## 1.4. CODAREA NUMERELOR BINARE

Codificare presupune realizarea unei schimbări a formei de exprimare a informaţiei, altfel spus o translatare de limbaj.

### 1.4.1 REPREZENTAREA ÎN SISTEM BINAR A NUMERELOR NEGATIVE

Pentru reprezentarea în binar a unui număr negativ, primul bit din stânga reprezentării numărului este utilizat ca bit de semn astfel:

**0** pentru numere **pozitive (+)**

**1** pentru numere **negative (-)**

**A. CODUL DIRECT**

Pentru numerele negative cu **n** biţi, bitul de semn este **1** iar ceilalţi **n-1** biţi servesc pentru reprezentarea valorii absolute a numărului.

**Exemplu:** Reprezentarea numărului **-5** pe opt biţi în cod direct.

Convertim numărul 5 din baza 10 în baza 2 $\Rightarrow$ $5_{10} = 101_2$

Valoarea absolută a numărului **- 5** reprezentat pe 8 biţi este $\mathbf{00000101_2}$

Pentru numărul **– 5** primul bit din stânga este **1**

**Numărul - 5** pe opt biţi în cod direct are valoarea $\mathbf{10000101_2}$

**B. CODUL INVERS (complement faţă de 1)**

Pentru numerele negative cu **n** biţi, bitul de semn este **1** iar ceilalţi **n-1** biţi servesc pentru reprezentarea valorii absolute **NEGATE** a numărului. Negarea se realizează la nivel de bit prin transformarea biţilor **0** în **1** şi a biţilor **1** în **0**.

**Exemplu:** Reprezentarea numărului **- 5** pe opt biţi în cod invers

Valoarea absolută a numărului **– 5** este **0000101**.

Valoarea absolută **NEGATĂ** a numărului **– 5** este **1111010**

Pentru numărul **– 5** primul bit din stânga este **1**

**Numărul - 5** pe opt biţi în cod invers are valoarea $\mathbf{11111010_2}$

**Valoarea numerică** a unui număr negativ **N** reprezentat pe **n** biţi în cod invers se calculează cu formula:

$$C_1(N) = 2^n - 1 - V$$

unde: **n** – este numărul de biţi al reprezentării

**V** – este valoarea absolută a numărului reprezentat.

**Exemplu:** Valoarea numerică numărului **- 5** pe opt biţi în cod invers

$$C_1(N) = 2^8 - 1 - 5 = 256 - 1 - 5 = 250$$

$\mathbf{11111010_2 = 1\cdot2^7 + 1\cdot2^6 + 1\cdot2^5 + 1\cdot2^4 + 1\cdot2^3 + 0\cdot2^2 + 1\cdot2^1 + 0\cdot2^0 = 250_{10}}$

**C. CODUL COMPLEMENTAR (complement faţă de 2)**

Pentru reprezentarea numerelor negative în cod complementar se parcurg etapele:

Se reprezintă numărul negativ în valoare absolută pe opt biţi

Se transformă biţii **0** în **1** şi biţii **1** în **0**

Rezultatul obţinut se adună cu **1**

**Exemplu:** Reprezentarea numărului **- 5** pe opt biţi în cod complementar

Valoarea absolută a numărului **– 5** este **l- 5l = 5**

Numărul **5** în sistem binar pe opt biţi are valoarea **00000101**

După transformare se obţine numărul **11111010**

Adunăm numărul obţinut cu **1** **11111010 +**

$$\begin{array}{r} 11111010 \\ 1 \\ \hline 11111011 \end{array}$$

**Numărul negativ – 5 în cod complementar are valoarea 11111011**

**Valoarea numerică** a unui număr negativ **N** reprezentat pe **n** biţi în cod complementar se calculează cu formula:

$$C_2(N) = 2^n - V$$

unde: **n** – este numărul de biţi al reprezentării

**V** – este valoarea absolută a numărului reprezentat.

**Exemplu:** Valoarea numerică numărului **- 5** pe opt biţi în cod complementar.

$$C_2(N) = 2^8 - 5 = 256 - 5 = 251$$

$\mathbf{11111011_2 = 1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 251_{10}}$

**CONCLUZII:**

În codul complementar ***bitul din stânga*** rămâne întotdeauna ***bit de semn***.

Avantajul reprezentării numerelor în cod complementar faţă de reprezentarea în celelalte coduri este că prin adunarea numărului reprezentat cu complementul său faţă de 2 se obţine rezultatul **0**.

Codul complementar este cel mai utilizat pentru reprezentarea numerelor algebrice în calculator.

- Suma cifrelor de pe coloana respectivă se adună cu transportorul de deasupra coloanei care ATENŢIE! are valoarea 1;
- Rezultatul adunării se transformă în hexazecimal (conform tabelului 1.1 din secţiunea 3) şi reprezintă *rezultatul adunării* de pe coloana respectivă.

<u>Exemple de adunare a două numere hexazecimale</u>

*Exemplul 1.*

$$\begin{array}{rl} & 6\,D\,8\,A\,3\,2_{16} \\ + & 3\,3\,E\,4\,C\,8_{16} \\ \hline \end{array} \Rightarrow \begin{array}{rcccccc} & +1 & +1 & & & & \\ & 6 & 13 & 8 & 10 & 3 & 2 \\ + & 3 & 3 & 15 & 4 & 12 & 8 \\ \hline & 10 & (16+1) & (16+6) & 14 & 15 & 10 \end{array} \Rightarrow \begin{array}{rl} & 6\,D\,8\,A\,3\,2_{16} \\ + & 3\,3\,E\,4\,C\,8_{16} \\ \hline & A\,1\,6\,E\,F\,A_{16} \end{array}$$

| | | |
|---|---|---|
| $2 + 8 = 10 = A_{16}$ | transport 0 | $\Rightarrow$ prima cifră (din dreapta) este A |
| $3 + 12 = 15 = F$ | transport 0 | $\Rightarrow$ a doua cifră este F |
| $10 + 4 = 14 = E$ | transport 0 | $\Rightarrow$ a treia cifră este E |
| $8 + 14 = 22 = 16 + 6 = 6$ | transport 1 | $\Rightarrow$ a patra cifră este 6 |
| $13 + 3 + 1 = 17 = 16 + 1 = 1$ | transport 1 | $\Rightarrow$ a cincea cifră este 1 |
| $6 + 3 + 1 = 10 = A$ | transport 0 | $\Rightarrow$ a şasea cifră este A |

*Exemplul 2.*

$$\begin{array}{rcccc} & 1 & 1 & 1 & \\ & A & 3 & D & 4_{16} \\ + & C & F & E & B_{16} \\ \hline 1 & 7 & 3 & B & F_{16} \end{array}$$

*Exemplul 3.*

$$\begin{array}{rcccc} & 1 & 1 & 1 & \\ & 2 & A & 5 & 7_{16} \\ + & 5 & 7 & B & 9_{16} \\ \hline & 8 & 2 & 1 & 0_{16} \end{array}$$

*Exemplul 4.*

$$\begin{array}{rcccc} & 1 & & 1 & \\ & 1 & 9 & B & 9_{16} \\ + & C & 7 & E & 6_{16} \\ \hline & E & 1 & 9 & F_{16} \end{array}$$

## D. SCĂDEREA NUMERELOR HEXAZECIMALE

Reguli:

- Scăderea se face ca în sistemul zecimal, prin scrierea numerelor unul sub altul;
- Înainte de a efectua scăderile, caracterele alfabetice (A, B,C,D,E,F) se înlocuiesc cu valorile lor în zecimal (10,11,12,13,14,15) – vezi tabelul 1.3 din secţiunea 1.1;
- Dacă prin scăderea caracterelor de pe o coloana rezultatul obţinut este negativ (numărul de sus este mai mic decât numărul de jos), se împrumută de pe următoarea coloană din stânga o unitate în hexazecimal care înseamnă 16 unităţi în zecimal;

## *1.4.2 CODURI NUMERICE*

Sistemele digitale efectuează calculele interne cu ajutorul numerelor binare dar majoritatea utilizatorilor preferă să lucreze cu numere zecimale. Din această cauză au fost create interfeţe cu exteriorul a sistemelor digitale care pot prelua, prelucra şi afişa valori zecimale.

Prin urmare un număr zecimal este reprezentat într-un sistem digital printr-un şir de biţi, diverse combinaţii ale valorilor din şir reprezentând diferite numere zecimale. Mulţimea formată din şiruri de *n* biţi, în care fiecare şir de biţi reprezintă câte un număr sau element, se numeşte ***COD***.

O combinaţie determinată de valorile a *n* biţi se numeşte ***CUVÂNT DE COD***.

Pentru reprezentarea cifrelor sistemului de numeraţie zecimal sunt necesari minimum 4 biţi deoarece numărul de cifre zecimale este 10, iar acest număr este mai mare decât $\mathbf{2^3}$ care se reprezintă pe **4** biţi.

**A. CODURI ZECIMAL – BINARE (BCD)**

În clasa de coduri zecimal-binare (**B**inary **C**oded **D**ecimal) mulţimea **X** a sursei primare de informaţii care trebuie codificată este formată din simbolurile cifrelor sistemului zecimal, iar mulţimea cuvintelor de cod trebuie să conţină cel puţin 10 cuvinte distincte.

**X = {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}**.

Cuvintele de cod trebuie să aibă cel puţin **4 biţi,** deoarece $\mathbf{2^3} < 10 < \mathbf{2^4} = \mathbf{16}$

Stabilind corespondenţa între cele **10** cifre ale sistemului zecimal şi cele **16** cuvinte binare de **4 biţi**, se pot obţine în total $\boldsymbol{C_{16}^{10}}$ **= 29.059.430.400** posibilităţi de codificare.

Codurile zecimal – binare se clasifică astfel (vezi **tabelul 1.6**):

- Coduri ponderate:
  - Codul 8421;
  - Codul 2421;
  - Codul 4221;
  - Codul 7421;
- Coduri neponderate:
  - Codul Exces 3;
  - Codul Gray;
  - Codul 2 din 5;
  - Codul 8421 cu bit de paritate.

**Tabelul 1.6. Coduri zecimal-binare**

| **Numere în zecimal** | **CODURI ZECIMAL-BINARE** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Coduri ponderate** | | | | **Coduri neponderate** | | | |
| | **8421** | **2421** | **4221** | **7421** | **Exces3** | **Gray** | **2 din5** | **8421 cu bit de paritate impară** |
| 0 | 0000 | 0000 | 0000 | 0000 | 0011 | 0000 | 00011 | 10000 |
| 1 | 0001 | 0001 | 0001 | 0001 | 0100 | 0001 | 00101 | 00001 |
| 2 | 0010 | 0010 | 0010 | 0010 | 0101 | 0011 | 00110 | 00010 |
| 3 | 0011 | 0011 | 0011 | 0011 | 0110 | 0010 | 01001 | 10011 |
| 4 | 0100 | 0100 | 0100 | 0100 | 0111 | 0110 | 01010 | 00100 |
| 5 | 0101 | 1011 | 1001 | 0101 | 1000 | 0111 | 01100 | 10101 |
| 6 | 0110 | 1100 | 1100 | 0110 | 1001 | 0101 | 10001 | 10110 |
| 7 | 0111 | 1101 | 1101 | 0111 | 1010 | 0100 | 10010 | 00111 |
| 8 | 1000 | 1110 | 1110 | 1001 | 1011 | 1100 | 10100 | 01000 |
| 9 | 1001 | 1111 | 1111 | 1010 | 1100 | 1101 | 11000 | 11001 |

## A1. CODURI PONDERATE

Cel mai utilizat cod ponderat este codul 8421. Acest cod se mai numeşte codul zecimal-binar natural **NBCD** (**N**atural-**B**inary-**C**oded-**D**ecimal), în terminologia curentă este definit impropriu doar codul **BCD**.

Bitul **0** are ponderea **1( $2^0$)**, bitul **1** are ponderea **2 ($2^1$)**, bitul **2** are ponderea **4 ($2^2$)**, bitul **3** are ponderea **8 ($2^3$)**. Deci în codul 8421 ponderile biţilor sunt 8, 4, 2, 1.

Se observă că ponderea unui bit este egală cu notaţia codului corespunzătoare bitului respectiv.

Aceeaşi regulă de fixare a ponderii bitului din cuvântul de cod, egală cu cea din notaţia codului, se respectă la toate celelalte coduri ponderate.

După cum se observă din **Tabelul 1.6** pentru fiecare caracter zecimal corespunde un cod de 4 biţi. Pentru a transforma codul binar în număr zecimal se înmulţeşte baza sistemului binar (**2**) cu ponderea bitului corespunzător şi se adună rezultatele.

**Exemple**:

Codul $\mathbf{0111_{8421}}$ se scrie $\mathbf{0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 0 + 4 + 2 + 1 = 7}$

Codul $\mathbf{0111_{8421}}$ se mai poate scrie $\mathbf{0 \cdot 8 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1 = 0 + 4 + 2 + 1 = 7}$

Codul $\mathbf{1110_{2421}}$ se scrie $\mathbf{1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 2 + 4 + 2 + 0 = 8}$

Codul $\mathbf{1110_{2421}}$ se mai poate scrie $\mathbf{1 \cdot 2 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 2 + 0 \cdot 1 = 2 + 4 + 2 + 1 = 8}$

Codul $\mathbf{1101_{4221}}$ se scrie $\mathbf{1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 4 + 2 + 0 + 1 = 7}$

Codul $\mathbf{1101_{4221}}$ se mai poate scrie $\mathbf{1 \cdot 4 + 1 \cdot 2 + 0 \cdot 2 + 1 \cdot 1 = 4 + 2 + 0 + 1 = 7}$

Codul $\mathbf{1010_{7421}}$ se scrie $\mathbf{1 \cdot 7 + 0 \cdot 4 + 1 \cdot 2 + 0 \cdot 1 = 7 + 0 + 2 + 0 = 9}$

Numerele pot fi reprezentate în **BCD** prin cuvinte de orice lungime folosindu-se câte **1 octet ( 8 biţi)** pentru fiecare combinaţie de două cifre. Numerele **BCD** precedate de semn prezintă un bit suplimentar pentru semn (primul bit din stânga).

## A2. CODURI NEPONDERATE

### *1. Codul EXCES 3*

Codul EXCES 3 se obţine din cuvântul de cod **8421**, al cifrei zecimale respective, la care se adună **0011**, adică **3** în binar.

**EXEMPLU:**

***Reprezentarea cifrei 8 în cod EXCES 3.***

Cifra **8** în codul **8421** are valoarea **1000**

Pentru reprezentarea în codul EXCES 3 se adună **1000 + 0011 = 1011**

Valoarea cifrei **8** în codul **EXCES 3** este **1011**

Utilizând codul **EXCES 3**, se poate face distincţie între lipsa unei informaţii înscrise într-un registru sau locaţie de memorie şi înscrierea valorii zero. (0000 reprezintă lipsa unei informaţii, iar zero este codificat prin 0011)

### *2. Codul 2 din 5*

Acest cod se utilizează pentru reprezentarea numerelor zecimale printr-un grup de **5 biţi** din care numai doi biţi sunt semnificativi (au valorile egale cu **1**). În acest fel se realizează o unicitate a reprezentării, deoarece din cele 32 numere posibile cu 5 biţi ($2^5$) numai 10 satisfac condiţia 2 din 5. Numerele care satisfac condiţia **2 din 5** sunt prezentate în **tabelul 1.6**.

Acest cod creează posibilitatea *detectării erorilor multiple la transmiterea informaţiei*.

***3. Codul 8421 cu bit de paritate.***

Acest cod este un ***cod detector de erori***. Codul conţine un bit suplimentar numit **bit de paritate** care este primul bit din stânga numărului reprezentat în acest cod. Codul se obţine din codul **8421** prin adăugarea unui bit de paritate în faţa codului **8421** care reprezintă un anumit număr. Bitul de paritate se poate alege astfel încât numărul total al biţilor cu valoare **1**, în exprimarea numărului, să fie **par** respectiv **impar**.

Acest cod se utilizează pentru *verificarea transmiterii corecte a informaţiei*

***4. Codul GRAY***

Codul Gray este un cod digital care acceptă modificarea unui singur bit din cuvântul de cod, la trecerea dintre două cuvinte de cod succesive (trecerea de la o cifră zecimală la următoarea cifră zecimală).

Această proprietate face ca acest cod să fie utilizat la dispozitivele de codare circulare (diverse traductoare unghiulare de poziţie).

Codul **gray** se obţine din codul **8421** astfel (vezi **tabelul 1.7**):

- $\mathbf{G_0}$ – repetă primele **două** locaţii ale lui $\mathbf{B_0}$, după care se reflectă din două în două locaţii astfel: **01 10 01 10 01 10 01 10;**
- $\mathbf{G_1}$ – repetă primele **patru** locaţii ale lui $\mathbf{B_1}$**,** după care se reflectă din patru în patru locaţii astfel: **0011 1100 0011 1100;**
- $\mathbf{G_2}$ – repetă primele **opt** locaţii ale lui $\mathbf{B_2}$**,** după care se reflectă din opt în opt astfel: **00001111 11110000;**
- $\mathbf{G_3}$ – repetă $\mathbf{B_3}$.

**Tabelul 1.7** – Tabelul de adevăr al convertorului de cod **8421 – gray**

| **Număr zecimal** | **CODUL 8421** | | | | **CODUL GRAY** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **B3** | **B2** | **B1** | **B0** | **G3** | **G2** | **G1** | **G0** |
| **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** |
| **1** | **0** | **0** | **0** | **1** | **0** | **0** | **0** | **1** |
| **2** | **0** | **0** | **1** | **0** | **0** | **0** | **1** | **1** |
| **3** | **0** | **0** | **1** | **1** | **0** | **0** | **1** | **0** |
| **4** | **0** | **1** | **0** | **0** | **0** | **1** | **1** | **0** |
| **5** | **0** | **1** | **0** | **1** | **0** | **1** | **1** | **1** |
| **6** | **0** | **1** | **1** | **0** | **0** | **1** | **0** | **1** |
| **7** | **0** | **1** | **1** | **1** | **0** | **1** | **0** | **0** |
| **8** | **1** | **0** | **0** | **0** | **1** | **1** | **0** | **0** |
| **9** | **1** | **0** | **0** | **1** | **1** | **1** | **0** | **1** |
| **10** | **1** | **0** | **1** | **0** | **1** | **1** | **1** | **1** |
| **11** | **1** | **0** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **0** |
| **12** | **1** | **1** | **0** | **0** | **1** | **0** | **1** | **0** |
| **13** | **1** | **1** | **0** | **1** | **1** | **0** | **1** | **1** |
| **14** | **1** | **1** | **1** | **0** | **1** | **0** | **0** | **1** |
| **15** | **1** | **1** | **1** | **1** | **1** | **0** | **0** | **0** |

Codul **Gray** are proprietatea de adiacenţă, adică trecerea de la o cifră zecimală la următoarea sau precedenta necesită modificarea unui singur bit din cuvântul de cod.
Codul **Gray** este util pentru mărimile care cresc sau descresc succesiv.

### *1.4.3 CODURI ALFANUMERICE*

Codurile alfanumerice conţin cifre, litere şi semne speciale care se numesc ***caractere***.

Cel mai utilizat cod alfanumeric este codul **ASCII** *( The American Standard Code for Information Interchange – codul american standardizat pentru schimbul de informaţii)*

Codul **ASCII** utilizează **7 biţi** pentru a codifica 128 de caractere diferite (vezi **Tabelul 1.8**).

Codul **ASCII** conţine litere mari, litere mici, cifre, sisteme de punctuaţie şi diverse caractere de comandă care nu se tipăresc.

**Tabelul 1.8** – Codul **ASCII**

| **$b_3b_2b_1b_0$** | **$b_6$ $b_4$ $b_5$** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **000** | **001** | **010** | **011** | **100** | **101** | **110** | **111** |
| **0000** | NULL | DLE | | 0 | @ | P | ` | p |
| **0001** | SOH | DC1 | ! | 1 | A | Q | a | q |
| **0010** | STX | DC2 | " | 2 | B | R | b | r |
| **0011** | ETX | DC3 | # | 3 | C | S | c | s |
| **0100** | EOT | DC4 | $ | 4 | D | T | d | t |
| **0101** | ENQ | NAK | % | 5 | E | U | e | u |
| **0110** | ACK | SYN | & | 6 | F | V | f | v |
| **0111** | BEL | ETB | ' | 7 | G | W | g | w |
| **1000** | BS | CAN | ( | 8 | H | X | h | x |
| **1001** | HT | EM | ) | 9 | I | Y | i | y |
| **1010** | LF | SUB | * | : | J | Z | j | z |
| **1011** | VT | ESC | + | ; | K | [ | k | { |
| **1100** | FF | FS | , | < | L | \ | l | \| |
| **1101** | CR | GS | - | = | M | ] | m | } |
| **1110** | SO | RS | . | > | N | ^ | n | ~ |
| **1111** | SI | US | / | ? | O | _ | o | DEL |

**EXEMPLE de reprezentare în ASCII a caracterelor:**

**C – 100 0011** (coloana **100** linia **0011**)

**& – 010 0110** (coloana **010** linia **0110**)

**9 - 011 1001** (coloana **011** linia **1001**).