

Deplasarea la stânga se poate obține prin următoarele conexiuni exterioare:  $C = Q_D$ ,  $B = Q_C$ ,  $A = Q_B$ . Intrarea serială se aplică la terminalul  $D$ , iar ieșirea serială se obține la terminalul  $Q_A$ . Modul de lucru este conform cu încărcarea paralelă:  $MC = 1$ , cu impulsul de tact aplicat la intrarea  $C_2$ . Aceste conexiuni sunt indicate în Figura 3.68.

### 3.6.4.4. Registre universale

Permit operații de deplasare la stânga și la dreapta, încărcare paralelă, citire serială sau paralelă a datelor. De menționat că aceleași operații se pot realiza și cu registrul 7495 prezentat anterior, dar cu conexiuni externe pentru deplasarea la stânga.

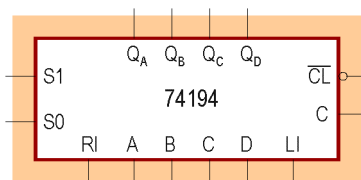


Figura 3.69. Registrul universal 74194.

Un exemplu de registru universal este circuitul 74194 (Figura 3.69). Este un registru bidirecțional de 4 biți, prevăzut cu o intrare de ștergere asincronă  $\overline{CL}$ . Comutarea bistabilelor are loc la frontul anterior al impulsului de tact. Circuitul dispune de intrările paralele  $A, B, C, D$  și ieșirile paralele  $Q_A, Q_B, Q_C, Q_D$ . Există de asemenea două intrări serie pentru deplasarea la dreapta,  $RI$  (*Right Input*), respectiv la stânga,  $LI$  (*Left Input*). Modul de lucru este determinat de semnalele  $S_1, S_0$ , astfel:

- $S_1 S_0 = 00$ : stare nemodificată
- $S_1 S_0 = 01$ : deplasare la dreapta
- $S_1 S_0 = 10$ : deplasare la stânga
- $S_1 S_0 = 11$ : încărcare paralelă

Circuitul 74198 funcționează în mod asemănător, fiind un registru universal de 8 biți.

### 3.6.5. Numărătoare

Numărătoarele sunt circuite secvențiale utilizate pentru contorizarea impulsurilor aplicate la intrarea acestora. Nu au intrări de date, deci tranzițiile se efectuează după o anumită regulă, numai pe baza stării prezente. Pentru fiecare număr din gama de numărare, există câte o stare distinctă a numărătorului. Capacitatea de numărare este dată de numărul stărilor distincte pe care le are numărătorul.

Numărătoarele se pot realiza cu ajutorul bistabilelor și a porților logice, cele din urmă având rolul de a stabili modul corect în care numărătorul își schimbă stările în procesul de numărare. Numărul stărilor distincte ale unui numărător format din  $n$  bistabile este  $2^n$ , deci numărătorul este modulo  $2^n$ . Fiecărei stări  $i$  se poate asocia câte un

cuvânt de cod binar de lungime  $n$ , reprezentând ieșirile celor  $n$  bistabile pentru starea dată a numărătorului.

Codul de numărare este dat de succesiunea cuvintelor de cod asociate stărilor numărătorului.

Clasificarea numărătoarelor se poate face după mai multe criterii.

- 1) După *codul de numărare* există numărătoare binare și numărătoare binar-zecimale, de exemplu în cod BCD, în cod Gray etc.
- 2) După *modul de comutare* a bistabilelor există numărătoare asincrone și sincrone.
- 3) După *sensul de numărare* există numărătoare directe, inverse și reversibile.

Există numărătoare care dispun de anumite facilități suplimentare, ca de exemplu posibilitatea încărcării cu o anumită valoare, programarea sensului de numărare, inițializarea sincronă sau asincronă.

### 3.6.5.1. Numărătoare asincrone

În cazul numărătoarelor asincrone, bistabilele nu comută simultan sub acțiunea unui semnal de tact comun, ci ieșirea unui bistabil va determina comutarea unui alt bistabil.

Considerăm realizarea unui numărător binar de 4 biți. Pentru aceasta întocmim un tabel cu succesiunea numerelor binare crescătoare de 4 biți, care constituie ieșirile celor 4 bistabile. Fiecare cuvânt de ieșire corespunde unei stări a numărătorului (Tabelul 3.31).

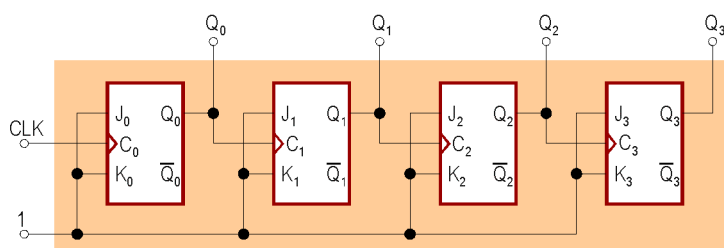
Deoarece starea numărătorului se schimbă la fiecare impuls de tact, se observă că ieșirea bistabilului corespunzător bitului de ordin inferior  $Q_0$  se modifică la fiecare impuls de tact. Bistabilul asociat bitului  $Q_1$  comută atunci când are loc o tranziție de la 1 la 0 a ieșirii  $Q_0$ . Bistabilul asociat bitului  $Q_2$  comută atunci când  $Q_1$  trece din 1 în 0, iar cel asociat bitului  $Q_3$  comută atunci când  $Q_2$  trece din 1 în 0.

**Tabelul 3.31.** Tabelul de succesiune a stărilor pentru numărătorul binar de 4 biți.

Stare	$Q_3$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0

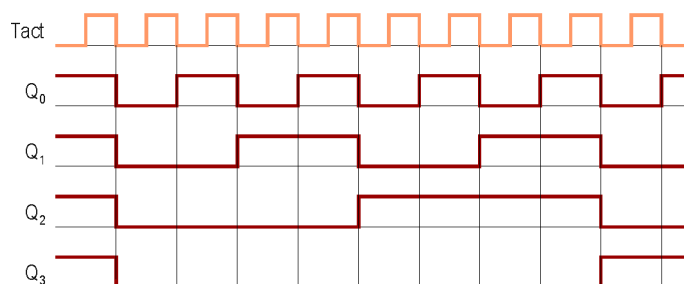
Stare	$Q_3$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1
0	0	0	0	0

Folosind proprietatea bistabilului JK cu intrările  $J = K = 1$  de a trece în starea complementară la fiecare impuls de tact, pentru realizarea număratorului se aplică impulsurile de tact bistabilului asociat bitului de rang inferior ( $Q_0$ ). La fiecare comutare din 1 în 0 a acestui bistabil se obține un front negativ care se utilizează pentru comanda bistabilului asociat bitului următor,  $Q_1$ . Se obține circuitul din Figura 3.70.



**Figura 3.70.** Schema logică a număratorului binar asincron de 4 biți, cu numărare în sens direct.

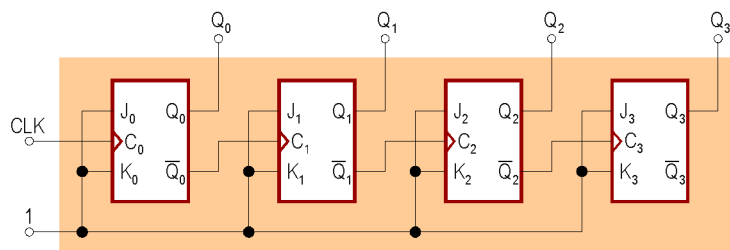
Dacă, de exemplu, numărătorul se află în starea 3 ( $Q_3Q_2Q_1Q_0 = 0011$ ), la apariția impulsului de tact bistabilul  $Q_0$  comută din 1 în 0, ceea ce determină comutarea bistabilului  $Q_1$  din 1 în 0, iar ieșirea acestuia determină comutarea bistabilului  $Q_2$  din 1 în 0. Deoarece bistabilele comută pe frontul negativ,  $Q_3$  rămâne în aceeași stare. Ieșirile vor fi deci  $Q_3Q_2Q_1Q_0 = 0100$ .



**Figura 3.71.** Diagrama de timp a număratorului binar de 4 biți.

Caracterul asincron este dat de faptul că starea finală nu se stabilește sincron, ci prin comutarea succesivă a mai multor bistabile. Neglijând întârzierile introduse de comutarea bistabilelor, se obține diagrama de timp din Figura 3.71. Din această diagramă se observă că numărătorul funcționează ca un divizor de frecvență. De exemplu, dacă tactul are frecvența  $f$ ,  $Q_0$  are frecvența  $f/2$ , iar  $Q_1$  are frecvența  $f/4$ .

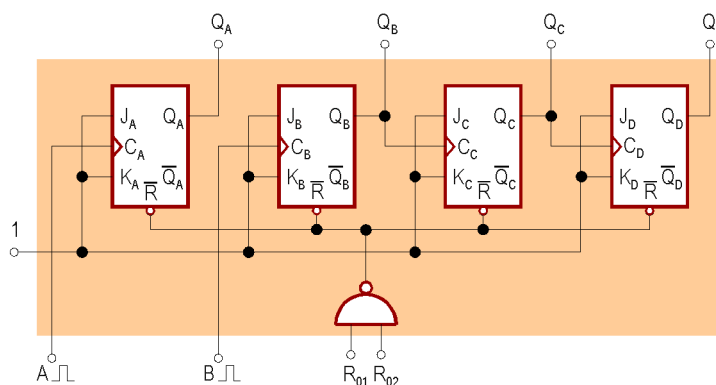
Schema numărătorului anterior se poate modifica pentru a obține un numărător invers, dacă se utilizează ieșirile  $\bar{Q}$  ale fiecărui bistabil (Figura 3.72).



**Figura 3.72.** Schema logică a numărătorului binar asincron de 4 biți, cu numărare în sens invers.

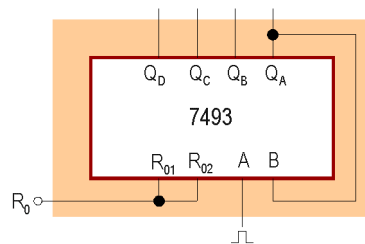
Dezavantajul numărătoarelor asincrone este dat de timpul de comutare ridicat (în cazul cel mai defavorabil, suma timpilor de comutare ale tuturor bistabilelor). De aceea, ele nu se pot utiliza la frecvențe înalte. Avantajul constă în simplitatea schemei logice, bistabilele interconectându-se fără circuite suplimentare.

Un exemplu de numărător binar asincron de 4 biți este circuitul 7493 (Figura 3.73). Este format dintr-un numărător de 1 bit ( $Q_A$ , cu intrarea de tact  $A$ ), deci divizor prin 2, și un numărător de 3 biți ( $Q_D$ ,  $Q_C$ ,  $Q_B$ , cu intrarea de tact  $B$ ), divizor prin 8. Există două intrări de ștergere,  $R_{01}$  și  $R_{02}$ , care aduc numărătorul la 0 atunci când  $R_{01} = R_{02} = 1$ .



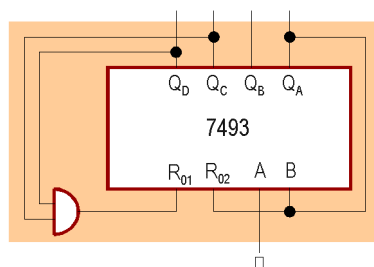
**Figura 3.73.** Schema logică a numărătorului binar asincron de 4 biți 7493.

Pentru a obține un numărător divizor cu 16, trebuie să se conecteze ieșirea  $Q_A$  la intrarea  $B$  (Figura 3.74).



**Figura 3.74.** Realizarea unui numărător divizor cu 16 utilizând circuitul 7493.

Pentru a se realiza divizări prin valori  $N$  care nu sunt puteri ale lui 2, se poate forța numărătorul la 0 (prin intrările  $R_{01}$ ,  $R_{02}$ ) atunci când se ajunge în starea  $N$ . De exemplu, pentru a se obține un divizor cu 13 (1101), se efectuează conexiunile  $R_{01} = Q_D \cdot Q_C$ ,  $R_{02} = Q_A$  (Figura 3.75).

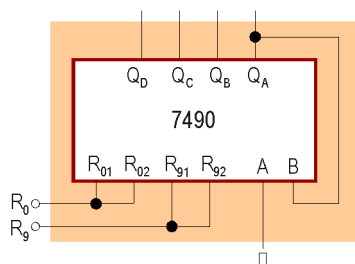


**Figura 3.75.** Realizarea unui numărător divizor cu 13 utilizând circuitul 7493.

Extinderea domeniului de numărare se poate realiza prin conectarea mai multor numărătoare în cascadă.

Un exemplu de numărător zecimal asincron de 4 biți este circuitul 7490, care conține un divizor prin 2 ( $Q_A$ , cu intrarea de tact  $A$ ), și un divizor prin 5 ( $Q_D$ ,  $Q_C$ ,  $Q_B$ , cu intrarea de tact  $B$ ). Sunt prevăzute intrările de ștergere  $R_{01}$  și  $R_{02}$ , și intrările  $R_{91}$  și  $R_{92}$  pentru aducerea numărătorului în starea 9 (inițializare pentru numărare inversă). Intrările  $R_{91}$  și  $R_{92}$  sunt prioritare față de  $R_{01}$  și  $R_{02}$ . Pentru aducerea la 0 trebuie ca una din intrările  $R_{91}$ ,  $R_{92}$  să fie pe nivelul 0 logic.

Pentru numărarea în codul BCD, trebuie să se conecteze ieșirea  $Q_A$  la intrarea  $B$  (Figura 3.76).



**Figura 3.76.** Realizarea unui numărător în cod BCD utilizând circuitul 7490.

În mod similar se poate realiza divizarea cu o valoare mai mică decât 10.

### 3.6.5.2. Numărătoare sincrone

În cazul numărătoarelor sincrone, impulsurile de tact sunt aplicate simultan la toate bistabilele, care vor comuta în același timp, deci nu succesiv ca în cazul numărătoarelor asincrone. Se elimină astfel întârzierile cumulative datorită bistabilelor, frecvența de lucru nefiind limitată decât de întârzierea datorată unui singur bistabil și de întârzierea introdusă de porțile logice adăugate.

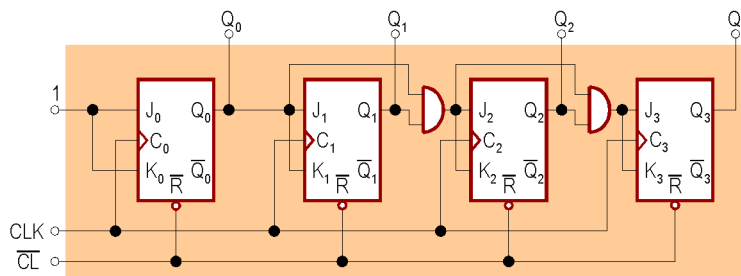
Considerăm un numărător binar de 4 biți (modulo 16). Pentru realizarea acestuia în varianta sincronă cu bistabile JK M/S conectate ca bistabile T, consultăm tabelul de succesiune a stărilor (Tabelul 3.31). Se poate observa că un anumit bistabil din numărător, cu excepția bistabilului  $Q_0$ , care comută la fiecare impuls de tact, comută numai atunci când toate bistabilele de ordin inferior au ieșirea 1 logic în starea anterioară. De exemplu,  $Q_3$  comută atunci când  $Q_2, Q_1, Q_0$  sunt la 1 logic în starea anterioară.

Din această observație, rezultă ecuațiile intrărilor bistabilelor JK:

$$\begin{aligned} J_0 &= K_0 = 1 \\ J_1 &= K_1 = Q_0 \\ J_2 &= K_2 = Q_1 Q_0 \\ J_3 &= K_3 = Q_2 Q_1 Q_0 \end{aligned} \quad (3.41)$$

care se mai pot scrie sub forma:

$$\begin{aligned} J_0 &= K_0 = 1 \\ J_1 &= K_1 = Q_0 \\ J_2 &= K_2 = Q_1 J_1 \\ J_3 &= K_3 = Q_2 J_2 \end{aligned} \quad (3.42)$$



**Figura 3.77.** Schema logică a numărătorului binar sincron de 4 biți, cu numărare în sens direct.

Rezultă schema din Figura 3.77.  $\overline{CL}$  este un semnal de ștergere asincronă. Presupunând starea  $Q_3Q_2Q_1Q_0 = 1011$ , la primul impuls de tact bistabilul  $Q_0$  comută, devenind  $Q_0 = 0$ , bistabilul  $Q_1$  comută de asemenea (deoarece în starea anterioară  $Q_0$  a

fost 1), deci  $Q_1$  devine 0. Deoarece în starea anterioară  $Q_1Q_0$  a fost 11, bistabilul  $Q_2$  comută, devenind  $Q_2 = 1$ , iar  $Q_3$  nu își modifică starea deoarece anterior  $Q_2$  a fost 0. Rezultă starea  $Q_3Q_2Q_1Q_0 = 1100$ .

În cazul numărătoarelor sincrone, condiția de comutare a bistabilelor nu este atât de riguroasă ca la cele asincrone (comutarea nu trebuie să se realizeze neapărat pe frontul posterior).

Pentru proiectarea unui numărator cu lungimea ciclului de numărare mai mică decât  $2^n$  (unde  $n$  este numărul de bistabile), sau pentru numărarea într-un alt cod, se pot utiliza diagramele Karnaugh și tabelele de excitație ale bistabilelor pentru determinarea ecuațiilor intrărilor bistabilelor. Modul de funcționare al numărătorului este complet specificat prin secvența de numărare, care reprezintă succesiunea de stări ale acestuia. Din secvența de numărare se pot întocmi tabelele de excitație ale bistabilelor, de unde rezultă funcțiile de excitație (ecuațiile intrărilor).

Considerăm ca exemplu proiectarea unui numărator în codul BCD cu bistabile JK. Pentru acest numărator, secvența de numărare este:

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 0$$

Sucesiunea stărilor este prezentată în Tabelul 3.32.

**Tabelul 3.32.** Tabelul de succesiune a stărilor pentru numărătorul în cod BCD.

Stare	$Q_3$ $Q_2$ $Q_1$ $Q_0$
0	0 0 0 0
1	0 0 0 1
2	0 0 1 0
3	0 0 1 1
4	0 1 0 0
5	0 1 0 1
6	0 1 1 0
7	0 1 1 1
8	1 0 0 0
9	1 0 0 1
0	0 0 0 0

Deoarece starea următoare este întotdeauna rândul următor din secvența de numărare, tabelul excitațiilor se întocmește fără coloanele corespunzătoare stării următoare, intrările bistabilelor pentru un anumit rând scriindu-se prin compararea stării unui anumit bistabil de pe rândul respectiv cu starea aceluiași bistabil de pe rândul următor (Tabelul 3.33).

Se întocmesc diagramele Karnaugh pentru bistabile, reprezentând intrările  $J$  și  $K$  pe aceeași diagramă (Figura 3.78). Deoarece stările 10-15 nu sunt utilizate, ele se consideră redundante.

Tabelul 3.33. Funcțiile de intrare ale bistabilelor pentru numărătorul în cod BCD.

Secv. de num.	Intrările bistabilelor			
	$Q_3 Q_2 Q_1 Q_0$	$J_3 K_3$	$J_2 K_2$	$J_1 K_1$
0 0 0 0	0 X	0 X	0 X	1 X
0 0 0 1	0 X	0 X	1 X	X 1
0 0 1 0	0 X	0 X	X 0	1 X
0 0 1 1	0 X	1 X	X 1	X 1
0 1 0 0	0 X	X 0	0 X	1 X
0 1 0 1	0 X	X 0	1 X	X 1
0 1 1 0	0 X	X 0	X 0	1 X
0 1 1 1	1 X	X 1	X 1	X 1
1 0 0 0	X 0	0 X	0 X	1 X
1 0 0 1	X 1	0 X	0 X	X 1

Rezultă următoarele ecuații de intrare ale bistabilelor:

$$\begin{aligned}
 J_3 &= Q_2 Q_1 Q_0 & K_3 &= Q_0 \\
 J_2 &= Q_1 Q_0 & K_2 &= Q_1 Q_0 \\
 J_1 &= \overline{Q_3} Q_0 & K_1 &= \overline{Q_3} Q_0 \\
 J_0 &= 1 & K_0 &= 1
 \end{aligned}
 \tag{3.43}$$

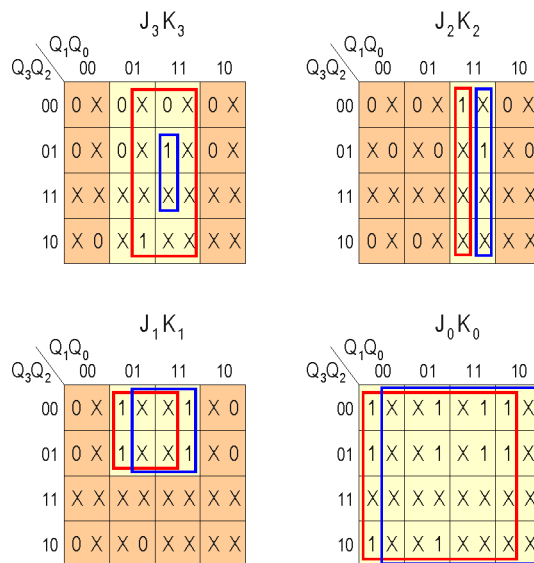
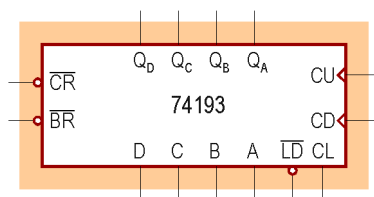


Figura 3.78. Diagramele Karnaugh pentru proiectarea unui numărător sincron în cod BCD.



Un exemplu de numărător sincron este circuitul 74193. Acesta este un numărător binar reversibil de 4 biți, cu posibilitatea de încărcare paralelă (Figura 3.79).



**Figura 3.79.** Numărătorul binar reversibil de 4 biți 74193.

Există două intrări de tact, pentru cele două sensuri de numărare:  $CU$  (*Count Up*), pentru numărarea directă, și  $CD$  (*Count Down*), pentru numărarea inversă. Numărarea are loc pe frontul anterior al semnalului de tact. Intrarea de tact neutilizată se conectează la nivelul 1 logic. Intrarea de tact neutilizată se conectează la nivelul 1 logic. Intrarea  $\overline{LD}$  (*Load*) se folosește pentru încărcare paralelă, iar  $CL$  (*Clear*) se folosește pentru ștergere. Dacă  $\overline{LD} = 0$ , se validează operația de încărcare paralelă, independent de semnalul de tact și de starea numărătorului. Pentru numărare  $\overline{LD}$  trebuie să fie 1 logic. Pentru ștergere se aplică 1 logic pe intrarea  $CL$ .

Pentru conectarea mai multor numărătoare sunt prevăzute ieșirile  $\overline{CR}$  (*Carry*) și  $\overline{BR}$  (*Borrow*).  $\overline{CR}$  se activează atunci când se ajunge la numărul maxim și  $CU = 0$  (la numărare directă), iar  $\overline{BR}$  se activează atunci când se ajunge la 0 și  $CD = 0$  (la numărare inversă).

O secvență de numărare mai scurtă se poate obține conectând la intrarea  $\overline{LD}$  ieșirea de transport  $\overline{CR}$  sau cea de împrumut  $\overline{BR}$ , după cum numărarea se realizează în sens direct sau în sens invers. La intrările  $D, C, B, A$  se aplică valorile corespunzătoare stării în care trebuie să se realizeze tranziția atunci când se ajunge la numărul maxim, respectiv la 0.