

5. Bistabil

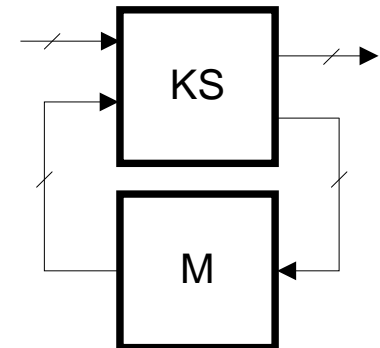


Sadržaj predavanja

- **pojam bistabila**
- osnovni bistabil
- sinkroni bistabil
- tipovi bistabila
- poboljšanje upravljanja
- karakteristični dinamički parametri

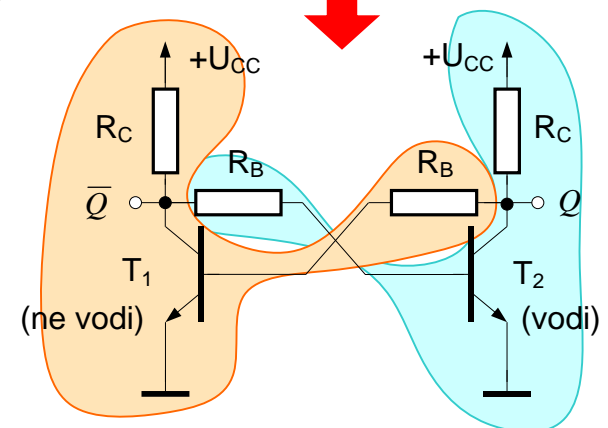
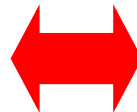
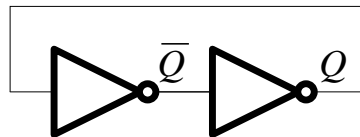
Pojam bistabila

- *sekvencijski sklopovi* (engl. sequential circuits):
 - digitalni sklopovi koji imaju sposobnost pamćenja
 - izlaz je funkcija:
 - trenutnog stanja ulaza
~ trenutno narinute pobude
 - trenutnog unutarnjeg stanja sklopa
~ postoji *memorija*
- struktura sekvencijskih sklopova:
 - kombinacijski dio (KS)
 - memorija (M)
~ obično memorijski elementi koji pamte *binarne* vrijednosti:
moraju imati *dva stabilna* stanja



Pojam bistabila

- memorijski element = *bistabil* (engl. flip-flop)
~ karakteristični digitalni sklop:
 - *ostaje* u jednom od *dva* moguća *stanja*
i *bez djelovanja* vanjske pobude
 - stanja su *stabilna*
~ posebna struktura sklopa:
 - *unakrsno* povezivanje invertora (sklopki)
~ elektronička izvedba: *multivibrator*
 - logički i električki (naponski!) stabilno



Pojam bistabila

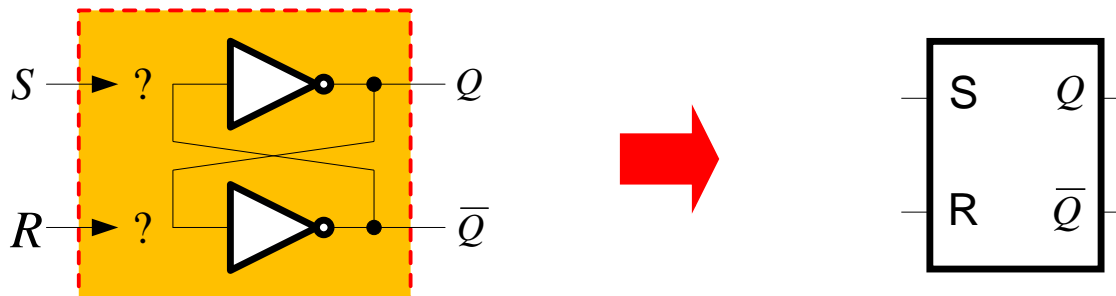
- *simbol* bistabila:

- stanje reprezentirano izlazom Q
- izlazi su komplementarni: Q, \bar{Q}
- potrebni su i *ulazi*

~ kako mijenjati stanje?

S (engl. set): postavljanje $Q = 1$

R (engl. reset): postavljanje $Q = 0$
~ "brisanje"!



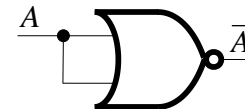
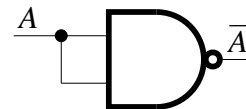
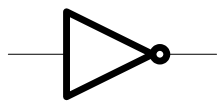
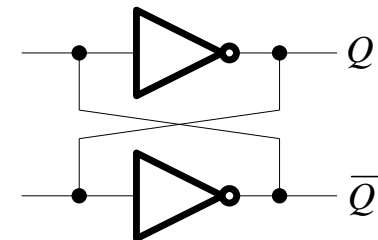


Sadržaj predavanja

- pojam bistabila
- **osnovni bistabil**
 - **bistabil izveden univerzalnim sklopovima**
 - **analiza promjene stanja**
- sinkroni bistabil
- tipovi bistabila
- poboljšanje upravljanja
- karakteristični dinamički parametri

Osnovni bistabil

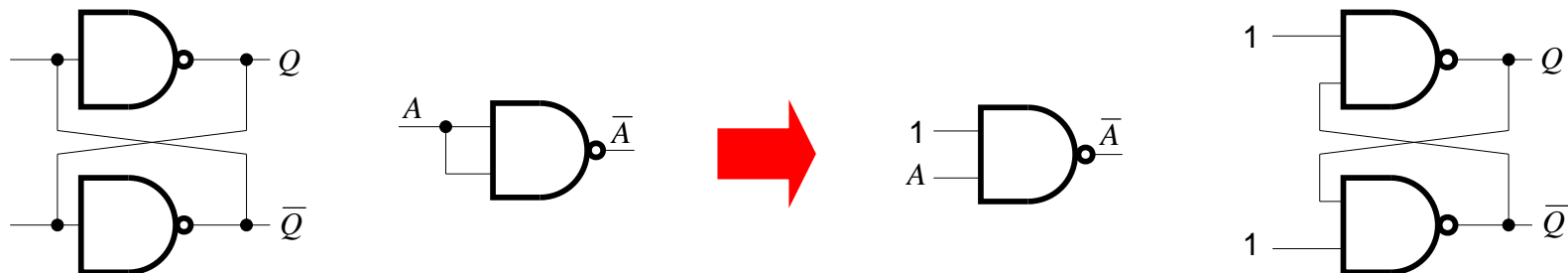
- "logička" izvedba bistabila
~ *izdvojeni* ulazi za okidanje:
 - interpretacija sklopki (invertora)
univerzalnim funkcijama
~ sklopovi NI i NILI



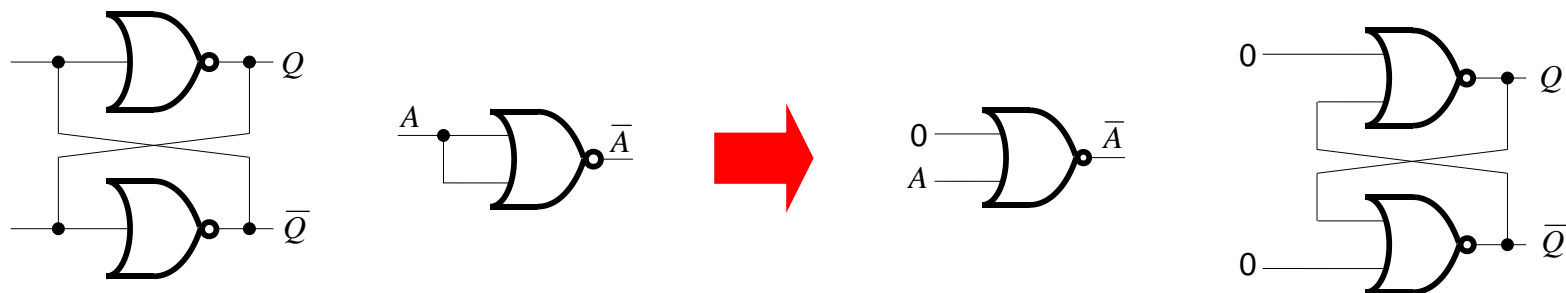
- bistabil izveden sklopovima NI/NILI
~ *osnovni bistabil* (engl. latch):
primjena u *svim* ostalim složenijim vrstama bistabila
te u sekvencijskim sklopovima

Osnovni bistabil

- bistabil ostvaren logičkim sklopovima NI:



- bistabil ostvaren logičkim sklopovima NILI:



- okidanje* bistabila (radi promjene stanja)
~ druge kombinacije 1 i 0 na ulazima

Osnovni bistabil

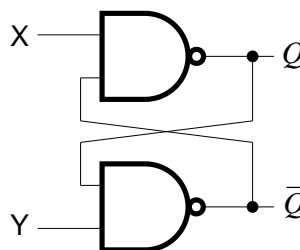
- analiza osnovnog bistabila ostvarenog NI sklopovima:

- $Q^{n+1} = f(X, Y; Q^n)$: tablica (promjene) stanja

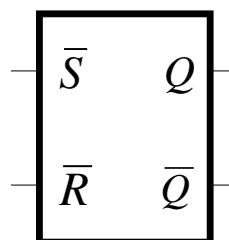
- identifikacija ulaza:

$$X = \bar{S}$$

$$Y = \bar{R}$$



- simbol:



- terminologija
~ osnovni bistabil = "zasun" (engl. latch):
podatak ostaje pohranjen u sklopu

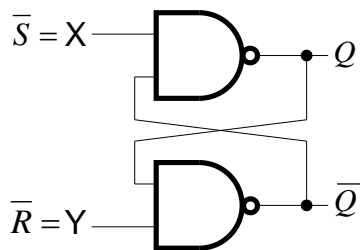
X	Y	Q^n	Q^{n+1}	
1	1	0	0	Q^n
1	1	1	1	
0	1	0	1	1
0	1	1	1	
1	0	0	0	0
1	0	1	0	
0	0	0	1	X
0	0	1	1	



X	Y	Q^{n+1}
1	1	Q^n
1	0	0
0	1	1
0	0	X

Osnovni bistabil

- komentar
~ pobuda $XY = 00$ je *zabranjena!!!*
 - $Q = \bar{Q} = 1$ za $X=Y=0$
~ proturječi definiciji izlaza bistabila



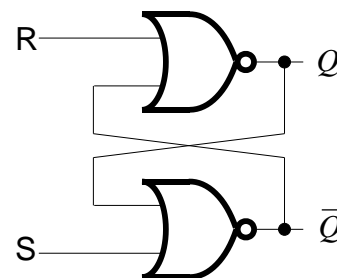
- nesimetrija sklopa/pobude
~ nije jasno u kojem će stanju *ostati* bistabil
po "otpuštanju" ulaza

X	Y	Q ⁿ	Q ⁿ⁺¹	
1	1	0	0	Q ⁿ
1	1	1	1	
0	1	0	1	1
0	1	1	1	
1	0	0	0	0
1	0	1	0	
0	0	0	1	x
0	0	1	1	

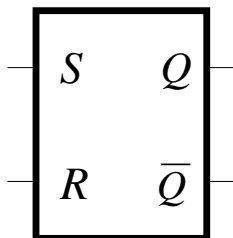
Osnovni bistabil

- osnovni bistabil ostvaren NILI sklopovima:
 - skraćena tablica stanja:

R	S	Q^{n+1}
0	0	Q^n
0	1	1
1	0	0
1	1	X



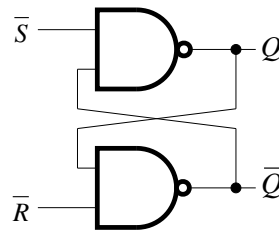
- simbol:



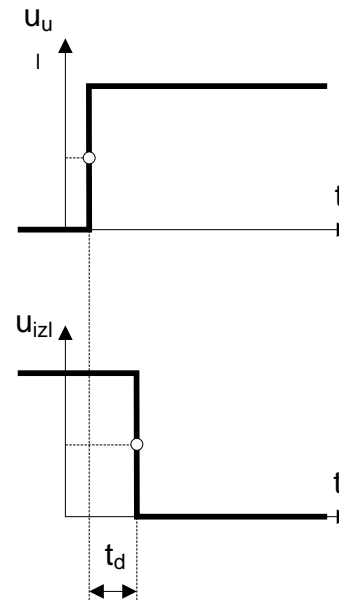
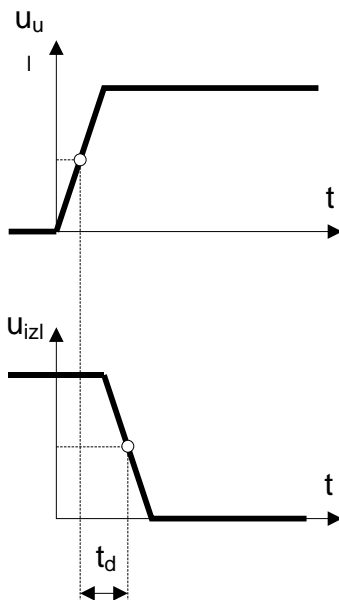
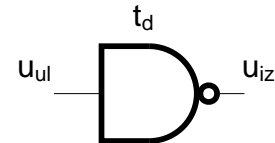
Osnovni bistabil

- analiza *promjene stanja* osnovnog bistabila:

- bistabil ostvaren sklopovima NI:

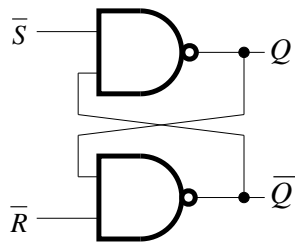


- uzeti u obzir stvarne sklopove: $\exists t_d$

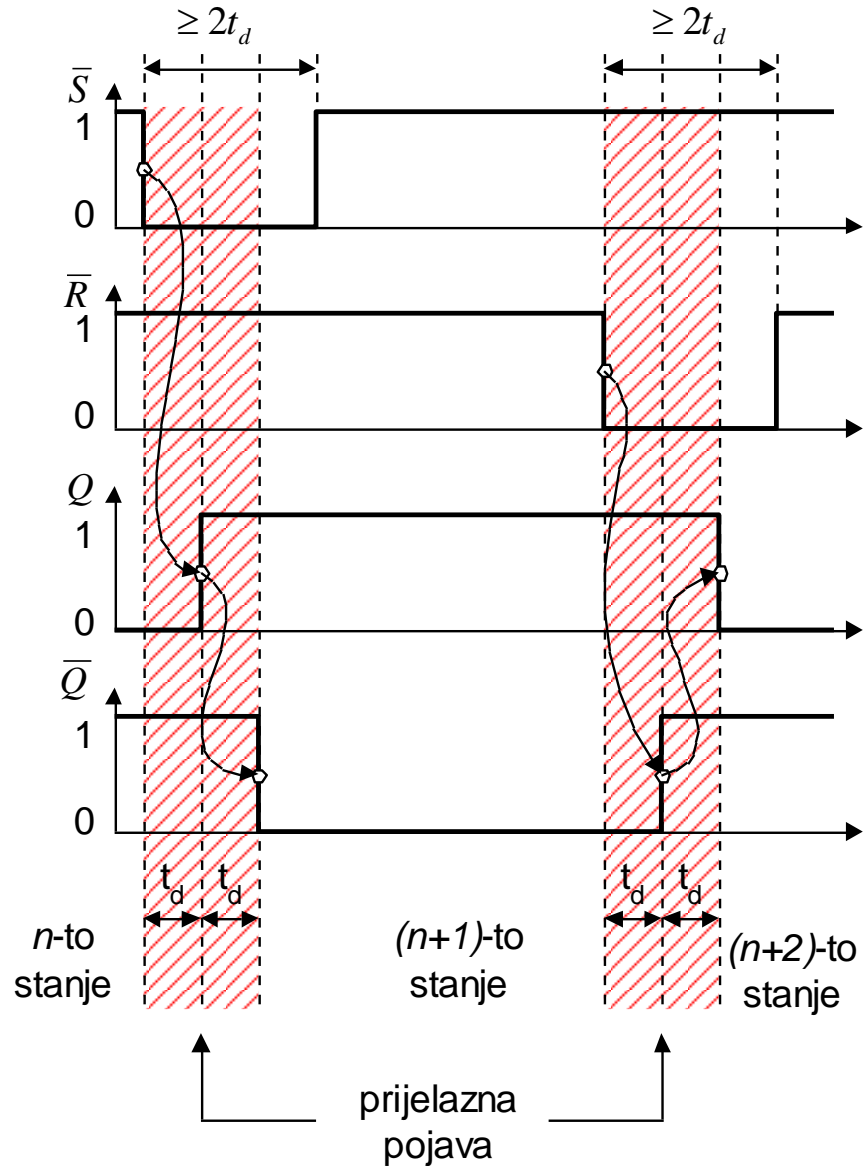


Osnovni bistabil

- analiza promjene stanja osnovnog bistabila:



- sklop je osjetljiv na *trajanje pobude* (okidnog impulsa):
 $t > 2 \cdot t_d$





Sadržaj predavanja

- pojam bistabila
- osnovni bistabil
- **sinkroni bistabil**
 - **sinkronizacija impulsa takta**
 - **asinkroni ulazi**
- tipovi bistabila
- poboljšanje upravljanja
- karakteristični dinamički parametri



Sinkroni bistabil

- svojstva osnovnog bistabila:
 - mijenja stanje u skladu s pobudom
~ "transparentan" za ulaze
 - *trenutno* ($\geq 2 \cdot t_d$) reagira na pobudu
~ promjena stanja *nezavisno* od sustavskog nadzora
(tj. zajedničkih sinkronizacijskih impulsa)
 - *hazard* može prouzrokovati neželjenu promjenu stanja
~ nezgodno! ☹

Sinkroni bistabil

Primjer: neželjena promjena stanja zbog hazarda

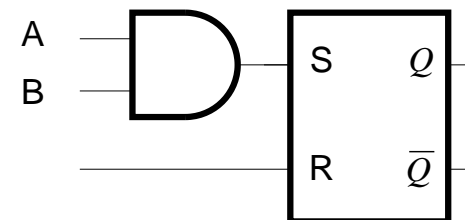
- protufazna pobuda ulaza S

početno: $A = 1, B = 0 \rightarrow$

$$S = 0$$

$$R = 0$$

$$Q = 0$$



promjena: $A: 1 \rightarrow 0 \rightarrow S = 0$ itd.

$B: 0 \rightarrow 1$

$$Q^{n+1} = Q^n = 0$$

- promjena A kasni za promjenom B

\rightarrow *hazard*: nakratko $S = A \cdot B = 1 \Rightarrow Q^{n+1} = 1$

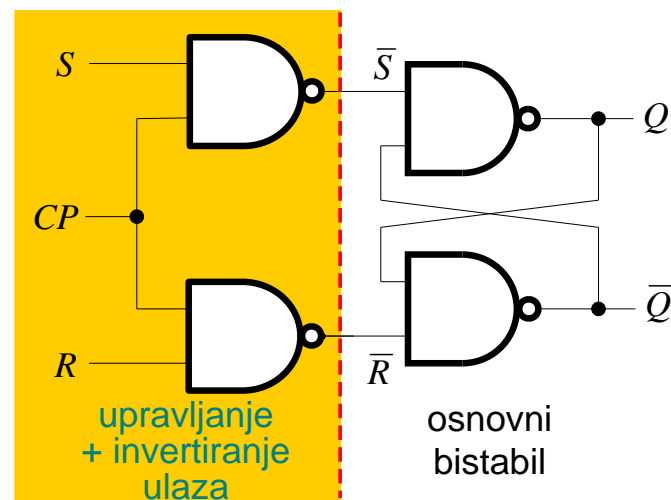


Sinkroni bistabil

- rješenje problema moguće pojave hazarda zbog transparentnosti ulaza osnovnog bistabila:
 - dozvoliti upis u bistabil *samo u određenim* trenucima vremena
~ izbjegavanje efekata prijelazne pojave
 - upravljanje radom bistabila
~ *sinkronizacija*

Sinkroni bistabil

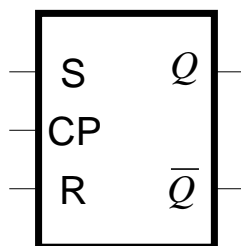
- *sinkronizacija* okidanja bistabila
~ *sinkronizacijski* impulsi (impulsi *takta*)
CP (engl. Clock Pulses) na poseban ulaz bistabila:
sinkroni bistabil
- promjena stanja bistabila u sinkronizaciji s CP:
jedino za CP = 1
- usputno invertiranje ulaza:
 $\overline{S} \overline{R} \rightarrow S R$



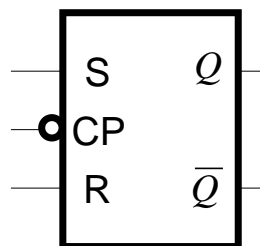
Sinkroni bistabil

- konceptualizacija sinkronizacije okidanja bistabila
~ *diskretizacija* vremena:
 - (bitno!) olakšava razmatranje sekvencijskih sklopova
~ sekvencijski problem sveden na kombinacijski
 - obično se razmatra prijelaz n -to $\rightarrow (n+1)$ -vo stanje
~ prije, odnosno poslije, nailaska impulsa CP:
$$Q^{n+1} = f(S, R, Q^n)$$

- simbol(i) sinkronog bistabila:



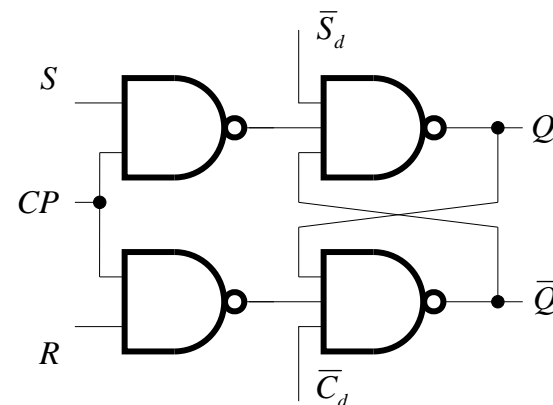
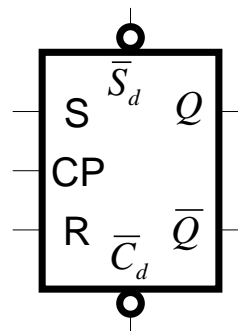
aktivna 1



aktivna 0

Sinkroni bistabil

- dodavanje *asinkronih* ulaza:
~ na osnovni bistabil,
zaobiđena mreža za upravljanje:
direktni ulazi (\bar{S}_d , \bar{C}_d)

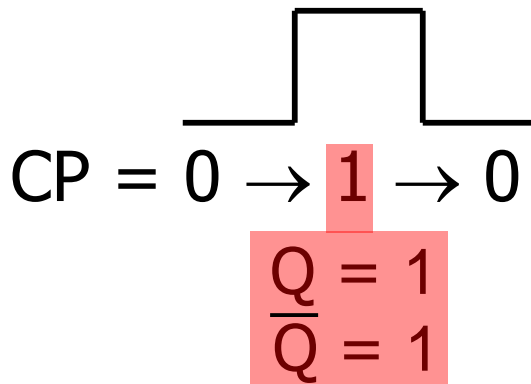


- aktivni s 0
- dominiraju nad sinkronim ulazima (S, R)
- mogući problem
~ za vrijeme CP aktivna pobuda
preko sinkronih i asinkronih ulaza:
hazard?

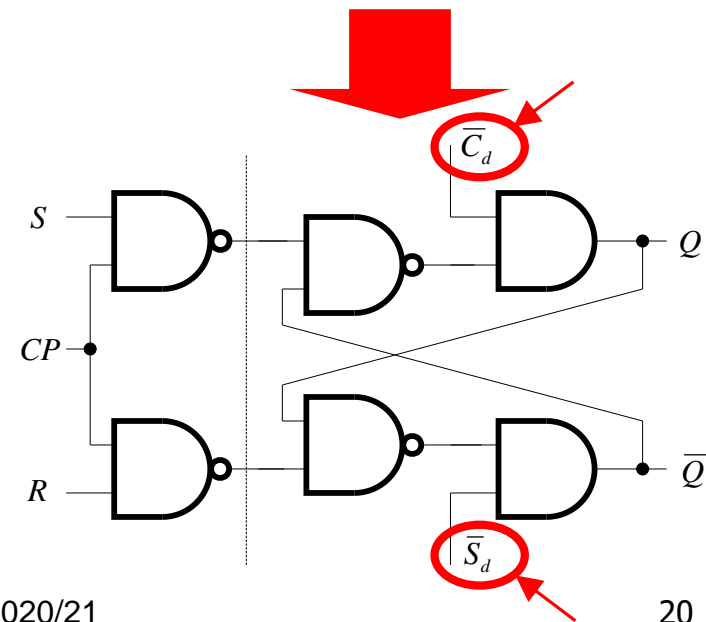
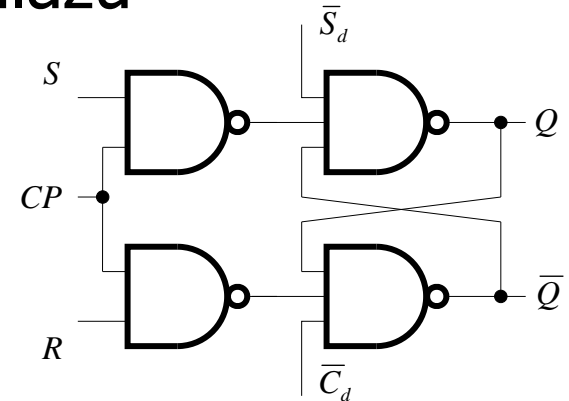
Sinkroni bistabil

Primjer: hazard zbog istovremene pobude na sinkronom i asinkronom ulazu

- $\overline{C}_d = 0, \overline{S}_d = 1 \rightarrow Q = 0, \overline{Q} = 1$
uz dodatno $S = 1, R = 0$



- rješenje
~ posebna izvedba:
 - dodati I sklopove na izlaze
 - zamijeniti značenje asinkronih ulaza





Sadržaj predavanja

- pojam bistabila
- osnovni bistabil
- sinkroni bistabil
- **tipovi bistabila**
 - **SR bistabil**
 - **JK bistabil**
 - **T bistabil**
 - **D bistabil**
- poboljšanje upravljanja
- karakteristični dinamički parametri



Tipovi bistabila

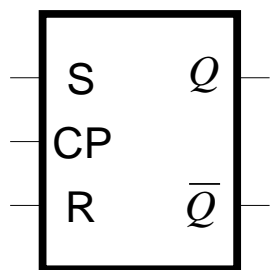
- *tipovi* bistabila:
 - SR bistabil
~ osnovna funkcionalnost
 - JK bistabil
~ proširena funkcionalnost:
"univerzalni" bistabil
 - T bistabil
~ (samo) promjena stanja
 - D bistabil
~ (samo) pamćenje 1 bita informacije

Tipovi bistabila

- *formalizmi* definicije bistabila:
 - tablica (promjene) stanja
 - jednađba (promjene) stanja, karakteristična jednađba
$$Q^{n+1} = f(ulazi, Q^n)$$
 - uzbudna tablica:
ulazi = f(promjena_stanja)
 - dijagram stanja
~ *grafički* prikaz uzbudne tablice
 - čvor \equiv stanje
 - strelica \equiv prijelaz

Tipovi bistabila

- SR bistabil* (rekapitulacija):



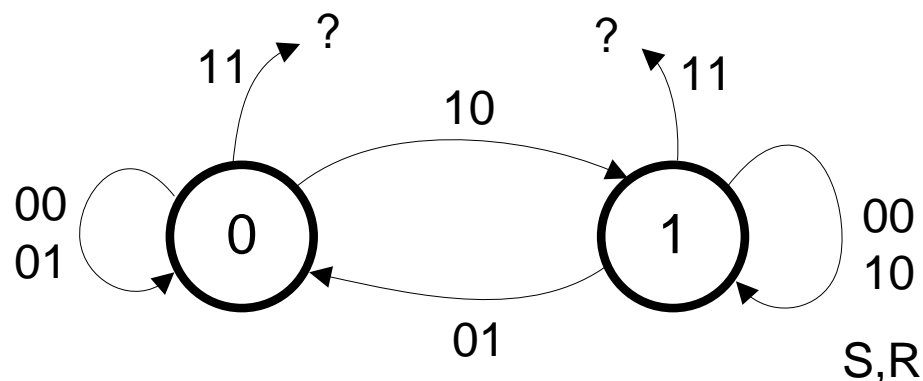
S	R	Q^{n+1}
0	0	Q^n
0	1	0
1	0	1
1	1	X

		Q^{n+1}				SR
		00	01	11	10	
Q^n	0			x	1	
	1	1		x	1	

$$Q^{n+1} = S + \bar{R} \cdot Q^n$$

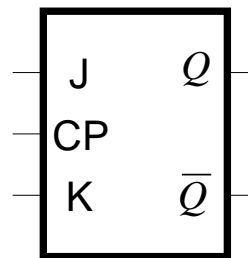
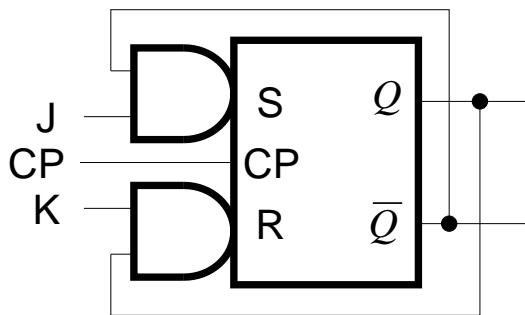
$$S \cdot R = 0$$

Q^n	Q^{n+1}	S	R
0	0	0	x
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	x	0



Tipovi bistabila

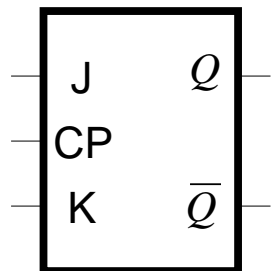
- *JK bistabil*:
 - ~ posebna povratna veza na SR bistabil:
propuštanje "vanjskih" ulaza
tako da *nema* zabranjene kombinacije ulaza:
 - $JK = 11$
 - ~ bistabil *mijenja stanje* (engl. toggle)
 - JK bistabil
 - ~ neka vrsta "univerzalnog" bistabila



J	K	Q^{n+1}
0	0	Q^n
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q^n}$

Tipovi bistabila

- JK bistabil:
 $\sim JK = 11 \rightarrow$ bistabil *mijenja stanje*

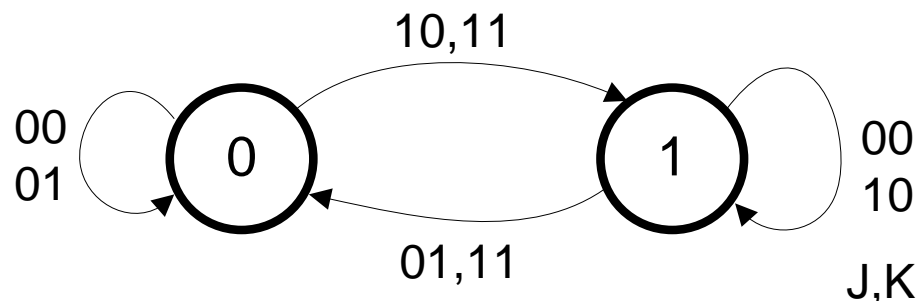


J	K	Q^{n+1}
0	0	Q^n
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q^n}$

		JK			
		00	01	11	10
Q^n	0			1	1
	1	1			1

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

Q^n	Q^{n+1}	J	K
0	0	0	x
0	1	1	x
1	0	x	1
1	1	x	0



Tipovi bistabila

- *T bistabil*

~ samo mijenja stanje (engl. toggle)

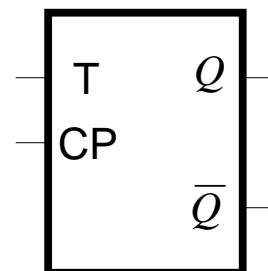
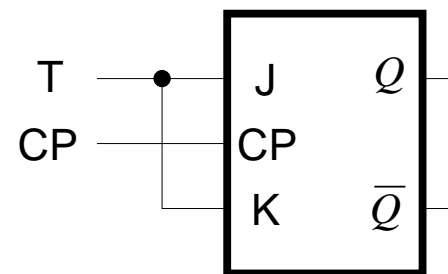
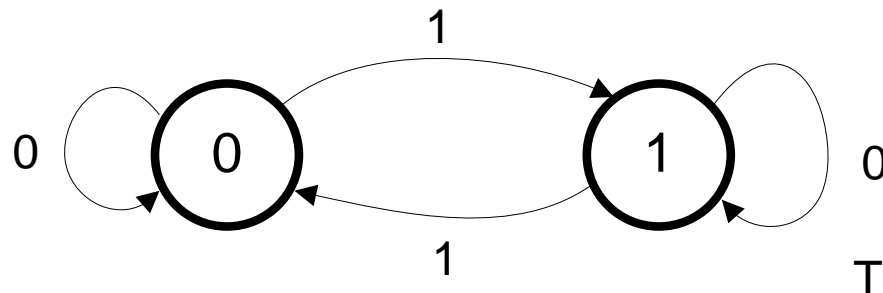
- tipična primjena
~ brojanje impulsa (\rightarrow *brojila*)
- jednostavno se dobiva iz JK bistabila

J	K	Q^{n+1}
0	0	Q^n
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q^n}$

T	Q^{n+1}
0	Q^n
1	$\overline{Q^n}$

$$Q^{n+1} = T \cdot \overline{Q^n} + \overline{T} \cdot Q^n$$

Q^n	Q^{n+1}	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



Tipovi bistabila

- *D bistabil*

~ kasni (engl. delay) za 1 x CP

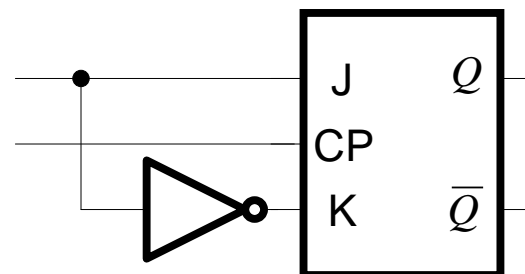
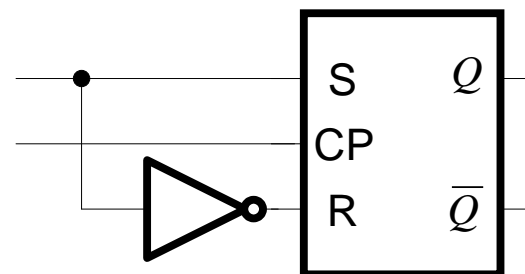
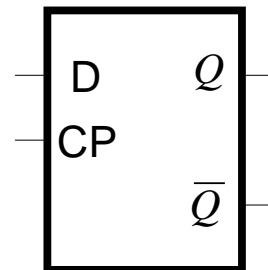
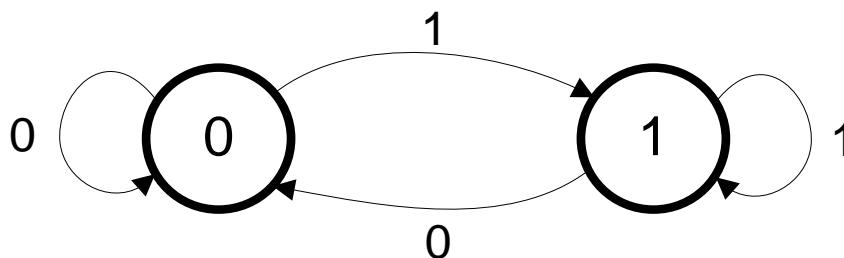
- "pamti" podatak narinut na ulazu
- primjena: *pohranjivanje* podataka (\rightarrow *registri*)

J	K	Q^{n+1}
0	0	Q^n
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q^n}$

D	Q^{n+1}
0	0
1	1

$$Q^{n+1} = D^n$$

Q^n	Q^{n+1}	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

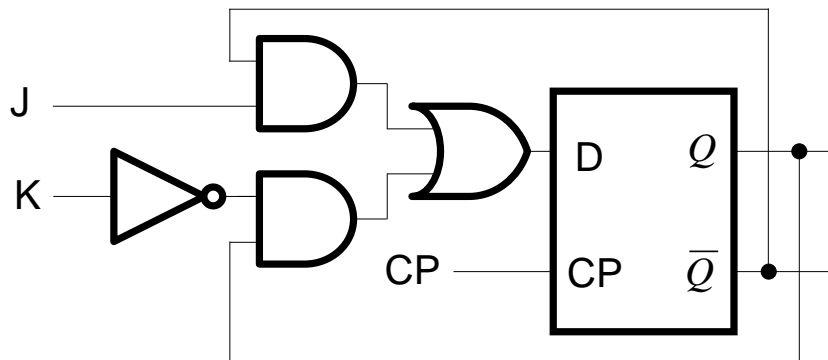


Tipovi bistabila

Primjer: JK bistabil ostvaren D bistabilom

- "logika" u dodatni kombinacijski sklop na ulazu D
- povratna veza s Q i \bar{Q}
- D bistabil: $Q^{n+1} = D^n \Rightarrow D^n = Q^{n+1}$

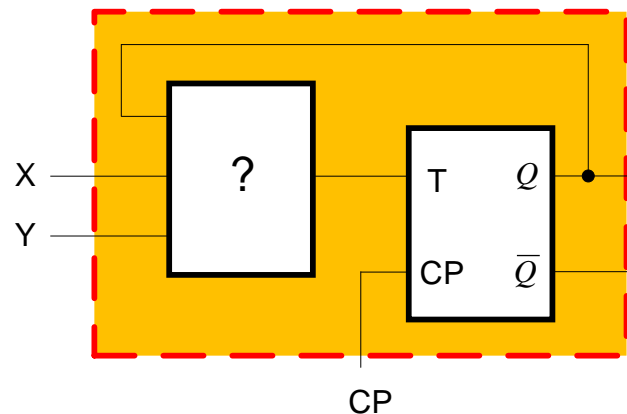
$$Q^{n+1} = J \cdot \bar{Q}^n + \bar{K} \cdot Q^n = D^n$$



Tipovi bistabila

Primjer: "izmišljeni", XY bistabil, ostvaren T bistabilom, zadan jednažbom stanja $Q^{n+1} = XYQ^n + \overline{X}\overline{Q}^n$

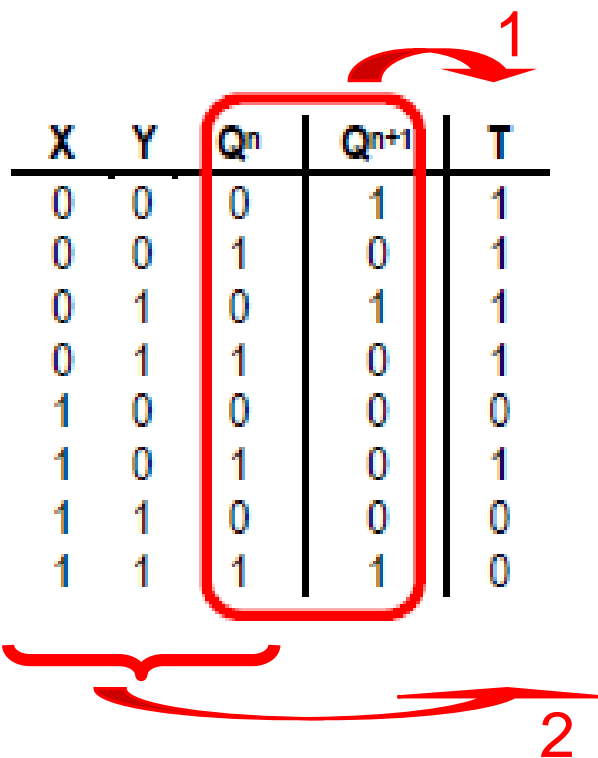
- i dalje "prilagodni" sklop na ulazu bistabila
- funkciju pamćenja ostvaruje T bistabil: $Q^{n+1} = T \cdot \overline{Q}^n + \overline{T} \cdot Q^n$
- izraziti funkciju za T putem uzbudne tablice!
(promatrati promjenu stanja!)



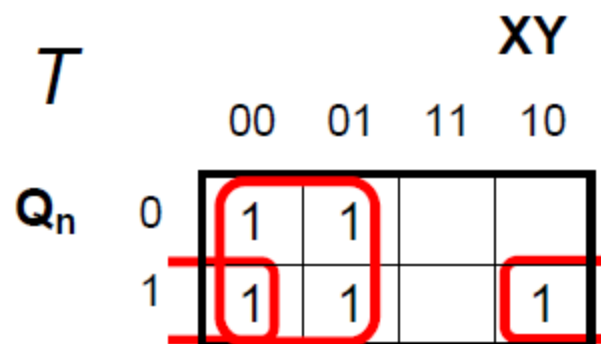
Tipovi bistabila

Primjer (nastavak):

- T bistabil: $Q^{n+1} = T \cdot \bar{Q}^n + \bar{T} \cdot Q^n$
- XY bistabil: $Q^{n+1} = XYQ^n + \bar{X}\bar{Q}^n$



X	Y	Q^n	Q^{n+1}	T
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
1	0	0	0	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	0
1	1	1	1	0



		XY			
		00	01	11	10
Q^n	0	1	1		
	1	1	1		1

$$T = \bar{X} + \bar{Y}Q^n$$



Sadržaj predavanja

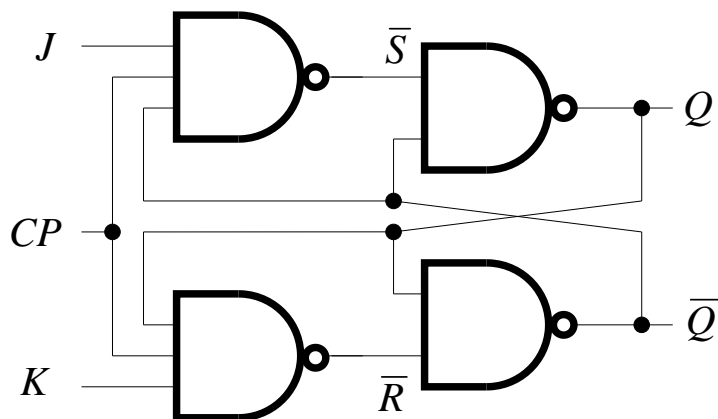
- pojam bistabila
- osnovni bistabil
- sinkroni bistabil
- tipovi bistabila
- **poboljšanje upravljanja**
 - **dvostruki bistabil**
 - **bridom upravljani bistabil**
- karakteristični dinamički parametri

Poboljšanje upravljanja

- rekapitulacija problema vezanih za *upravljanje bistabila*
~ za $CP = 1$ sinkroni se bistabil ponaša kao "asinkroni"
 - transparentnost za ulaze:
 - stanje nakon prestanka CP?
 - kaskadirani bistabili
~ eventualne promjene stanja *nisu* ograničene
na pobudu susjednih bistabila: *neispravni rad!*
 - posebno JK bistabil
~ *osciliranje izlaza*
 - rješenje
~ *djelovati na CP*:
 - poboljšanje upravljanja razinom CP
 - upravljanje bistabila bridom CP

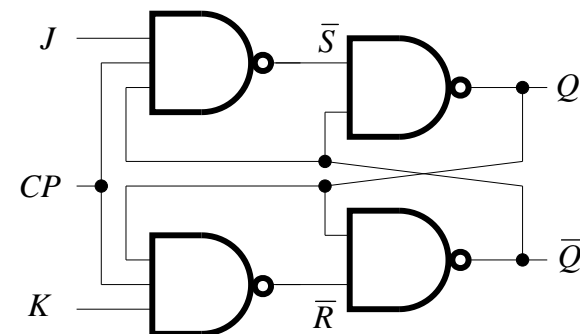
Poboljšanje upravljanja

- *osciliranje izlaza* JK bistabila izvedenog sklopovima NI
~ zbog povratne veze na ulaznu mrežu za upravljanje:
 - intuitivni (i naivni!) pristup
~ problemi kad $CP = 1$ "traje predugo"

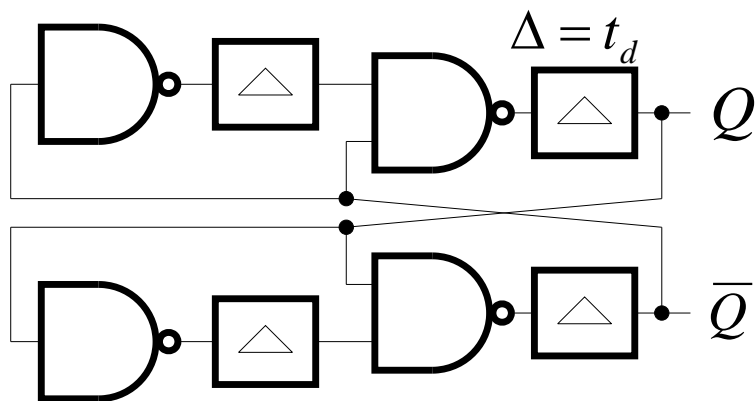


Poboljšanje upravljanja

- JK bistabil izveden sklopovima NI
~ "predugo trajanje" $CP = 1$
 - $CP = 1$ & $JK = 11$
 - promjena stanja $Q \forall 2 \cdot t_d$
 - *osciliranje* (stanja) izlaza:
"utrka" (engl. race-around condition)

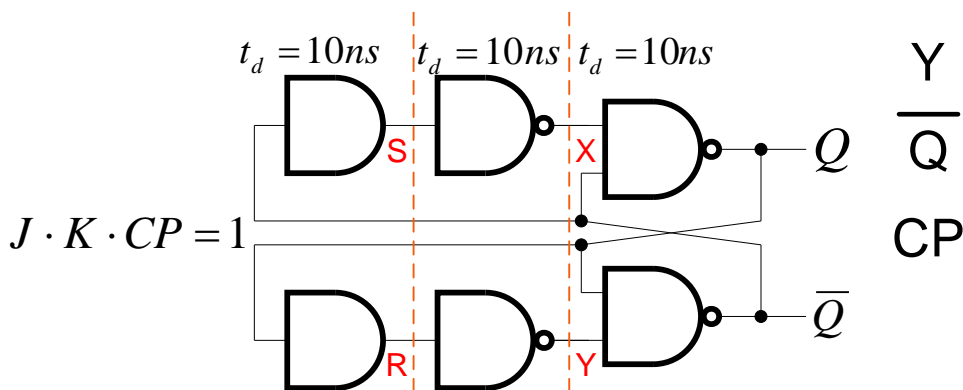
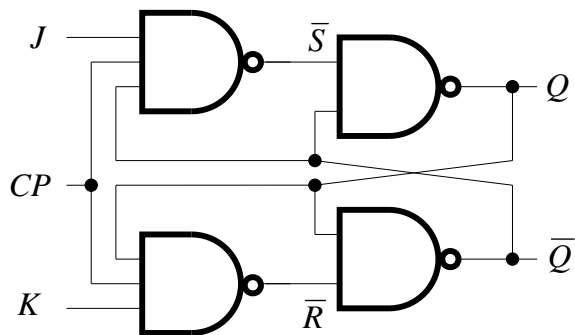


$$J \cdot K \cdot CP = 1$$

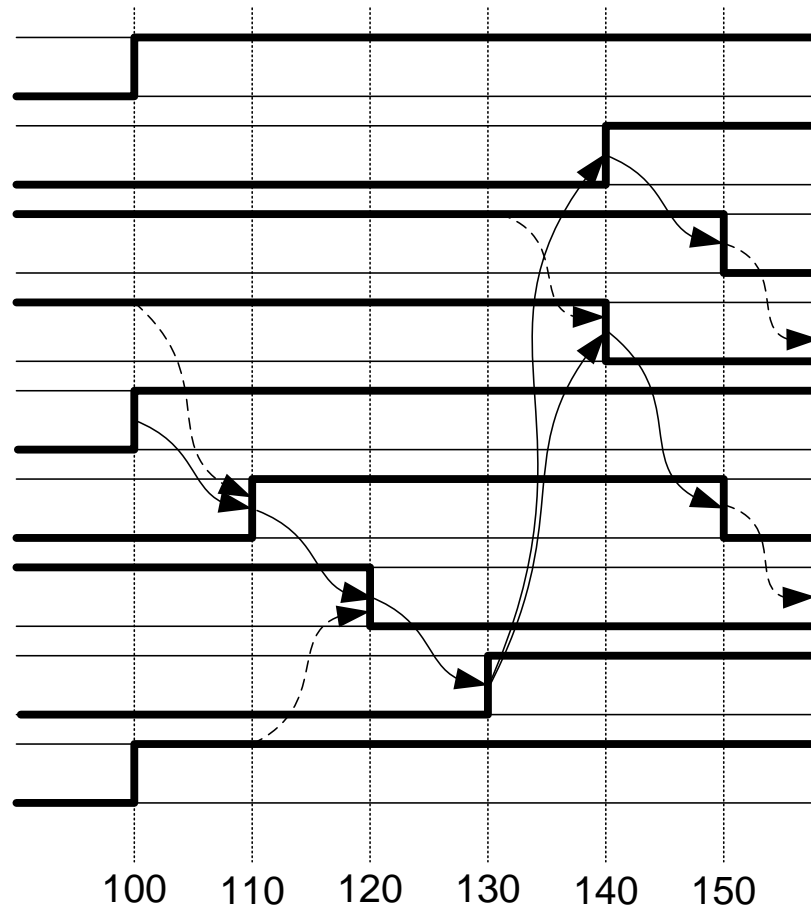


Poboljšanje upravljanja

Primjer : osciliranje izlaza "naivnog" JK bistabila

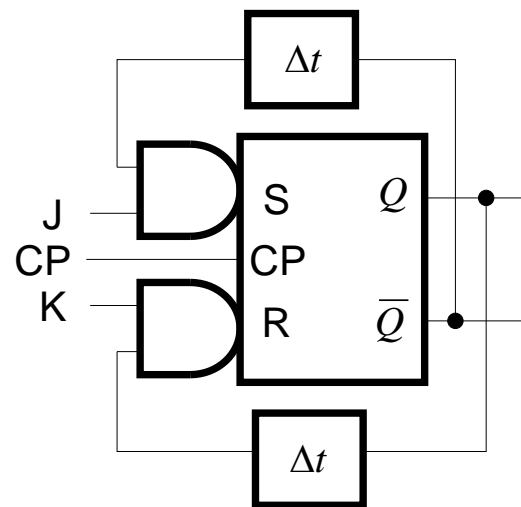


J
S
X
Q
K
R
Y
Q
CP



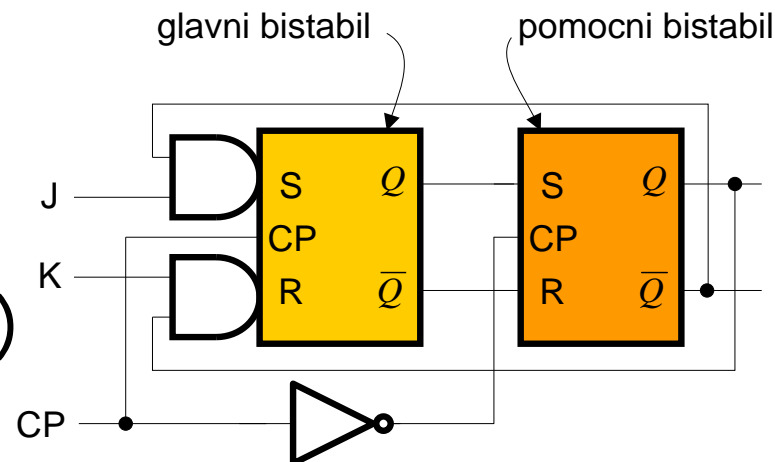
Poboljšanje upravljanja

- osciliranje izlaza JK bistabila izvedenog sklopovima NI ~ dva suprotstavljena zahtjeva:
 - CP "dovoljno dug" da bistabil promijeni stanje
 - CP "dovoljno kratak" da bistabil ne "zaoscilira"
 - moguća rješenja:
 - odgovarajuća kašnjenja u petlje povratne veze (rješenje na razini elektroničke izvedbe)
 - *poboljšati upravljanje* djelovanjem na CP



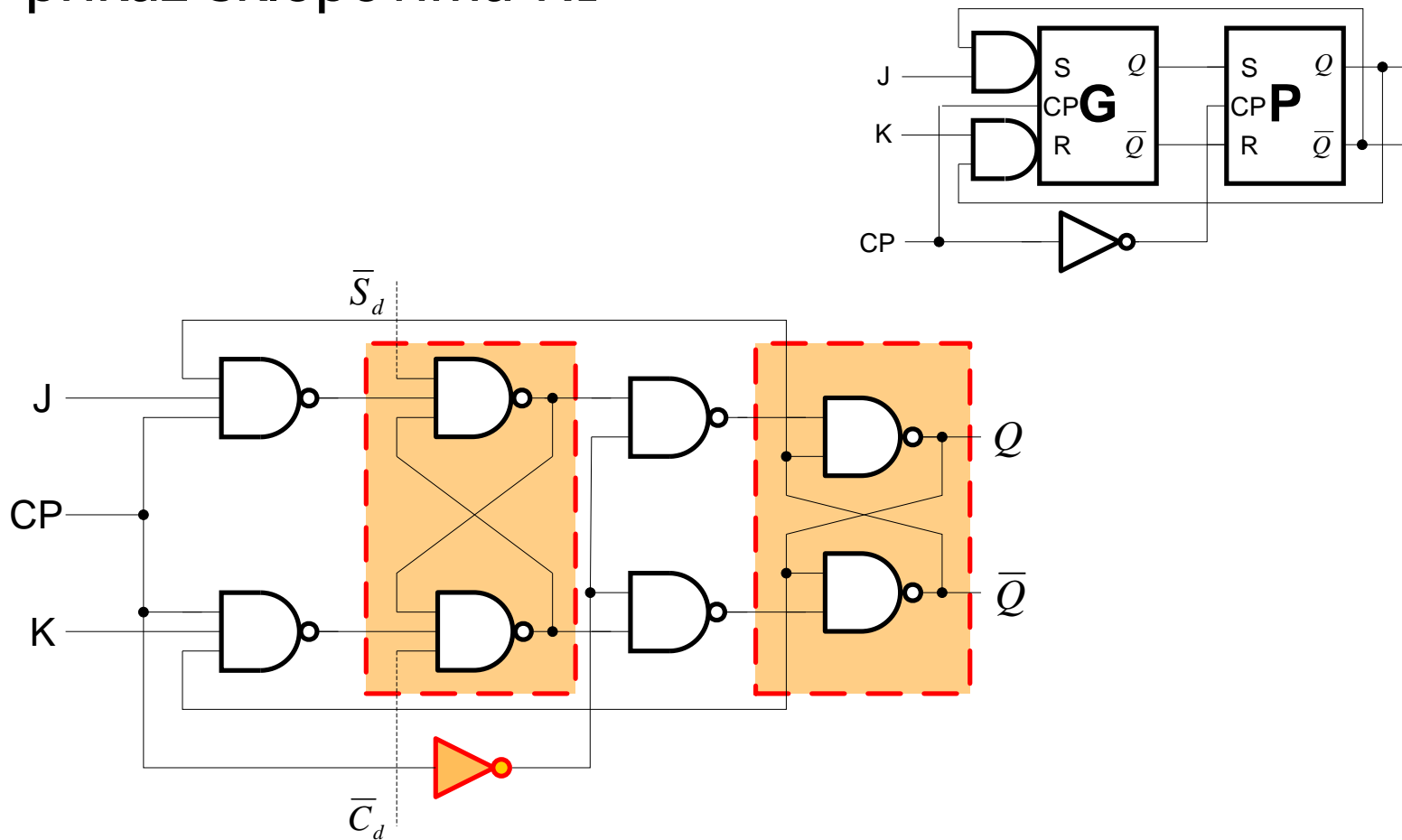
Poboljšanje upravljanja

- *upravljanje razinom CP*
~ koristiti *dva* bistabila:
"dvostruki" bistabil
(engl. master-slave flip-flop)
- princip rada:
 - CP nije aktivan
~ glavni i pomoćni bistabil povezani
 - CP aktivan
~ veza glavnog i pomoćnog bistabila prekinuta;
u glavni se bistabil upisuje novi sadržaj
 - CP ponovno neaktivan
~ sadržaj glavnog se prenosi u pomoćni bistabil
= stanje na izlazima bistabila



Poboljšanje upravljanja

- *dvostruki bistabil* (engl. master-slave flip-flop)
~ prikaz sklopovima NI



Poboljšanje upravljanja

- objašnjenje rada dvostrukog bistabila:

t_1 : CP izlazi iz područja 0

~ prekid veze G i P

t_2 : CP ulazi u područje 1

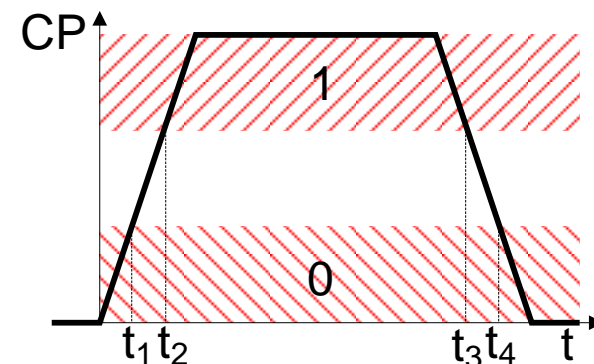
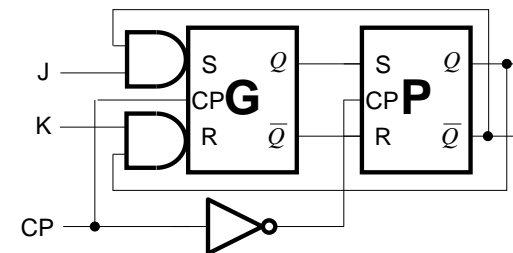
~ uspostavljanje veze ulaza i G,
upis podataka u G

t_3 : CP izlazi iz područja 1

~ prekid veze ulaza i G

t_4 : CP ulazi u područje 0

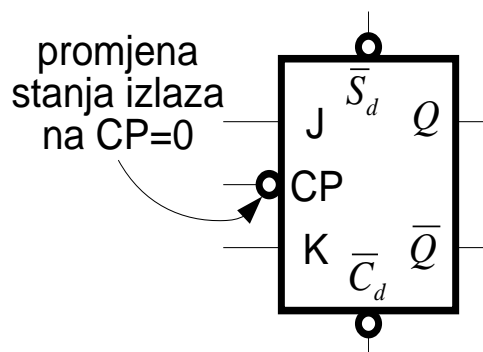
~ uspostavljanje veze G i P,
upis podatka iz G u P



- stvarno onemogućeno osciliranje

Poboljšanje upravljanja

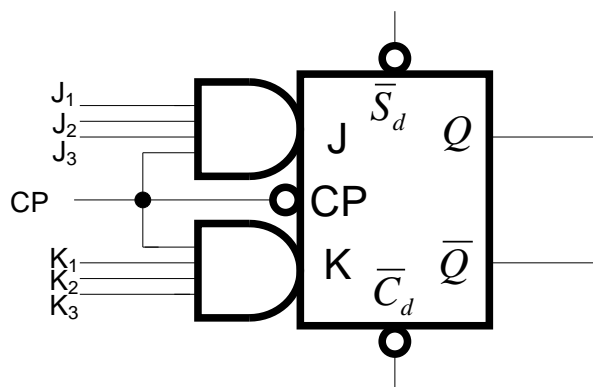
- blok-simbol dvostrukog bistabila:



- komentar izvedbe:
 - *dva* bistabila umjesto jednog!
 - brzina rada je *manja*
 - sklop i dalje osjetljiv na promjene ulaza (\rightarrow hazard) za vrijeme $CP = 1$
 - potrebno ograničiti mogućnost upisa

Poboljšanje upravljanja

- dvostruki bistabil
~ vrlo popularna SSI izvedba (mahom TTL, CMOS):
- dodatna logika na sinkronim ulazima radi olakšanja izgradnje složenijih sklopova
~ tipično sklopovi I
- primjer
~ *dvostruki* JK bistabil 7472 (TTL, serija 74)

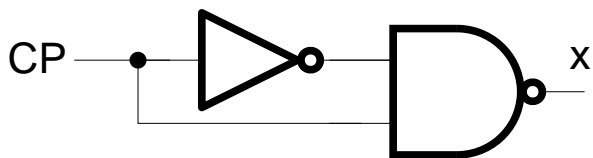


Poboljšanje upravljanja

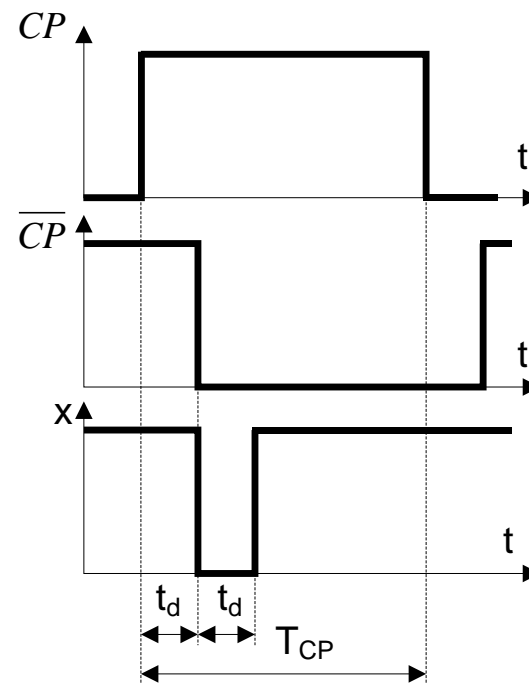
- *upravljanje bridom CP*
~ *bridom okidani bistabil*
(engl. edge-triggered flip-flop)
 - eliminiranje transparentnosti za trajanja impulsa CP
 - osnovna ideja
~ na *jedan* od bridova impulsa CP
generirati *kratki* impuls koji će propustiti ulaze
 - *više* mogućih izvedbi (ovdje: samo "digitalne"):
 - kašnjenje u logičkim sklopovima
 - kombiniranje *više* osnovnih bistabila

Poboljšanje upravljanja

- izvedba bridom okidanog bistabila korištenjem *kašnjenja u logičkim sklopovima* (\sim hazard):

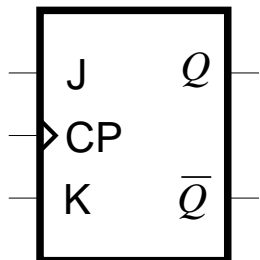


- na *rastući* brid impulsa CP generiranje impulsa trajanja t_d
- ispravni rad mreže $\sim 2 \cdot n + 1$ invertora:
 $(2 \cdot n + 1) \cdot t_d$

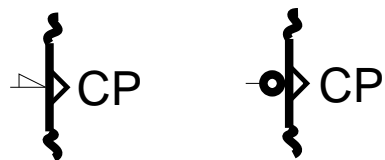


Poboljšanje upravljanja

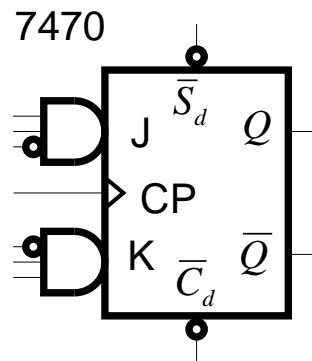
- blok-simbol:



- okidanje negativnim bridom:



- primjer
~ bridom okidani JK bistabil
7470 (TTL, serija 74)

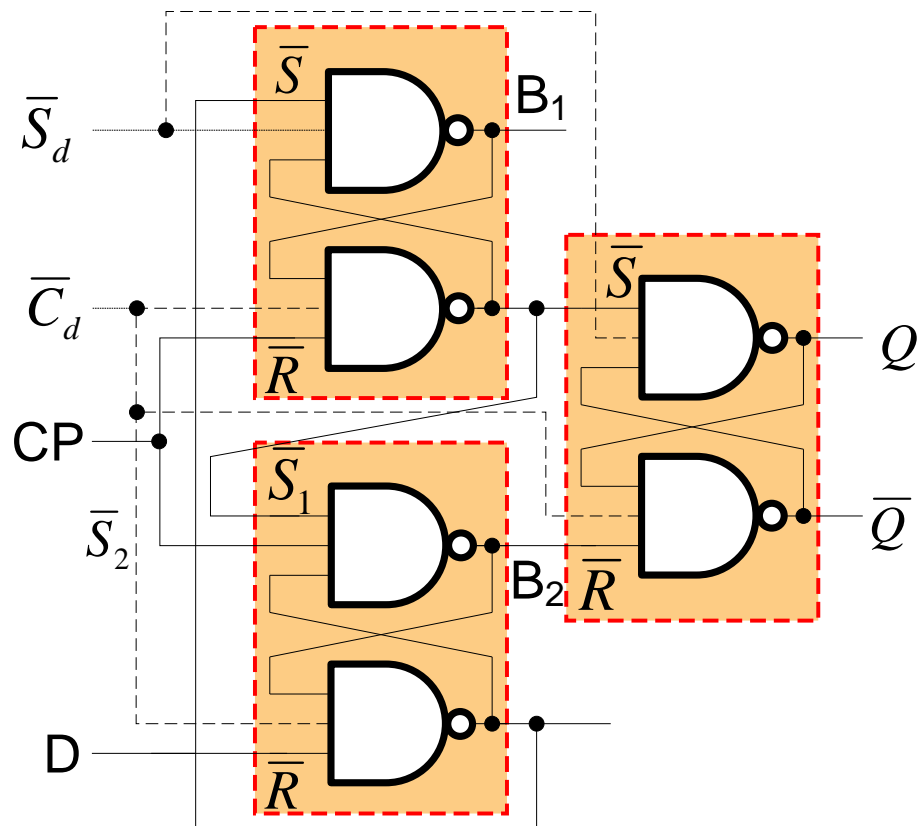
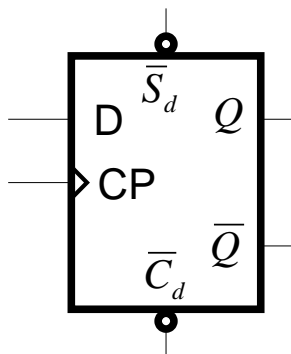


Poboljšanje upravljanja

- *bridom okidani bistabil*
izveden *kombiniranjem* osnovnih bistabila:

- karakteristična
izvedba D bistabila:

- blok-simbol:





Sadržaj predavanja

- pojam bistabila
- osnovni bistabil
- sinkroni bistabil
- tipovi bistabila
- tipovi bistabila
- poboljšanje upravljanja
- **karakteristični dinamički parametri**

Karakteristični dinamički parametri

- *maksimalna frekvencija*, f_{\max} :
~ *najveća* frekvencija CP,
a da bistabil *sigurno* mijenja stanje
kad to ulazi zahtijevaju
- *vrijeme kašnjenja*, t_d :
~ interval od djelotvorne promjene na ulazu
(asinkrono: S_d , C_d ; sinkrono: CP)
do promjene na izlazu

češće: *vrijeme proleta (propagacije)*
~ posebno za $0 \rightarrow 1$, odnosno $1 \rightarrow 0$

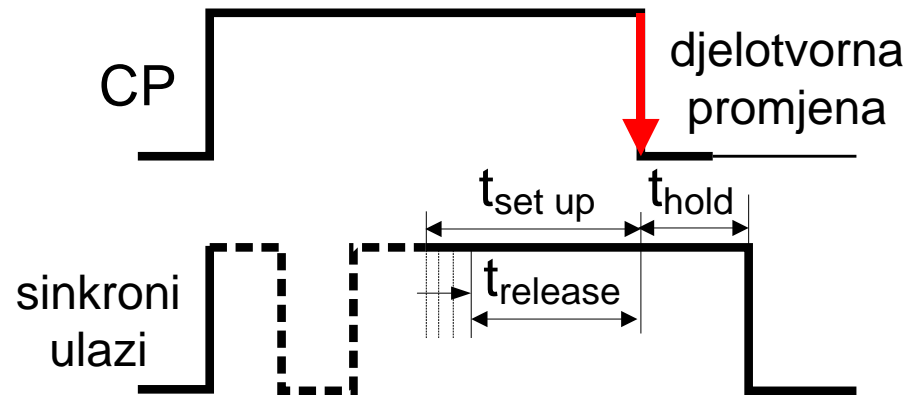
Karakteristični dinamički parametri

- *vrijeme postavljanja*, $t_{\text{set up}}$
~ *minimalno* vrijeme održavanja podatka na *sinkronim* ulazima *prije* djelotvorne promjene CP (dvostruki bistabil: prekid veze ulaz-glavni bistabil), a da bistabil *sigurno* prihvati podatak
- *vrijeme otpuštanja (oslobađanja)*, t_{release} (analogno $t_{\text{set up}}$)
~ *maksimalno* vrijeme održavanja podatka na *sinkronim* ulazima, a da ga bistabil sigurno *ne* prihvati
- *vrijeme pridržavanja*, t_{hold}
~ *minimalno* vrijeme održavanja podatka na sinkronim ulazima *nakon* djelotvorne promjene CP; potrebno kod nekih izvedbi bistabila

Karakteristični dinamički parametri

- definicija

$t_{\text{set up}}$, t_{release} , t_{hold} :



- tipični parametri za TTL bistabile serije 74 (t_{PLH} i t_{PHL} za sinkrone ulaze)

	bridom okidani	dvostruki
	7474	7472
f_{max} [MHz]	25	20
t_{PLH} [ns]	14	16
t_{PHL} [ns]	20	25
$t_{\text{set up}}$ [ns]	20	0
t_{hold} [ns]	5	0

U. Peruško, V. Glavinić: *Digitalni sustavi*, Poglavlje 5: Bistabil.

- pojam bistabila: str. 165-169
- osnovni bistabil: str. 169-176
- sinkroni bistabil: str. 176-179
- tipovi bistabila: str. 179-189
- poboljšanje upravljanja: str. 189-195



Zadaci za vježbu (1)

U. Peruško, V. Glavinić: *Digitalni sustavi*, Poglavlje 5: Bistabil.

- tipovi bistabila: 5.1-5.4, 5.7
- poboljšanje upravljanja: 5.5, 5.6



Zadaci za vježbu (2)

M. Čupić: *Digitalna elektronika i digitalna logika. Zbirka riješenih zadataka*, Cjelina 7: Bistabil.

- tipovi bistabila:
 - riješeni zadaci: 7.1-7.6
 - zadaci za vježbu: 1-3
- poboljšanje upravljanja:
 - riješeni zadaci: 7.7