

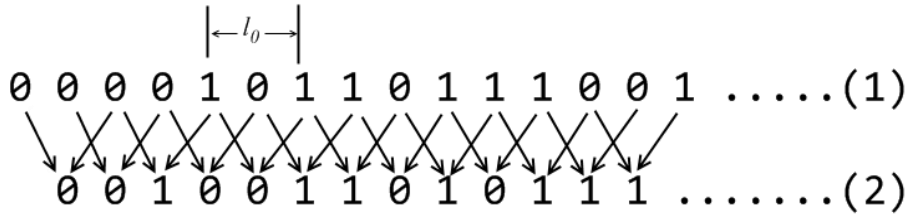
### Tema 6.4 Coduri convoluționale (recurente)

Codurile convoluționale sunt coduri continue, spre deosebire de codurile bloc. Operațiile de codare și decodare au loc în mod continuu.

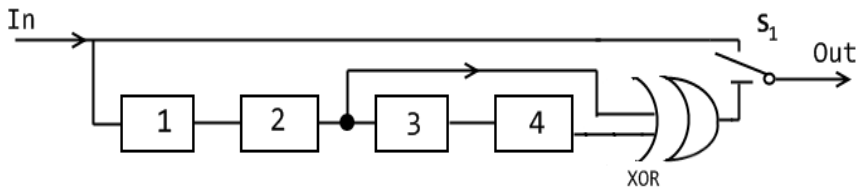
Se notează  $(n_0/n)$ .

Cel mai simplu cod convoluțional este codul  $(1/2)$ , unde după fiecare simbol informațional urmează unul de control. Într-un asemenea cod  $n_0=k=n/2$ . Redundanța codului este de 50%.

Simbolurile de control se formează prin adunarea modulo 2 dintre două simboluri informaționale situate la o distanță  $l_0$  unul de altul.



Circuitul de codare:



Comutatorul S1 transmite la ieșire un simbol informațional, apoi unul de control, formând șirul:

$$\underline{1} \underline{0} \underline{0} \underline{0} \underline{1} \underline{1} \underline{1} \underline{0} \underline{0} \underline{0} \underline{1} \underline{1} \underline{1} \underline{1} \underline{1} \underline{0} \underline{0} \underline{1} \underline{0} \underline{0} \underline{1} \underline{1} \quad (3)$$

↑ inf.            ↑ de control

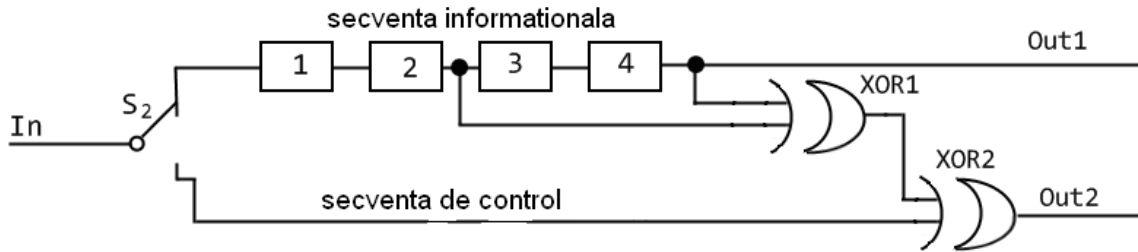
Formarea simbolurilor de control în circuitul de codare:

Perioada $T_i$	$R_g$				XOR
	1	2	3	4	
1	1	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0
3	1	0	1	0	1
4	1	1	0	1	0
5	0	1	1	0	0
6	1	0	1	1	1
7	1	1	0	1	1
8	1	1	1	0	0
9	0	1	1	1	1
10	0	0	1	1	0
11	1	0	0	1	1

Circuitul de decodare constă din două părți:

1. Circuitul de formare a secvenței de corectare
2. Circuitul de corectare

Circuitul de formare a secvenței de corectare:



Comutatorul S2 funcționează sincron și sinfaz cu comutatorul S1. Secvența (3) este aplicată la intrarea circuitului, iar comutatorul S2 o împarte în secvență informațională și secvență de control.

Secvența informațională este transmisă la registrul de deplasare, iar cea de control – la elementul XOR2. Deoarece structura registrului este similară cu cea din circuitul de codare, la elementul XOR1 se formează încă o dată secvența biților de control. În lipsa erorilor, la ieșirea OUT2 se formează o secvență de corectare formată din zerouri, iar la OUT1 se formează secvența simbolurilor informaționale.

În cazul erorilor, secvența de corectare de la OUT2 va conține unități în anumite poziții.

Codul cercetat permite corectarea pachetelor de erori cu lungime  $l \leq 2l_0 = 4$ .

Presupunem că au fost eronați 4 biți din cuvântul de cod. 2 biți eronați vor fi informaționali și 2 – de control.

Începem analiza cu momentul când la intrarea circuitului de decodare apare primul bit eronat, după care urmează tot pachetul cu lungime  $2l_0=4$ . În registru, până la acest moment, se conțin biții corecți. De aceea, primii  $l_0=2$  pași de deplasare în registru vor forma la OUT2 poziția erorilor în biții de control.

În continuare, secvența de control va conține biți neeronați.

Următorii 2 pași formează la fel la OUT2 două unități, dar acum din cauza biților informaționali eronați din prima jumătate a registrului (1,2). Următorii 2 pași vor forma la OUT2 unități, dar acum din cauza aceluiași biți eronați aflați în pozițiile 3 și 4 ale registrului.

Secvența de la OUT2 va conține:

1. Unități în pozițiile eronate a biților de control (pașii 1 și 2);
2. Unități în pozițiile eronate a biților informaționali cu o deplasare de 2 biți (pașii 3 și 4);
3. Unități în pozițiile eronate a biților informaționali cu o deplasare de 4 biți (pașii 5 și 6);

Să presupunem că a avut loc un pachet de erori:

**011010000000** (unitățile arată pozițiile unde au avut loc erori)

În acest caz secvența recepționată va fi:

**1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0 1 0 0 1 1** (4)

Comutatorul S2 va împărți secvența (4) în secvența informațională (5) și cea de control (6).

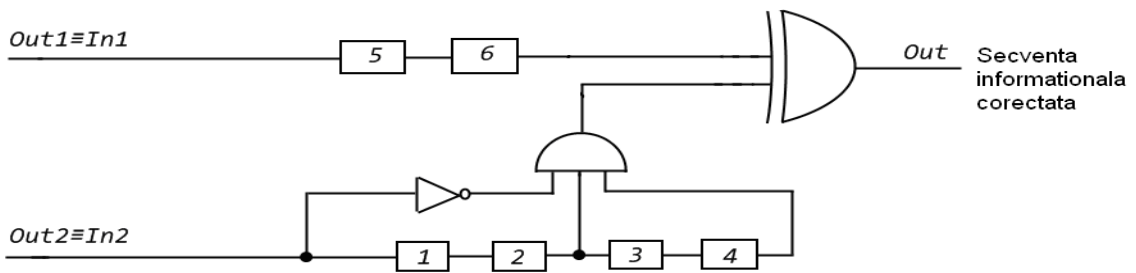
**In<sub>1</sub> 11010111001** (5)

**In<sub>2</sub> 10100110101** (6)

Funcționarea circuitului de formare a secvenței de corectare:

$In_1(5)$	$Rg$				$XOR$	$In_2(6)$	$Out_2$ (secvența de corectare)
	1	2	3	4			
1	1	0	0	0	0	1	1
1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	1	1	0
1	1	0	1	1	1	0	1
0	0	1	0	1	1	0	1
1	1	0	1	0	0	1	1
1	1	1	0	1	0	1	1
1	1	1	1	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	0
0	0	0	1	1	0	0	0
1	1	0	0	1	1	1	0

Operația de corectare automată a erorilor se efectuează în circuitul de corectare:



La elementul ȘI se aplică:

Out2	1 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0
1. secv. de corectare inversată.....	0 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 ..
2. secv. de corectare deplasată cu 2 biți.....	.. 1 0 0 1 1 1 1 0 0 ..
3. secv. de corectare deplasată cu 4 biți.....	.... 1 0 0 1 1 1 1 ..
	... .0 0 0 1 1 0 0
	poarta ȘI

Unitatea la ieșirea porții ȘI este semnalul de corectare a erorii. Pentru corectarea biților eronați, secvența informațională se deplasează cu 2 poziții (celulele 5 și 6) și se adună modulo 2 cu secvența de corectare.

$$\begin{array}{r}
 000110000000 \oplus \\
 \underline{11010111001} \\
 10110111001
 \end{array}$$

Secvența informațională tece prin 6 celule  $3l_0=6$  ale registrului de deplasare. Pe lângă aceasta pentru corectarea tuturor biților eronați este necesar un interval de protecție (6 biți neeronati cu lungimea de  $6l_0+1=13$  biți).

Pentru creșterea capacității de corectare și a pachetului de erori corectate se mărește  $n$  (se utilizează coduri  $n-1/n$ ).

Unul din neajunsurile codurilor convoluționale este necesitatea de a avea un interval de timp cu simboluri neeronate, după ce este recepționat pachetul de erori.