

# Proiectare logică

## Curs 11

Metode de proiectare a circuitelor  
secvențiale sincrone cu intrări asincrone

Cristian Vancea

<https://users.utcluj.ro/~vcristian/PL.html>

# Cuprins

- Sinteza unui automat (circuit secvențial sincron) de răspuns la telefon
  - cu bistabile
    - porți logice
    - decodificatoare
    - multiplexoare
  - cu numărătoare

# Sinteza unui automat de răspuns la telefon

## Enunțul problemei

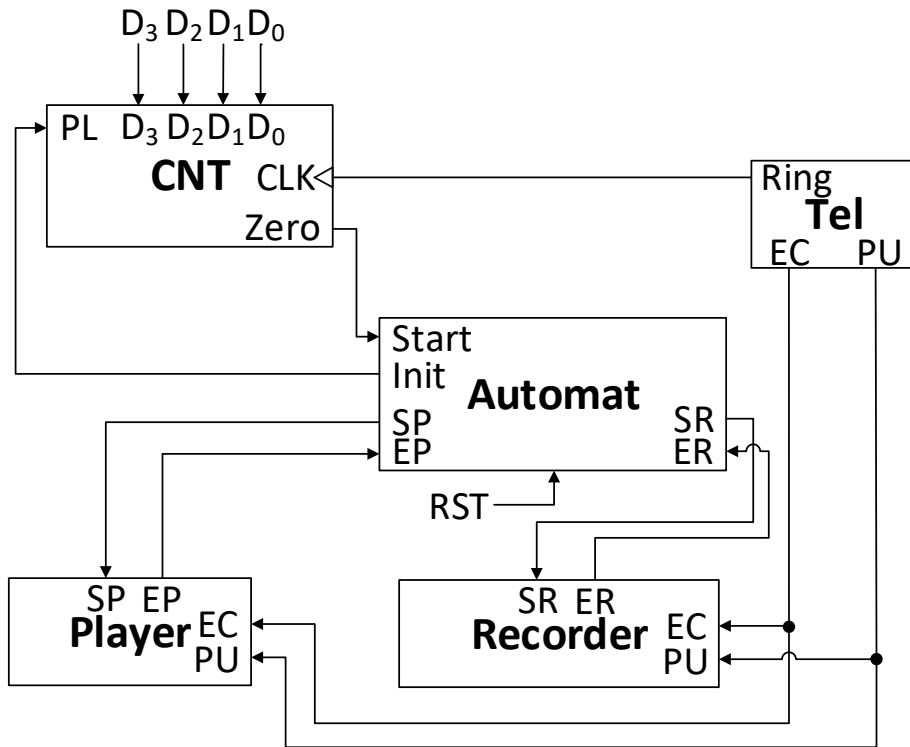
Să se realizeze un automat (circuit secvențial sincron) de răspuns la telefon cu următoarele facilități:

- permite configurarea numărului de apeluri sonore după care se pornește automatul;
- comandă redarea unui mesaj înregistrat;
- comandă înregistrarea mesajului apelantului;
- își încheie funcționalitatea în următoarele condiții:
  - după înregistrarea mesajului apelantului;
  - când apelantul închide;
  - când destinatarul răspunde la telefon.

# Sinteza unui automat de răspuns la telefon

## Schema bloc

Este stabilită de proiectant și conține automatul împreună cu periferice necesare.



**Tel** (Telephone) – telefon

- **Ring** (sonerie) – indicator apel sonor (1 – activ, 0 – inactiv) – va decrementa CNT;
- **EC** (End Call) – indicator apelantul a închis;
- **PU** (Pick Up) – indicator destinatarul a răspuns;

**CNT** (Counter) – numărător binar invers

- **Zero** – indicator valoare 0000 în numărător;
- **PL** (Parallel Load) – încărcare valoare  $D_3D_2D_1D_0$ ;

**Player** – unitate de redare audio

- **SP** (Start Play) – comandă pornire redare mesaj;
- **EP** (End Play) – indicator finalizare redare mesaj;
- dacă **EC** = 1 SAU **PU** = 1 => oprire imediată redare (**EP** = 1).

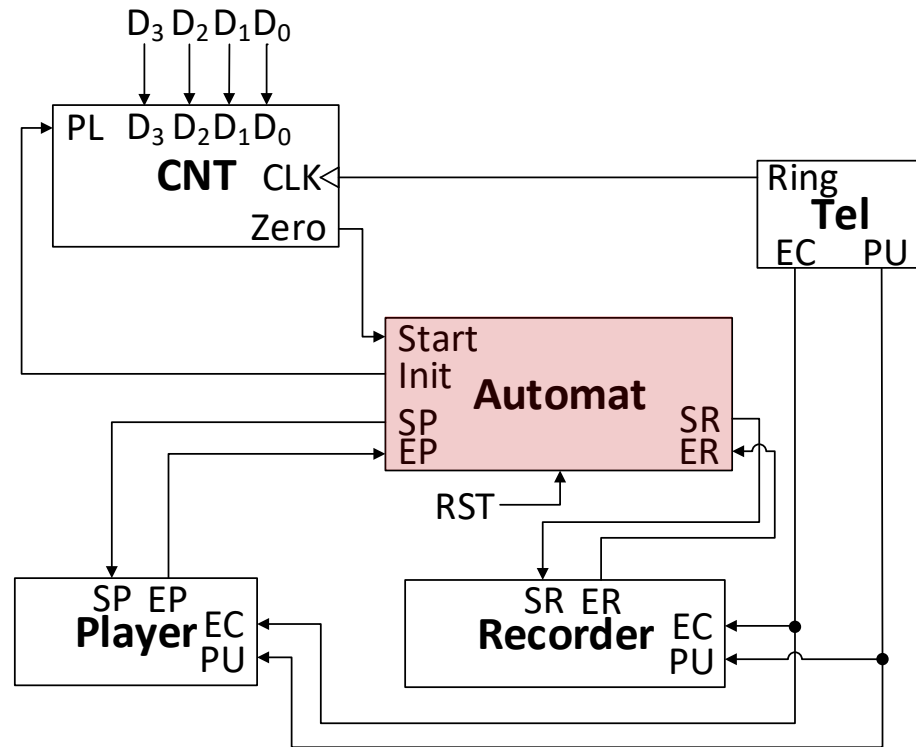
**Recorder** – unitate de înregistrare audio

- **SR** (Start Record) – comandă pornire înregistrare
- **ER** (End Record) – indicator finalizare înregistrare când **EC** = 1 sau **PU** = 1

# Sinteza unui automat de răspuns la telefon

## Schema bloc

Este stabilită de proiectant și conține automatul împreună cu periferice necesare.



**Automat** – circuit secvențial sincron

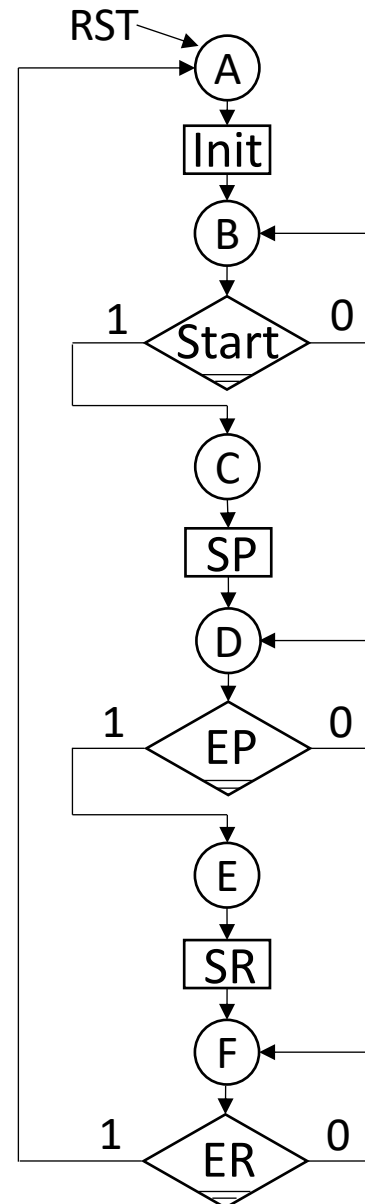
- **RST** – [IN] resetare asincronă
- **Start** – [IN] indicator asincron de pornire
- **Init** – [OUT] comandă de inițializare a numărătorului
- **SP** (Start Play) [OUT] – comandă pornire redare mesaj
- **EP** (End Play) [IN] – indicator asincron finalizare redare mesaj
- **SR** (Start Record) [OUT] – comandă pornire înregistrare
- **ER** (End Record) [IN] – indicator asincron finalizare înregistrare

# Sinteza unui automat de răspuns la telefon

## 1. Descrierea funcționării

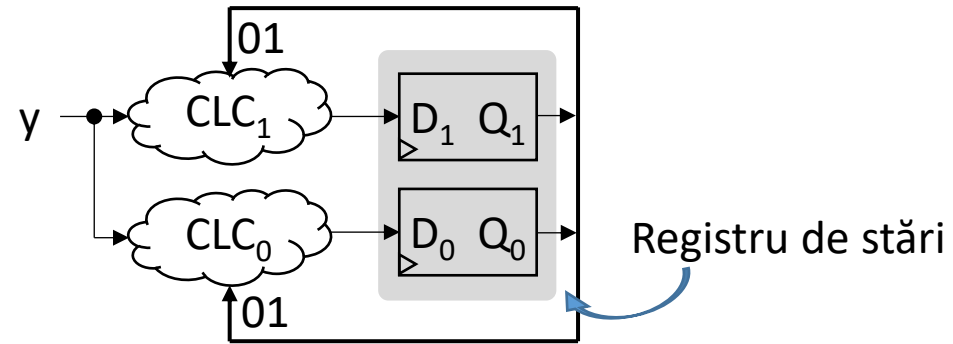
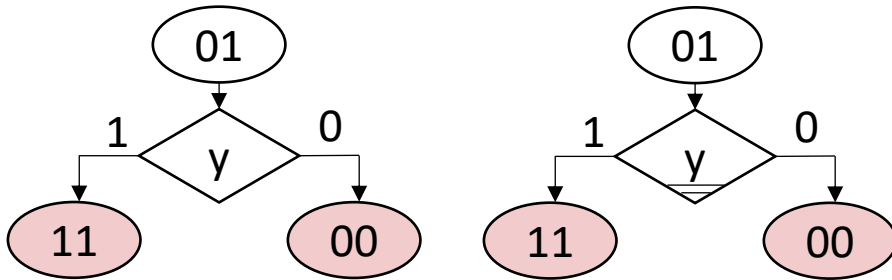
- **RST** – [IN] resetare asincronă
- **Start** – [IN] indicator asincron de pornire
- **Init** – [OUT] comandă de inițializare a numărătorului invers la o valoare
- **SP** (Start Play) [OUT] – comandă pornire redare mesaj
- **EP** (End Play) [IN] – indicator asincron finalizare redare mesaj
- **SR** (Start Record) [OUT] – comandă pornire înregistrare
- **ER** (End Record) [IN] – indicator asincron finalizare înregistrare

## Organigrama



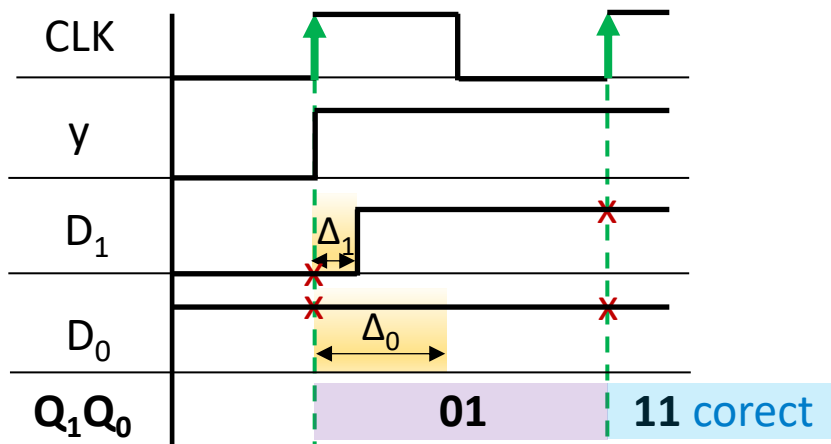
# Intrări asincrone vs. sincrone

## Exemplu de caz

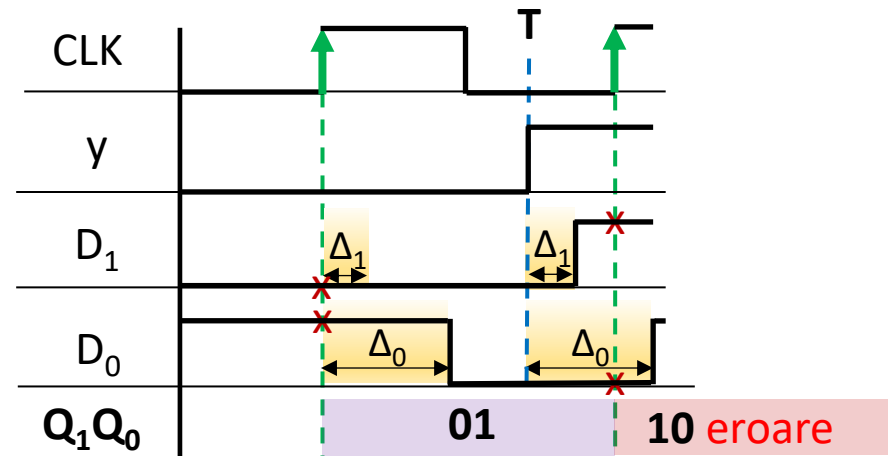


- Intrare sincronă: se modifică imediat după frontul ascendent al CLK.
- Intrare asincronă: se poate modifica **la orice moment de timp T**.
- Efectul la bistabile apare la  $T_0 = T + \Delta_0$ ,  $T_1 = T + \Delta_1$ , unde  $\Delta_0, \Delta_1$  = întârzieri pe circuit.
- Dacă  $T_0$  după front și  $T_1$  înainte de front => **stare greșită (eroare)**.

### Sincron



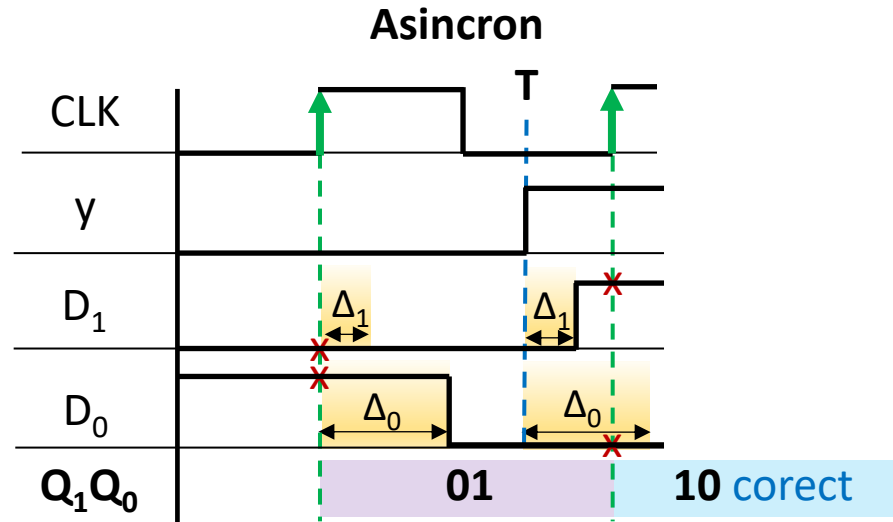
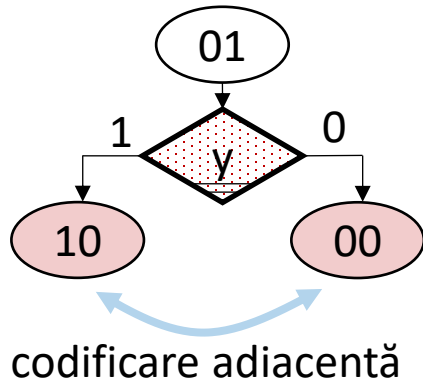
### Asincron



# Intrări asincrone vs. sincrone

**Soluție** - codificarea adiacentă a stărilor

- Se codifică stările **de după decizie** cu coduri **adiacente** (diferă prin 1 bit) => intrarea asincronă va afecta cel mult 1 bistabil (bit) de stare.



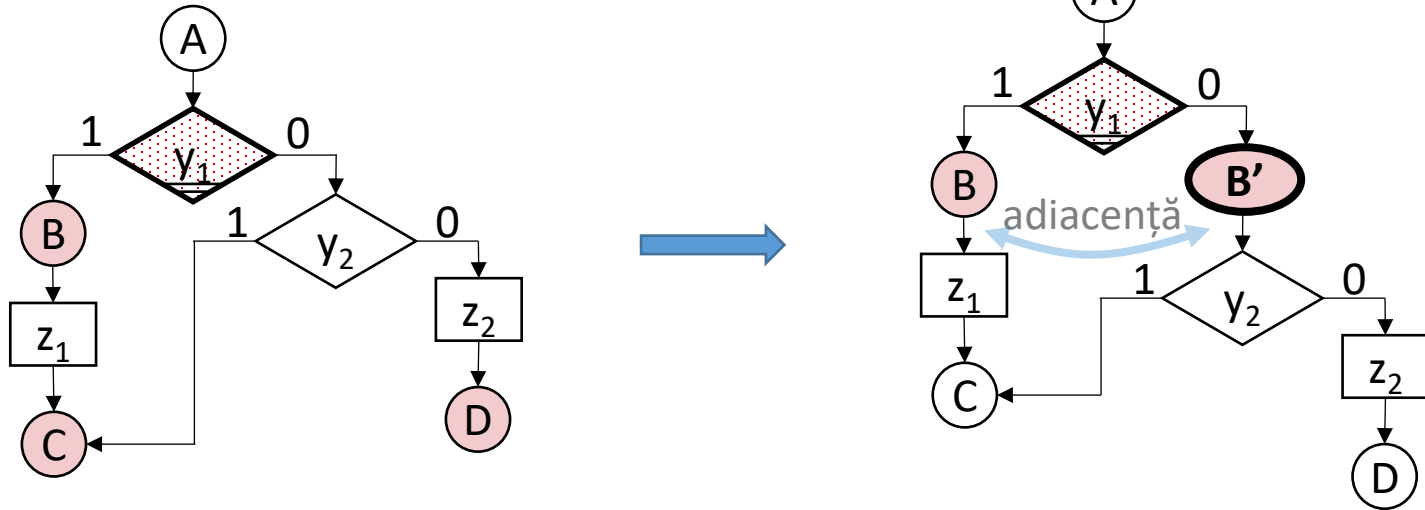
**Metoda:** Când apar **intrări asincrone** calea de ieșire a acestora trebuie să conțină **maxim 2 stări** care se vor codifica **adiacent**.

**\*Dacă >2 stări => se introduc stări noi pentru a satisface constrângerea.**



# Intrări asincrone vs. sincrone

## Introducerea unei stări noi – exemplu de caz



**Obs:** Variabila asincronă  $y_1$  are 3 stări pe calea de ieșire: B, C, D.

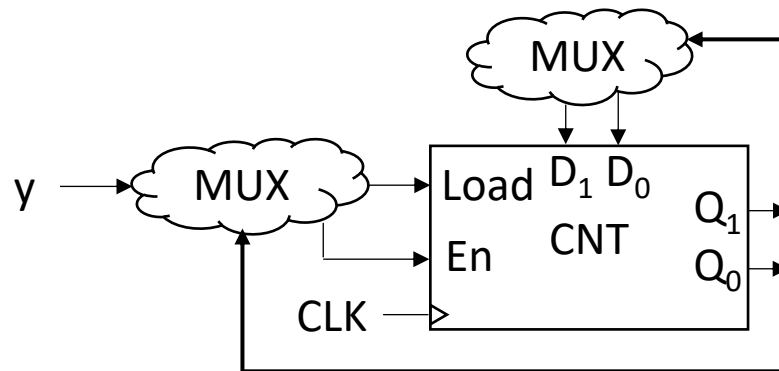
**Regula:** maxim 2 stări.

**Soluție:** Se introduce o stare adițională  $B'$   $\Rightarrow$  B și  $B'$  vor avea codificare adiacentă.

# Intrări asincrone vs. sincrone

## Soluție alternativă

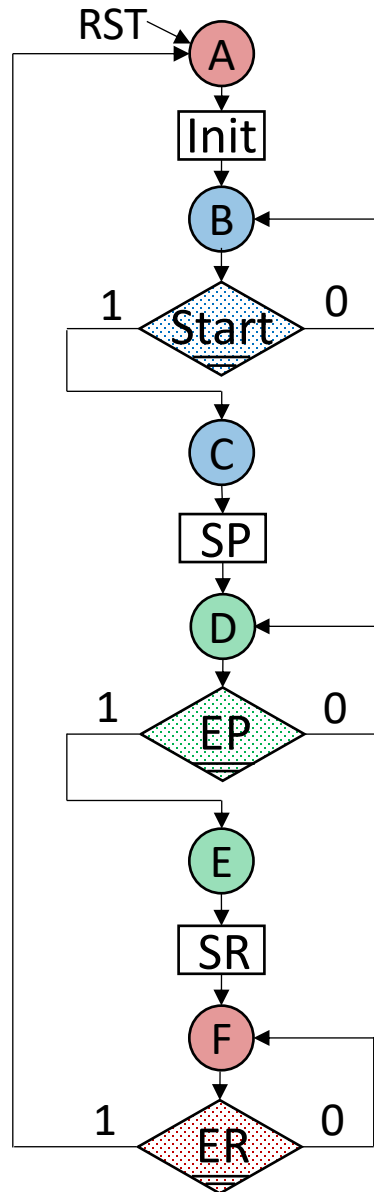
- Implementarea cu numărător sincron (are intrările  $D_i$  independente de  $y$ ).



**Obs:** Nu se impune regula de codificare adiacentă.

# Sinteza unui automat de răspuns la telefon

## 2. Codificarea stărilor



- Există 6 stări A, ..., F => codificare pe **3 biți**:  
 $Q_2, Q_1, Q_0$  – variabile de stare
- A este starea de reset => A = 000
- Când apar **intrări asincrone** stările pe calea de ieșire se codifică **adiacent**:
  - Se poate folosi diagrama Karnaugh a variabilelor de stare pentru a asocia coduri adiacente stărilor;
  - Stările adiacente se asociază celulelor vecine pe axe.

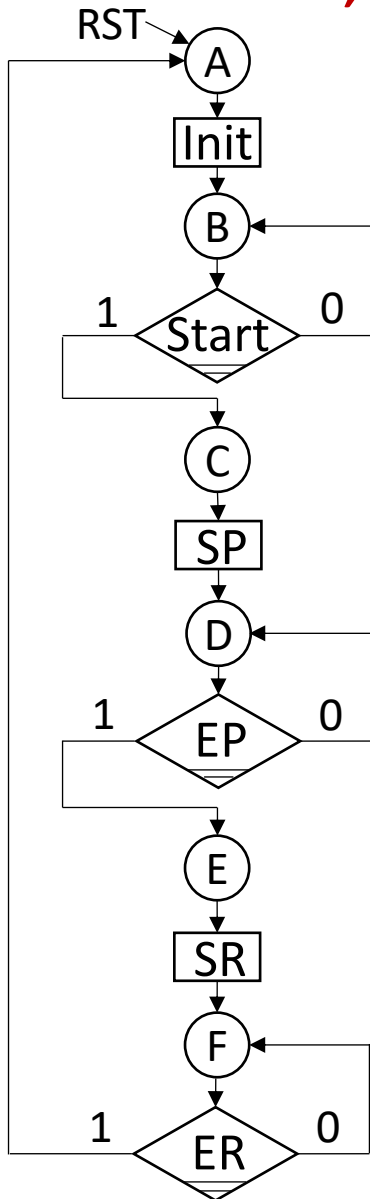
Intrare asincronă	Calea de ieșire
Start	B, C
EP	D, E
ER	F, A

$Q_2 \backslash Q_1 Q_0$	00	01	11	10
0	A	B	C	D
1	F			E

- Codul unei stări este dat de  $Q_2 Q_1 Q_0$  =>  
A=000, B=001, C=011, D=010, E=110, F=100

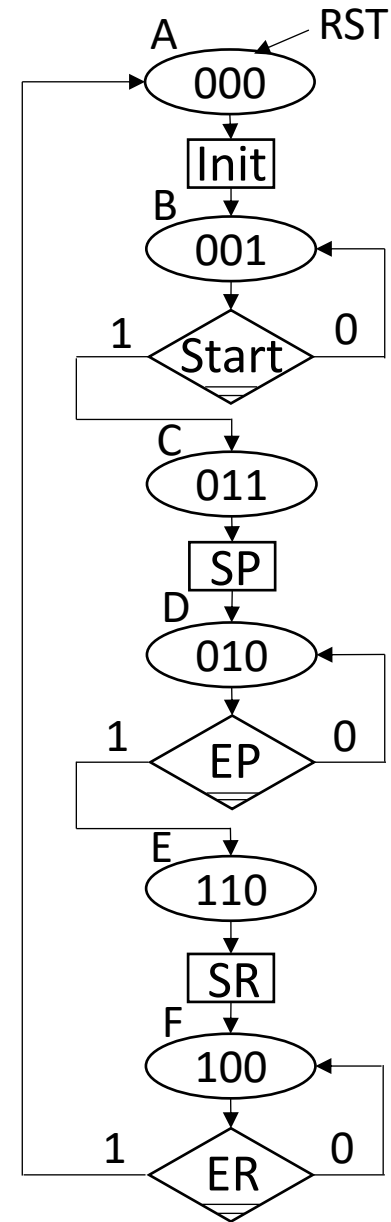
# Sinteza unui automat de răspuns la telefon

## 2. Codificarea stărilor, 3. Reducerea numărului de stări



A=000 B=001 C=011  
D=010 E=110 F=100

**Obs:** Reducerea numărului de stări afectează funcționalitatea  
=> **nu este posibilă.**



# Sinteza unui automat de răspuns la telefon

## 4. Implementarea registrului de stări interne

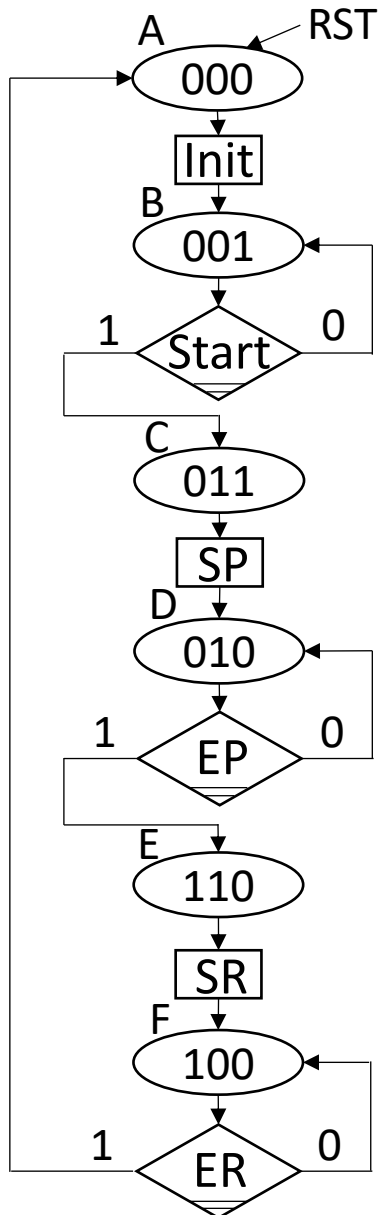
- Registrul de stări se implementează cu **3 bistabile D flip-flop**.

## 5. Determinarea funcțiilor de excitație secundară

- Se realizează Diagrama Karnaugh a stării viitoare  $(Q_2Q_1Q_0)^{t+1}$  în funcție de starea curentă  $(Q_2Q_1Q_0)^t$ .
  - > se obțin funcțiile de excitație secundară:  $D_i = Q_i^{t+1}$

# Sinteza unui automat de răspuns la telefon

## 5. Determinarea funcțiilor de excitație secundară



### Metodă de realizare a Diagramei Karnaugh pentru stări pe baza organigramei

- Fiecare celulă a diagramei corespunde unei stări → codul stării dă poziția în diagramă.
- În interiorul fiecărei celule se introduc:
  - X-uri – dacă starea nu apare în organigramă;
  - Valoarea stărilor următoare stării curente astfel:
    - Un bit care nu variază în toate stările următoare celei curente se păstrează cu valoarea respectivă;
    - Un bit care variază se înlocuiește cu variabila nenegată dacă valorile sale sunt identice cu ale variabilei, în caz contrar se înlocuiește cu variabila negată.

$(Q_2 Q_1 Q_0)^{t+1}$ :

$Q_2^t \backslash Q_1^t Q_0^t$	00	01	11	10
0	001	0Start1	010	EP10
1	$\overline{E}R00$	XXX	XXX	100

**!Verificare!**

# Sinteza unui automat de răspuns la telefon

## 5. Determinarea funcțiilor de excitație secundară

1. Se descompune Diagrama Karnaugh în diagrame pentru fiecare intrare  $D_i$ .
2. Dacă se implementează cu porți logice se minimizează fiecare diagramă.

$(Q_2 Q_1 Q_0)^{t+1}$ :

$Q_2^t \backslash Q_1^t Q_0^t$	00	01	11	10
0	001	0Start1	010	EP10
1	$\overline{ER}$ 00	XXX	XXX	100

$D_2$ :

$Q_2^t \backslash Q_1^t Q_0^t$	00	01	11	10
0	0	0	0	EP
1	$\overline{ER}$	X	X	1

$D_1$ :

$Q_2^t \backslash Q_1^t Q_0^t$	00	01	11	10
0	0	Start	1	1
1	0	X	X	0

$D_0$ :

$Q_2^t \backslash Q_1^t Q_0^t$	00	01	11	10
0	1	1	0	0
1	0	X	X	0

# Sinteza unui automat de răspuns la telefon

## 5. Determinarea funcțiilor de excitație secundară

$D_2$ :

$Q_2^t \backslash Q_1^t Q_0^t$	00	01	11	10
0	0	0	0	EP
1	$\overline{ER}$	X	X	1

### Minimizarea funcțiilor cu expresii înglobate la FDM

- Se înlocuiesc expresiile înglobate cu 0 în diagramă. Se fac grupări maxime de 1 și se rețin termenii rezultați.
- Se înlocuiește 1 cu X în diagramă. Se fac grupări maxime, care să conțină toate expresiile înglobate cel puțin o dată. O grupare nu are voie să conțină 2 expresii înglobate diferite, dar poate conține aceeași expresie de mai multe ori. Pentru fiecare grupare se efectuează conjuncție (ȘI) între expresia înglobată și termenul rezultat.
- Se efectuează SAU peste rezultatele obținute la pașii anteriori:  $D_2 = Q_2^t \cdot Q_1^t + Q_2^t \cdot \overline{ER} + Q_1^t \cdot \overline{Q_0^t} \cdot EP$ .

$Q_2^t \backslash Q_1^t Q_0^t$	00	01	11	10
0	0	0	0	0
1	0	X	X	1

$$Q_2^t \cdot Q_1^t$$

$Q_2^t \backslash Q_1^t Q_0^t$	00	01	11	10
0	0	0	0	EP
1	$\overline{ER}$	X	X	X

$$Q_2^t \cdot \overline{ER} \quad Q_1^t \cdot \overline{Q_0^t} \cdot EP$$



# Sinteza unui automat de răspuns la telefon

## 5. Determinarea funcțiilor de excitație secundară

$D_1$ :

$Q_2^t \backslash Q_1^t Q_0^t$	00	01	11	10
0	0	Start	1	1
1	0	X	X	0

### Minimizarea funcțiilor cu expresii înglobate la FDM

- Se înlocuiesc expresiile înglobate cu 0 în diagramă. Se fac grupări maxime de 1 și se rețin termenii rezultați.
- Se înlocuiește 1 cu X în diagramă. Se fac grupări maxime, care să conțină toate expresiile înglobate cel puțin o dată. O grupare nu are voie să conțină 2 expresii înglobate diferite, dar poate conține aceeași expresie de mai multe ori. Pentru fiecare grupare se efectuează conjuncție ( $\cdot$ ) între expresia înglobată și termenul rezultat.
- Se efectuează SAU peste rezultatele obținute la pașii anteriori:  $D_1 = \overline{Q_2^t} \cdot Q_1^t + Q_0^t \cdot \text{Start}$ .

$Q_2^t \backslash Q_1^t Q_0^t$	00	01	11	10
0	0	0	1	1
1	0	X	X	0

$$\overline{Q_2^t} \cdot Q_1^t$$

$Q_2^t \backslash Q_1^t Q_0^t$	00	01	11	10
0	0	Start	X	X
1	0	X	X	0


$$Q_0^t \cdot \text{Start}$$

# Sinteza unui automat de răspuns la telefon

## 5. Determinarea funcțiilor de excitație secundară

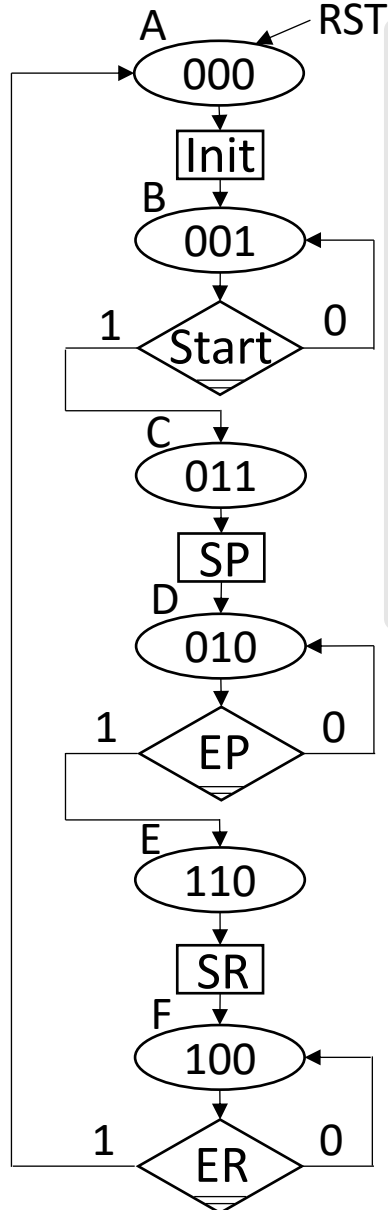
$D_0$ :

$Q_2^t \backslash Q_1^t Q_0^t$	00	01	11	10
0	1	1	0	0
1	0	X	X	0

$$D_0 = \overline{Q_2^t} \cdot \overline{Q_1^t}$$


# Sinteza unui automat de răspuns la telefon

## 5. Determinarea funcțiilor de ieșire



**Metodă de realizare a Diagramei Karnaugh pentru ieșiri pe baza organigramei**

- Codul stării dă poziția în diagramă.
- În interiorul fiecărei celule se introduce:
  - **X** – dacă starea nu apare în organigramă;
  - **1** – dacă ieșirea este asociată stării curente;
  - **0** – dacă ieșirea nu este asociată stării curente sau tranzițiilor din ea;
  - **variabila nenegată** – dacă ieșirea este asociată unei tranziții pe 1
  - **variabila negată** – dacă ieșirea este asociată unei tranziții pe 0

Init:

$Q_2^t \backslash Q_1^t Q_0^t$	00	01	11	10
0	0	<u>1</u>	0	0
1	0	X	X	0

SP:

$Q_2^t \backslash Q_1^t Q_0^t$	00	01	11	10
0	0	0	<u>1</u>	0
1	0	X	X	0

SR:

$Q_2^t \backslash Q_1^t Q_0^t$	00	01	11	10
0	0	0	0	0
1	0	X	<u>X</u>	<u>1</u>

$$\text{Init} = \overline{Q_2^t} \cdot \overline{Q_1^t} \cdot \overline{Q_0^t}$$

$$\text{SP} = Q_1^t \cdot Q_0^t$$

$$\text{SR} = Q_2^t \cdot Q_1^t$$

# Sinteza unui automat de răspuns la telefon

## 7. Schema circuitului – implementarea funcțiilor de excitație și a ieșirilor cu porți logice

$$D_2 = Q_2^t \cdot Q_1^t + Q_2^t \cdot \overline{ER} + Q_1^t \cdot \overline{Q_0^t} \cdot EP$$

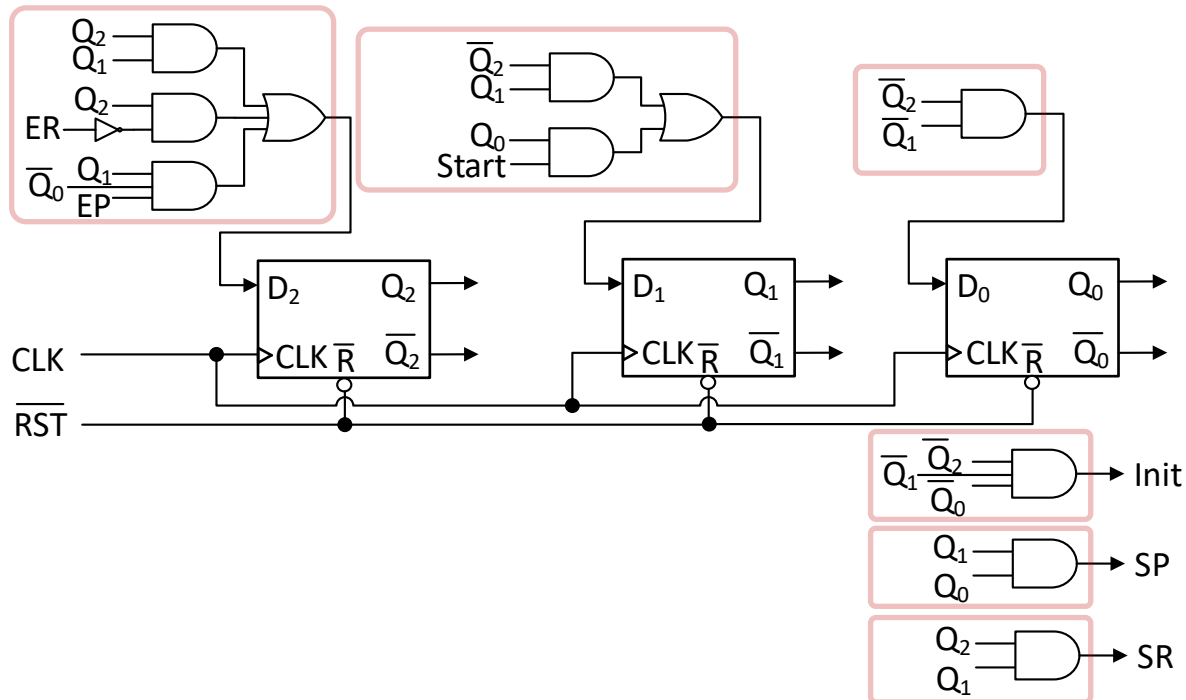
$$D_1 = \overline{Q_2^t} \cdot Q_1^t + Q_0^t \cdot \text{Start}$$

$$D_0 = \overline{Q_2^t} \cdot \overline{Q_1^t}$$

$$\text{Init} = \overline{Q_2^t} \cdot \overline{Q_1^t} \cdot \overline{Q_0^t}$$

$$\text{SP} = Q_1^t \cdot Q_0^t$$

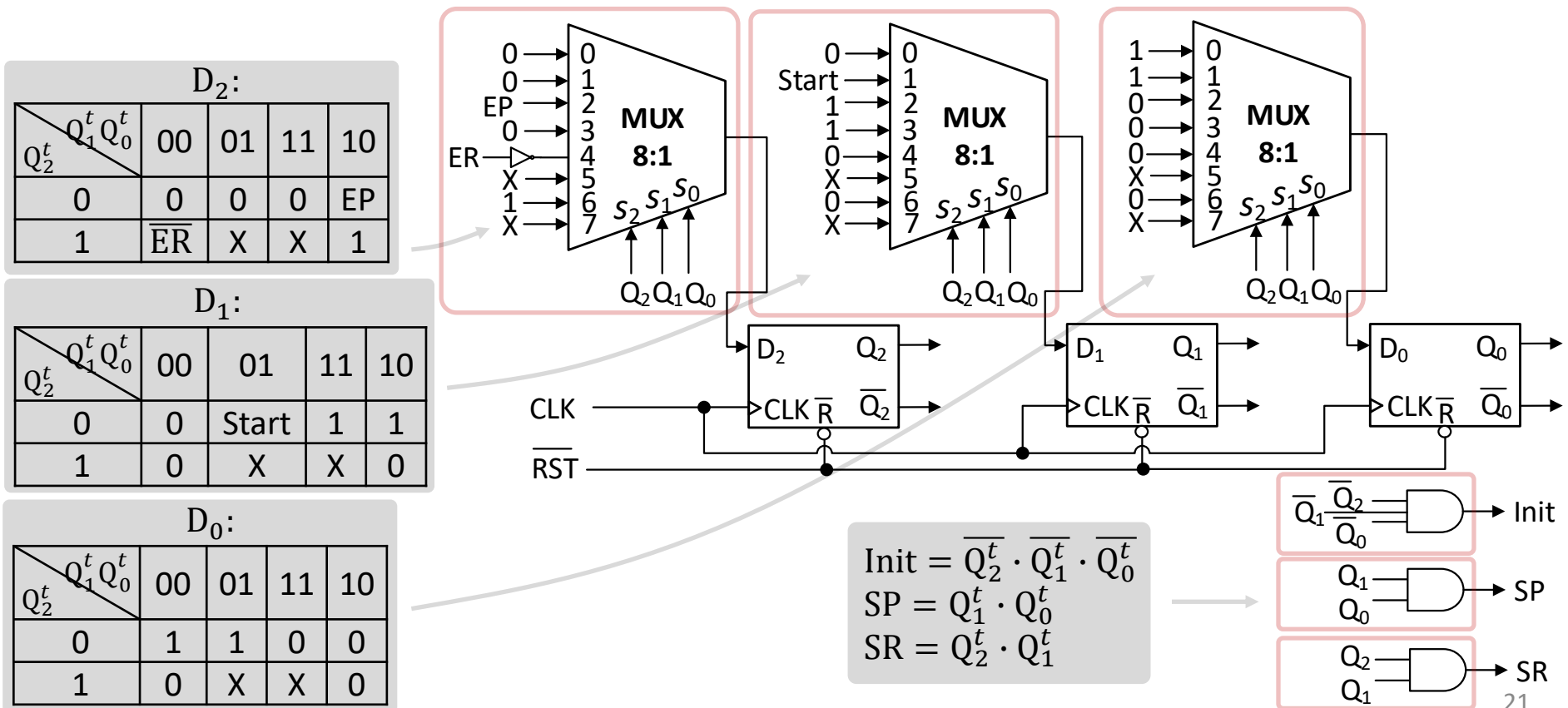
$$\text{SR} = Q_2^t \cdot Q_1^t$$



# Sinteza unui automat de răspuns la telefon

## 7. Schema circuitului – implementarea funcțiilor de excitație cu MUX și a ieșirilor cu porți logice

- Se alege MUX cu un număr de selecții identic cu numărul de variabile secundare.
- Pe selecțiile MUX se aplică variabilele secundare.
- Pe intrările de date ale MUX se aplică conținutul celulei din Diagrama Karnaugh care corespunde unui cod identic cu indexul intrării.



# Sinteza unui automat de răspuns la telefon

## 7. Schema circuitului – implementarea funcțiilor de excitație/ieșire cu DCD

- Se alege DCD cu un număr de intrări identic cu numărul de variabile secundare și ieșirile nenegate. Pe intrările DCD se aplică variabilele secundare.
- DCD implementează la ieșire toți mintermii intrărilor => se aleg ieșirile care corespund celulelor din Diagrama Karnaugh diferite de 0 și X, apoi se aplică ȘI cu conținutul celulei respective dacă este diferit de 1. Pe liniile rezultate se aplică operația SAU.

### Funcții de excitație

$D_2$ :

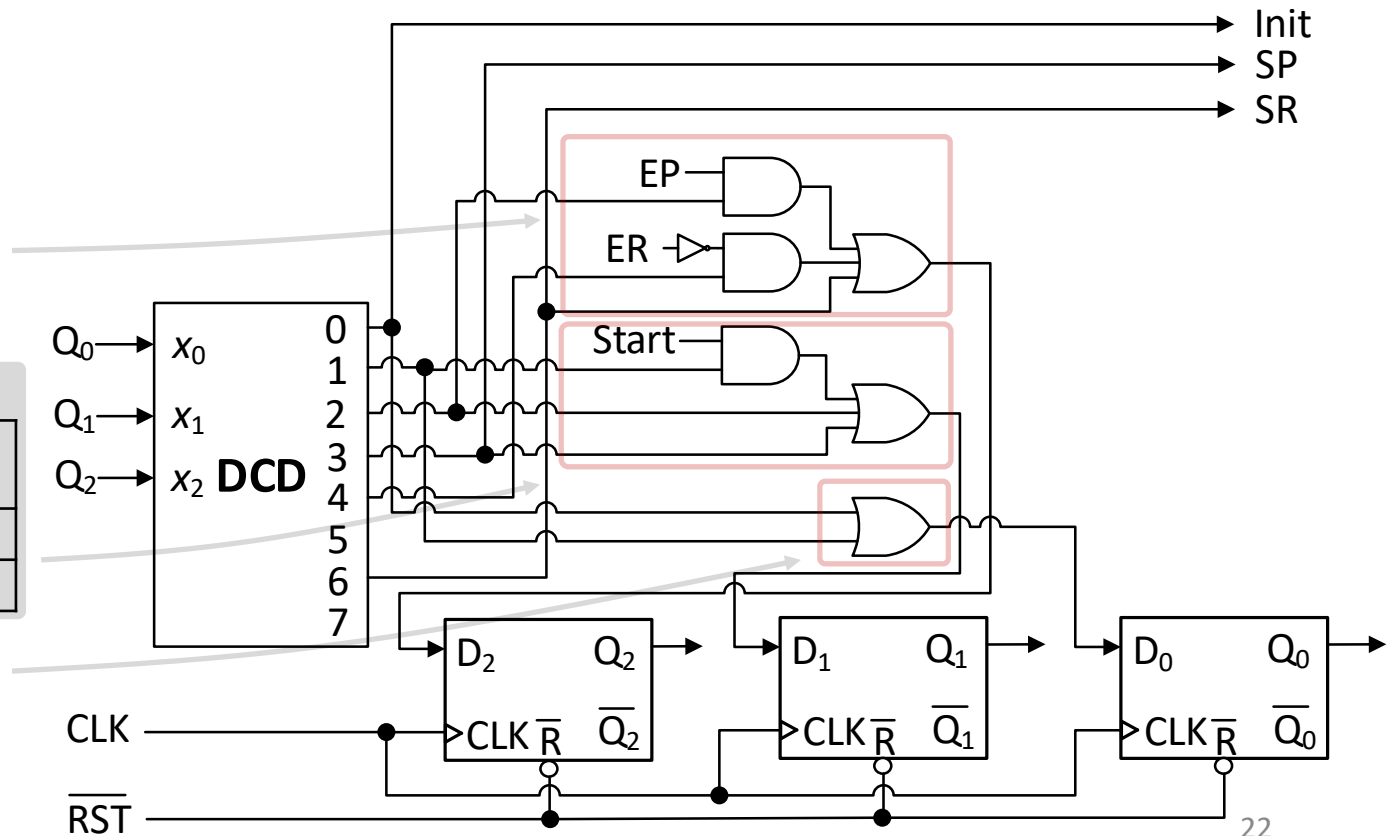
$Q_2^t \backslash Q_1^t Q_0^t$	00	01	11	10
0	0	0	0	EP
1	ER	X	X	1

$D_1$ :

$Q_2^t \backslash Q_1^t Q_0^t$	00	01	11	10
0	0	Start	1	1
1	0	X	X	0

$D_0$ :

$Q_2^t \backslash Q_1^t Q_0^t$	00	01	11	10
0	1	1	0	0
1	0	X	X	0



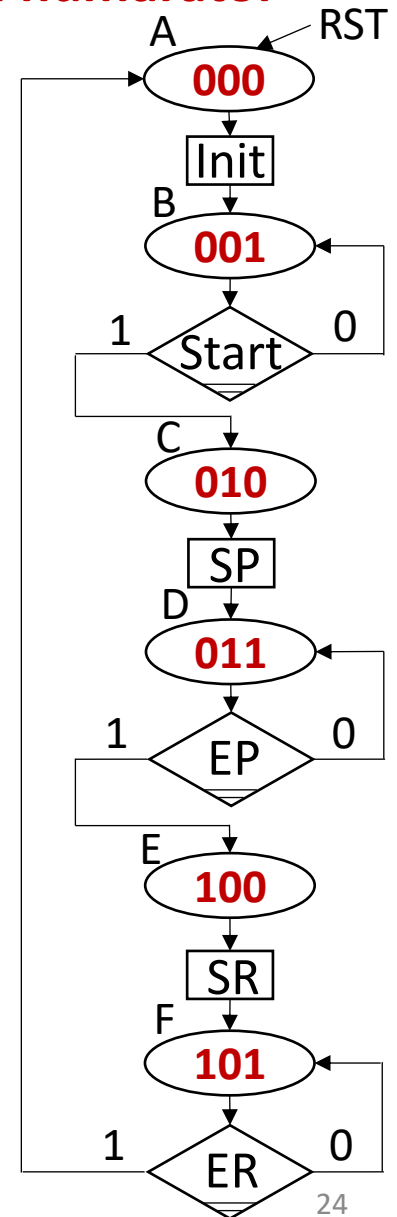
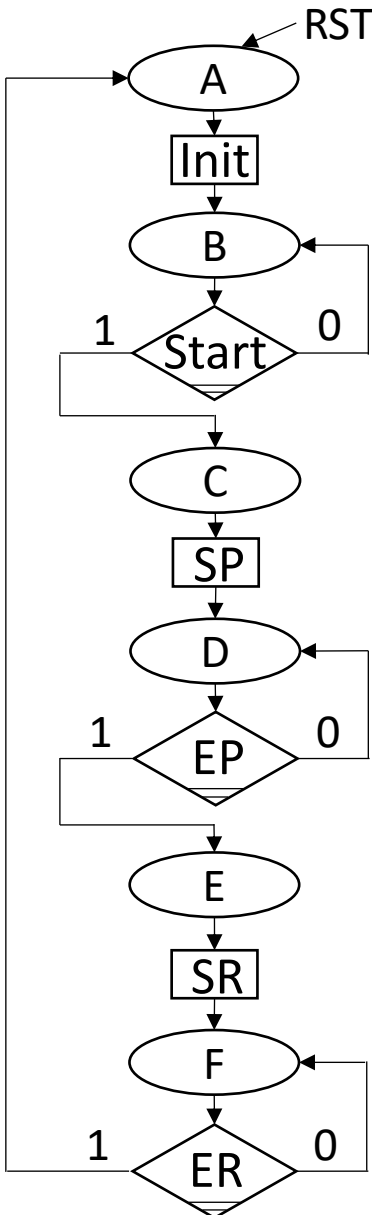


# Sinteza unui automat de răspuns la telefon

## 7. Schema circuitului – implementarea registrului de stări cu numărător

- Se codifică stările în ordine crescătoare. Starea inițială are codul 000.
- Regulă:** Maxim 2 stări viitoare. Dacă o stare are 2 stări viitoare și sunt distincte de ea, atunci una din ele trebuie să aibă codul stării + 1.  
**Notă:**  $111+1=000$

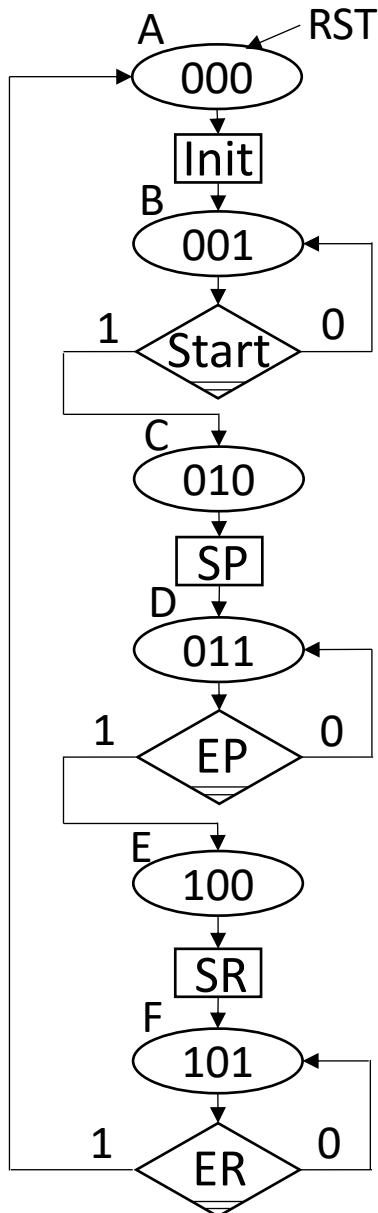
Codificarea stărilor





# Sinteza unui automat de răspuns la telefon

## 7. Schema circuitului – implementarea registrului de stări cu numărător



- Se definește **funcția de numărare**  $f_N(Q_2, Q_1, Q_0)$  care specifică dacă din starea  $Q_2Q_1Q_0$  se face tranziție la starea  $Q_2Q_1Q_0 + 1$ :

$$f_N(Q_2, Q_1, Q_0) = \begin{cases} X, & \text{starea } Q_2Q_1Q_0 \text{ nu există} \\ 0, & \text{nu este cazul} \\ 1, & \text{tranziția este directă (fără decizie)} \\ \text{expresia decizională,} & \text{tranziția este cu decizie} \end{cases}$$

- Se definește **funcția de ramificare**  $f_R(Q_2, Q_1, Q_0)$  care specifică dacă din starea  $Q_2Q_1Q_0$  se face o tranziție la alte stări decât  $Q_2Q_1Q_0$  sau  $Q_2Q_1Q_0 + 1$ :

$$f_R(Q_2, Q_1, Q_0) = \begin{cases} X, & \text{starea } Q_2Q_1Q_0 \text{ nu există} \\ 0, & \text{nu este cazul sau starea } Q_2Q_1Q_0 \text{ inexistentă} \\ 1, & \text{tranziția este directă (fără decizie)} \\ \text{expresia decizională,} & \text{tranziția este cu decizie} \end{cases}$$

- Se definește **funcția stare de ramificare**  $f_{SR}(Q_2, Q_1, Q_0)$  care specifică starea de ramificare când  $f_R \neq 0$  și  $f_R \neq X$ , altfel nu contează (se pun X-uri).

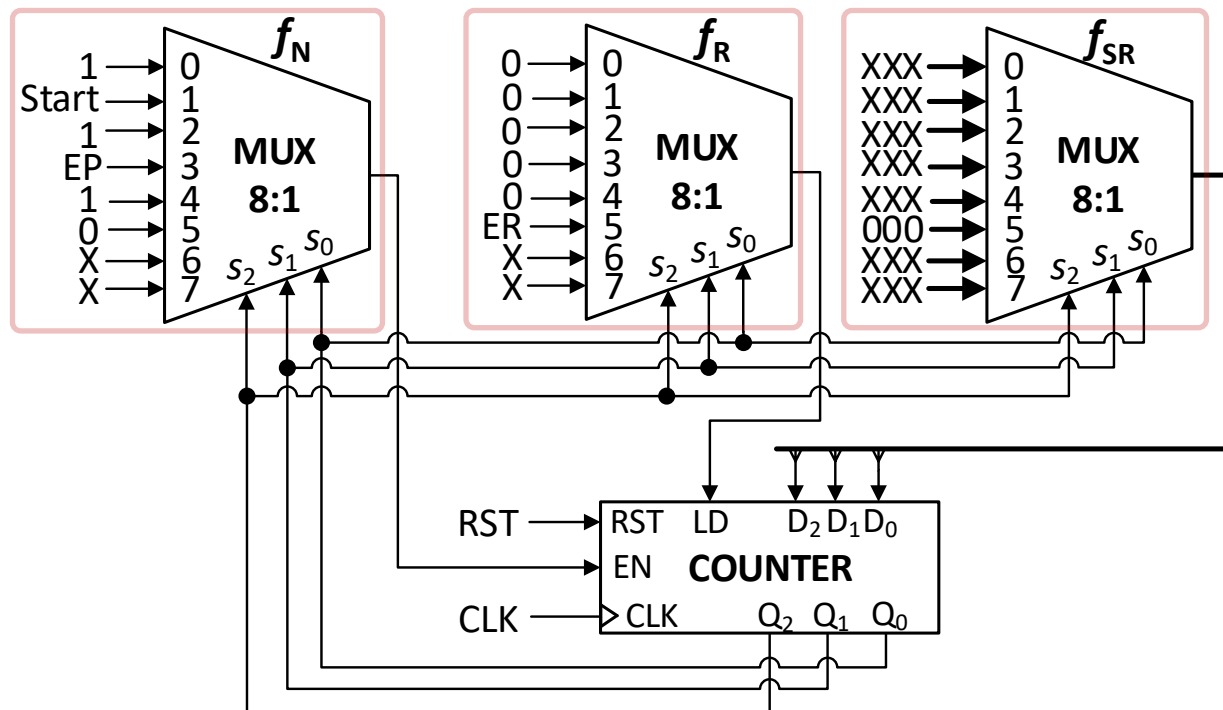
$Q_2Q_1Q_0$	$f_N$	$f_R$	$f_{SR}$	$Q_2Q_1Q_0$	$f_N$	$f_R$	$f_{SR}$
0 0 0	1	0	X X X	1 0 0	1	0	X X X
0 0 1	Start	0	X X X	1 0 1	0	ER	0 0 0
0 1 0	1	0	X X X	1 1 0	X	X	X X X
0 1 1	EP	0	X X X	1 1 1	X	X	X X X

# Sinteza unui automat de răspuns la telefon

## 7. Schema circuitului – implementarea registrului de stări cu numărător

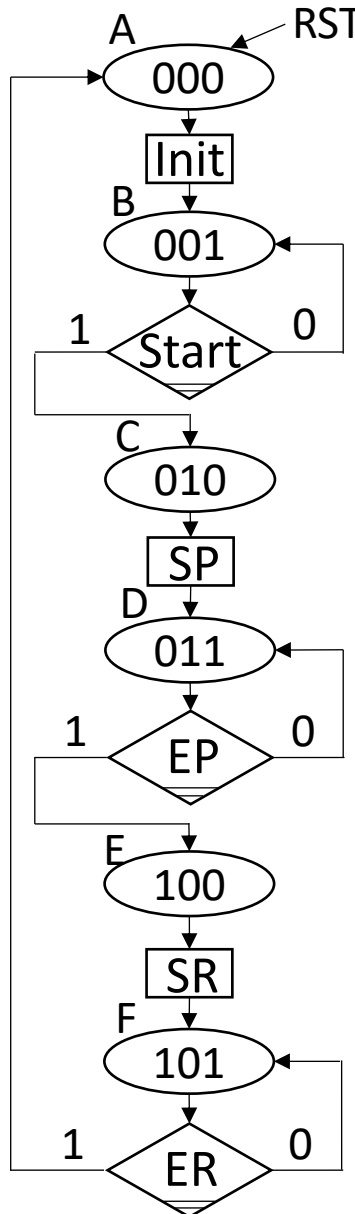
$Q_2 Q_1 Q_0$	$f_N$	$f_R$	$f_{SR}$	$Q_2 Q_1 Q_0$	$f_N$	$f_R$	$f_{SR}$
0 0 0	1	0	X X X	1 0 0	1	0	X X X
0 0 1	Start	0	X X X	1 0 1	0	ER	0 0 0
0 1 0	1	0	X X X	1 1 0	X	X	X X X
0 1 1	EP	0	X X X	1 1 1	X	X	X X X

- Se implementează  $f_N, f_R, f_{SR}$  cu MUX.
- Pentru 3 variabile de stare  $Q_2, Q_1, Q_0$  se folosește MUX 8:1 cu 3 selecții.
- Pentru  $f_{SR}$  calea de date este pe 3 biți.



# Sinteza unui automat de răspuns la telefon

## Determinarea funcțiilor de ieșire



**Obs:** Datorită **recodificării** adoptate la implementare cu numărător se refac Diagramele Karnaugh ale funcțiilor de ieșire.

Init:

$Q_2^t \backslash Q_1^t Q_0^t$	00	01	11	10
0	1	0	0	0
1	0	0	X	X

SP:

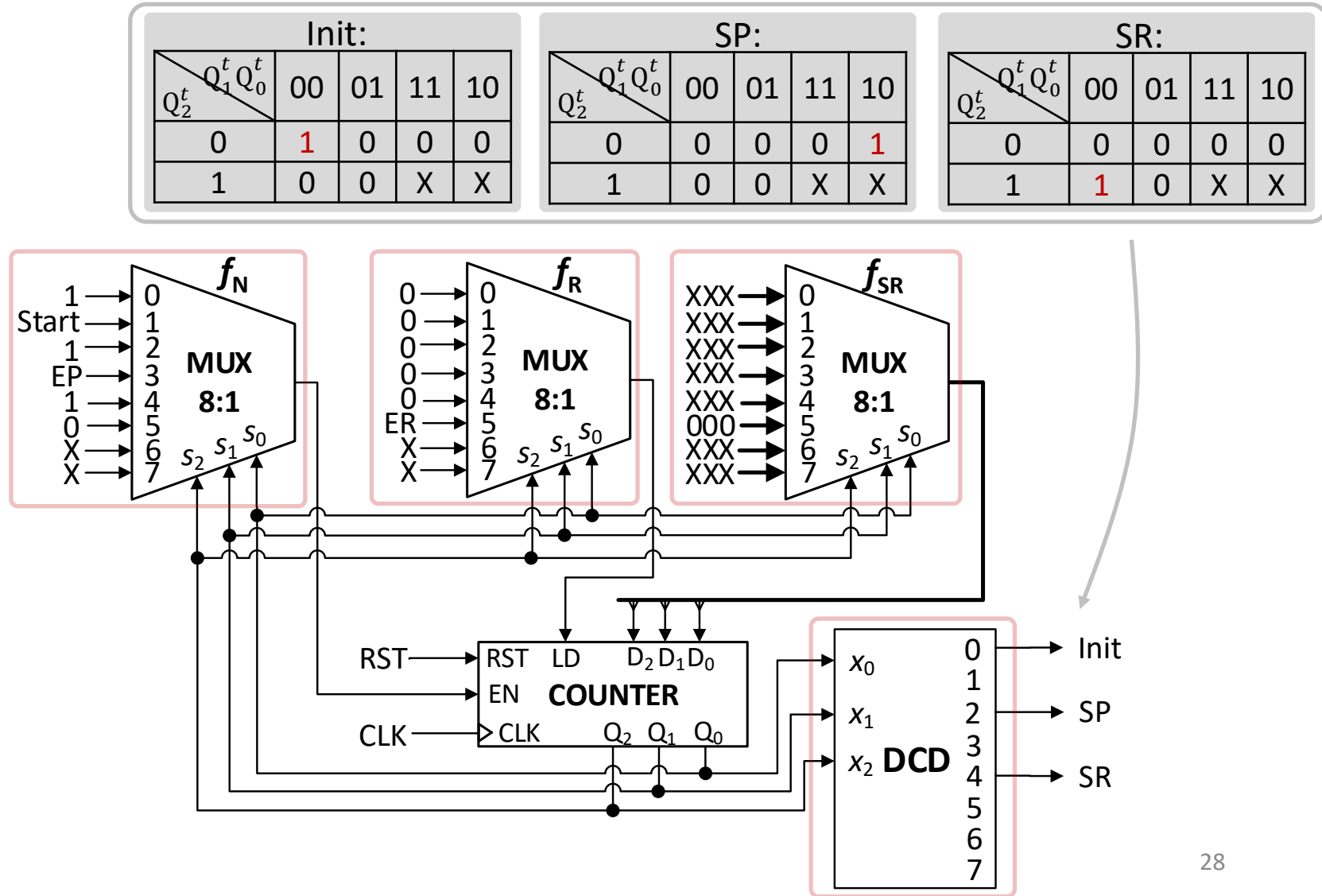
$Q_2^t \backslash Q_1^t Q_0^t$	00	01	11	10
0	0	0	0	1
1	0	0	X	X

SR:

$Q_2^t \backslash Q_1^t Q_0^t$	00	01	11	10
0	0	0	0	0
1	1	0	X	X

# Sinteza unui automat de răspuns la telefon

## 7. Schema circuitului – implementarea registrului de stări cu numărător și a ieșirilor cu DCD



# Elaborarea organigramelor – rezumat

		Calea de ieșire pentru	
		Intrări sincrone	Intrări asincrone
Implementarea registrului de stări	Cu bistabile	Oricâte stări viitoare codificate la alegere	Maxim 2 stări viitoare codificate adiacent
	Cu numărător	Maxim 2 stări viitoare. Dacă 2 stări viitoare, atunci una trebuie să fie cea curentă sau curentă+1	

- Notă:** Minimizarea este necesară doar la implementarea cu porți logice fundamentale, altfel se folosesc diagrame Karnaugh sau tabele de adevăr.