

TRANSMISIA DATELOR - APLICAȚII

---

# Coduri în banda de bază

---

Conf. Dr. Ing. Avram Camelia

Asist. Dr. Ing. Radu Dan

# 1 CODURI ÎN BANDA DE BAZĂ

## 1.1 OBIECTIVE



- Prezentarea generală a modalităților de sincronizare a receptorului cu transmițătorul în cazul transmisiei asincrone și sincrone.
- Prezentarea generală a codurilor de linie fără întoarcere la zero, cu întoarcere la zero și bifazice.

## 1.2 INTRODUCERE

### 1.2.1 NOȚIUNI TEORETICE

Transmisia unui semnal se poate realiza direct în banda sa de bază, dacă se introduce pe canal semnalul nemodificat, cu spectrul său original, așa cum este obținut de la traductorul care preia informația din mediul real și o transformă în semnal (senzori pentru diferite mărimi fizice, microfoane pentru semnal audio, camere de luat vederi pentru semnale video). Transmisia în banda de bază nu utilizează modulația pe purtătoare a semnalului util, care ar rezulta în modificarea spectrului de frecvențe inițial, prin translatare.

Acest mod de transmisie a informației are avantajul simplității, deoarece semnalele nu sunt prelucrate suplimentar, dar are și o serie de dezavantaje. Banda relativă de frecvență este largă (banda relativă = banda semnalului raportată la frecvența medie) și poate fi ușor influențată de perturbații cu diverse frecvențe. Semnalele nu pot fi transmise în banda de bază la distanțe mari datorită imunității scăzute la perturbații ce apar cu precădere în zona inferioară a spectrului.

Transmisia digitală în banda de bază înseamnă, în general, transmiterea directă pe canal a semnalului dreptunghiular cu două niveluri de tensiune sau curent corespunzătoare valorilor logice de “0” și “1”. Deoarece transmisia datelor are loc în mod serial, echipamentul receptor va primi doar două niveluri de tensiune care se succed în timp, din care acesta trebuie să discrimineze începutul și sfârșitul fiecărei celule de bit (sincronizarea pe bit), dar și împachetarea globală a șirului de date în caractere și blocuri de date (sincronizarea pe caracter și pe cadru). Sincronizarea receptorului cu emițătorul poate fi realizată în două moduri, în funcție de relația dintre ceasul transmițătorului și cel al receptorului.

## CAPITOLUL 1. CODURI ÎN BANDA DE BAZĂ

În cazul transmisiei asincrone, cele două ceasuri sunt semnale independente. Fiecare caracter este tratat independent și receptorul va trebui resincronizat la începutul acestuia.

În cazul transmisiei sincrone, ceasul receptorului este în strânsă relație de fază cu cel al transmițătorului. Pe linie se transmite un cadru în mod continuu, fără pauze între caractere, fiind necesară doar păstrarea dependenței ceasurilor la începutul fiecărui caracter. Transmisia asincronă se folosește în general în situațiile când data transferată este generată la intervale aleatoare, linia fiind inactivă perioade lungi și nedeterminate de timp.

Fiecare caracter este încadrat între un bit de "START" și 1,  $\frac{1}{2}$ , sau 2 biți de "STOP". Biții de "START" și cei de "STOP" au polaritate diferită, pentru asigurarea a cel puțin unei tranziții  $0 \rightarrow 1 \rightarrow 0$  între două caractere succesive care sosesc fără întârziere între ele. Prima tranziție  $1 \rightarrow 0$  după perioada de inactivitate a liniei este utilizată de receptor pentru a determina momentele de timp în care se preiau eșantioanele de bit. Se pornește recepția unui caracter pe frontul negativ al bitului de "START".

Sincronizarea pe bit se realizează prin determinarea cât mai precisă a tranziției de "START". Ceasul receptorului trebuie să aibă perioada de cel puțin 16 ori mai mică decât durata de transmisie a unui bit, pentru a minimiza eroarea de detecție a începutului de caracter, eroare ce apare datorită asincronismului între tranzițiile de pe linia de recepție și tranzițiile tactului receptorului. Pentru exemplificarea acestei erori, în figura 1.1 s-a considerat o perioadă a ceasului de numai 4 ori mai mică decât durata de transmisie a unui bit.

Sincronizarea pe caracter, adică determinarea începutului și sfârșitului caracterului, se realizează prin simpla numărare a biților veniți pe linie, cu verificarea corectitudinii biților finali de "STOP" care trebuie să aibă valoarea logică "1". Acest lucru este posibil deoarece numărul de biți pe caracter este stabilit la configurarea transmițătorului și receptorului, reprezentând o caracteristică a transmisiei.

Sincronizarea pe cadru (bloc de caractere) se realizează în mod distinct, în funcție de informația transmisă, adică șir de coduri ASCII (text) sau date binare.

Codurile binare pot fi grupate în patru categorii:

1. Coduri NRZ ('Non Return to Zero' - fără întoarcere în zero).
2. Coduri RZ ('Return to Zero' - cu întoarcere prin zero).
3. Coduri PE ('Phase Encoded' sau 'Split Phase' - cu codarea fazei).
4. Coduri binare multinivel MLB ('Multi Level Binary').

O altă diferențiere a codurilor se poate face după semnul tensiunilor sau curenților asociați: dacă semnele sunt diferite pentru '0' și '1', codul este bipolar, iar pentru semne de același fel, codul se numește unipolar. Codurile bipolare permit utilizarea ca nivel de referință a potențialului pământului ('ground').

## CAPITOLUL 1. CODURI ÎN BANDA DE BAZĂ

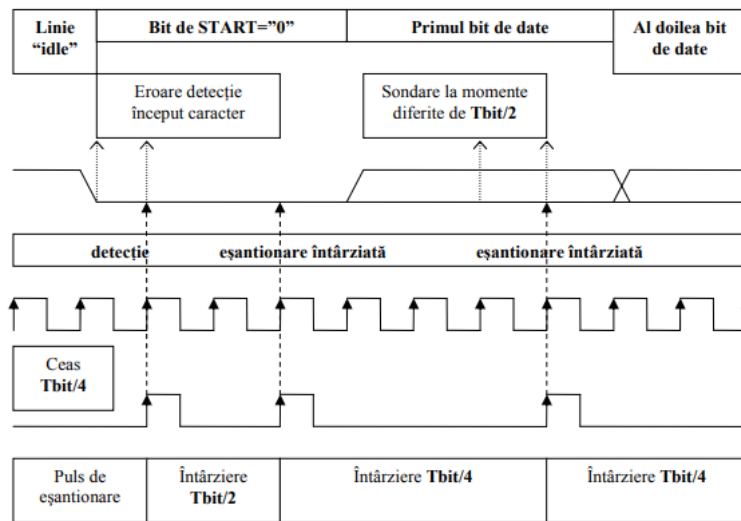


Figura 1.1: Apariția și propagarea erorii de detecție a începutului de caracter, (Sursa: [1])

### 1.2.1.1 CODURI NRZ

Acest tip de codare folosește două niveluri 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:

1. NRZ-L(Level): echivalent cu NRZ (1 - nivel ridicat, 0 – nivel coborât).
2. NRZ-M(Mark): 1- apare o tranziție, 0 – nu apare nici o tranziție
3. 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.

Utilizări: Fast Ethernet (100 Base Fx), FDDI.

## CAPITOLUL 1. CODURI ÎN BANDA DE BAZĂ

### 1.2.1.2 CODURI RZ

În acest caz se include o informație suplimentară despre ceasul transmisiei, prin întoarcerea la zero a tensiunii după o semiperioadă de ceas (la jumătatea duratei unui bit). Codul de linie RZ-unipolar include pulsuri pozitive de ceas pentru biți de „1”, iar în cazul biților de „0” aceste pulsuri lipsesc complet. La codul de linie RZ-bipolar, pentru codificarea biților de „0” se includ în semnal pulsuri negative de ceas. Semnalul RZ-bipolar are dezavantajul că necesită 2 praguri de decizie pentru discriminarea a 3 niveluri distincte de tensiune, dar recuperarea ceasului de bit la recepție este aproape directă, deoarece atât șirurile lungi de „0” cât și cele de biți „1” au pulsuri de ceas înglobate.

### 1.2.1.3 CODAREA BIFAZICĂ

Se utilizează trei variante ale acestui tip de codare:

1. Biphase - level -  $BI\Phi - L$ . Mai este cunoscută și sub denumirea de codare Manchester.
2. Biphase - mark -  $BI\Phi - M$ . Această codare 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.
3. Biphase - space -  $BI\Phi - S$ . Este exact inversa codării  $BI\Phi - M$  (o 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

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 transmiterii unor secvențe lungi de „0” sau „1”. Mai mult decât atât, întrucât simbolurile binare sunt reprezentate prin tranziții și nu prin niveluri constante (stări) ca la codarea de tip NRZ, scade drastic probabilitatea apariției unor erori cauzate de mediul de transmisie. Un zgomot care afectează semnalul poate modifica nivelurile 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.

## CAPITOLUL 1. CODURI ÎN BANDA DE BAZĂ

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

Codarea Manchester diferențială

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.

Utilizări: Rețele de tip Token-Ring.

### 1.2.1.4 CODURI BINARE MULTINIVEL MLB ('MULTI LEVEL BINARY')

Coduri MLB:

1. Codarea AMI bipolară (AMI-Alternate Mark Inversion).
2. Codarea HDB-3 (High Density Bipolar Order 3).
3. Codarea B8ZS (Bipolar with 8 Zeros Substitution).
4. Codarea 4B/5B NRZI.
5. Codare MLT-3 (MultiLevel Transmission-3).

Codarea AMI bipolară (AMI-Alternate Mark Inversion)

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 codare pseudoternar, unde lipsa semnalului simbolizează un bit de „1”, iar „0” este reprezentat alternant prin potențiale pozitive și negative. Plecând de la codarea AMI, s-au dezvoltat o serie de tehnici de codare care tind să-l înlocuiască pe acesta în sistemele moderne de transmisii de date.

Utilizări: Transmisia ADSL (Additional Digital Subscriber Loop)

Codarea HDB-3 (High Density Bipolar Order 3)

## CAPITOLUL 1. CODURI ÎN BANDA DE BAZĂ

Se dorește 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. 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 modificat 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 ultima secvență modificată 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 ultimei secvențe modificate 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.

Utilizări: Standardele E1, E3

### Codarea B8ZS (Bipolar with 8 Zeros Substitution)

Are la bază codul AMI, 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 modificări ale alternanței "+-“, situație care este improbabil să fie cauzată de către un zgomot.

Utilizări: Standardul T1 (transmisie rapidă de voce, date pe fire torsadate sau cablu coaxial).

### Codarea 4B/5B NRZI

Aceast cod este 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

## CAPITOLUL 1. CODURI ÎN BANDA DE BAZĂ

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

Figura 1.2: 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:

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.

Utilizări: FDDI, 100Base-X

Codare MLT-3 (MultiLevel Transmission-3)

Cu toate că 4B/5B-NRZI este eficient 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:



## CAPITOLUL 1. CODURI ÎN BANDA DE BAZĂ

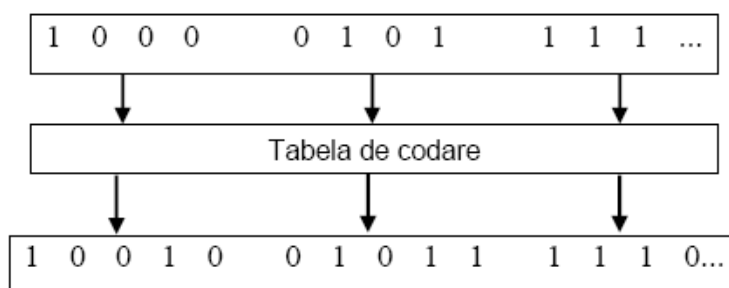


Figura 1.3: Exemplu de codare 4B/5B

- 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 codati 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.

Utilizări: Fast Ethernet 100BaseTx, 100BaseT4

### 1.2.2 EXEMPLIFICĂRI

## 1.3 DESFĂȘURAREA LUCRĂRII

1. Considerând șirul de biți următor: 1100100001000 să se codeze folosind toate tehnicile prezentate anterior.
2. Pentru șirul de biți următor: 1000010000110000 să se reprezinte șirul de biți rezultat în urma codării folosind tehnica AMI.
3. Pentru șirul de biți următor: 1001010110100100 să se reprezinte șirul de biți rezultat în urma codării folosind tehnica MLT.
4. Pentru șirul de biți următor: 0000110000100001 să se reprezinte șirul de biți rezultat în urma codării folosind tehnica 4B/5B NRZI.

# BIBLIOGRAFIE

- [1] <http://www.ac.tuiasi.ro/~caruntuc>