

Sekvenčna vezja

Digitalna vezja

Miha Moškon

miha.moskon@fri.uni-lj.si

<https://fri.uni-lj.si/en/about-faculty/employees/miha-moskon>

Kombinatorna vezja

Do sedaj

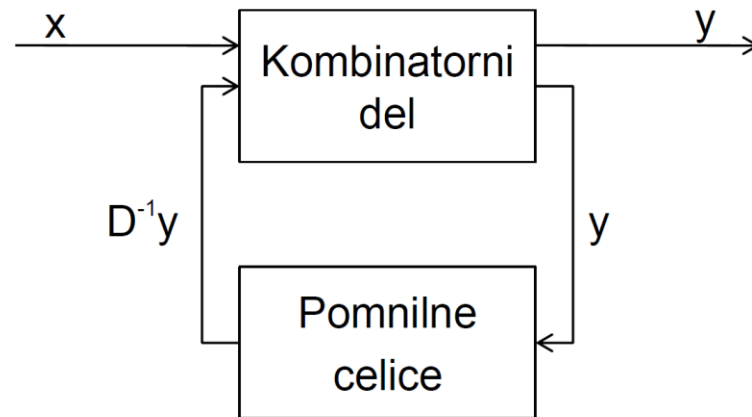
Izhod je odvisen samo od trenutne kombinacije vhodov (brez zgodovine, brez beleženja stanja)

Spremembe na vhodu prožijo “takojšnje” spremembe na izhodu (z izjemo zakasnitev zaradi širjenja signala po vezju – *propagation delay*)

Sekvenčna vezja

Prehod iz odločanja v pomnjenje.

Za pomnjenje se uporabljajo pomnilni elementi (osnova je povratna vezava) – pomnilne celice



$$D^k x = \begin{cases} x, & \text{pri } t = k \\ 0, & \text{pri } t \neq k \end{cases} \quad \begin{array}{l} k = 0: \text{ sedanost} \\ k < 0: \text{ preteklost} \\ k > 0: \text{ prihodnost} \end{array}$$

Sekvenčna vezja

Beleženje stanja vezja

Izhod je odvisen od vhodov in od trenutnega stanja

Novo stanje je odvisno od vhodov in od trenutnega stanja

Kombinatorna vs. sekvenčna vezja

Kombinatorno vezje: kontroliranje glasnosti radijskega sprejemnika na podlagi analognega gumba

Sekvenčno vezje: kontroliranje glasnosti radijskega sprejemnika na podlagi tipk + in –

Sekvenčna vezja

Novo stanje je odvisno od preteklih in trenutnih vhodov

Praktično nemogoče je opisati izhod v odvisnosti od kombinacije vhodov

Potrebujemo tudi informacijo o trenutnem stanju

Asinhronska sekvenčna vezja

Asinhronska sekvenčna vezja lahko spremenijo stanje takoj ob spremembi vhodov

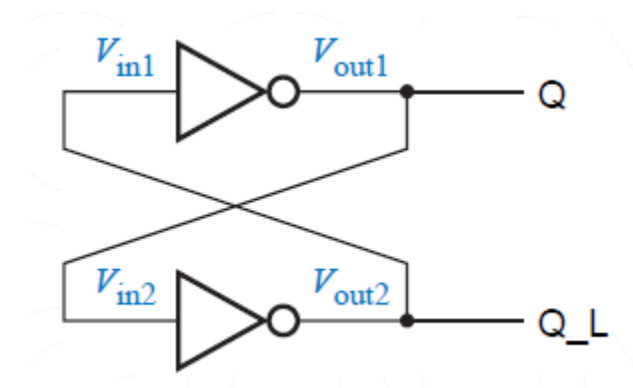
Brez sinhronizacije

Zapah (Latch)

Sekvenčno vezje brez sinhronizacije

Vezava temelji na pozitivni povratni zanki

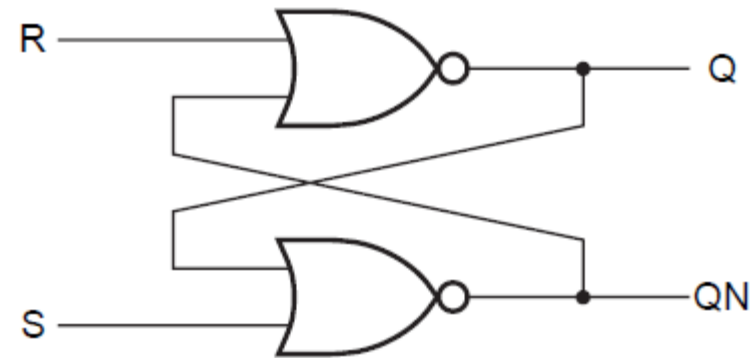
Ohranjanje stanja



RS zapah

Pozitivni povratni zanki dodamo še vhoda

Primer izvedbe z vrati NOR

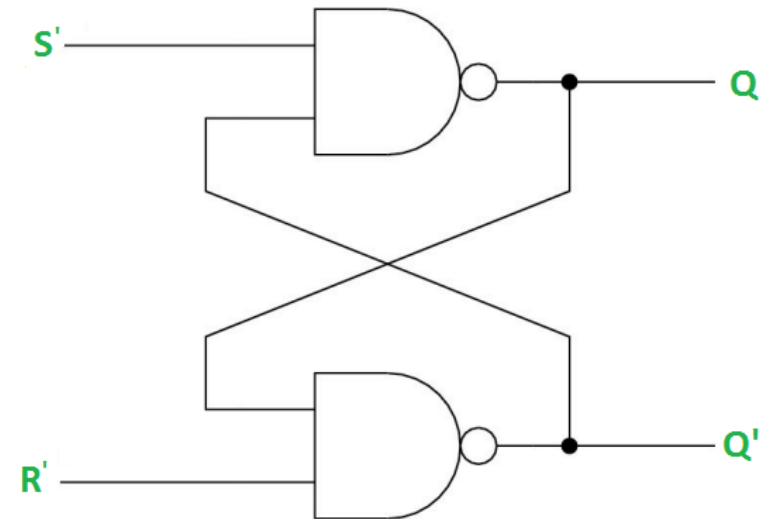
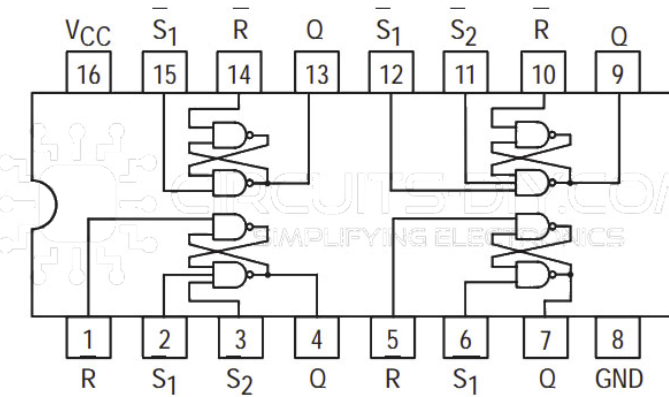


RS zapah

Pozitivni povratni zanki dodamo še vhoda

Primer izvedbe z vrati NAND

74LS279 Pinout



Sekvenčna vezja

Novo stanje je odvisno od preteklih stanj in trenutnih vhodov

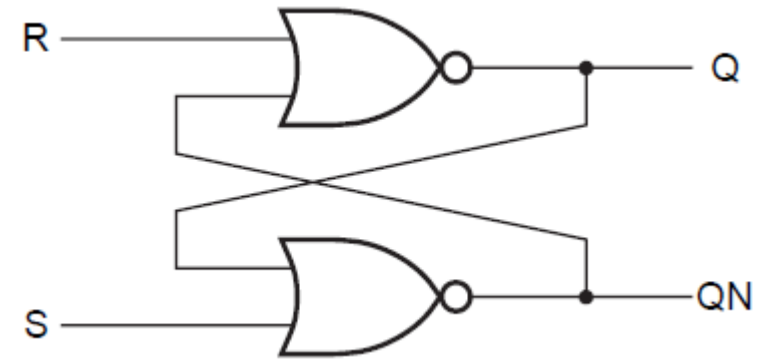
Praktično nemogoče je opisati izhod v odvisnosti od kombinacije vhodov

Potrebujemo tudi informacijo o trenutnem stanju

RS zapah

Karakteristična tabela:

r	s	$q(t + 1)$
0	0	$q(t)$
0	1	1
1	0	0
1	1	x



Vzbujevalna tabela (excitation table):

$q(t)$	$q(t + 1)$	r	s
0	0	?	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	?

Pomnilna enačba:

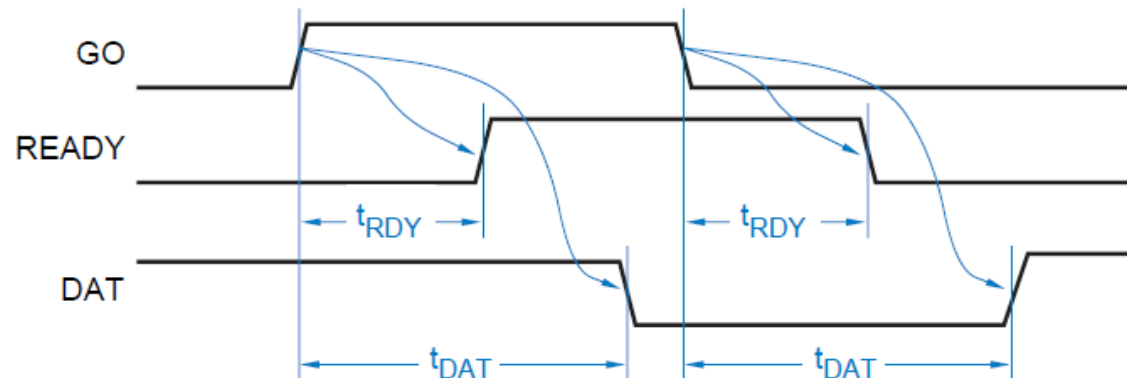
$$q(t + 1) = q(t)\bar{r} \vee s$$

Ni veljavna za prepovedano kombinacijo vhodov!

Časovni diagram

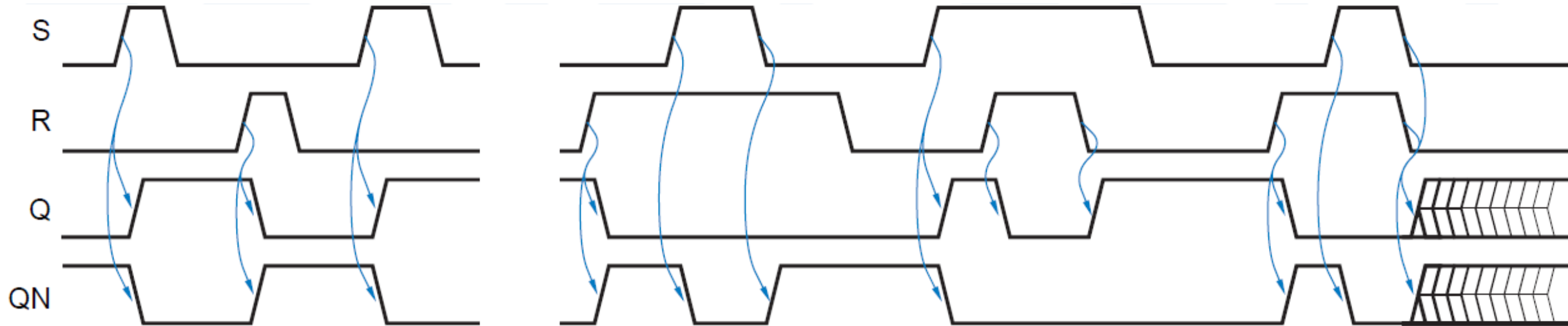
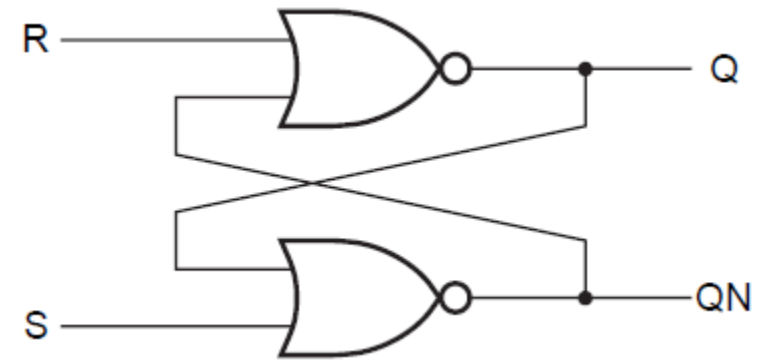
Opazovanje vezja v času – signali v odvisnosti od časa

Kombinatorna vezja: možnost analize vpliva časa širjenja signalov po vezju



Sekvenčna vezja: analiza dinamike vezja po času

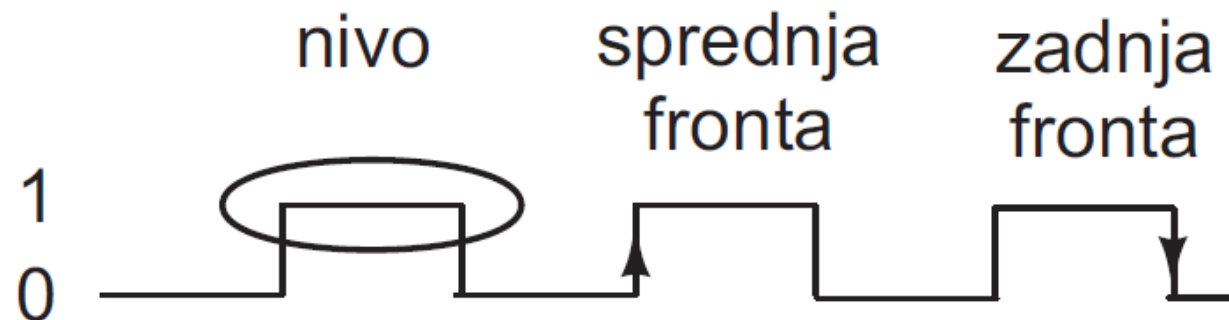
Časovni diagram RS zapaha



Sinhronska sekvenčna vezja

Sinhronizacija s posebnim signalom

Urin signal (clock)



Sinhronizacija na nivo (zapah, latch) – lahko je urin signal ali pa npr. *enable* signal

Sinhronizacija na fronto ure (pomnilna celica, flip-flop) – stanje se spremeni največ enkrat v eni urini periodi

Sinhronska sekvenčna vezja so v veliki večini prožena na fronto ure

Urin signal

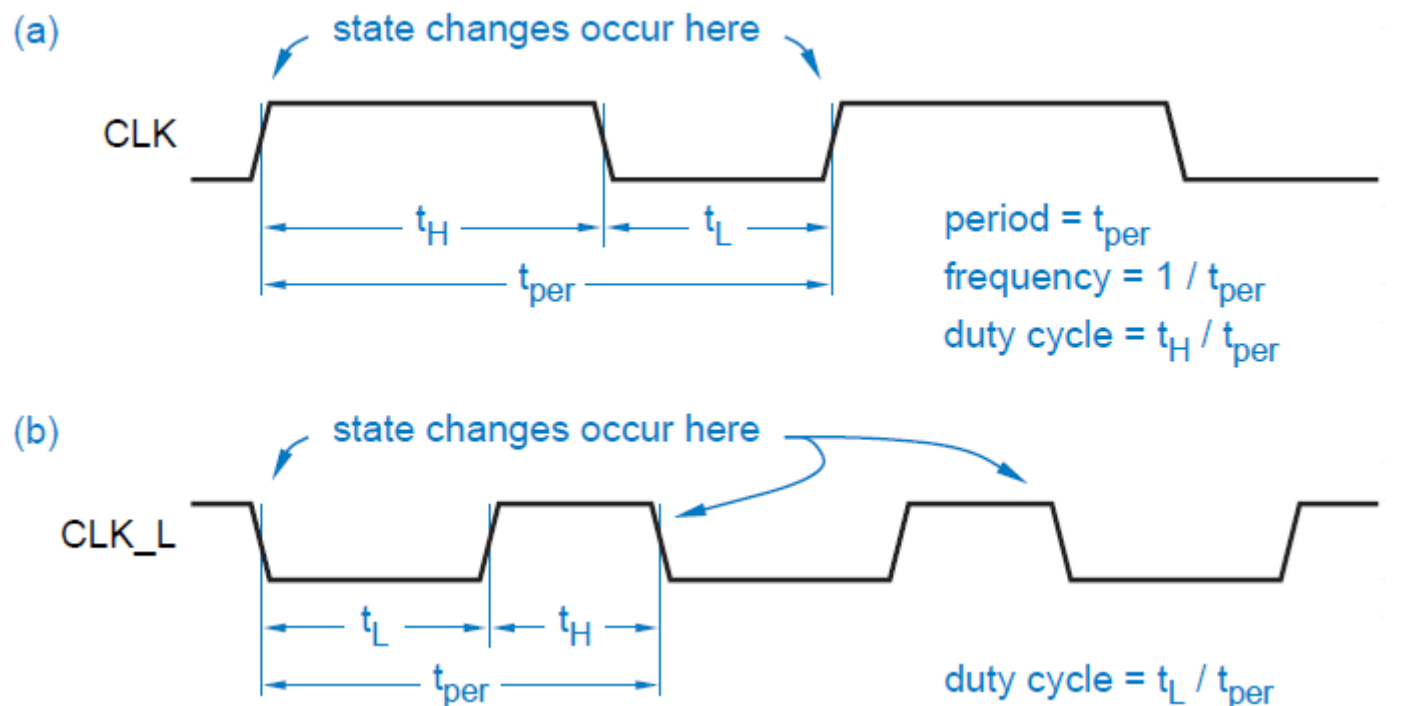
Perioda ure

Frekvenca ure

Fronta ure:

- Prva fronta (rising edge)
- Zadnja fronta (falling edge)

Duty cycle (delovni cikel): delež časa, ko je urin signal v določenem stanju (glede na tip ure – active low/active high)

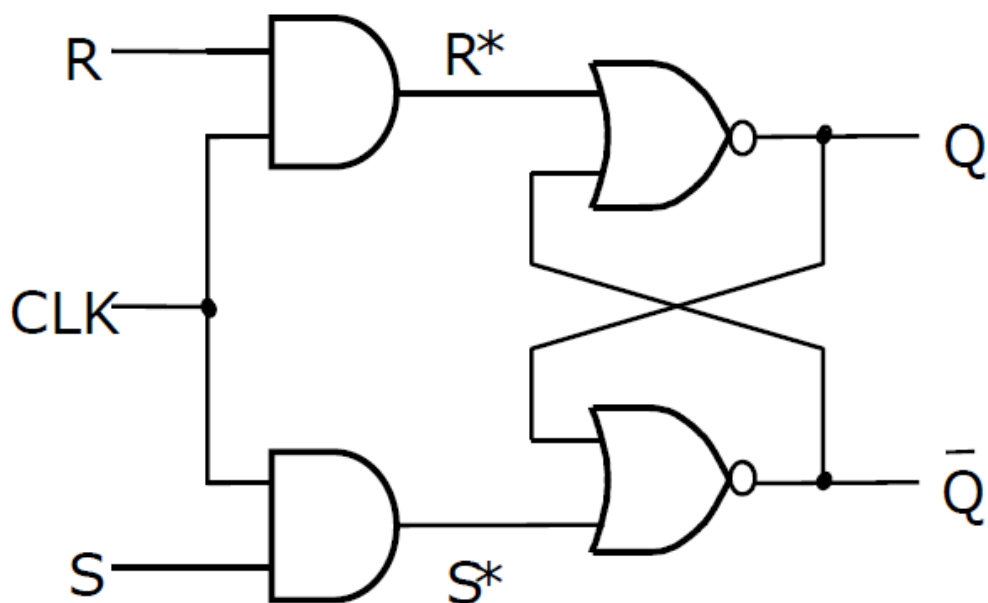


(a) active high;
(b) active low.

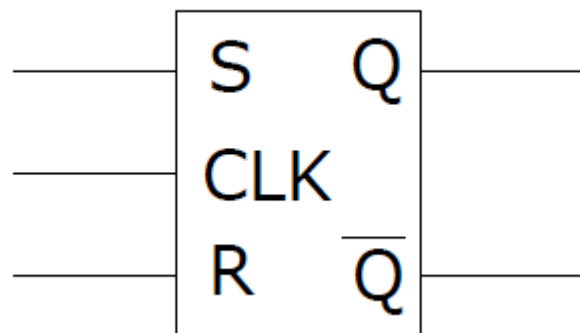


Slika 8.1 Časovni potek vzorčnega primera urinega signala. Puščica navzgor označuje pozitivno (prehod iz 0 v 1), puščica navzdol pa negativno fronto (prehod iz 1 v 0). Slika prikazuje tri periode urinega signala.

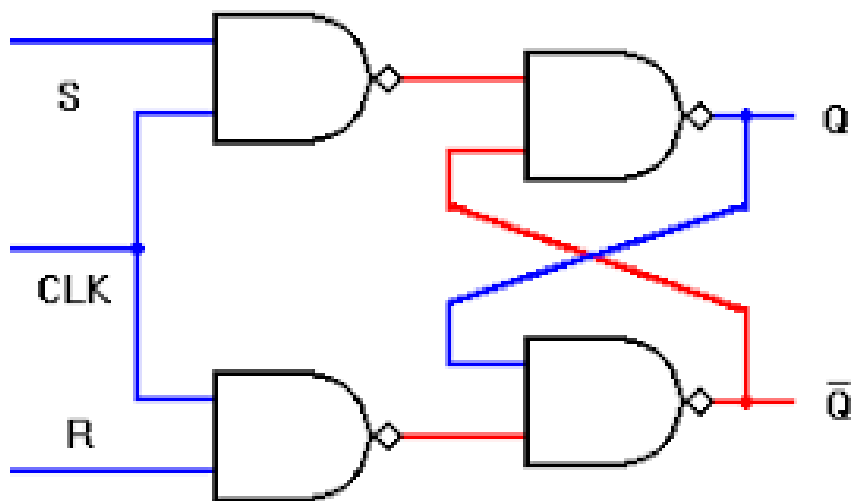
RS zapah prožen na nivo (NOR)



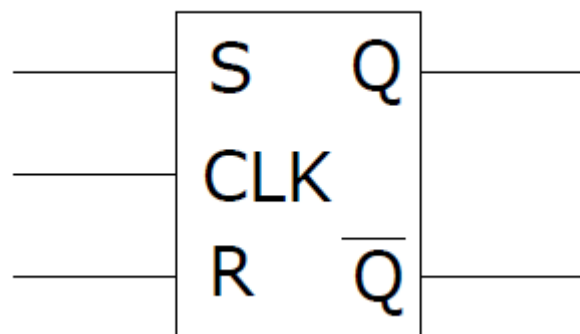
CLK	R	S	D^1Q
0	?	?	Q
1	0	0	Q
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	X



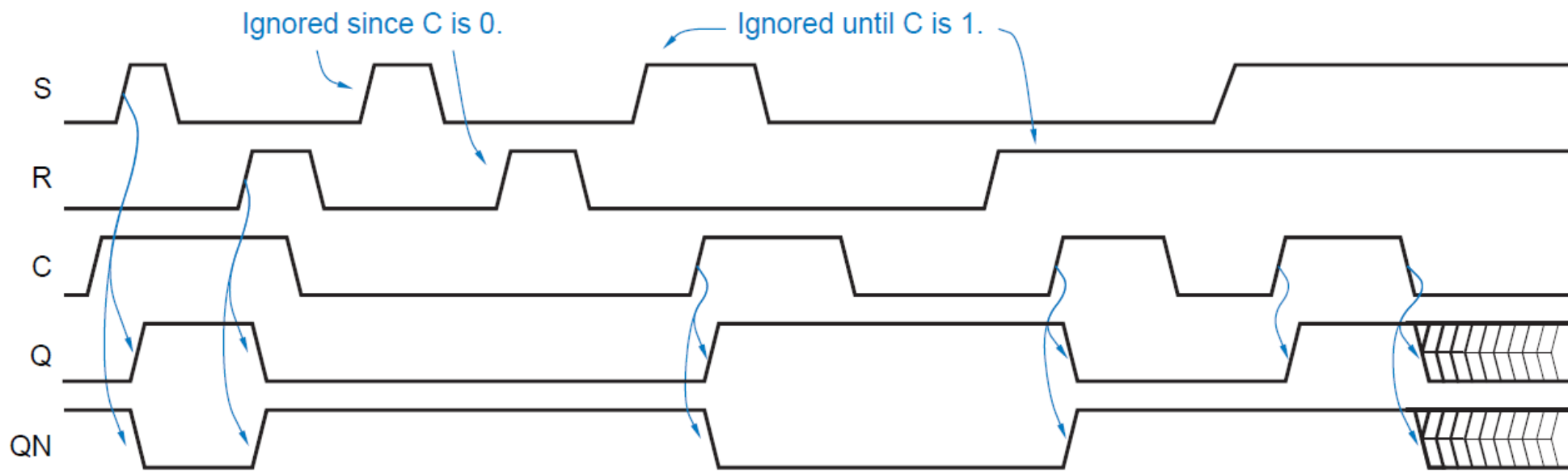
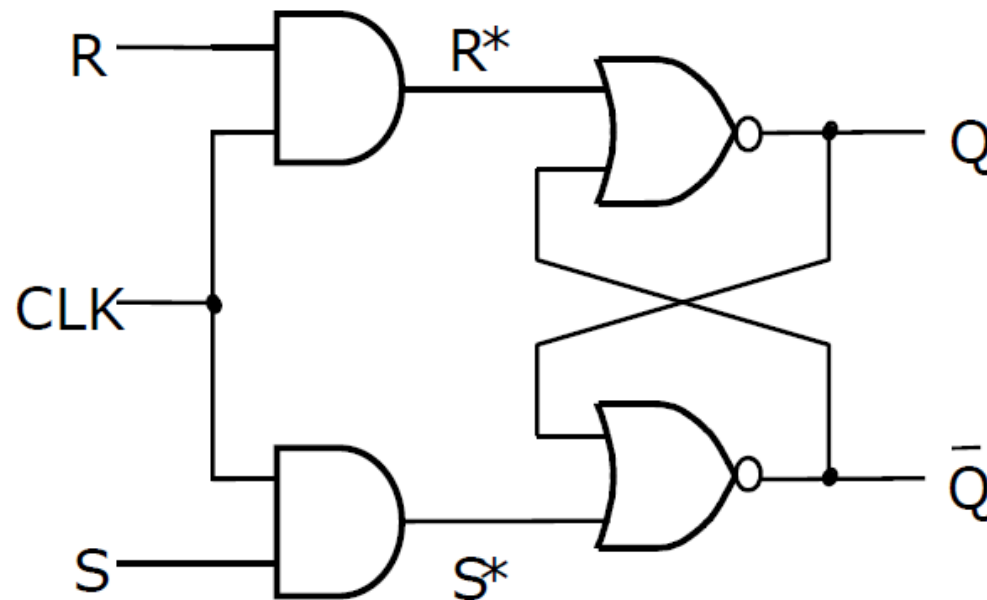
RS zapah prožen na nivo (NAND)



CLK	R	S	D ¹ Q
0	?	?	Q
1	0	0	Q
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	X



RS zapah prožen na nivo



Pomnilna celica (flip-flop)

Sinhronizacija na fronto ure

Pozitivna ali negativna – konsistentno čez celotno vezje

$q(t)$ – trenutno stanje (q)

$q(t+1)$ – stanje ob naslednji fronti ure (D^1q)

Prednosti sinhronizacije z uro

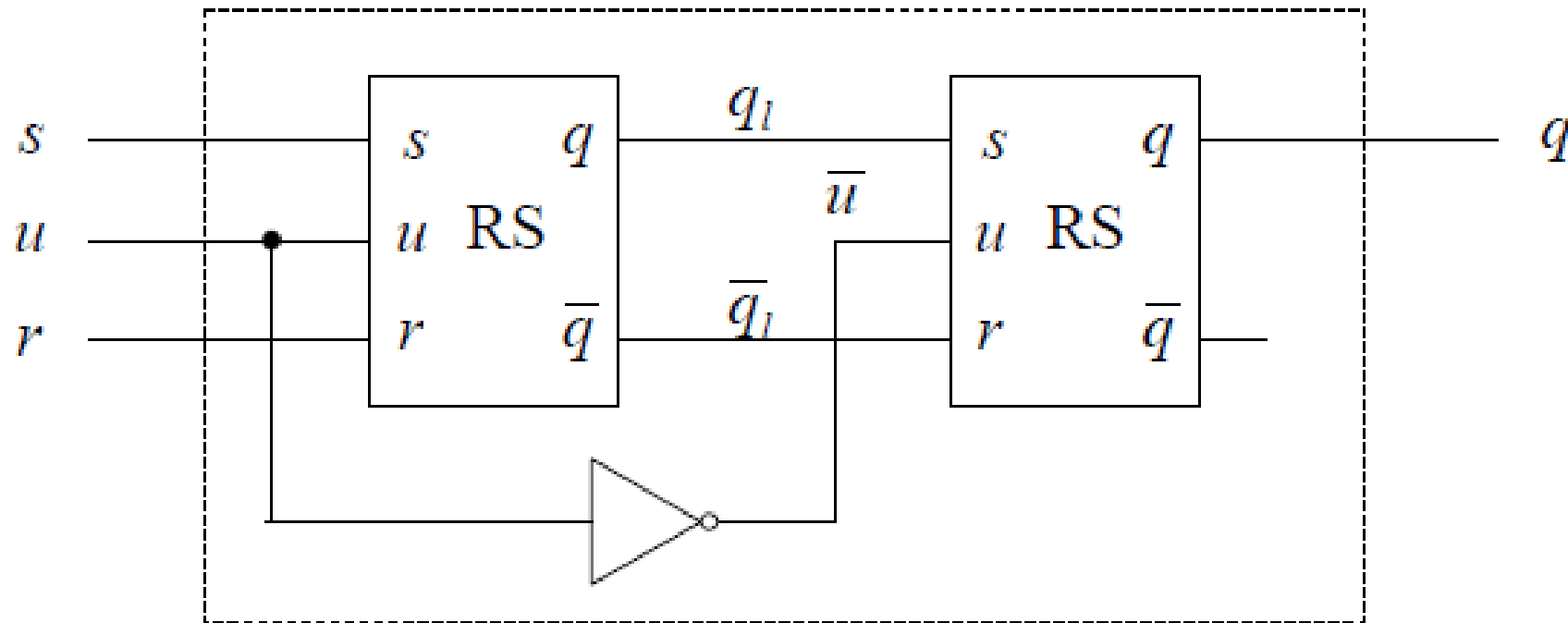
Preklopi se vršijo ob točno določenem trenutku – sinhronost

Lažje načrtovanje kompleksnejših vezij

Zakasnitve skozi kombinatorni del morajo biti krajše od periode ure

Master-Slave RS pomnilna celica

Pomnilna celica s predpomnjenjem

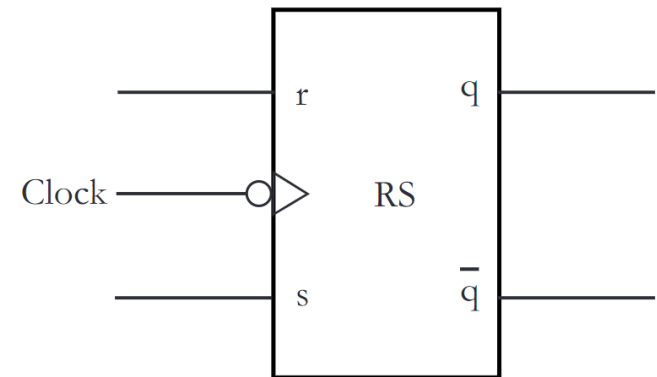
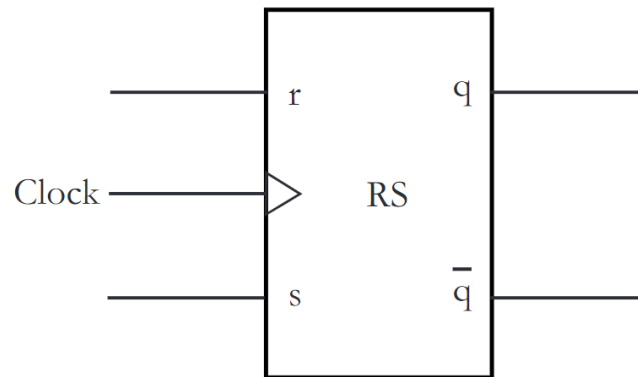


RS pomnilna celica

Enaka dinamika kot pri RS zapahu

Razlika: spremembe prožene le na urino fronto





Časovni diagram

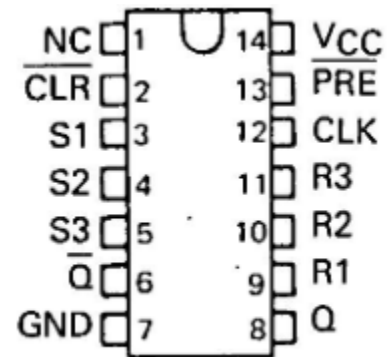


RS pomnilna celica

7471

FUNCTION TABLE

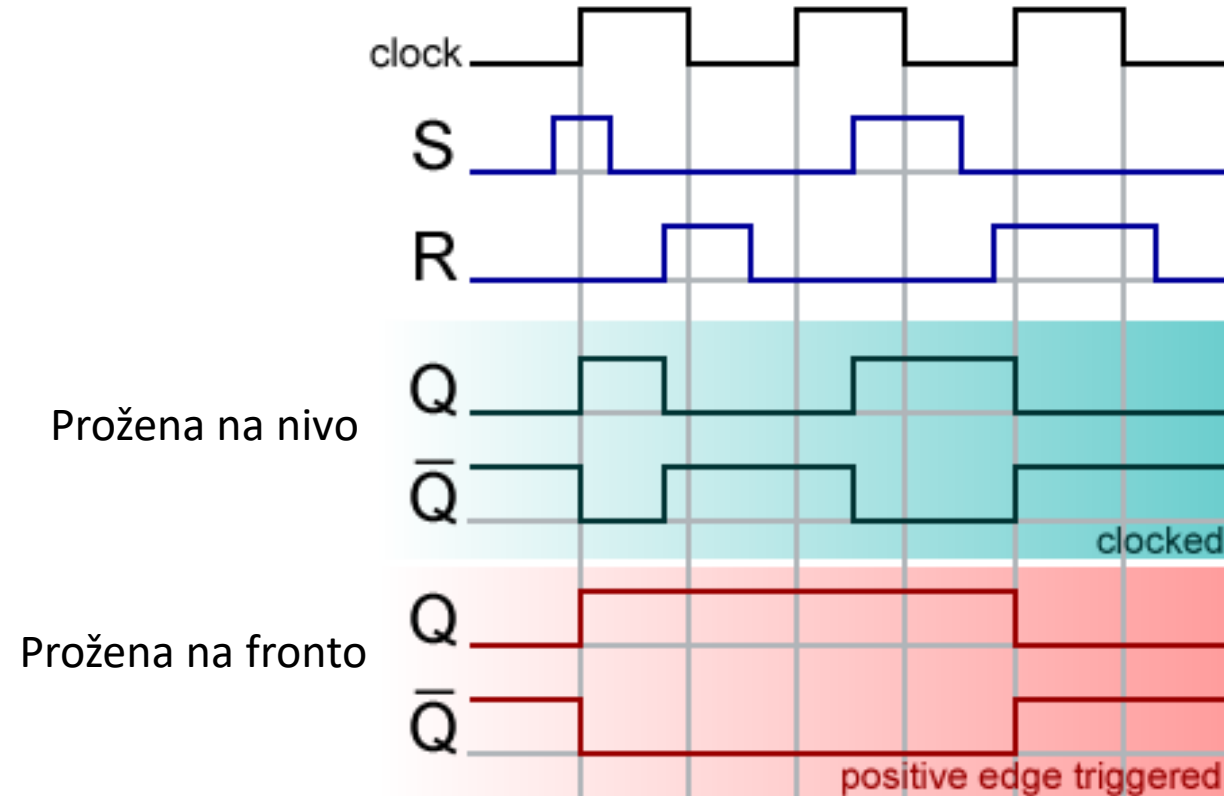
INPUTS					OUTPUTS	
$\overline{\text{PRE}}$	$\overline{\text{CLR}}$	CLK	S	R	Q	$\overline{\text{Q}}$
L	H	X	X	X	H	L
H	L	X	X	X	L	H
L	L	X	X	X	H [†]	H [†]
H	H		L	L	Q ₀	$\overline{\text{Q}}_0$
H	H		H	L	H	L
H	H		L	H	L	H
H	H		H	H	INDETERMINATE	



$$R = R1 \cdot R2 \cdot R3$$

$$S = S1 \cdot S2 \cdot S3$$

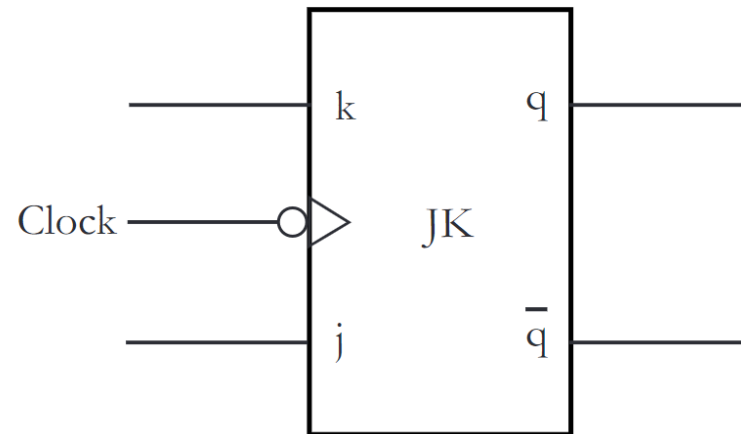
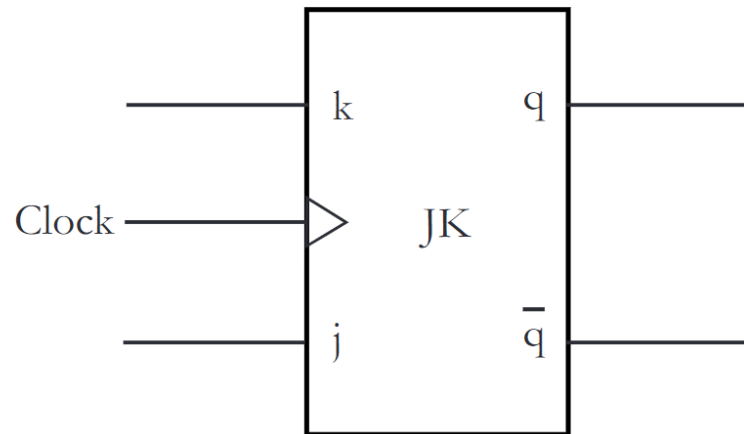
Časovni diagram RS pomnilne celice



JK pomnilna celica

J – jump (analogija set)

K – kill (analogija reset)



JK pomnilna celica

J – jump (analogija set)

K – kill (analogija reset)

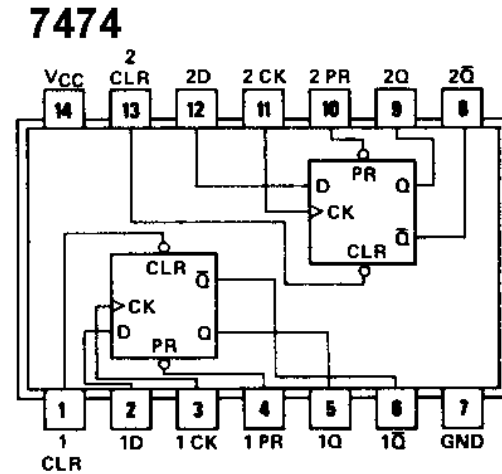
$$q(t + 1) = q(t)\bar{k} \vee \bar{q}j$$

k	j	$q(t + 1)$
0	0	$q(t)$
0	1	1
1	0	0
1	1	\bar{q}

$q(t)$	$q(t + 1)$	k	j
0	0	?	0
0	1	?	1
1	0	1	?
1	1	0	?

D pomnilna celica

D – data



$$D^1 q = d$$

d	$q(t + 1)$
0	0
1	1

$q(t)$	$q(t + 1)$	d
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

T pomnilna celica

T – trigger

$$D^1 q = q(t)\bar{t} \vee \bar{q}t$$

t	$q(t+1)$
0	$q(t)$
1	\bar{q}

$q(t)$	$q(t+1)$	t
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Pomnilne celice in asinhronski vhodi

Običajno PRESET in CLEAR

NAND izvedba: invertirani ($\overline{\text{PRESET}}$, $\overline{\text{CLEAR}}$)

Neodvisni od ure

PRESET – postavi stanje na 1

CLEAR – postavi stanje na 0

Izvedba sekvenčnih vezij s pomnilnimi celicami

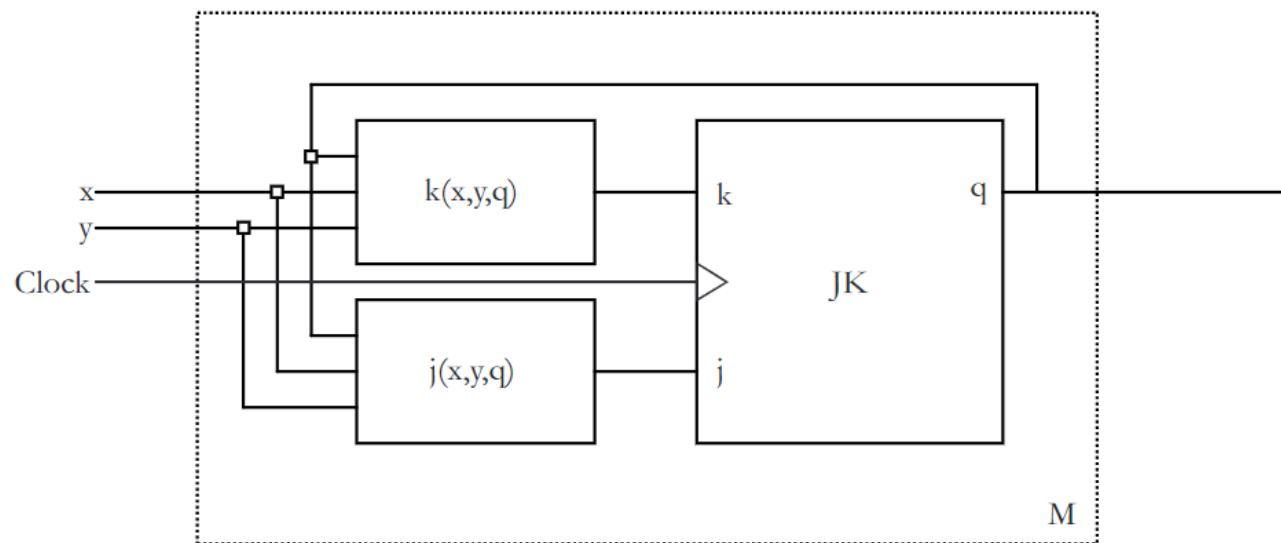
Naloga: na voljo imaš pomnilno celico tipa X. Realiziraj sekvenčno vezje, ki deluje po podani enačbi.

S pomočjo JK pomnilne celice realiziraj M celico, ki deluje po enačbi

$$D^1q = q(x \equiv y) \vee \bar{q} \bar{y}$$

Zgled $D^1q = q(x \equiv y) \vee \bar{q} \bar{y}$

Shema izvedbe:



Določiti moramo funkciji $k(x,y,q)$ in $j(x,y,q)$.

Zgled $D^1q = q(x \equiv y) \vee \bar{q} \bar{y}$

Zapišemo pravilnostno tabelo naslednjega stanja v odvisnosti od vhodov in trenutnega stanja

x	y	q	D^1q
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Zgled $D^1q = q(x \equiv y) \vee \bar{q} \bar{y}$

Pravilnostno tabelo razširimo na podlagi vzbujevalne tabele pomnilne celice, ki je na voljo (JK):

q	D^1q	k	j
0	0	?	0
0	1	?	1
1	0	1	?
1	1	0	?

x	y	q	D^1q	k	j
0	0	0	1	?	1
0	0	1	1	0	?
0	1	0	0	?	0
0	1	1	0	1	?
1	0	0	1	?	1
1	0	1	0	1	?
1	1	0	0	?	0
1	1	1	1	0	?

Zgled $D^1q = q(x \equiv y) \vee \bar{q} \bar{y}$

Izpišemo preklopni funkciji za k in j

x	y	q	D^1q	k	j
0	0	0	1	?	1
0	0	1	1	0	?
0	1	0	0	?	0
0	1	1	0	1	?
1	0	0	1	?	1
1	0	1	0	1	?
1	1	0	0	?	0
1	1	1	1	0	?

$$k(x, y, q) = \bar{x} y \vee x \bar{y}$$

$$j(x, y, q) = \bar{y}$$