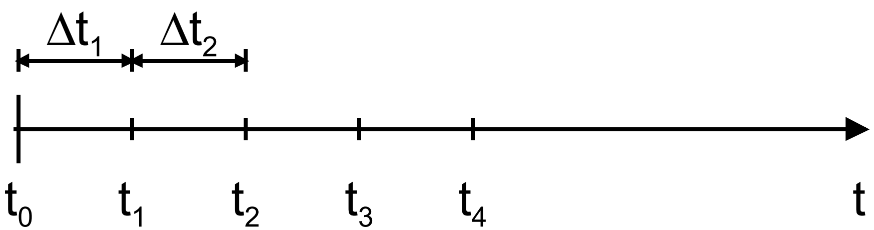
# 7. ČASOVNO ODVISNE PREKLOPNE FUNKCIJE IN POMNENJE V PREKLOPNIH VEZJIH

## 7.1 Neodvisna časovna preklopna spremenljivka

### 7.1.1 Vpeljava časa v preklopne spremenljivke

Ekvidistančni časovni interval:



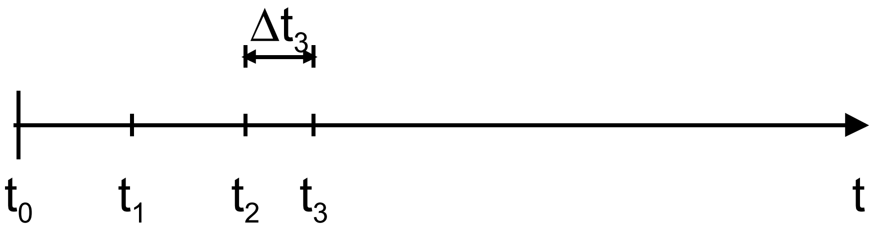

$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \cdot\cdot\cdot\cdot = \Delta t = T$

Čas razsekamo na intervale 0, $\Delta t$, $2\Delta t$ ... $n\Delta t$, $(n + 1)\Delta t$ ... $\Delta t = T$

Zaradi poenostavitve opustimo $\Delta t$ in tako smemo reči, da se spremembe - vsaj teoretično - dogajajo le ob 0,1, 2,..., n, (n + 1).


$t = n\Delta t = nT$ nam bo tako pomenil sedanji čas

Neekvidistantna delitev časa:




7.1.2 Zapis neodvisne časovne spremenljivke

a) s funkcijsko odvisnostjo:

$x(t) = x(n\Delta t) = x(nT) \equiv x(n) \equiv x[n]$

b) z operatorjem:

$$\Delta^n x = \begin{cases} x, & \text{če je} \quad t \in (n\Delta t) \\ 0, & \text{če} \quad\quad t \notin (n\Delta t) \end{cases}$$

$\Delta^n x$ - neodvisna časovna spremenljivka

Časovni operator dodamo k FPSPF, pri tem pa potrebujemo še:

1. Izhodišče opazovanja; to je sedanji čas:

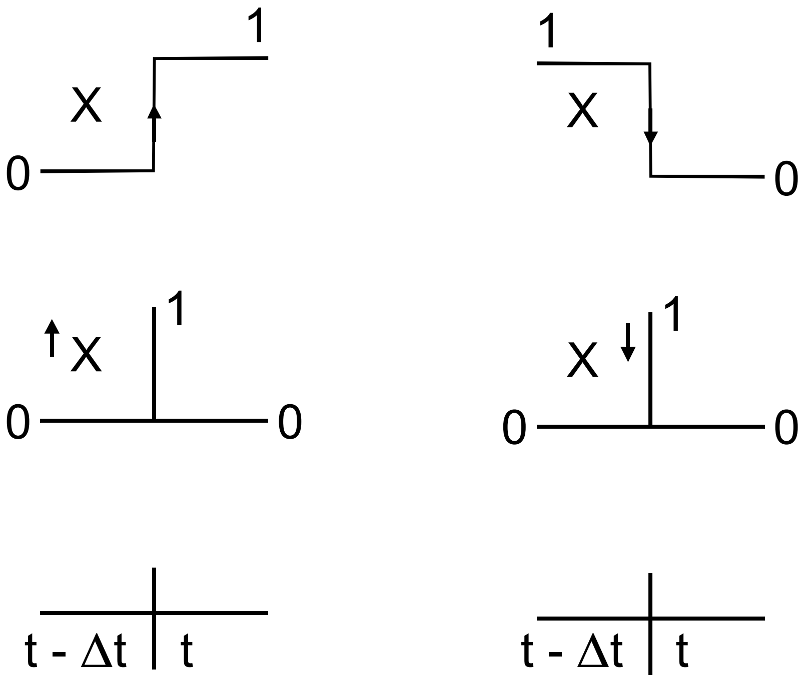
$\Delta^0 x = x$ - izhodišče opazovanja

$\Delta^n(\Delta^m x) = \Delta^{n+m} x$ pomik v desno po časovni osi (prihodnji čas)

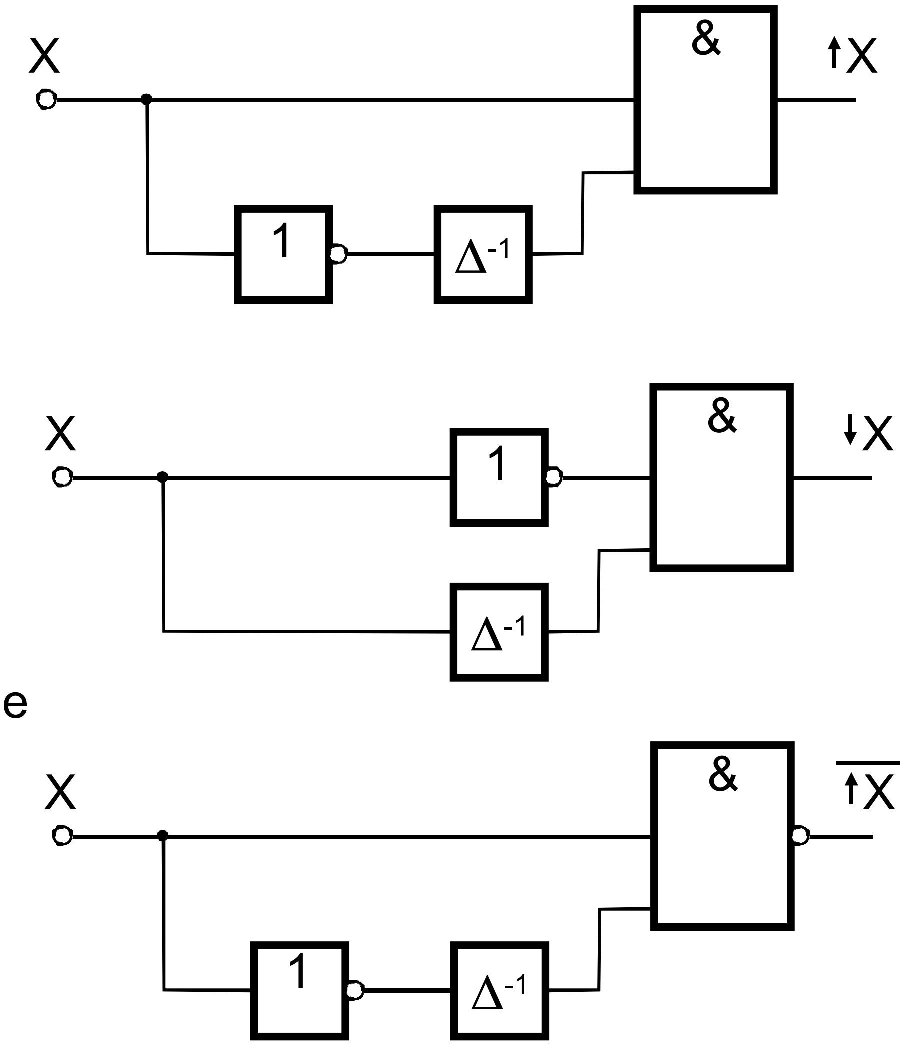
$\Delta^n(x_1 x_2) = \Delta^n x_1 \Delta^n x_2$ sočasnost nastopa spremenljivk

$\Delta^{\bar{n}} x = \overline{\Delta}^n x = \Delta^n \overline{x}$ komplement časovne spremenljivke

### 7.1.3 Prehod med statičnimi signali in funkcija fronte




Možnosti realizacije funkcije fronte:




Definirajmo sedaj funkcijo prednje in zadnje fronte neodvisne časovne spremenljivke

$$\uparrow x = (\Delta^{-1}\overline{x})x \qquad x\downarrow = (\Delta^{-1}x)\overline{x}$$

Njuna medsebojna povezava pa je:

$$\uparrow x = (\overline{x})\downarrow \qquad x\downarrow = \uparrow(\overline{x})$$

# 7. 2 Časovna preklopna funkcija

## 7.2.1 Odvodi osnovnih operacij

$$\uparrow(x_1x_2) = \uparrow x_1x_2 + x_1 \uparrow x_2 + \uparrow x_1 \uparrow x_2$$

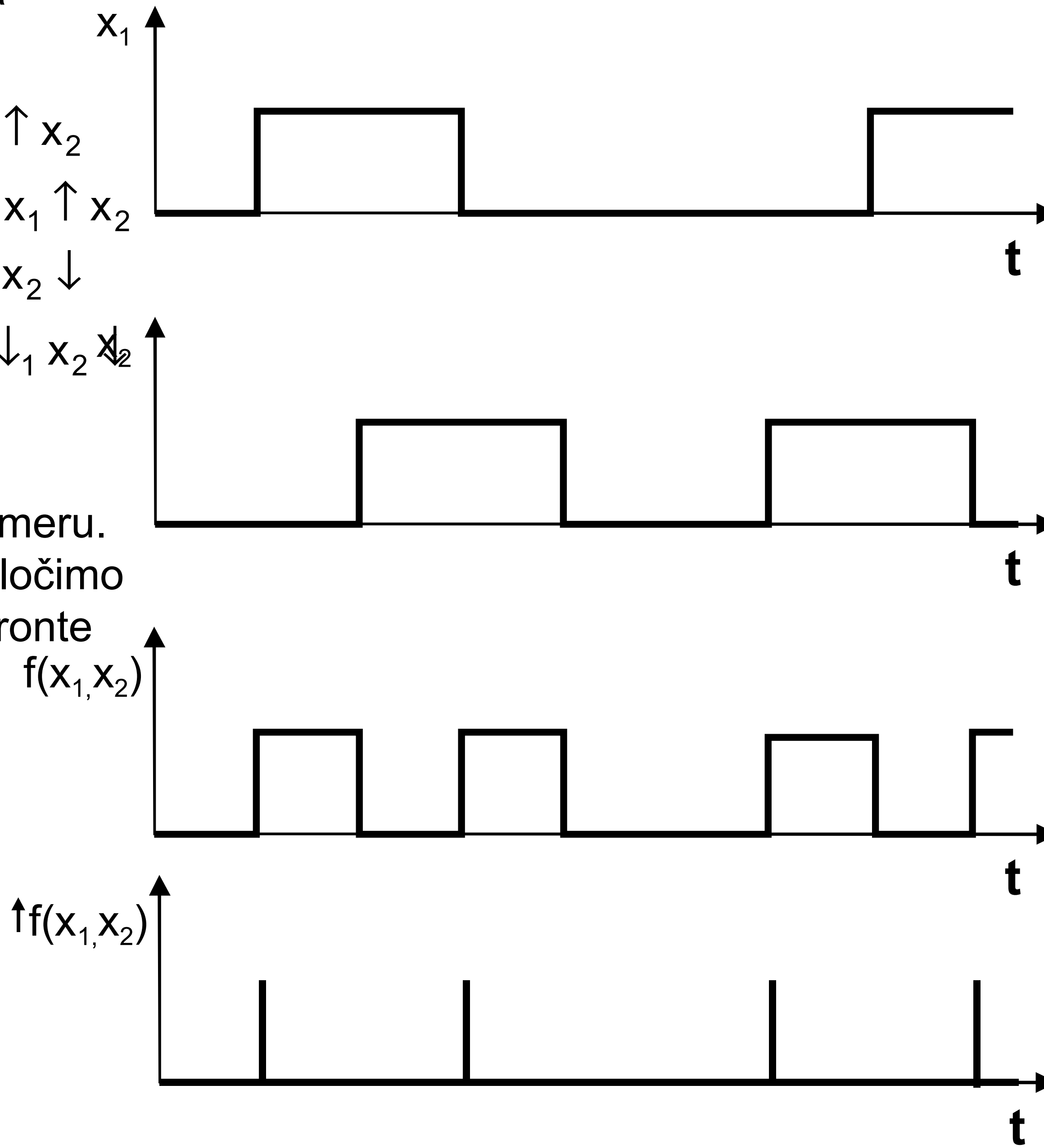
$$\uparrow(x_1 + x_2) = \uparrow x_1\overline{x}_2 + \overline{x}_1 \uparrow x_2 + \uparrow x_1 \uparrow x_2$$

$$(x_1x_2)\downarrow = x_1 \downarrow x_2 + x_1x_2 \downarrow + x \downarrow_1 x_2 \downarrow$$

$$(x_1 + x_2)\downarrow = x_1 \downarrow \overline{x}_2 + \overline{x}_1x_2 \downarrow + x \downarrow_1 x_2 \downarrow$$

$$\uparrow(\overline{x}) = x\downarrow \quad (\overline{x})\downarrow = \uparrow x$$

Oglejmo si funkcijo fronte na primeru. Vzemimo EXOR operacijo in določimo časovni potek funkcije prednje fronte



### 7.2.2 Definicija časovne preklopne funkcije

Definicijo časovnega operatorja prenesemo na splošno preklopno funkcijo

$f(\Delta^n x_1, \Delta^n x_2, \ldots\ldots\ldots \Delta^n x_m) = \Delta^n f(x_1, x_2, \ldots\ldots\ldots x_m)$

$f(t + \Delta t) = F(t)$ $\qquad$ $f(n + 1) = F(n)$

$f_j(t + \Delta t) = F_j(t)$ , $\quad j = 1,2,\ldots\ldots k$ $\qquad$ $f_j(n + 1) = F_j(n)$, $\quad j = 1,2,\ldots\ldots k$

### 7.2.3 Podobnost časovno odvisnih in neodvisnih preklopnih funkcij

$f(x_1, x_2, \ldots\ldots\ldots x_m) \quad \Rightarrow \quad f(x_1, x_2, \ldots\ldots\ldots x_m, t)$

$$f(x_1, x_2, \ldots, x_m, t) = \sum_{i=0}^{k} \Delta^i f_i(x_1, x_2, \ldots\ldots\ldots x_m)$$

$\Delta^i$ je torej podoben $m_i$

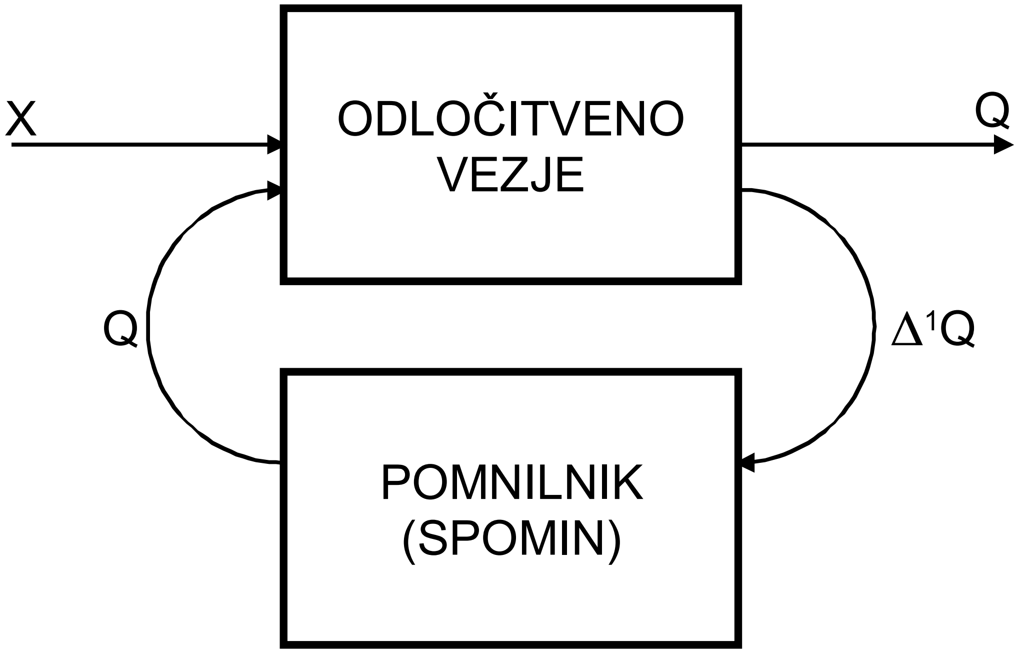
$$\sum_i \Delta^i = 1 \qquad \sum_i m_i = 1$$

$$\Delta^i \Delta^j = 0 \qquad m_i m_j = 0; \quad i \neq j$$

7.3 Pomnjenje in spominski elementi

7.3.1 Osnovna spominska celica

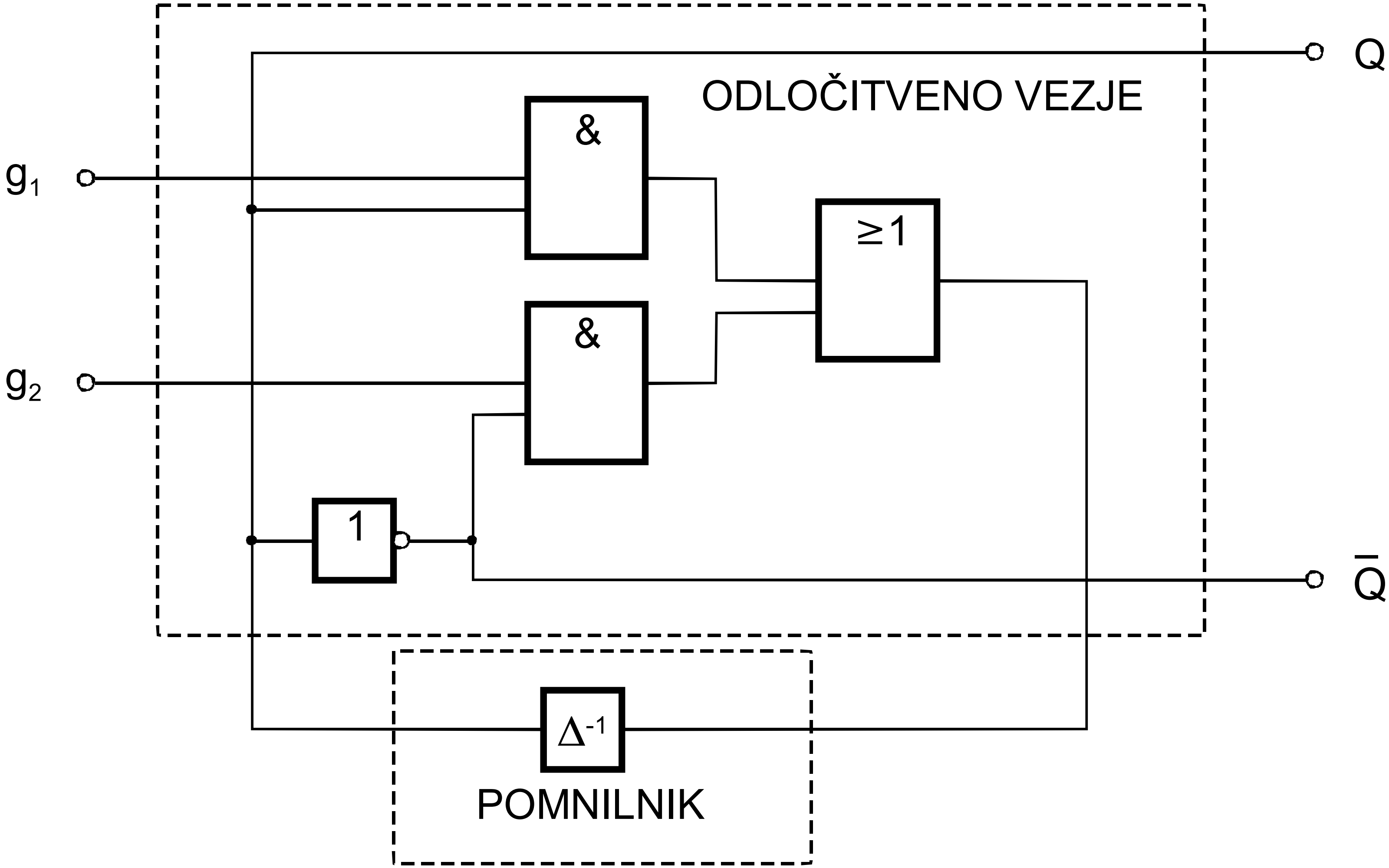
Princip pomnjenja v preklopnih vezjih




$Q = Q(nT) = Q(n)$ $\Delta^1 Q = Q(nT+T) \equiv Q(n+1)$

Tipi spomina in zakasnitev

Simbolični diagram osnovnega spominskega vezja


Q
ODLOČITVENO VEZJE
&
g1
≥1
&
g2
1
Q̄
Δ-1
POMNILNIK

## 7.3.2 Karakteristična enačba in krmiljenje spominskih celic

Splošni vhodni funkciji sta:

$g_1 = g_1(x_1, x_2, \ldots\ldots, x_m) = g_1(\mathbf{x})$; $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \ldots\ldots, x_m)$

$g_2 = g_2(x_1, x_2, \ldots\ldots, x_m) = g_2(\mathbf{x})$

$g_1$ pove kaj bo na izhodu, če je Q = 1

$g_2$ pove kaj bo na izhodu, če je Q = 0

$\Delta^1 Q = g_1 Q + g_2 \overline{Q}$; osnovna enačba pomnjenja - časovna funkcija

$Q = \Delta^{-1}(g_1 Q + g_2 \overline{Q})$; časovna funkcija vezja osnovne spominske celice

Krmiljenje osnovne spominske celice izvedemo na sledeče načine:

1. D - zakasnitev (Delay)
2. T - proženje (Triggering)
3. R - pogojno brisanje (praznjenje celice - Reset)
4. S - pogojno postavljanje (polnjenje celice - Setting)
5. K - brezpogojno brisanje celice
6. J - brezpogojno postavljanje celice

## 7.3.3 Vhodne funkcije spominskih celic

$g_1$, $g_2$ - zunanji funkciji - ti dve sta neodvisni

R, S - vhodni funkciji RS pomnilne celice; to je njeno krmiljenje

$$\Delta^1 Q = g_1 Q + g_2 \overline{Q}$$

| $g_1$ | $g_2$ | Q | $\Delta^1 Q$ | R | S |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | $a_0$ | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | $a_4$ | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | $a_5$ |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | $a_7$ |

Če izberemo:

$a_0 = 0$; $a_4 = 0$; $a_5 = 0$; $a_7 = 0$,

dobimo za R in S sledeči funkciji:

$$R(g_1, g_2, Q) = \overline{g}_1 Q$$

$$S(g_1, g_2, Q) = g_2 \overline{Q}$$

Za ostala krmiljenja dobimo:

$$D: \quad D = g_1 Q + g_2 \overline{Q}$$

$$T: \quad T = \overline{g}_1 Q + g_2 \overline{Q}$$

$$JK: \quad J = g_2; \quad K = \overline{g}_1$$

Če pri RS spominski celici postavimo na vhodni funkciji $g_1$ in $g_2$ logični pogoj :

$$\overline{g}_1 g_2 = 0$$

in izkoristimo poljubni stanji za $a_0$ in $a_7$, dobimo naslednji vhodni funkciji:

$$\text{RS}: \quad R = \overline{g}_1; \quad S = g_2; \quad \text{pogoj: } \overline{g}_1 g_2 = 0$$

Za ostale celice pa dobimo:

$$\text{D}: \quad D = g_1 = g_2; \quad \text{pogoj: } g_1 = g_2$$

$$\text{T}: \quad T = \overline{g}_1 = g_2; \quad \text{pogoj: } g_1 g_2 = 0$$

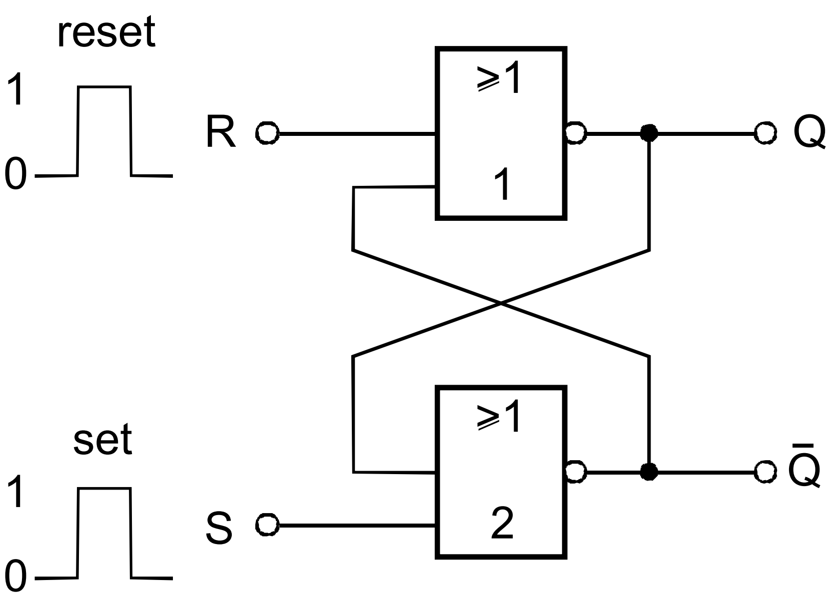
$$\text{JK}: \quad K = \overline{g}_1; \quad J = g_2$$

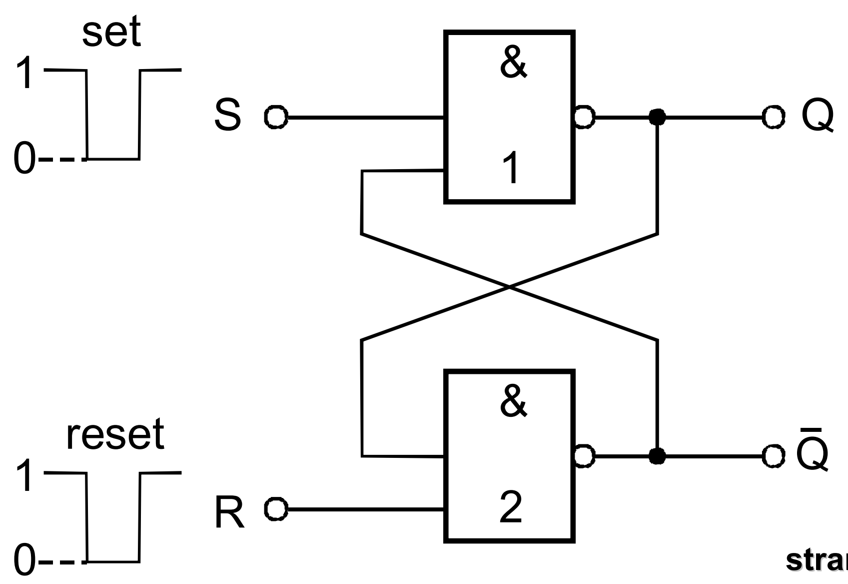
Velja pa opozoriti, da splošni vhodni funkciji za JK celico ne vsebujeta Q-jev, kar pomeni, da ne potrebujeta povratnih zvez.

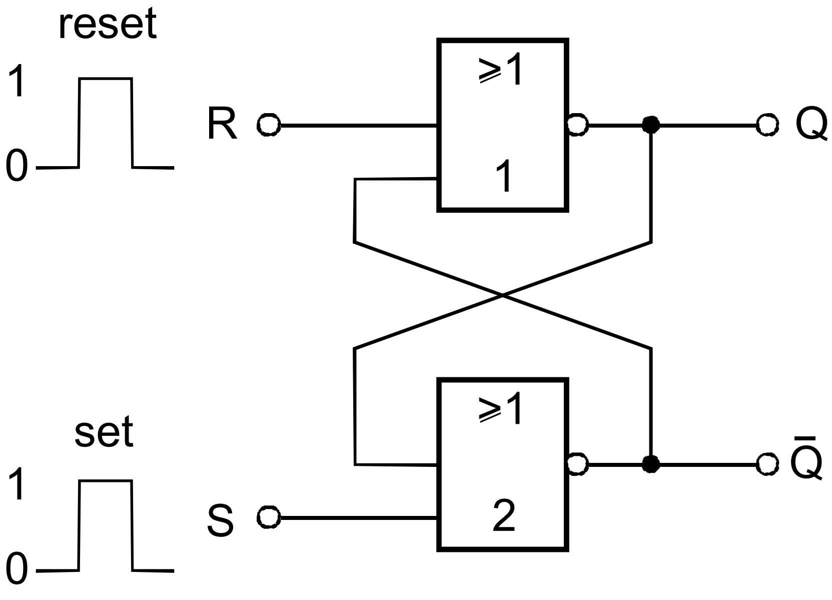
## 7.4 Izvedbe spominskih celic

### 7.4.1 Asinhronska RS celica

Zgradimo jo lahko iz dveh NOR ali NAND vezij.

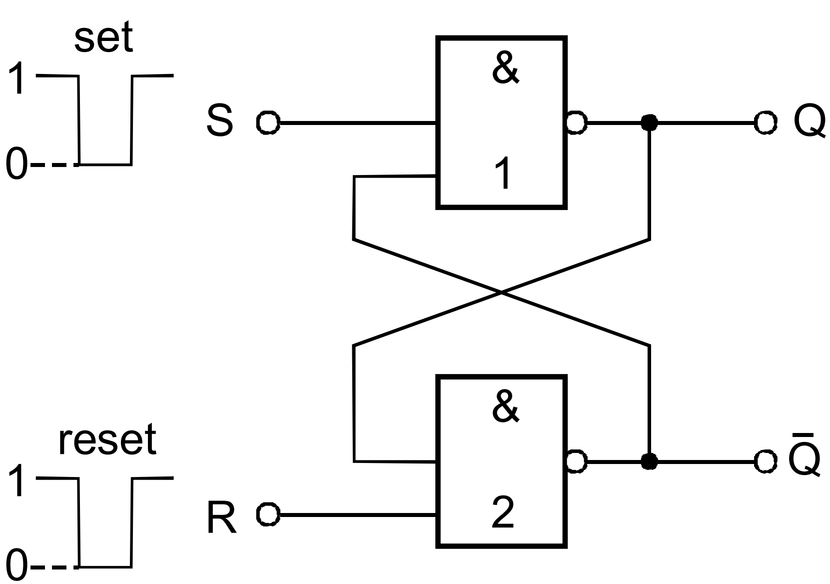





| S | R | Q | $\bar{Q}$ | Opombe |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 | po S = 0; R = 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | po S = 1; R = 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | |
| 1 | 0 | 1 | 0 | |
| 1 | 1 | 0 | 0 | prepovedano stanje |

Izvedba RS spominske celice z NAND elementi



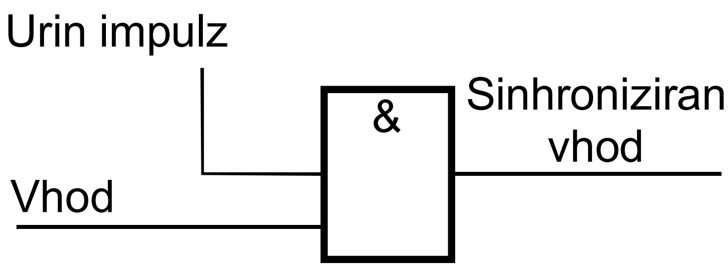

| S | R | Q | $\bar{Q}$ | Opombe |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0 | 1 | po S = 1; R = 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | po S = 0; R = 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | |
| 1 | 0 | 0 | 1 | |
| 0 | 0 | 1 | 1 | prepovedano stanje |

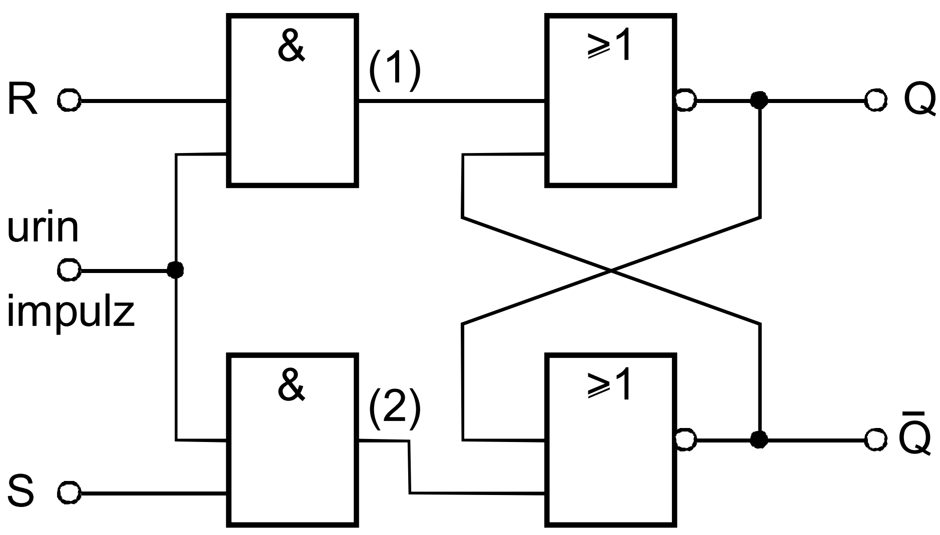
## 7.4.2 Sinhronizacija in sinhronska RS celica

Časovni intrevali: 0, Δt, 2Δt ... nΔt, (n + 1)Δt

Δt opustimo in tako smemo reči, da se - vsaj teoretično - stanje spominske celice spreminja le ob 0,1, ..., n, (n + 1)

V spominsko celico vpeljemo sinhronizacijski impulz, ki določa te čase




| Q | S | R | $\Delta^1 Q$ |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | Nedol. |
| 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | Nedol. |

Za vhode, ki se ne bodo pojavili smemo predpostaviti, da so poljubni. Zahtevajmo pogoj RS = 0 in poskrbimo, da bo Izpolnjen.

Iščemo: $\Delta^1 Q = f(R,S,Q)$

$\Delta^1 Q$:

| Q(n) \ S(n)R(n) | 00 | 01 | 11 | 10 |
|---|---|---|---|---|
| 0 | | | X | 1 |
| 1 | 1 | | X | 1 |

Iz Karnaugh-ovega diagrama dobimo karakteristično enačbo RS celice, ki je:

$\Delta^1 Q = \overline{R}Q + S;$ pogoj: $RS = 0$

ali v alternativni obliki:

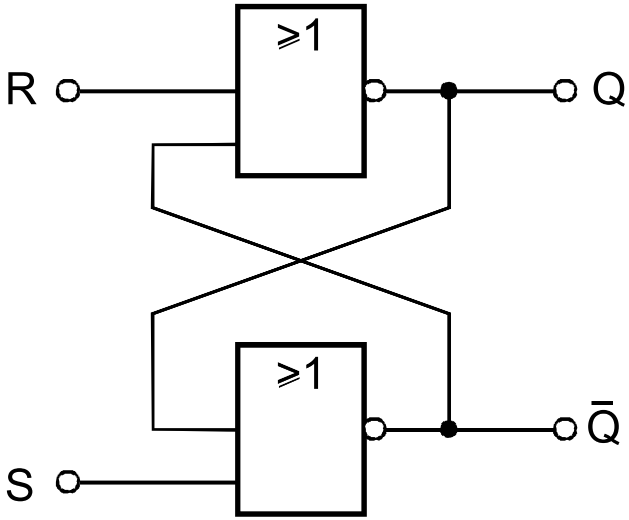
$Q(n+1) = \overline{R}(n)Q(n) + S(n);$ pogoj: RS = 0

Skrajšana ali modificirana tabela RS spominske celice:

| R | S | $\Delta^1 Q$ |
|---|---|---|
| 0 | 0 | Q |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | Nedol. |

Pogoj RS = 0

Formalni dokaz z Boole-ovo algebro




$$\Delta^1 Q = \overline{R + \overline{Q}}$$

$$\Delta^1 Q = \overline{R + \overline{S + Q}}$$

$$\Delta^1 Q = \overline{R}(\overline{\overline{S + Q}}) = \overline{R}(S + Q)$$

$$\Delta^1 Q = \overline{R}S + \overline{R}Q$$

Ker mora biti izpolnjen še pogoj RS = 0 lahko pišemo dalje:

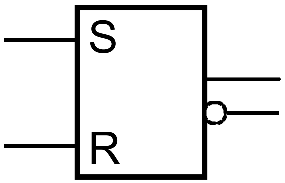
$$\Delta^1 Q = \overline{R}S + \overline{R}Q + RS = S(R + \overline{R}) + \overline{R}Q,$$

Torej: $\Delta^1 Q = S + \overline{R}Q$

Vzbujalna (ekscitacijska) tabela

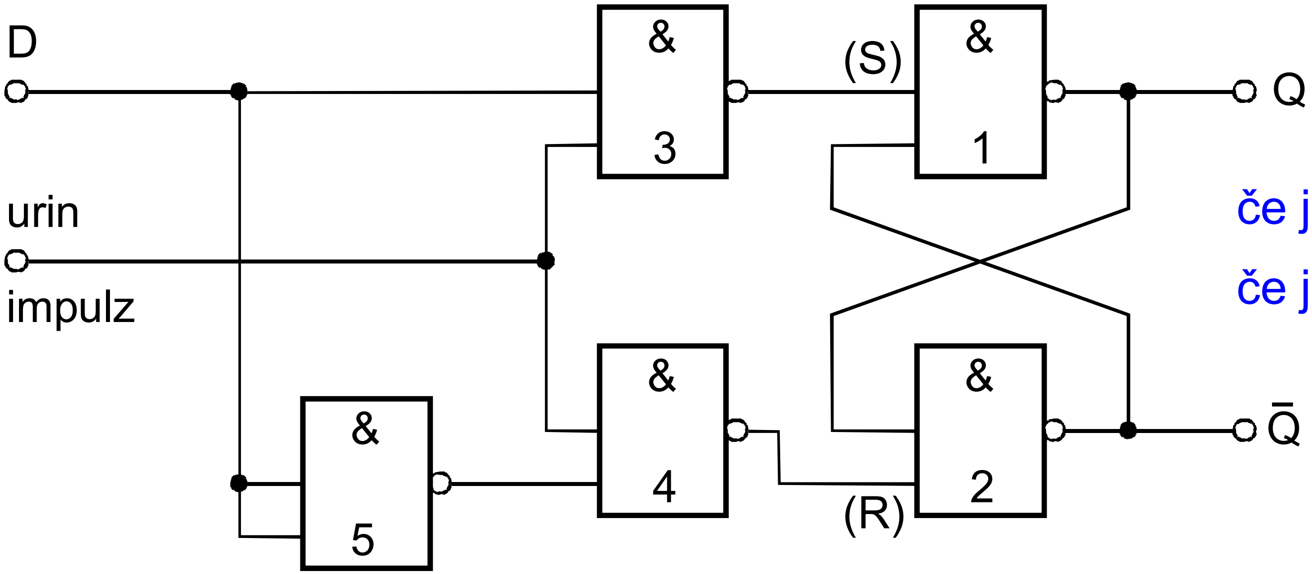
Vzbujalna tabela za RS spominsko celico je:

| Q | $\Delta^1 Q$ | S | R |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | X |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | X | 0 |



### 7.4.3 Sinhronizirana D spominska celica

Sinhronizirano D spominsko celico dobimo z modifikacijo RS celice




če je D = 1, postane Q = 1

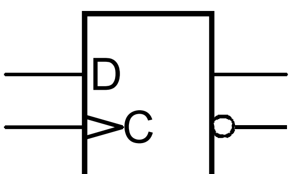
če je D = 0, postane Q = 0

Karakteristična tabela D celice

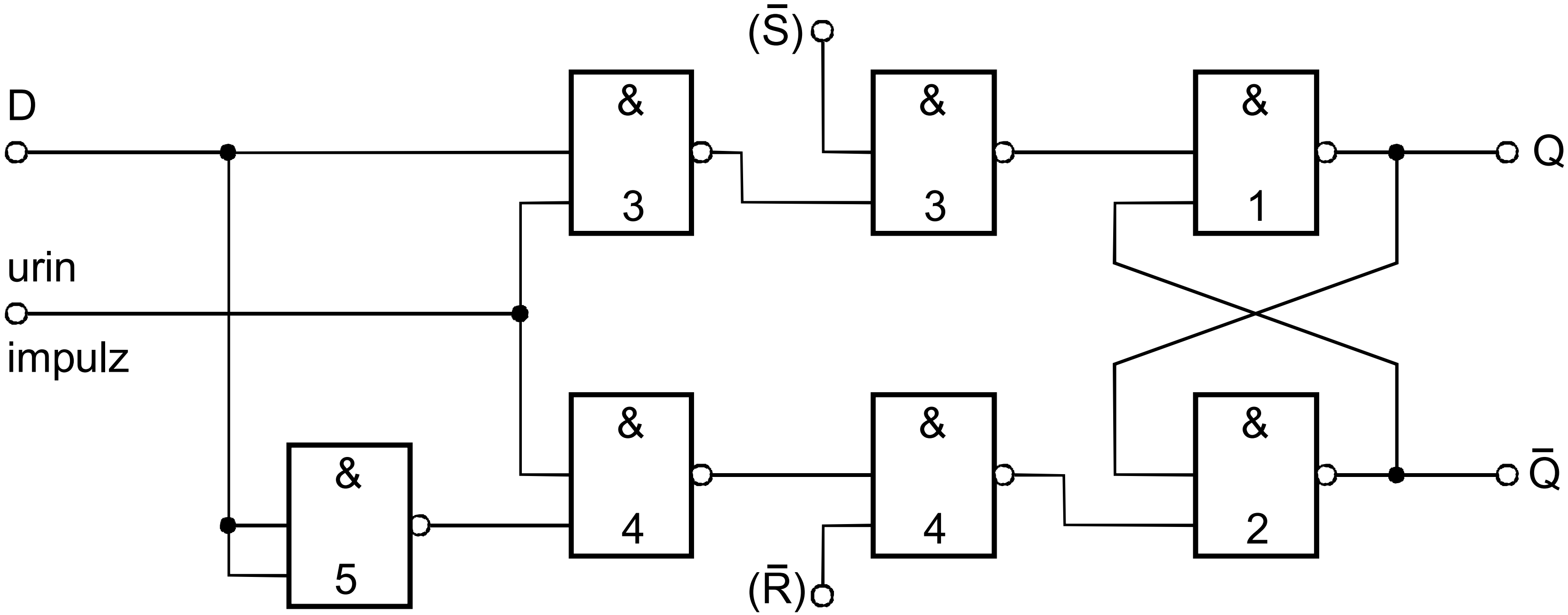
| Q | D | $\Delta^1 Q$ |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

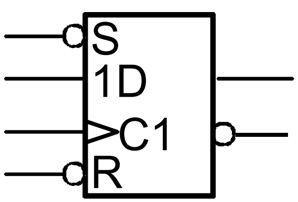
Karakteristična enačba:

$$\Delta^1 Q = DQ + D\overline{Q} = D$$



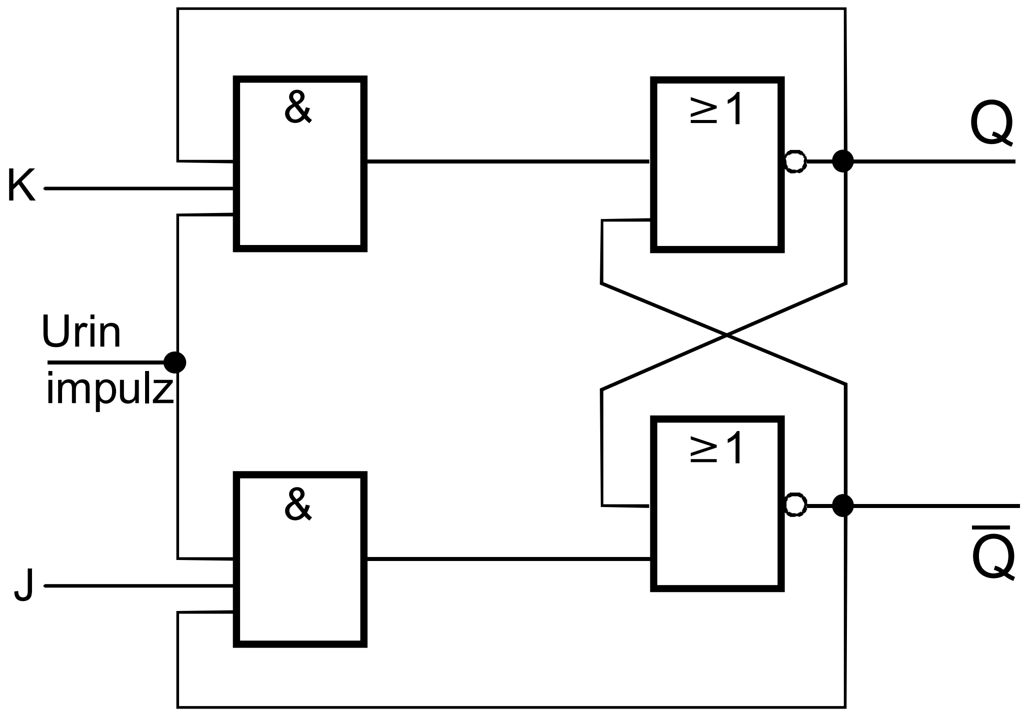
# Kombinirane spominske celice

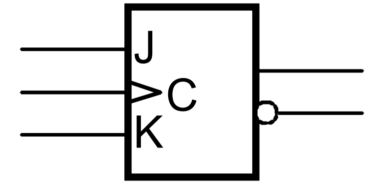


### 7.4.4 Sinhronizirana JK spominska celica

Lastnosti te celice so podobne RS celici, le da je tu kombinacija J = 1, K = 1 dovoljena in povzroči spremembo stanja izhodov.




Karakteristična tabela sinhronizirane JK spominske celice:

| Q | J | K | $\Delta^1 Q$ |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 |

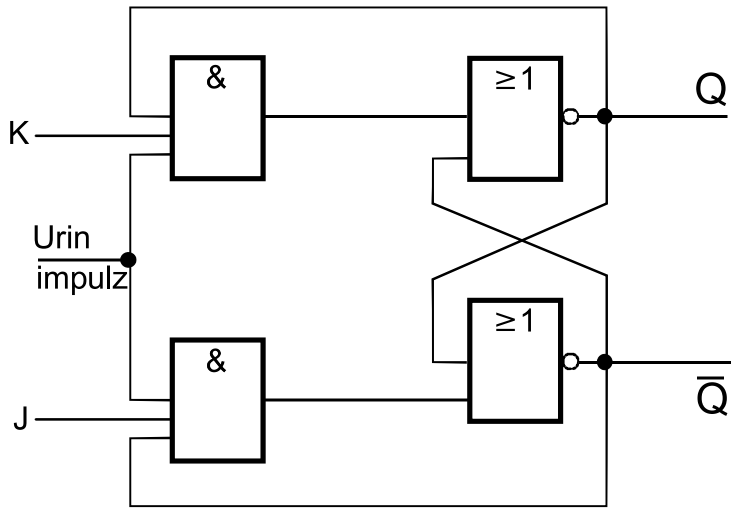
Karakteristična enačba ali izhodna funkcija:

$$\Delta^1 Q = \overline{Q}J\overline{K} + \overline{Q}JK + Q\overline{J}\overline{K} + QJ\overline{K}$$

$$\Delta^1 Q = \overline{Q}J(\overline{K} + K) + Q\overline{K}(J + \overline{J})$$

$$\Delta^1 Q = \overline{Q}J + Q\overline{K} = \overline{K}Q + J\overline{Q}$$

Enako izhodno časovno funkcijo dobimo seveda tudi, če izhajamo iz vezja JK celice




Skrajšana karakteristična tabela je :

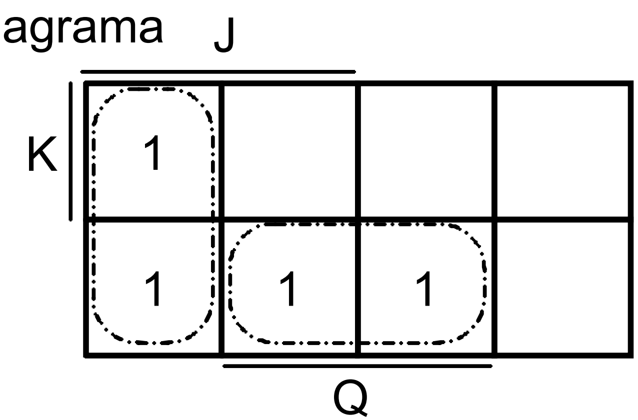
| J | K | $\Delta^1 Q$ |
|---|---|---|
| 0 | 0 | Q |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | $\overline{Q}$ |

Ta tabela neposredno kaže, da J = 1 in K = 1 povzroči negacijo prejšnjega stanja.

Iz tabele namreč sledi:

$$\Delta^1 Q = Q\overline{J}\,\overline{K} + J\overline{K} + \overline{Q}JK$$

od koder dobimo iz Veitch-evega diagrama




$$\Delta^1 Q = \overline{KQ + \overline{Q}} = \overline{KQ + \overline{J\overline{Q} + Q}}$$

$$\Delta^1 Q = \overline{KQ + \overline{J\overline{Q}}\,\overline{Q}} = \overline{KQ + (\overline{J} + \overline{\overline{Q}})\overline{Q}}$$

$$\Delta^1 Q = \overline{KQ + (\overline{J} + Q)\overline{Q}} = \overline{KQ + \overline{J}\,\overline{Q}}$$

$$\Delta^1 Q = (\overline{KQ})(\overline{\overline{J}\,\overline{Q}}) = (\overline{K} + \overline{Q})(J + Q)$$

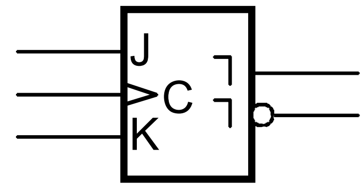
$$\Delta^1 Q = \overline{Q}J + Q\overline{K} = \overline{K}Q + J\overline{Q}$$

poenostavljeno obliko karakteristične enačbe: $\Delta^1 Q = \overline{K}Q + J\overline{Q}$

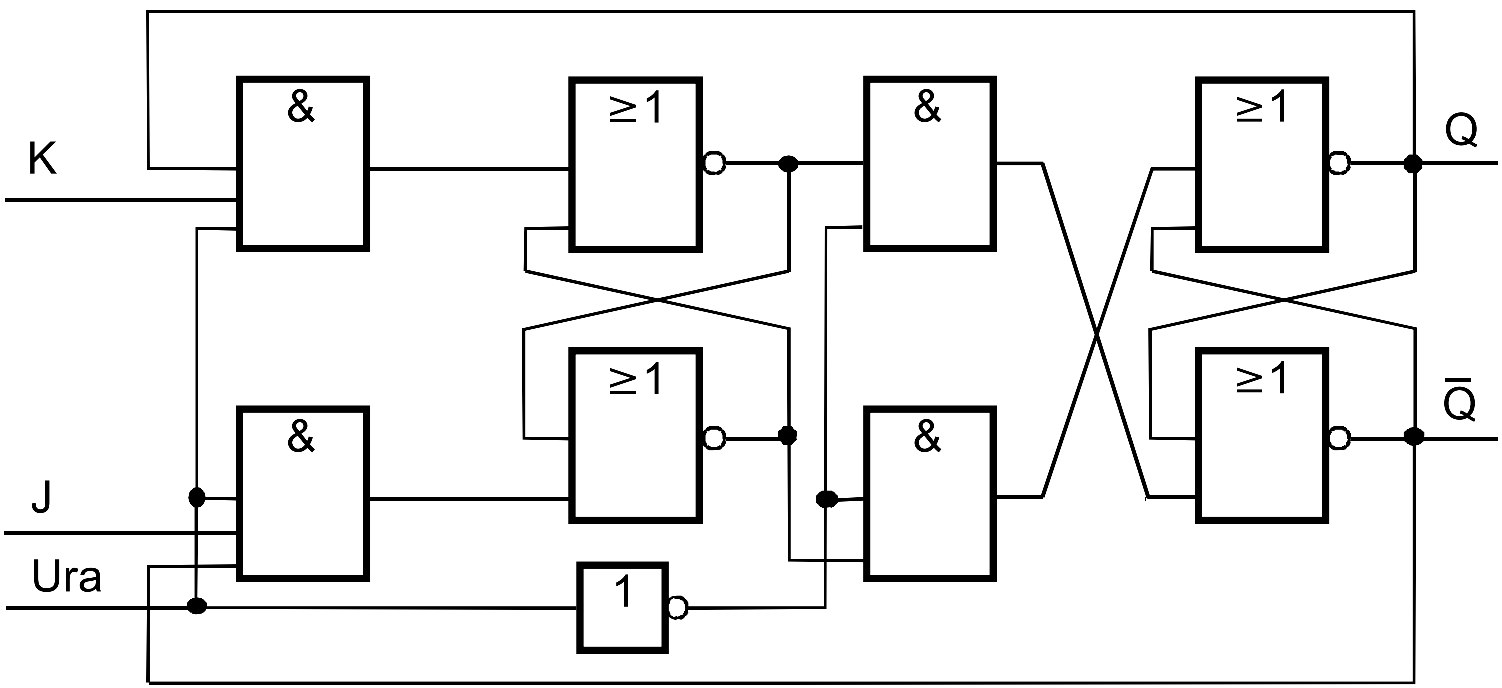
Vzbujalna tabela:

| Q | $\Delta^1 Q$ | J | K |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | X |
| 0 | 1 | 1 | X |
| 1 | 0 | X | 1 |
| 1 | 1 | X | 0 |

To vezje imenujejo v angleški literaturi »Master-slave« flip flop; zasledimo pa tudi poimenovanje: spominska celica s predpomnjenjem



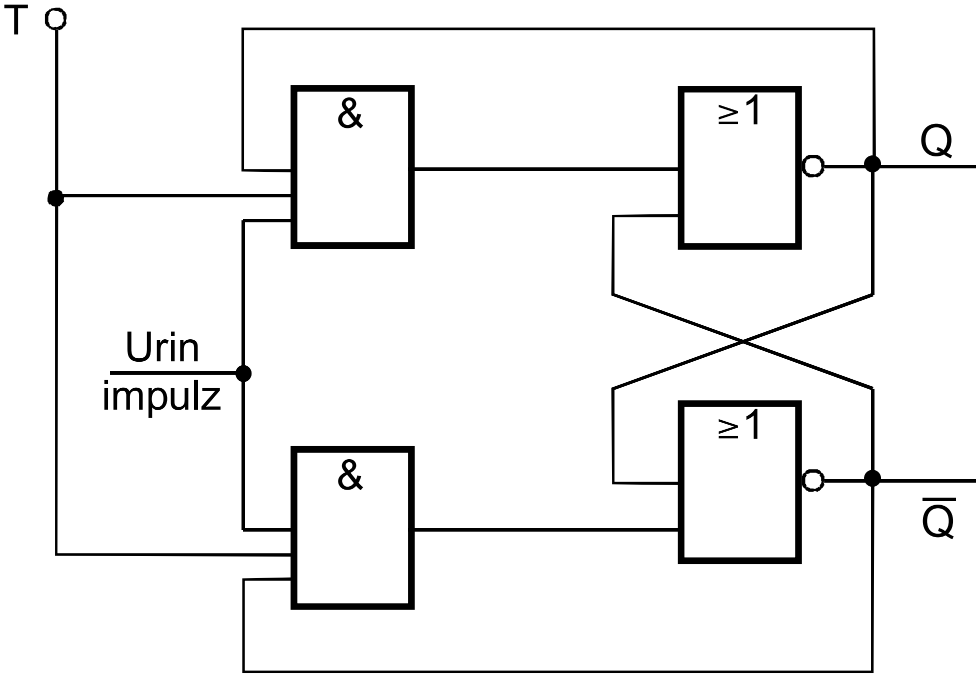

Sledilno vezje JK spominske celice

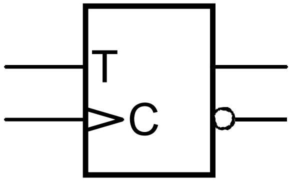


## 7.4.5 T spominska celica

T spominska celica ima samo en vhod

Dobimo jo iz JK celice, če oba vhoda zvežemo skupaj




Glede na zahteve za ta tip celice mora biti karakteristična tabela taka:

| Q | T | $\Delta^1 Q$ |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

Iz karakteristične tabele sledi:

$$\Delta^1 Q = \overline{Q}T + Q\overline{T}$$

Torej:

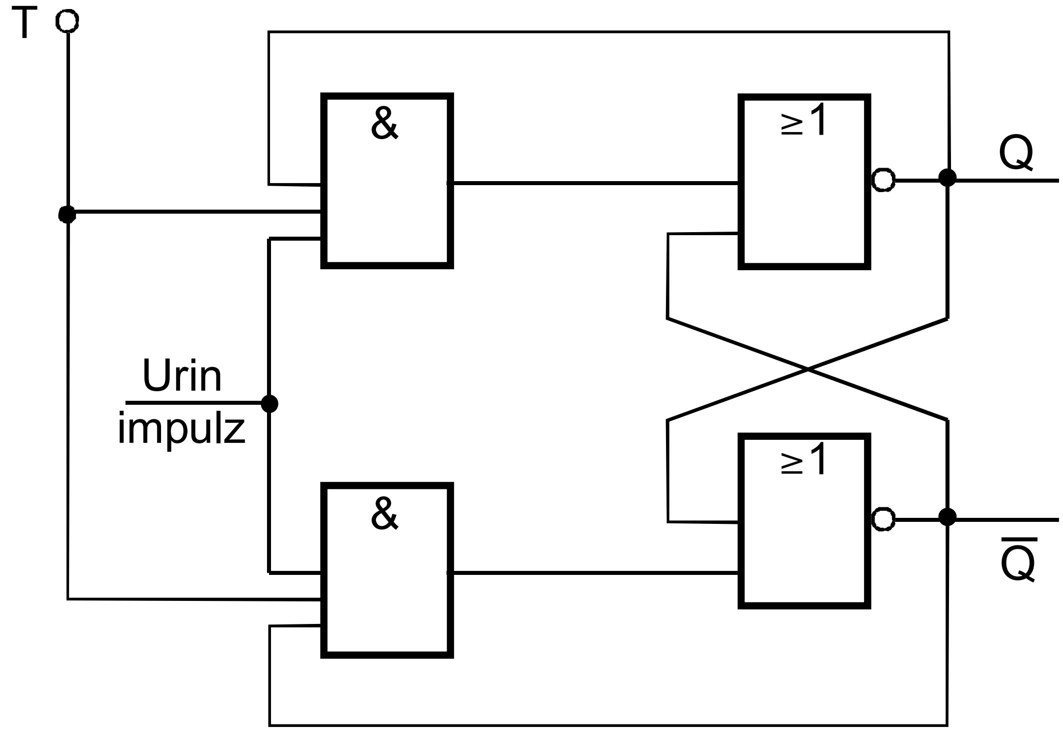
$$\Delta^1 Q = T\overline{Q} + \overline{T}Q$$

Skrajšana karakteristična tabela:

| T | $\Delta^1 Q$ |
|---|---|
| 0 | $Q$ |
| 1 | $\overline{Q}$ |

Vzbujalna tabela:

| Q | $\Delta^1 Q$ | T |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |




$$\Delta^1 Q = \overline{TQ + \overline{Q}} = \overline{TQ + \overline{\overline{Q}T + Q}}$$

$$\Delta^1 Q = \overline{TQ + \overline{\overline{Q}T}\,\overline{Q}} = \overline{TQ + (Q + \overline{T})\overline{Q}}$$

$$\Delta^1 Q = \overline{TQ + \overline{T}\,\overline{Q}} = (\overline{TQ})(\overline{\overline{T}\,\overline{Q}}$$

$$\Delta^1 Q = (\overline{T} + \overline{Q})(T + Q)$$

$$\Delta^1 Q = T\overline{Q} + \overline{T}Q$$

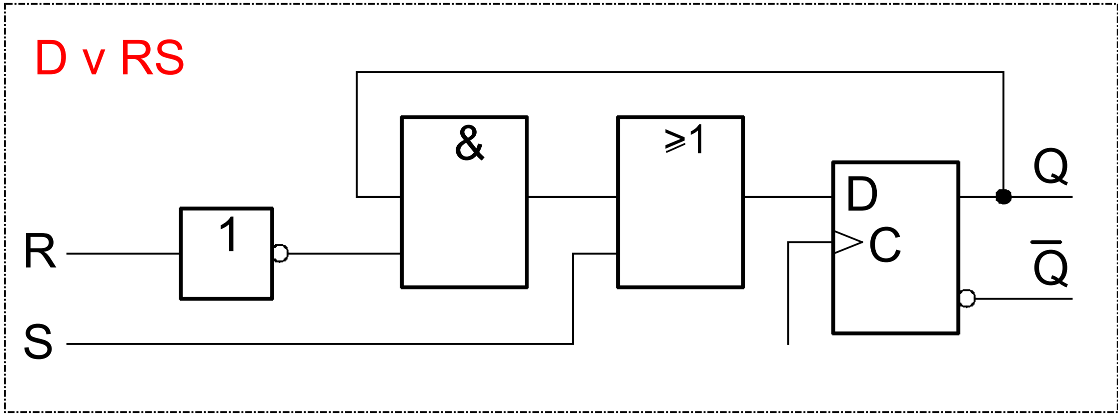
# 7. 5. Pretvorbe spominskih celic

Vsako izmed obravnavanih spominskih celic je z dodatnim krmiljenjem mogoče pretvoriti v neko drugo.

Nekaj značilnih primerov:

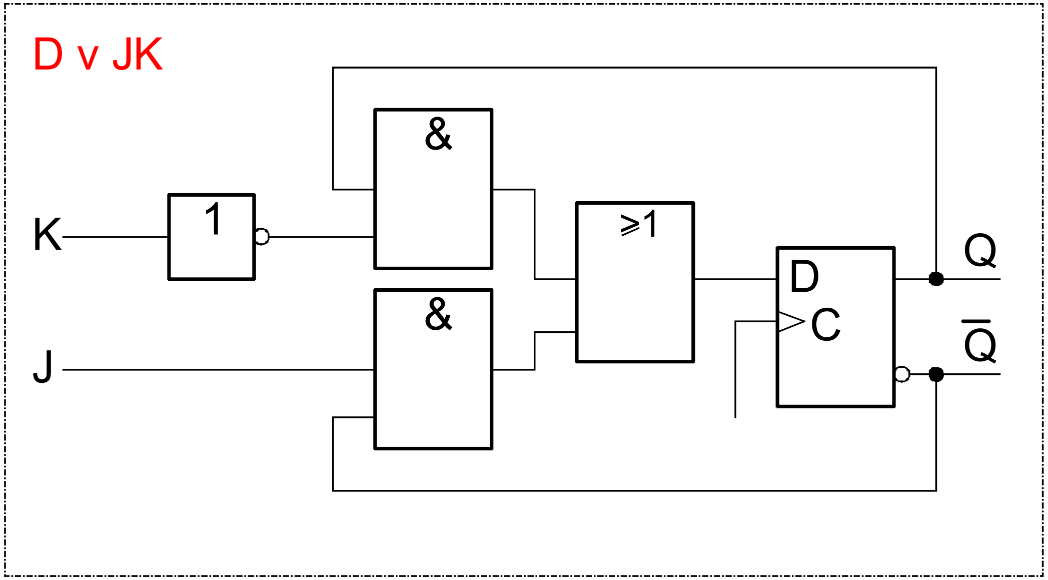
$$\Delta^1 Q = S + \overline{R}Q = D$$

$$D = S + \overline{R}Q$$




$$\Delta^1 Q = \overline{K}Q + J\overline{Q} = D$$

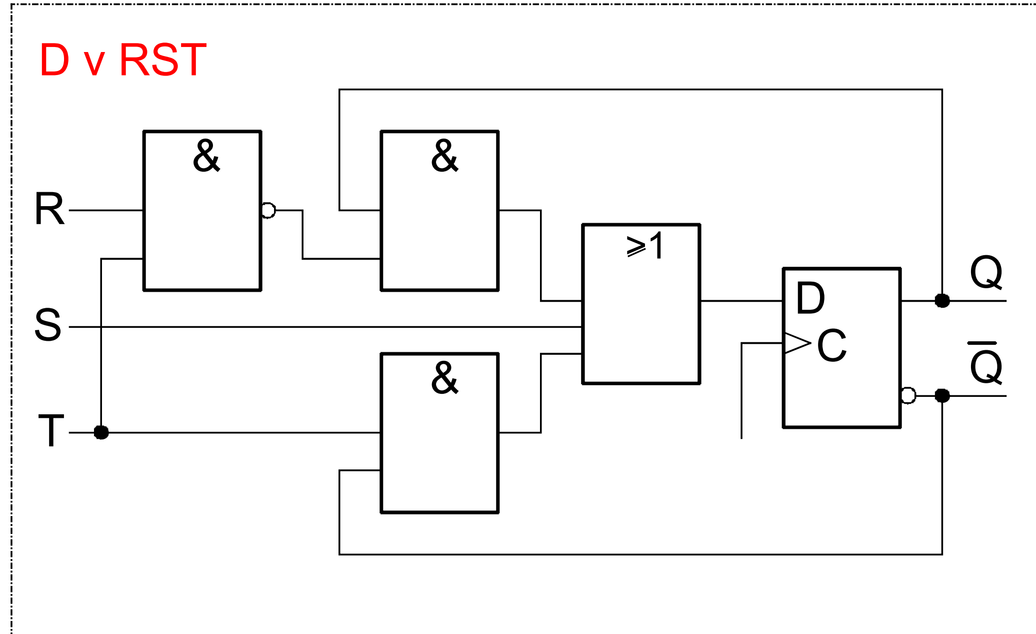
$$D = \overline{K}Q + J\overline{Q}$$



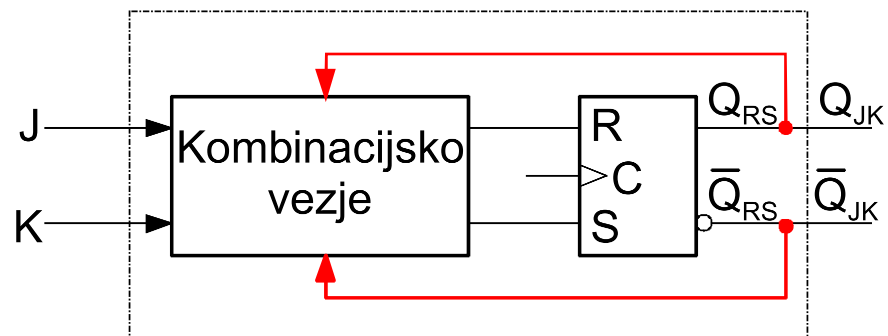
## Naslednji zanimiv primer je RST celica:

$$\Delta^1 Q = S + T\bar{Q} + \bar{R}\bar{T}Q = D$$

$$D = S + T\bar{Q} + \bar{R}\bar{T}Q$$




## Pretvorba RS v JK:




$$\Delta^1 Q_{RS} = S + \bar{R}Q_{RS}$$

$$RS = 0$$

$$\Delta^1 Q_{JK} = \bar{K}Q_{JK} + J\bar{Q}_{JK}$$

## Iščemo pa funkciji:

$$R = f_1(J,K,Q_{RS}) = ?$$

$$S = f_2(J,K,Q_{RS}) = ?$$

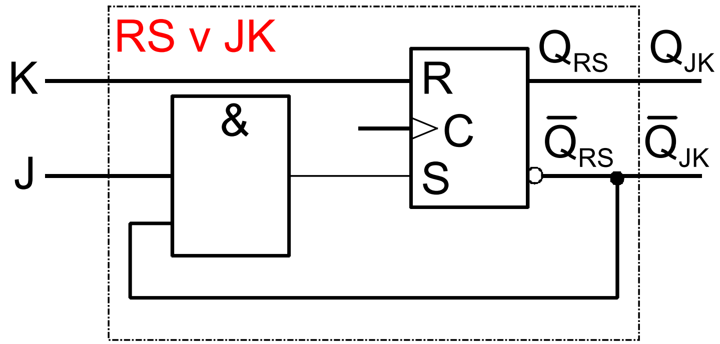
$$Q_{RS} = Q_{JK} = Q$$

$$S + \bar{R}Q = \bar{K}Q + J\bar{Q} = \Delta^1 Q$$

# Modificirano vezje RS spominske celice:

$$R = K$$

$$S = J\overline{Q}$$




Podobnih pretvorb lahko izpeljemo veliko, odvisno od specifičnih zahtev problema, ki ga želimo rešiti.