudoternar**, unde lipsa semnalului simbolizează un bit de „1”, iar „0” este reprezentat alternant prin potențiale pozitive și negative.

Plecând de la codajul AMI, s-au dezvoltat o serie de tehnici de codare care tind să îl înlocuiască pe acesta în sistemele moderne de transmisiuni. Vom trata în continuare unele dintre aceste coduri.

- **Codarea B8ZS (Bipolar with 8 Zeros Substitution)**

Utilizare: standardul T1 (transmisie rapidă de voce, date pe fire torsadate sau cablu coaxial)

Idee: Plecând de la codajul AMI bipolar, se înlocuiesc secvențele de 8 zerouri consecutive, cu secvențe în care să apară tranziții pentru a se evita astfel pierderea sincronismului. Astfel:

- dacă impulsul anterior acestei secvențe de „0” este de nivel pozitiv, atunci codul corespunzător este 000+-0-+;
- dacă impulsul anterior acestei secvențe de 8 zerouri este de nivel negativ, atunci codul corespunzător este 000-+0+-;

Utilizarea acestui tip de codare va produce două violări ale alternanței “+ -“, situație care este improbabil să fie cauzată de către un zgomot.

- **Codarea HDB-3 (High Density Bipolar Order 3)**

Utilizare: standardele E1, E3

Principiu: Se dorește din nou evitarea desincronizărilor ce ar putea apare la secvențe de “0” lungi. Acest inconvenient este combătut astfel: dacă apare un șir de 4 zerouri consecutive, ultimul bit este înlocuit cu o tensiune de aceeași polaritate cu a ultimului bit de “1” introdus (viol de bipolaritate). Această măsură ar putea duce însă la apariția unei componente continue semnificative. De exemplu, șirul 100000000, ar putea fi codat astfel : +000+000+. Pentru a evita asemenea situații, fiecare bit de viol de bipolaritate trebuie ales de semn schimbat față de precedentul. Tot pentru a evita introducerea unei componente continue în semnal trebuie respectate regulile:

- dacă numărul de „1” de după ultimul viol de bipolaritate este par, atunci un grup de 4 zerouri consecutive se înlocuiește cu secvența „+00+” în cazul în care ultimul nivel nenul de dinaintea acestei secvențe a fost negativ, respectiv cu „-00-” în caz contrar;
- dacă numărul de „1” ce urmează ultimului viol de bipolaritate este impar, atunci un grup de 4 zerouri consecutive se înlocuiește cu secvența „000+” în cazul în care ultimul nivel nenul de dinaintea acestei secvențe a fost pozitiv, respectiv cu „000-” în caz contrar.

Un exemplu de codare HDB-3 este ilustrat mai jos:

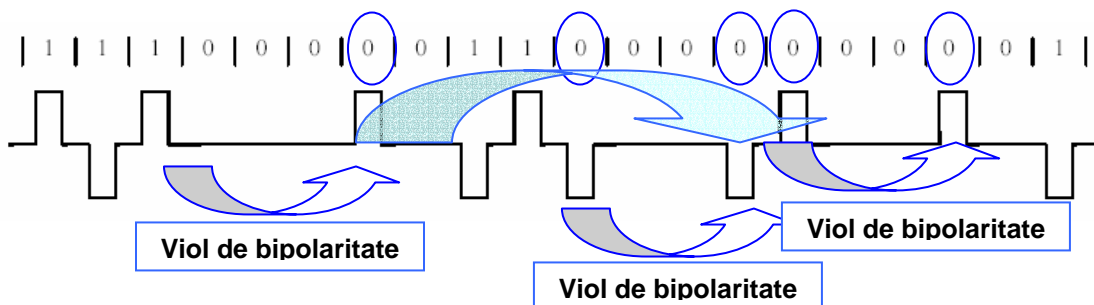


Fig.1 : Exemplu de codare HDB-3

- **Codarea 4B/5B NRZI**

Utilizare: FDDI, 100Base-X

Această schemă este de fapt o combinație de 2 algoritmi de codare. Pentru a înțelege semnificația acestei alegeri, să considerăm pentru început alternativa simplă a schemei NRZ. Cu NRZ, o stare a semnalului reprezintă „1” binar, și o altă stare reprezintă „0” binar. Dezavantajul clasic al acestei abordări îl reprezintă absența sincronizării. În schema de codare 4B/5B, codarea se face cu 4 biți odată. Fiecare 4 biți de semnal sunt codați într-un cuvânt de 5 biți de cod. Eficiența acestei codări este de 80%: pentru a transmite date cu un debit de 100Mbps este necesară o lățime de bandă disponibilă de 125MHz. De remarcat că modul de transmisie al biților cuvântului de cod nu se specifică. Se utilizează de obicei codarea NRZI (ajungându-se la un necesar de bandă de 62.5 MHz) sau codarea MLT-3 (lățime de bandă necesară de 31.25MHz).

Deoarece pentru a coda cele 16 combinații posibile de câte 4 biți utilizăm doar 16 din cele 32 de combinații posibile de câte 5 biți, rămân alte 16 grupuri care nu sunt utilizate. Cuvintele de cod sunt astfel alese încât să nu existe mai mult de două zerouri succesive și mai puțin de două tranziții (doi de „1”- în codaj NRZI) în cuvântul de cod de 5 biți.

Pentru codare se folosește următorul tabel:

Date	Cod	Date	Cod	Simboluri speciale	Cod
0000	11110	1000	10010	Q (Quiet)	00000
0001	01001	1001	10011	I (Idle)	11111
0010	10100	1010	10110	H (Halt)	00100
0011	10101	1011	10111	J (Start delimiter)	11000
0100	01010	1100	11010	K (Start delimiter)	10001
0101	01011	1101	11011	T (End delimiter)	01101
0110	01110	1110	11100	S (Set)	11001
0111	01111	1111	11101	R (Reset)	00111

Tabel 1: Tabela de codare 4B/5B

Să considerăm de exemplu secvența binară de intrare 10000101111. Ea este împărțită în grupuri de câte 4 biți, care se codează conform tabelii de codare :

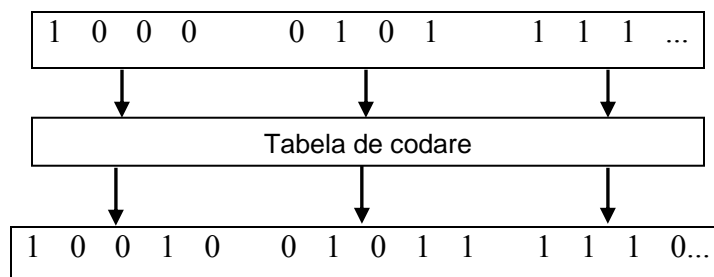


Fig.2 : Exemplu de codare 4B/5B

Grupurile de cod care rămân nefolosite sunt fie declarate invalide, fie capătă rolul de simboluri de control a transmisiei, așa cum se observă în tabelul de codare.

- **Codare MLT-3 (MultiLevel Transmission-3)**

Utilizare: Fast Ethernet 100BaseTx, 100BaseT4

Cu toate că 4B/5B-NRZI este eficace pe fibră optică, el nu poate fi folosit și în transmisiile pe fire torsadate. Cablul UTP acționează asupra semnalului transmis asemănător cu un filtru trece-jos, atenuând componentele de înaltă frecvență și distorsionând astfel puternic secvența de date. Principiul codării MLT este următorul: numai biții de „1” produc o schimbare de stare a semnalului transmis în linie, în timp ce biții de „0” lasă nemodificată starea corespunzătoare bitului anterior. Biții de „1” sunt codăți succesiv prin 3 stări: +V, 0, -V. Marele avantaj al acestui tip de codare este reducerea semnificativă a benzii necesare pentru un debit cerut, grație folosirii celor 3 stări: pentru un debit de 100Mbps lățimea de bandă necesară este de doar 25MHz.

4.3 Mersul lucrării

4.3.1 Programul de simulare

Pentru simularea modalităților de codare prezentate se va folosi un program de simulare denumit Project1. La accesarea acestui program, se va deschide fereastra principală, prezentată mai jos.

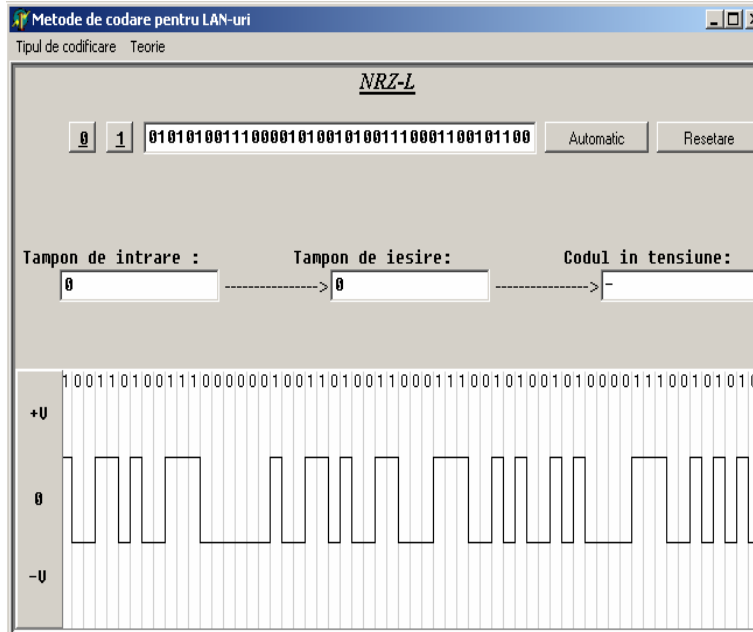


Fig. 2 : Fereastra principală a programului de simulare

După cum se poate observa, există în partea de stânga sus a ferestrei butonul „Tipuri de codare” cu ajutorul căruia se poate selecta oricare dintre tipurile de codare prezentate. Este posibilă generarea manuală sau automată a secvenței care va fi codată. Bitul curent generat, modalitatea lui de codare precum și tipul de tensiune corespunzător pot fi de asemenea vizualizate. În partea de jos a ferestrei este redată forma tensiunii trimise în linie conform secvenței binare ce trebuie codată.

4.3.2 Sarcini de îndeplinit de către studenți

- Se va citi cu atenție partea teoretică a lucrării, încercându-se înțelegerea principiilor care stau la baza metodelor prezentate.
- Se va genera o secvență de 12 de biți, care va fi codată în mod succesiv utilizând următoarele tipuri de codare : NRZ-L, BIΦ-(L, M, S), Manchester, Manchester diferențial, AMI binar, B8ZS, HDB3 (pentru acesta veti folosi o secvență mai lungă, de 24 de biți, care să conțină cel puțin două subșiruri de patru de „0” consecutivi), 4B/5B NRZI, MLT-3. Se va reprezenta grafic pe hârtie milimetrică evoluția în timp a tensiunii electrice pentru fiecare dintre aceste tipuri de codare.