

## 10 Circuite logice secvențiale – aplicații ale numărătoarelor

### 10.1 Obiective

Se studiază diverse modalități de extindere a domeniului de numărare folosind cascada numărătoarelor cu număr redus de biți. Se analizează diferențele de interpretare a informației la numărarea binară și binar-zecimală cu numărătoare multiple. Se studiază implementarea numărătoarelor *modulo p* prin diverse strategii adaptate la particularitățile de funcționalitate ale circuitelor folosite.

### 10.2 Considerații teoretice

În sinteza sistemelor numerice cu reprezentarea informației pe un număr mare de biți se folosesc numărătoare cu capacitate extinsă. Acestea pot fi implementate prin cascada mai multor numărătoare de capacitate redusă. De exemplu, având la dispoziție numărătoare pe 4 biți, precum cele studiate în lucrarea anterioară, se poate extinde numărul de biți la un multiplu de 4, prin conectarea acestora în mod repetat. În acest fel se poate extinde domeniul de numărare de la  $2^4$  valori la  $2^{n \times 4}$ , unde  $n$  este numărul de numărătoare cascade.

O altă aplicație frecvent utilizată în sinteza sistemelor numerice o reprezintă reducerea domeniului de numărare la un subset de valori din cele care se pot reprezenta pe  $n$  biți. Un numărător care numără  $p$  valori din cele  $2^n$ , unde  $p < 2^n$  poartă denumirea de numărător *modulo p*. Alegerea celor  $p$  valori poate fi arbitrară, motiv pentru care se pot genera mai multe numărătoare *modulo p*, pentru același  $p$ , în funcție de secvența de valori numărată. De exemplu, în categoria numărătoarelor *modulo 10* se încadrează și numărătorul *zecimal* sau *decadic*, care numără consecutiv în bucla  $0 \div 9$ , reprezentând cifrele zecimale.

#### 10.2.1 Extinderea domeniului de numărare prin cascada

Extinderea domeniului de numărare prin cascada numărătoarelor are la bază următorul principiu: numărătorul cu rangul cel mai inferior numără la fiecare impuls de ceas; orice alt numărător din șirul de numărătoare cascade își activează numărarea o singură dată, pentru un impuls de ceas, la fiecare finalizare a buclei de numărare pentru numărătorul de rang inferior.

În cazul numărătoarelor binare reversibile 74193, cascada presupune conectarea indicatorilor de finalizare a buclei fiecărui numărător la semnalele de ceas ale numărătorului de rang superior (dacă există), ca în Figura 10. 1:

- La numărarea directă, numărătorul care numără pe biții  $Q_{3:0}$  primește semnalul de ceas pe intrarea CountUp, și intrarea CountDown se conectează la 1. Ieșirea Borrow va fi menținută inactivă la 1, ceea ce determină activarea numărării (incrementarea) pe biții  $Q_{7:4}$ , la fiecare front ascendent generat de  $\overline{\text{Carry}}$ . Acest

front are loc la inactivarea semnalului  $\overline{\text{Carry}}$ , când numărătorul de rang inferior trece din 15 în 0 (Figura 10. 2 – stânga).

- La numărarea inversă, numărătorul cu ieșirile  $Q_{3:0}$  primește semnalul de ceas pe CountDown, și CountUp se conectează la 1. În consecință,  $\overline{\text{Carry}}$  va fi menținut la 1 și frontul ascendent generat pe  $\overline{\text{Borrow}}$ , la fiecare trecere din 0 în 15 (Figura 10. 2 – dreapta), va determina o decrementare a numărătorului pe  $Q_{7:4}$ .

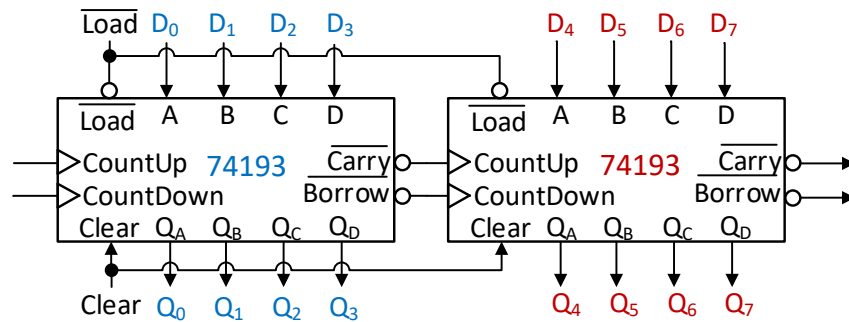


Figura 10. 1 Cascadarea a două numărătoare 74193

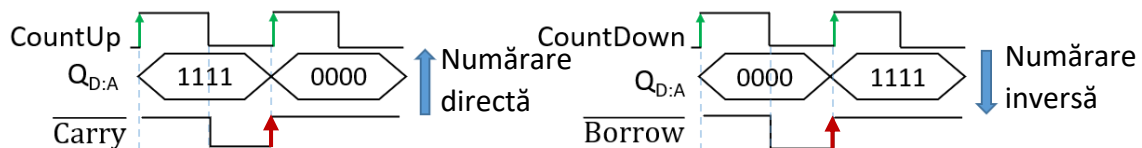


Figura 10. 2 Generarea frontului ascendent pe  $\overline{\text{Carry}}$  sau  $\overline{\text{Borrow}}$  la numărătorul 74193, pe final de buclă

**Notă:** Bucla de numărare pe 8 biți, înregistrată pe ieșiri, conține valori în intervalul 0÷255 (Figura 10. 4 – stânga).

La cascada numărătoarelor zecimale reversibile 74192 conexiunile se realizează în mod similar: indicatorii  $\overline{\text{TC}}_U$  și  $\overline{\text{TC}}_D$  se conectează la  $\text{CP}_U$ , respectiv  $\text{CP}_D$ , ca în Figura 10. 3. Valorile înregistrate trebuie interpretate în baza 10, convertind perechi de câte 4 ieșiri, la cifrele zecimale corespunzătoare. La fiecare 10 valori consecutive ale  $Q_{3:0}$  are loc o modificare a valorii pe  $Q_{7:4}$ . Bucla pe ieșirile  $Q_{7:0}$  conține următoarele valori zecimale: 00, 01, 02, ... 09, 10, 11, 12, ... 19, 20, 21, 22, ... 99, 00, 01, 02, ... (Figura 10. 4 – dreapta).

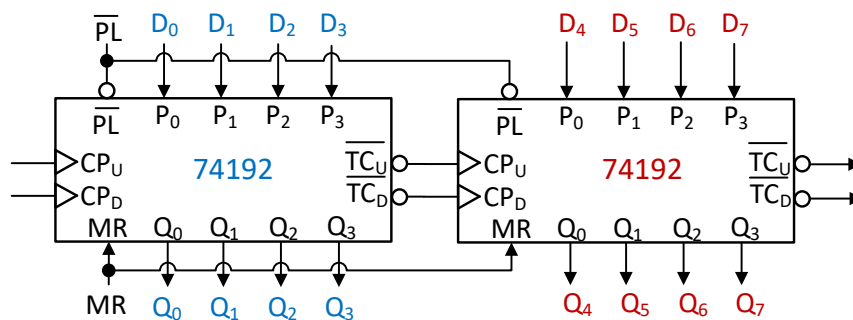


Figura 10. 3 Cascadarea a două numărătoare 74192

**Observație:** Comenzile asincrone de reset și încărcare cu valoarea extinsă  $D_{7:0}$  sunt conectate în comun la toate numărătoarele, astfel că efectul lor este simultan.

		$Q_{7:4}$	$Q_{3:0}$
Numărare binară	0	0000	0000
	1	0000	0001
	2	0000	0010
	...	0000	...
	14	0000	1110
	15	0000	1111
	16	0001	0000
	17	0001	0001
	18	0001	0010
	...	0001	...
	30	0001	1110
	31	0001	1111
	32	0010	0000
	33	0010	0001
	34	0010	0010
	...	...	...
Numărare zecimală	00	0000	0000
	01	0000	0001
	02	0000	0010
	...	0000	...
	08	0000	1000
	09	0000	1001
	10	0001	0000
	11	0001	0001
	12	0001	0010
	...	0001	...
	18	0001	1000
	19	0001	1001
	20	0010	0000
	21	0010	0001
	22	0010	0010
	...	...	...
direct	254	1111	1110
	255	1111	1111
	0	0000	0000
	...	...	...
invers	...	...	...
	98	1001	1000
	99	1001	1001
	00	0000	0000
	...	...	...

Figura 10. 4 Buclele de numărare pe 8 biți: binară (stânga) și zecimală (dreapta)

Există și posibilitatea cascaderii mixte între numărătorul binar 74193 cu numărătorul zecimal 74192. Dacă se dorește obținerea unei numărări binare, atunci pentru biții mai puțin semnificativi  $Q_{3:0}$  trebuie folosit un numărător binar 74193 (Figura 10. 5). Se va obține astfel o numărare binară în bucla  $0 \div 159$  ( $159_{10} = 1001\ 1111_2$ ). În caz contrar, folosind un numărător zecimal 74192 pe  $Q_{3:0}$ , bucla va fi discontinuă, fiindcă după fiecare 10 valori consecutive se face un salt cu 7 valori: 0, 1, ... 9, 16, 17, 18, ... 25, 32 ... .

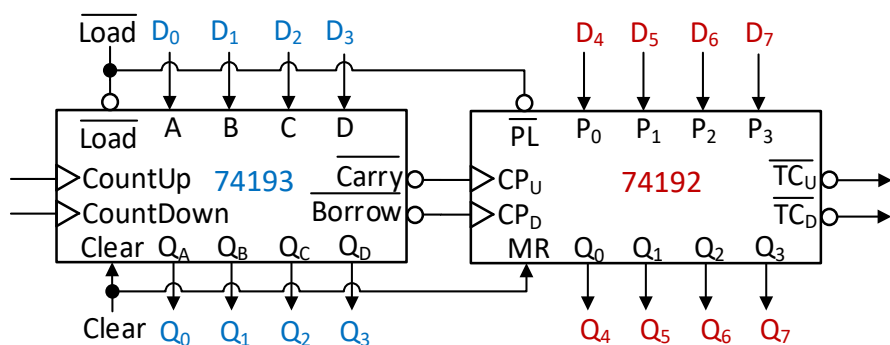


Figura 10. 5 Cascadarea numărătorului 74192 cu 74193, la numărarea binară

În cazul cascaderii numărătoarelor binare directe 74163 (Figura 10. 6 – stânga), acestea vor avea intrarea de ceas conectată, în comun, la semnalul de tact al circuitului. Numărătorul pentru biții  $Q_{3:0}$  va număra la fiecare impuls prin activarea intrărilor  $ENP=ENT=1$ . Restul numărătoarelor vor avea  $ENP=1$ , și intrarea ENT conectată la indicatorul RCO, de finalizare a buclei numărătorului de rang inferior. RCO se activează pe

durata impulsului în care  $Q_{3:0}=1111$ , iar la trecerea  $Q_{3:0}$  în 0000, provoacă incrementarea număratorului de rang superior, după care se va dezactiva, conform diagramei de timp din Figura 10. 6. Bucla de numărare binară rezultată pe 8 biți este  $0 \div 255$ .

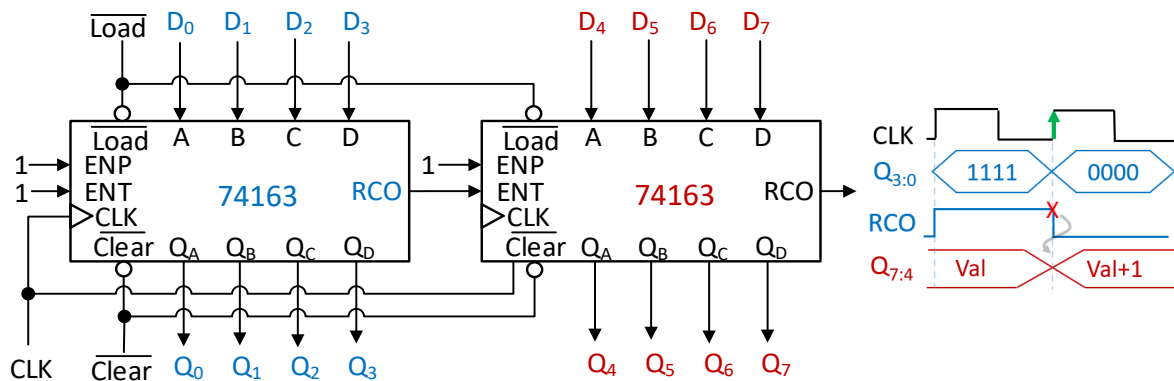


Figura 10. 6 Cascadarea a două numărătoare 74163 (stânga) și activarea număratorului de rang superior la finalul de buclei număratorului de rang inferior (dreapta)

Cascadarea numărătoarelor zecimale directe 74162 se realizează în mod similar (Figura 10. 7) și funcționarea urmează aceleași principii. Bucla de numărare zecimală rezultată pe 8 biți (2 cifre zecimale) este  $00 \div 99$ . Numărarea este directă.

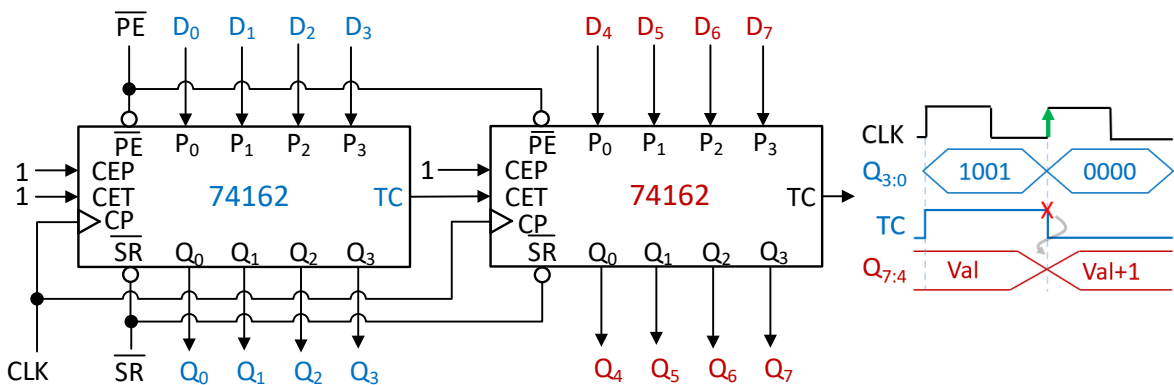


Figura 10. 7 Cascadarea a două numărătoare 74162 (stânga) și activarea număratorului de rang superior la finalul de buclei număratorului de rang inferior (dreapta)

Figura 10. 8 prezintă cascada mixtă între 74162 și 74163. Pentru a elimina discontinuitățile, este necesară amplasarea unui numărător binar pentru ieșirile  $Q_{3:0}$ .

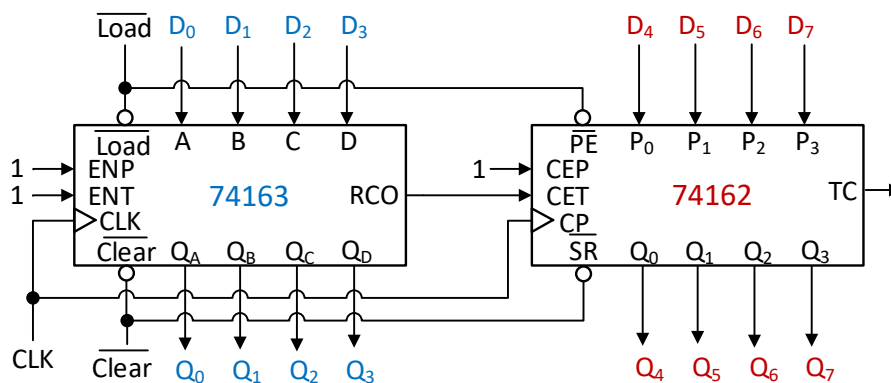


Figura 10. 8 Cascadarea număratorului 74162 cu 74163, la numărarea binară

Bucula de numărare binară pentru numărătorul binar pe 8 biți, din Figura 10. 8, este  $0 \div 159$  ( $159_{10} = 10011111_2$ ).

### 10.2.2 Numărătoare *modulo p* cu secvența de numărare continuă

Numărătoarele *modulo p*, numără în bucle cu  $p$  valori de  $n$  biți, din cele  $2^n$  posibile. La numărare continuă valorile buclei sunt consecutive, dar începutul, finalul și direcția de numărare pot să varieze. Având în vedere faptul că ieșirile numărătoarelor sunt citite de alte circuite sincrone pe același front de ceas, în timpul funcționării contează doar acele valori care sunt vizibile (stabile) în proximitatea și în timpul frontului de ceas. Alte valori înregistrate între fronturi sunt ignorate, nefiind încadrate bucla de numărare.

Implementarea numărătoarelor *modulo p* cu secvență continuă, folosind circuitele 74192, 74193, 74162, respectiv 74163 se realizează în felul următor: se numără până la finalul buclei, apoi se realizează încărcarea (load) cu valoarea de început a buclei. Dacă valoarea de început este 0, atunci se poate înlocui cu comanda de reset. Finalul de buclă se poate detecta cu logică suplimentară sau, în unele cazuri particulare, cu indicatorii de final de buclă de tip *carry* și *borrow*. **Observație:** Se vor folosi numai numărătoare care au în bucla lor originală toate valorile prevăzute în bucla *modulo p*. De exemplu, cu un numărător zecimal se pot implementa numai bucle *modulo p* cu valori în intervalul  $0 \div 9$ .

**Notă:** Inițial, numărătoarele pot avea valoarea 0, iar dacă 0 nu face parte din bucla de numărare, vor fi necesare un număr de impulsuri de ceas până la intrarea în buclă.

La implementarea cu circuitele 74192 sau 74193, având comenzile de reset și load asincrone, considerând că valoarea de final a buclei este  $Val$ , atunci activarea uneia din cele două comenzi la atingerea  $Val$ , va duce la o resetare sau o încărcare imediată cu valoarea de început a buclei, ceea ce înseamnă că valoarea  $Val$  va fi suprascrisă înaintea frontului de ceas următor, deci nu va face parte din bucla de numărare. Soluția contă în întârzierea revenirii la începutul buclei, cu un impuls de ceas, adică atunci când se detectează  $Val+1$  la numărare directă, sau  $Val-1$  la numărare inversă. Considerând valoarea  $D_{3:0}$  de început a buclei, implementarea cu numărătorul 74193 este redată în Figura 10. 9. În practică, intrările A, B, C, D vor fi conectate la 0 (GND) sau 1 (VCC) în funcție de valoarea de start a buclei. Dacă  $D_{3:0} = 7$  ( $7_{10} = 0111_2$ ), atunci  $A=1$ ,  $B=1$ ,  $C=1$ , respectiv  $D=0$ . **Notă:** Dacă nu se folosește comanda Clear aceasta se inactivează. Valorile semnalelor la finalul și reluarea buclei sunt prezentate în diagramele de timp din Figura 10. 10.

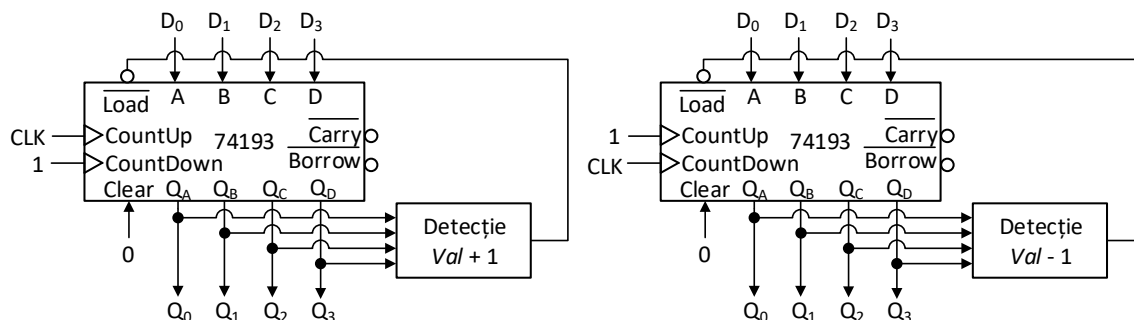


Figura 10. 9 Implementarea buclei  $D_{3:0} \div Val$  cu numărătorul 74193, la numărarea directă (stânga) și inversă (dreapta)

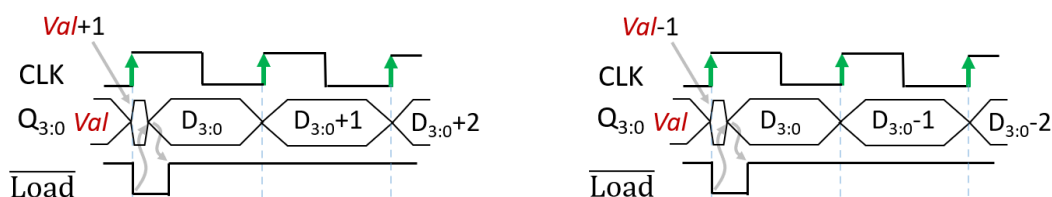


Figura 10. 10 Valorile semnalelor la finalul și la reluarea buclei  $D_{3:0} \div Val$ , implementată cu numărătorul 74193, în cazul numărării directe (stânga) și inverse (dreapta)

Detectia unei valori pe ieșirile numărătorului se poate realiza folosind poarta ȘI, prin implementarea mintermului corespunzător. Fiindcă  $\overline{Load}$  este activ pe 0, este mai oportun să se folosească poarta ȘI-NU. Dacă valoarea de detectat este 15 sau 0 se pot folosi indicatorii  $\overline{Carry}$ , respectiv  $\overline{Borrow}$ . De exemplu, pentru a implementa un numărător cu bucla  $0 \div 14$ , se va detecta valoarea 15 cu ajutorul  $\overline{Carry}$  și pentru revenirea la 0 se poate folosi comanda Clear, iar  $\overline{Load}$  se inactivează (Figura 10. 11 – stânga). Dacă se dorește bucla  $7 \div 15$ , se detectează 0 ( $0=15+1$ ) și se încarcă 7 (Figura 10. 11 – dreapta).

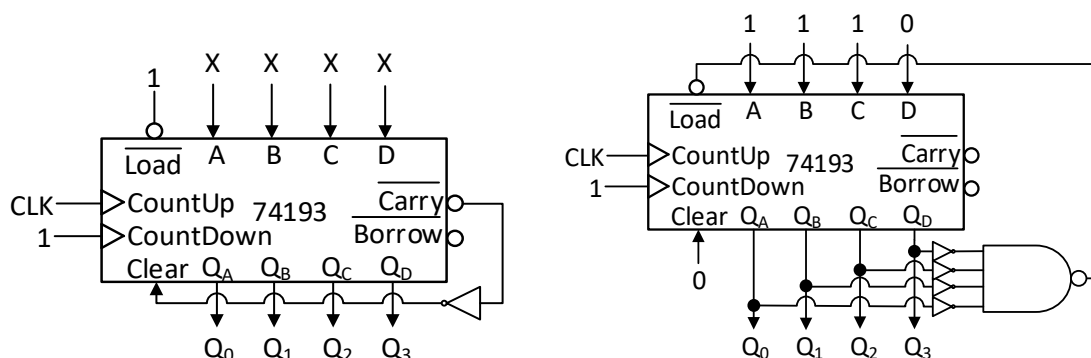


Figura 10. 11 Numărătoare cu buclele  $0 \div 14$  (stânga) și  $7 \div 15$  (dreapta), folosind 74193

Utilizarea numărătorului zecimal 74192 urmează principii similare, doar că se ține cont de bucla  $0 \div 9$  a acestuia. Figura 10. 12 prezintă numărătoare inverse cu buclele  $6 \div 0$  (se detectează 9 și se încarcă 6), respectiv  $8 \div 1$  (se detectează 0 și se încarcă 8).

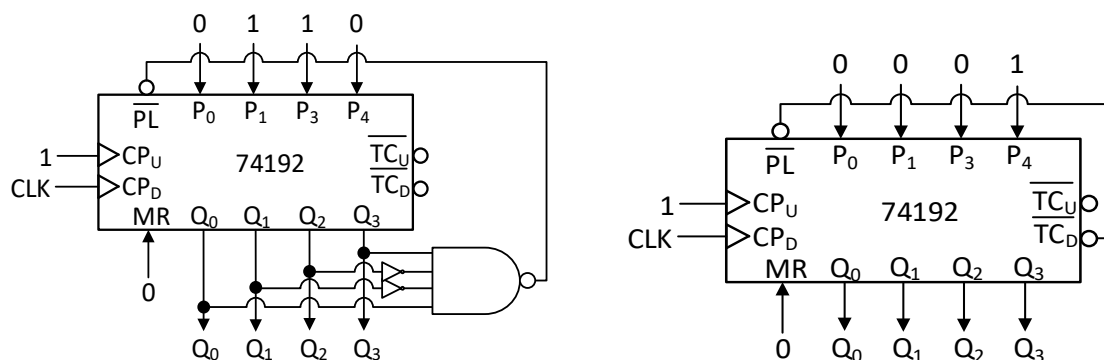


Figura 10. 12 Numărător cu bucla  $6 \div 0$  (stânga) și  $8 \div 1$  (dreapta), folosind 74192

În cazul numărătoarelor 74162 și 74163 se pot implementa numai bucle directe în intervalul  $0 \div 9$ , respectiv  $0 \div 15$ . Se detectează valoarea de final a buclei și se lansează o comandă de reset sau încărcare cu prima valoare din buclă, în funcție de caz. Deoarece aceste comenzi sunt sincrone, efectul lor nu va avea loc decât după următorul front de

ceas, în consecință valoarea curentă nu se pierde prin suprascriere. Implementarea buclei  $D_{3:0} \div Val$  cu numărătorul 74163, și valorile semnalelor la finalul, respectiv reluarea buclei, sunt prezentate în Figura 10. 13.

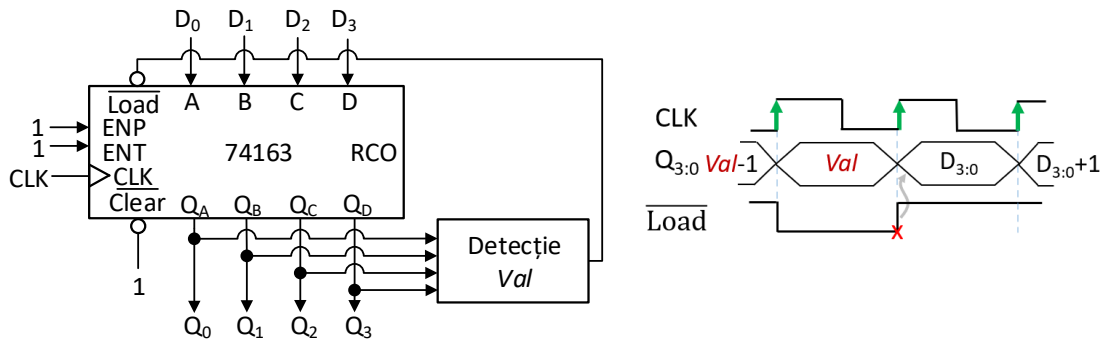


Figura 10. 13 Implementarea buclei  $D_{3:0} \div Val$  cu numărătorul 74163 (stânga), și valorile semnalelor la finalul și la reluarea buclei

La un numărător cu bucla  $10 \div 12$  folosind numărătorul 74163, se detectează valoarea 12 pe ieșiri și se încarcă 10. Circuitul de test este prezentat în Figura 10. 14.

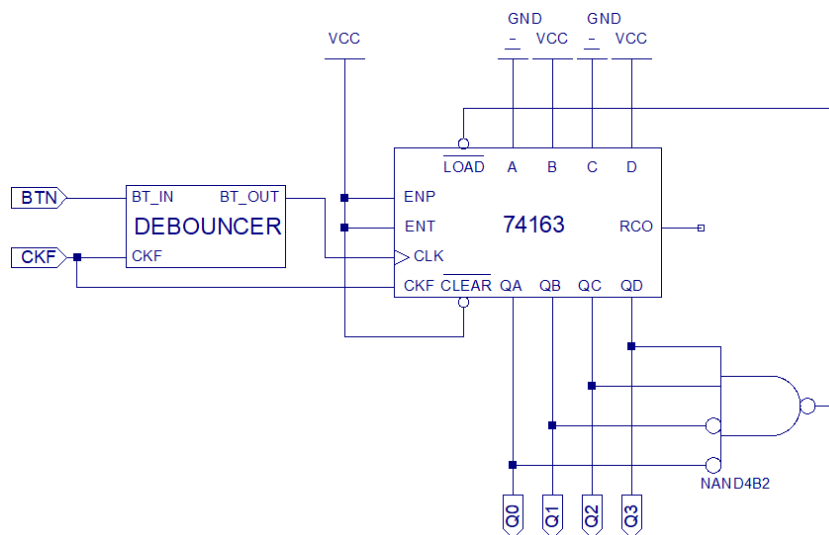


Figura 10. 14 Circuitul de test al numărătorului cu bucla  $10 \div 12$ , folosind 74163

Pentru a implementa buclele directe  $4 \div 9$  și  $0 \div 8$ , cu numărătorul zecimal 74162, se folosesc configurațiile următoare:

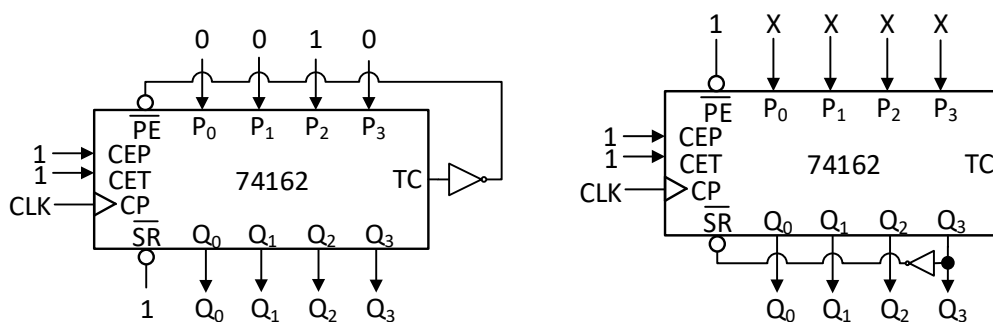


Figura 10. 15 Numărătoare cu buclele  $4 \div 9$  (stânga) și  $0 \div 8$  (dreapta), folosind 74162

**Notă:** În primul caz, detecția valorii 9 se realizează cu indicatorul TC. În al doilea caz, detecția valorii 8 se poate reduce la bitul  $Q_3$ , deoarece se activează numai pentru valoarea 8 din cadrul buclei, în rest fiind 0.

Dacă se dorește implementarea unei bucle cu valori mai mari se pot folosi numărătoare cascade. De exemplu, bucla  $37 \div 74$  se poate implementa cu numărătoare 74193 cascade, încărcând valoarea 37 ( $00100101_2$ ) la detectarea valorii 75 ( $01001011_2$ ):

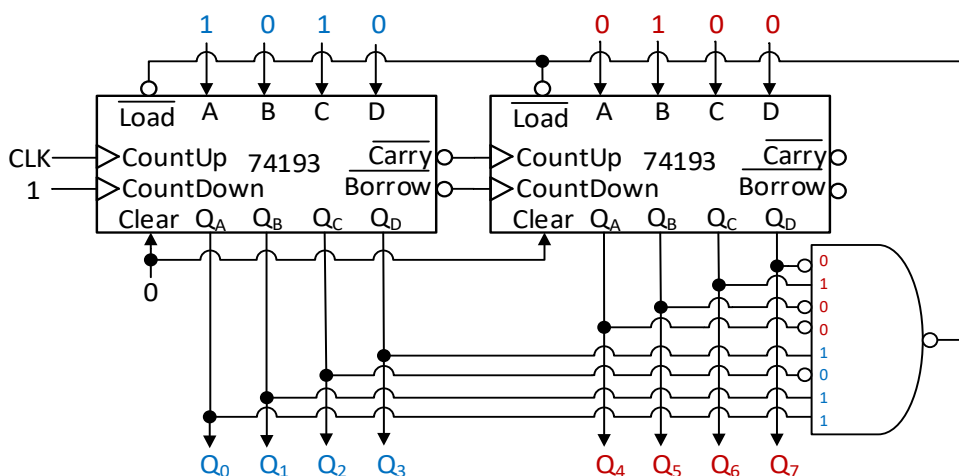
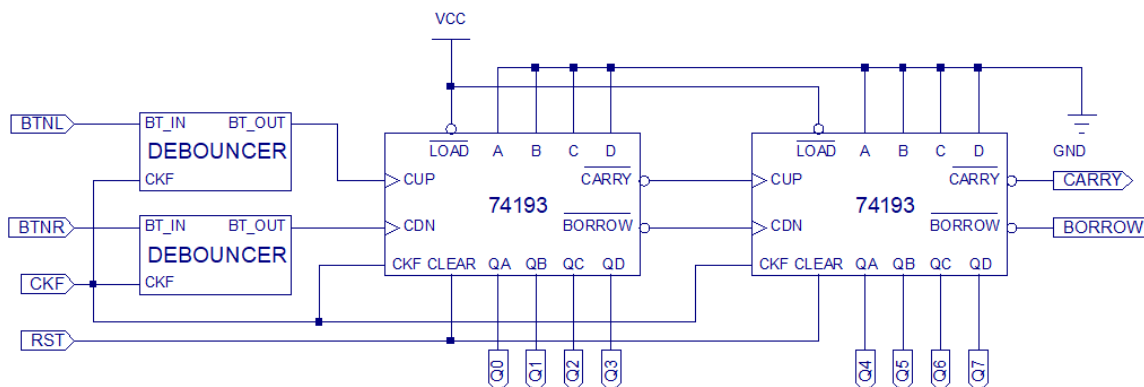


Figura 10. 16 Numărător cu bucla  $37 \div 74$ , folosind circuite 74193 cascade

### 10.3 Activități practice

1. Implementați pe placă numărătorul de mai jos, cu numărătoare 74193 cascade. Testați comanda asincronă de reset și numărarea în bucla  $0 \div 255$ , în ambele sensuri.



2. Implementați pe placă numărătorul *modulo 3* direct, pe 4 biți, cu bucla  $10 \div 12$ , implementat cu circuitul 74163. Testați numărarea în buclă.

3. Implementați în Logisim un numărător binar pe 8 biți implementat prin cascada unui 74162 cu 74163. Testați resetarea, încărcarea sincronă și numărarea în bucla  $0 \div 159$ .

4. Implementați în Logisim numărătorul *modulo 7* invers, pe 4 biți, cu bucla  $6 \div 0$ , implementat cu circuitul 74192. Testați numărarea în buclă.

5. Implementați în Logisim numărătorul *modulo 6* direct, pe 4 biți, cu bucla  $4 \div 9$ , implementat cu circuitul 74162. Testați numărarea în buclă.

6. Implementați în Logisim numărătorul *modulo 38* direct, pe 8 biți, cu bucla  $37 \div 74$ , implementat cu circuite 74193 cascade. Testați numărarea în buclă.