

Дигитална логика и системи

6

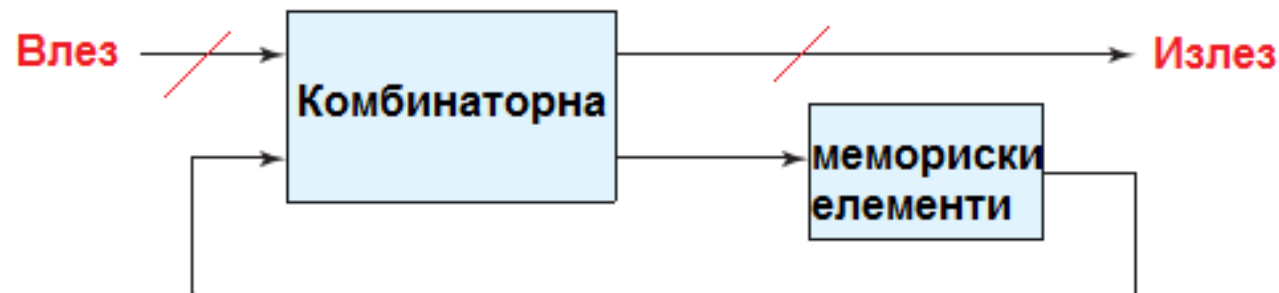
Секвенцијална логика Лечови, флип-флопови

Доц. д-р Никола Рендевски
nikola.rendevski@fikt.edu.mk

летен семестар, 2017/2018
ФИКТ, УКЛО, Битола

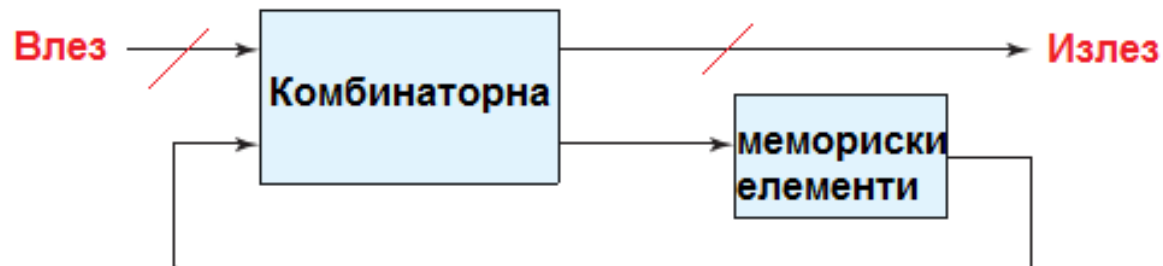
Секвенцијална логика

- Дигиталните кола кои до сега ги разгледувавме припаѓаа на комбинаторна/комбинациона логика
- Излезите беа зависни само од постојните влезови
- Секвенцијалната логика вклучува т.н елементи за складирање (мемориски елементи)
- Секое секвенцијално коло е составено од комбинаторно коло и мемориски единици
- Излезот од секвенцијалното коло зависи од влезот, но и од тековната состојба/излезот на мемориските елементи



Секвенцијална логика

- Следната состојба на мемориските елементи исто така зависи од влезовите во секвенцијалното коло
- Постојат два типа на секвенцијални кола според временското усогласување на нивните сигнали
 - **Синхрони** – тактирани, однесувањето може да се дефинира со познавање на сигналите во дискретни временски моменти (растечки и опаѓачки ивици на clock сигнал)
 - **Асинхрони** – нема надворешна синхронизација (такт), однесувањето зависи од влезните сигнали во било кој временски момент, но и од редот по кој се менуваат излезите (ќе биде образложено понатаму)

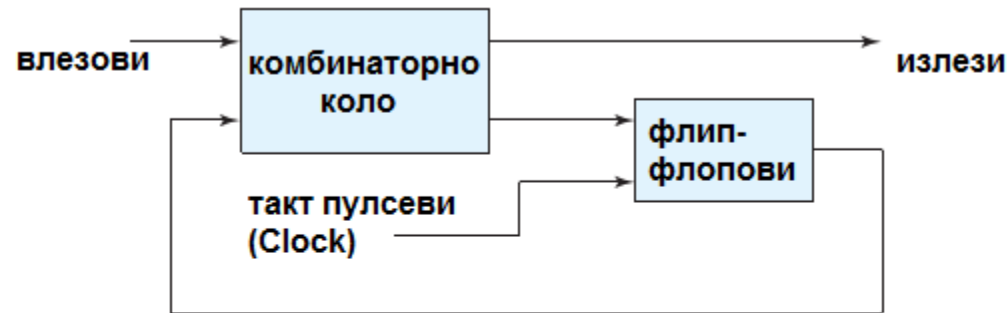


Синхрони секвенцијални кола

- Кај синхроните кола се користи сигнал за временско усогласување, т.н такт (се означува со: clock, clk, C, C_p)
- Такт генератор – уред кој го продуцира такт сигналот
- Во принцип, такт пулсовите одредуваат кога ќе се појави процесирачка/мемориска активност во колото, а другите сигнали (влезовите на пример), одредуваат какви промени ќе настапат во елементите за складирање и на излезите
- Синхроните кола кои користат такт пулсови за контрола на елементите за складирање се нарекуваат тактирани секвенцијални кола.
- Значи: кај синхроните кола активностите за ажурирањето на складираните вредности е синхронизирано со појавата на такт пулс.

Секвенцијална логика. ФЛИП-ФЛОП

- Елементите за складирање кај тактираните секвенцијални кола се наречени ФЛИП-ФЛОПОВИ (ФФ)
- Флип-флоп е бинарен уред за складирање, способен да складира еден бит информација
- Во стабилна состојба излезот на ФФ е 0 или 1
- Во секвенцијалните кола бројот на ФФ одговара на бројот на битови кои треба да се складираат



блок дијаграм



временски дијаграм на такт пулсови

Мемориски елементи

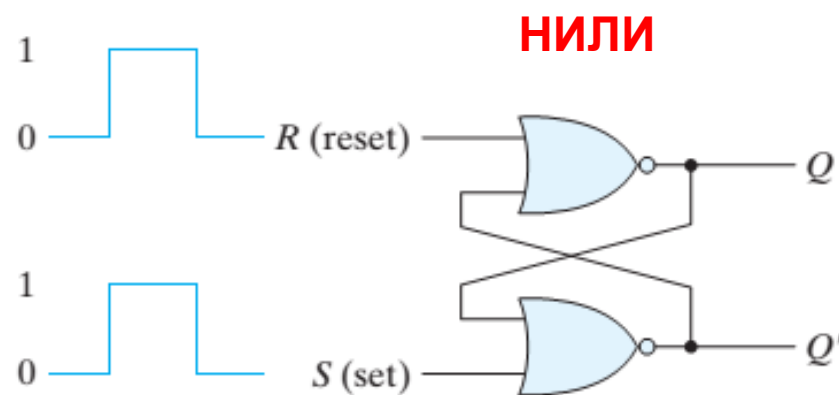
- Излезите се формираат со комбинаторна логика од влезовите на колото и/или вредностите сместени во ФФ во моментот кога ќе се појави такт пулс (Clock pulse):
- Новата вредност се складира т.е ФФ се ажурира
- Пред да се појави пулсот, комбинаторната логика која ја формира следната следата вредност на ФФ мора да постигне стабилна вредност
- Состојбата на ФФ може да се промени само при транзиција т.е премин на сигналот од 0 во 1 (растечка ивица) или од 1 во 0 (опаѓачка ивица) – ова е назначено
- Кога такт пулсот не е активен, повратната врска помеѓу вредноста во ФФ и вредноста на влезот од ФФ како да не постои, бидејќи излезите на ФФ не може да се променат дури и ако излезите на комбинаторното коло доведуваат до промена на влезот на ФФ
- Да резимираме: преминот од една во друга состојба се јавува само во интервали според такт пулсовите

Мемориски елементи

- Елементот за складирање во дигиталното коло може да ја одржува бинарната состојба на неодредено време се додека вредноста на влезниот сигнал не предизвика промена
- Главните разлики помеѓу различни типови на елементи за складирање е во бројот на влезови и во начинот на кој влезовите влијаат на бинарната состојба
- **Што е разликата помеѓу ФФ и леч?**
- Мемориските елементи кои работат на ниво на сигнали се лечови
- Мемориските елементи кои работат на транзиција на тактот се нарекуваат флип-флопови (Flip-Flop)
- За лечовите се вели дека се осетливи на ниво, а за ФФ дека се уреди осетливи на ивица
- Како и да е, двата типа се поврзани, имајќи во предвид дека лечовите се основните кола од кои се реализираат сите типови на ФФ-ови

SR Latch


- SR лачот е коло со две вкрстено поврзани НИЛИ порти или две вкрстено поврзани НИ порти
- Два влеза
 - S – set (поставување)
 - R – reset (празнење)
- Лачот има две т.н корисни состојби.
- Кога излезот $Q=1$ и $Q'=0$ тој е во состојба на поставување
- Кога $Q=0$ и $Q'=1$ тој е во состојба на празнење (reset)
- Излезите Q и Q' во нормални услови се комплементи еден на друг



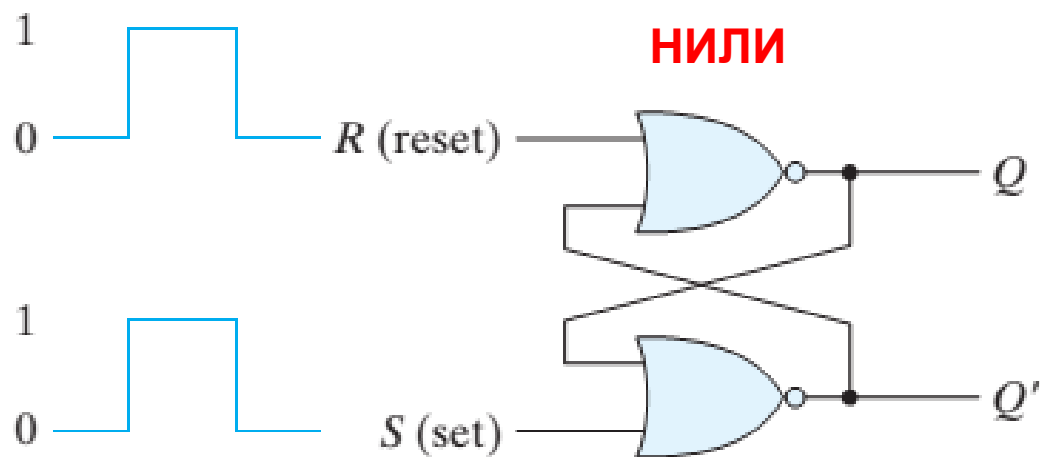
S	R	Q	Q'
1	0	1	0
0	0	1	0 (after $S = 1, R = 0$)
0	1	0	1
0	0	0	1 (after $S = 0, R = 1$)
1	1	0	0 (forbidden)

Забранет

SR Latch

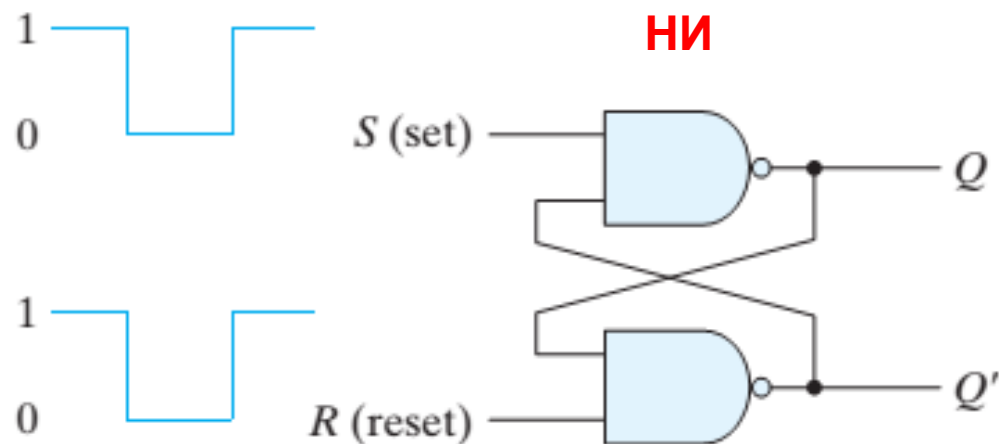
- Влезот S мора секогаш да се врати на 0 пред да настапи било каква промена!!!
 - Отстранувањето на активниот влез на S, го остава колото во иста состојба
 - Откако двата влеза ќе се вратат на нула тогаш е можно да се префрли во состојба на празнење (Reset)
 - Кога R и S се нула, тогаш лочот може да биди или во состојба на поставување или празнење во зависност од тоа кој од влезовите последен бил 1
- 
- **Лочот со две вкрстени НИ порти:**
 - Нормално работи со двата влеза еднакви а 1 доколку нема потреба да се промени состојбата на лочот
 - Овде обратно, донесување на нула на влезот S предизвикува излезот Q да стане 1, ставајќи го лочот во состојба на поставување
 - Кога влезот S ќе се врати на 1, колото останува во состојба на поставување
 - Откако двата влеза S и R ќе се вратат на 1, дозволено е да ја промениме

SR Latch (НИ-НИЛИ споредба)



S	R	Q	Q'
1	0	1	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	0	0	1
1	1	0	0

Забранет



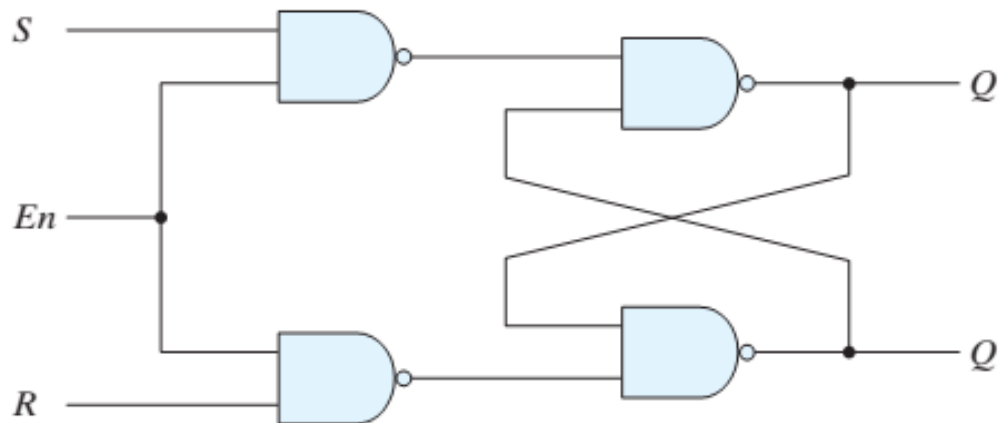
S	R	Q	Q'
1	0	0	1
1	1	0	1
0	1	1	0
1	1	1	0
0	0	1	1

забранет

комплементирани

SR Latch со контролен влез

- Работата на основниот SR леч може да се надгради со воведување на сигнал кој одредува (контролира) кога состојбата на лечот може да се промени.
- Тој се состои од основен SR леч и дополнителни НИ порти
- Контролниот влез En се однесува како сигнал за овозможување (Enable)
- Излезите на НИ портите остануваат во состојба на логичка 1, се додека сигналот за овозможување е 0
- Ова е услов SR лечот да не е активен
- Кога Enable оди во 1, дозволено е информацијата на S и R да влијае на лечот

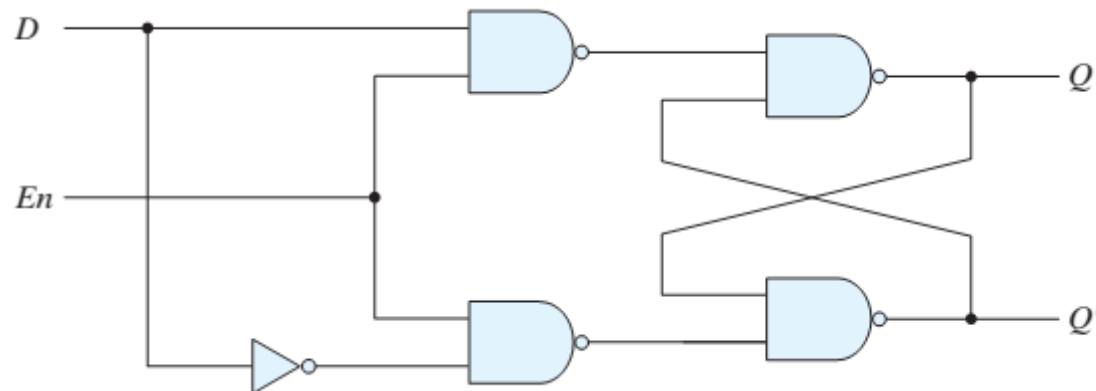


En	S	R	Next state of Q
0	X	X	No change
1	0	0	No change
1	0	1	$Q = 0$; reset state
1	1	0	$Q = 1$; set state
1	1	1	Indeterminate

недефинирана состојба

D-Latch (D леч)

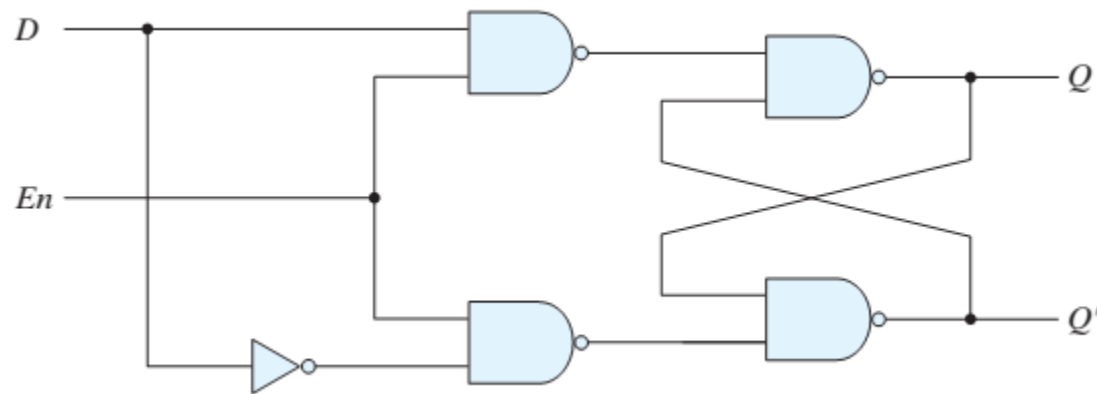
- Еден од начините да се елимира условот за непосакуваната неодредена состојба кај SR лечот е да се осигура дека влезовите S и R нема никогаш истовремено да бидат еднакви на 1
- Ова е реализирано со D леч кој уште се нарекува и транспарентен леч
- Овој леч има два влеза D (Data) и En (Enable)
- D-влезот оди директно на S влезот, додека неговиот комплемент се носи на R влезот
- Се додека влезот за овозможување е 0, двата влеза на вкрстено поврзаниот SR леч се 1 и колото не може да ја промени состојбата без оглед на вредноста на D.



<i>En</i>	<i>D</i>	Next state of <i>Q</i>
0	X	No change
1	0	$\bar{Q} = 0$; reset state
1	1	$\bar{Q} = 1$; set state

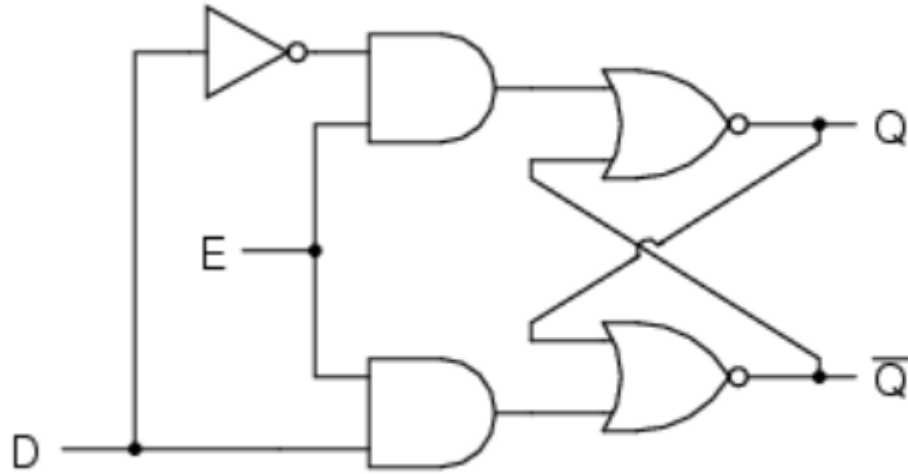
D-Latch (D леч)

- Ако $D=1$, излезот Q добива вредност 1, ставајќи го колото во состојба на поставување
- Ако $D=0$, излезот Q добива вредност 0, ставајќи го колото во состојба на празнење (Reset)
- Кај D лечот излезот ги следи промените на влезот се додека е поставен сигналот $En = 1$
- Кога сигналот En е 0, тогаш нема промени во состојбата, информацијата се задржува на Q се додека не се постави сигналот (влезот) за овозможување



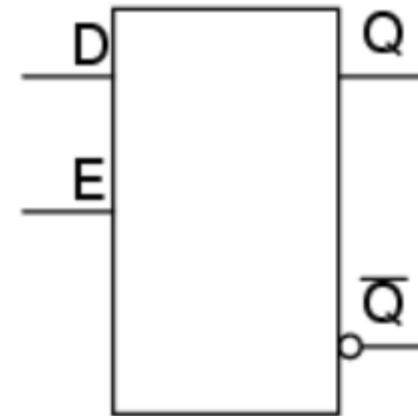
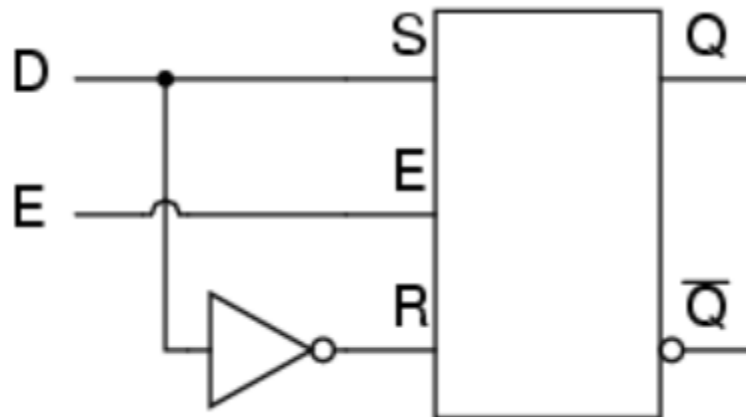
En	D	Next state of Q
0	X	No change
1	0	$Q = 0$; reset state
1	1	$Q = 1$; set state

D-Latch (D леч)

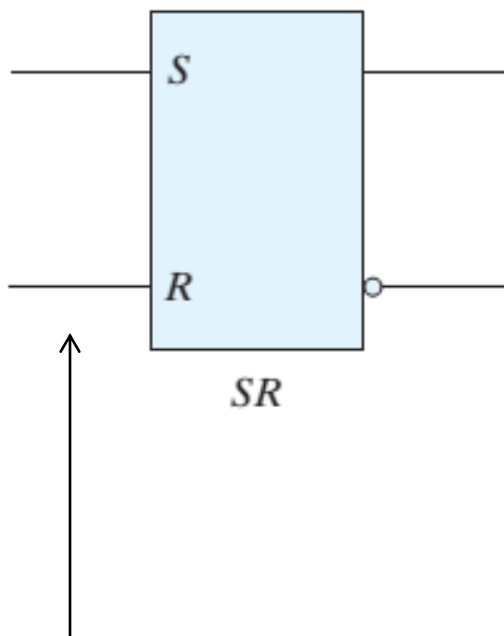


Заклучен, нереспонзивен на промената на D влезот

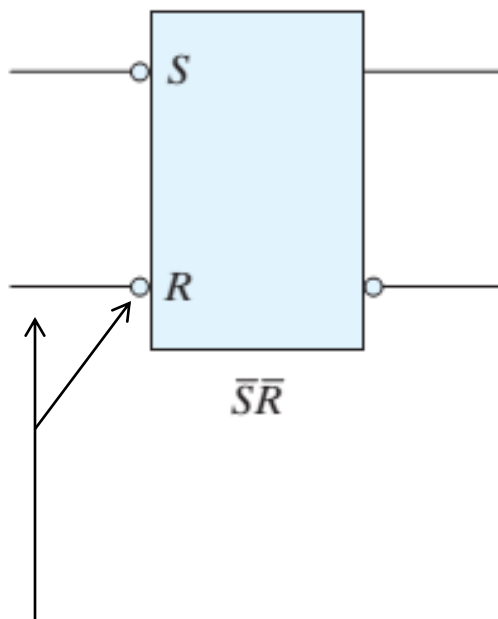
E	D	Q	\bar{Q}
0	0	latch	latch
0	1	latch	latch
1	0	0	1
1	1	1	0



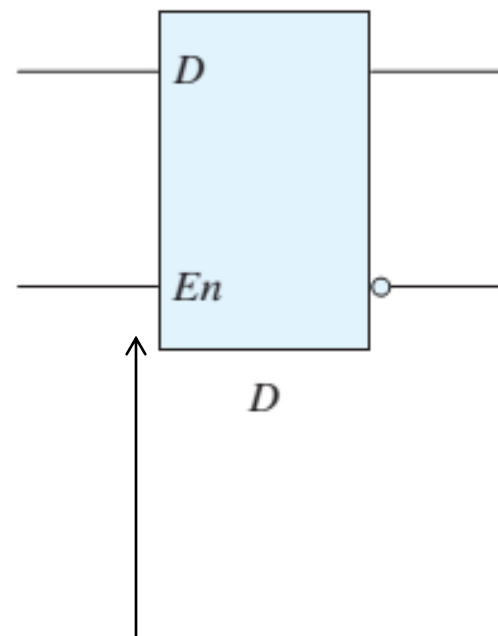
Симболи за лечови



Активен на високо



Активен на ниско ниво



Активен на високо

Дизајн со лечови? – Критично!

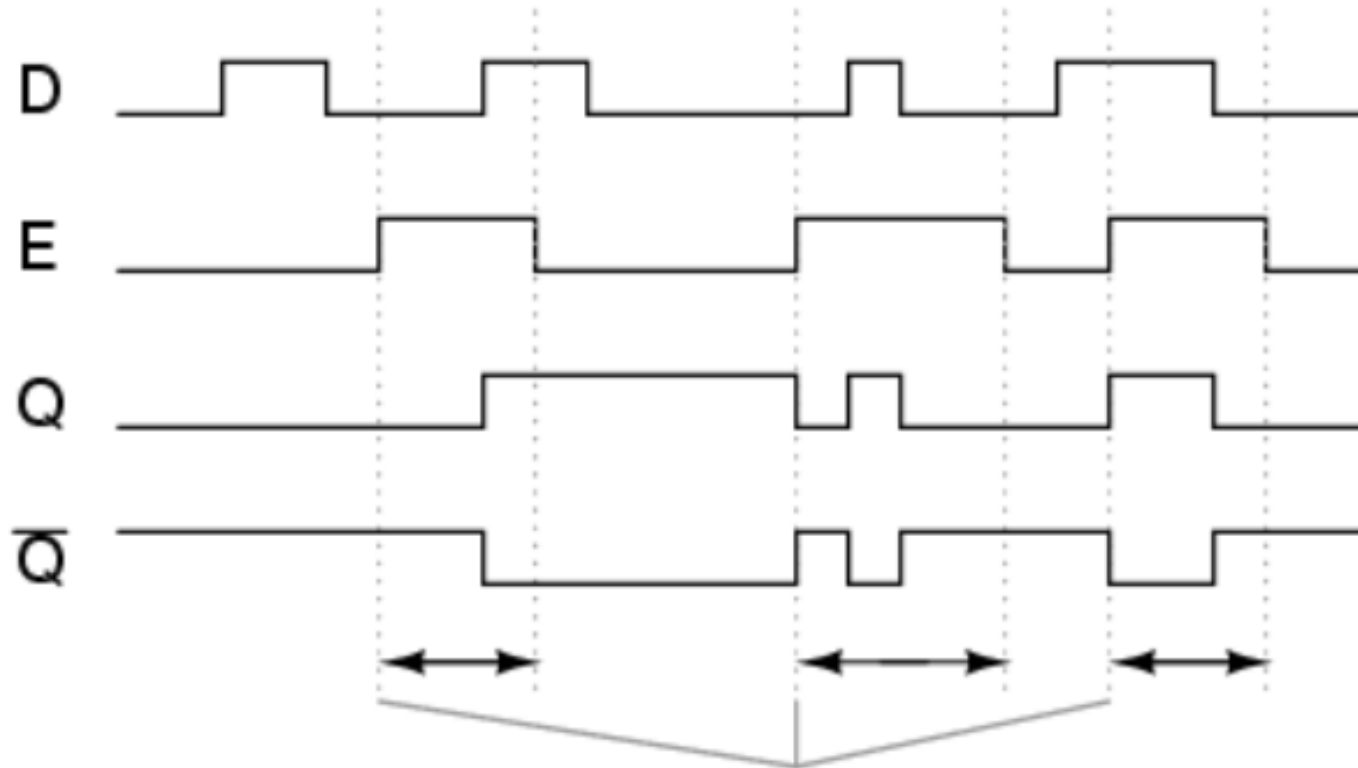
- Зошто?
- Ако ја видиме шемата на секвенцијалното коло, ја потенциравме повратната врска помеѓу елементите за складирање и влезната комбинаторна логика
- Што значи: влезовите на ФФ во секвенцијалното коло делумно се изведени и од неговите излези или од излезите на друг ФФ
- Премините на состојбата на лечот почнуваат кога такт пулсот ќе го смени нивото во логичка 1, а новата состојба на лечот се појавува на излезот додека пулсот е сеуште активен
- Ако влезовите на применетите лечови се променат во текот на времетраењето на пулсот (1), лечовите веднаш ќе одговорат на оваа промена која веднаш ќе го промени излезот и ќе настапи нова состојба на излезот
- Ова доведува до непредвидлива состојба. Затоа излезот на лечот не може да се примени на влез на истиот или друг леч бидејќи сите лечови се активираат преку заенички такт сигнал

Флип-Флопови (ФФ)

- D леч со пулсеви на наговиот контролен влез е во суштина ФФ кој е активиран секогаш кога пулсот оди на ниво на логичка 1
- Се додека влезниот пулс е на тоа ниво, секоја промена на податочниот влез ќе го промени излезот и состојбата на лечот
- Клучно е да ФФ се активира само во тек на транзиција, а ова може да се постигни на два начини
 1. **Првиот начин е да се произведи ФФ кој се активира само при транзиција на такт сигналот, а е оневозможен во остатокот од пулсот**
 2. **Вториот начин е со користење на два леча во специјална конфигурација која ќе го изолира излезот на ФФ и ќе спречи тој да биде под влијание додека се менува влезот (т.н Master-Slave конфигурација)**
- Во дигиталната технологија потребно е да се лимитира одзивот на лечот на многу краток временски период наместо во целото времетраење на влезот за овозможување (Enable)

Флип-Флопови (ФФ)

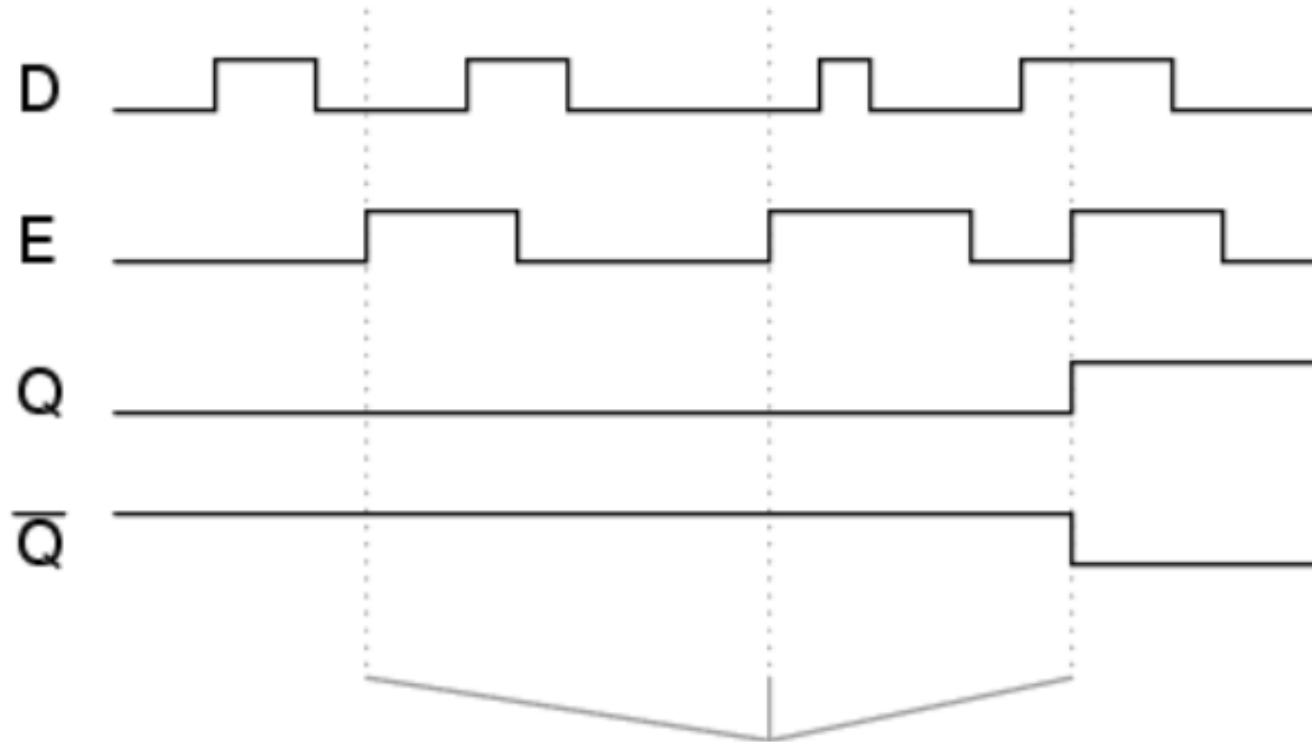
- Пример, D лч, активен на ниво



Излезот го следи влезот (D) само во овие периоди кога Enable е активен

Флип-Флопови (ФФ)

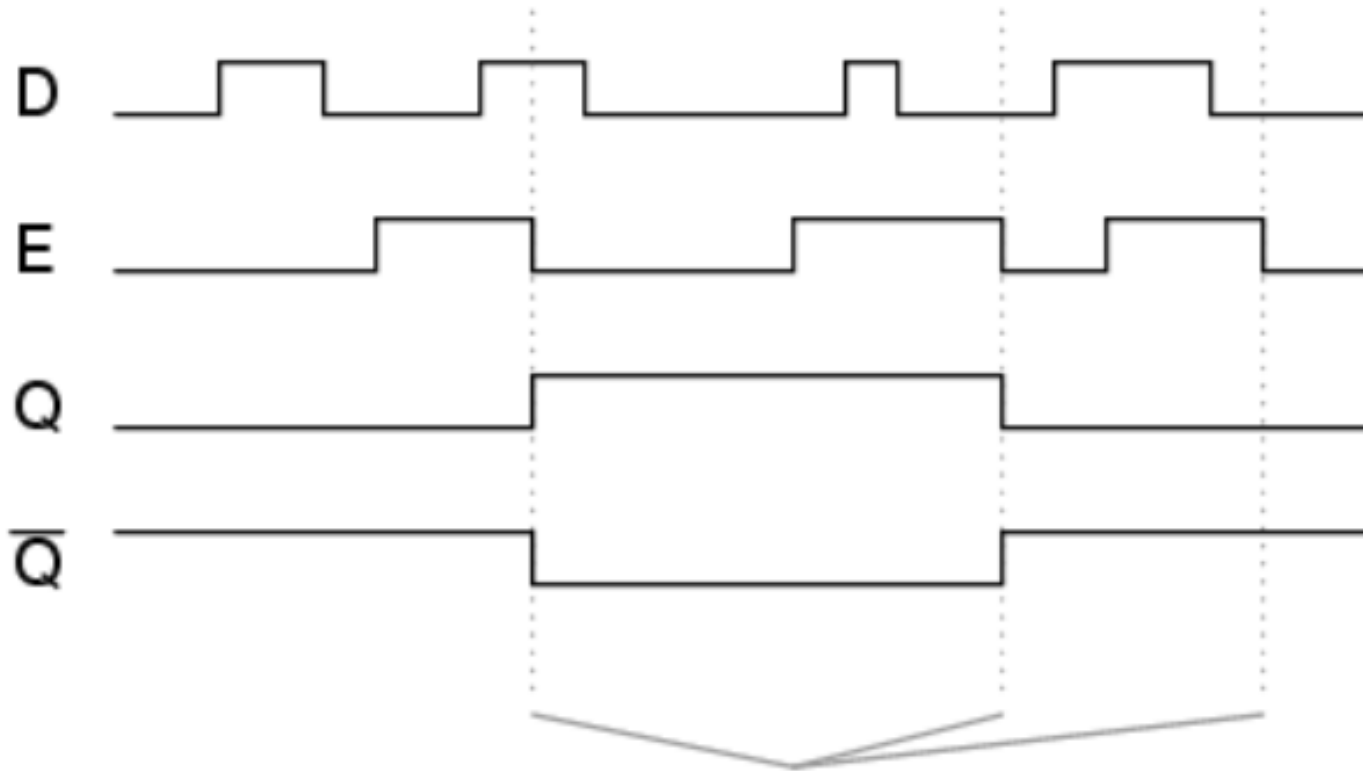
- Пример, D лч, активен на растечка ивица



Излезот го следи влезот само кога Enable сигналот преминува од ниско кон високо ниво

Флип-Флопови (ФФ)

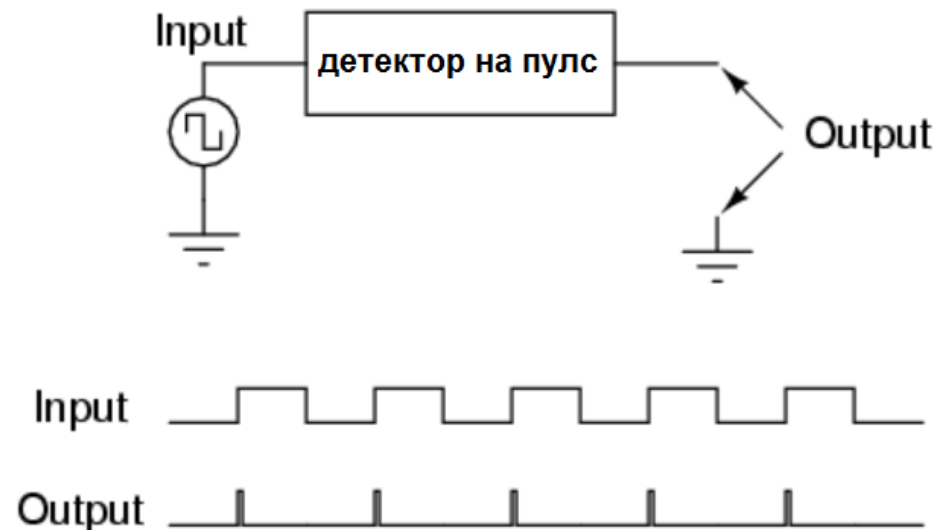
- Пример, D лач, активен на опаѓачка ивица



Влезот влијае на излезот само кога Enable преминува од високо кон ниско ниво (опаѓачка ивица)

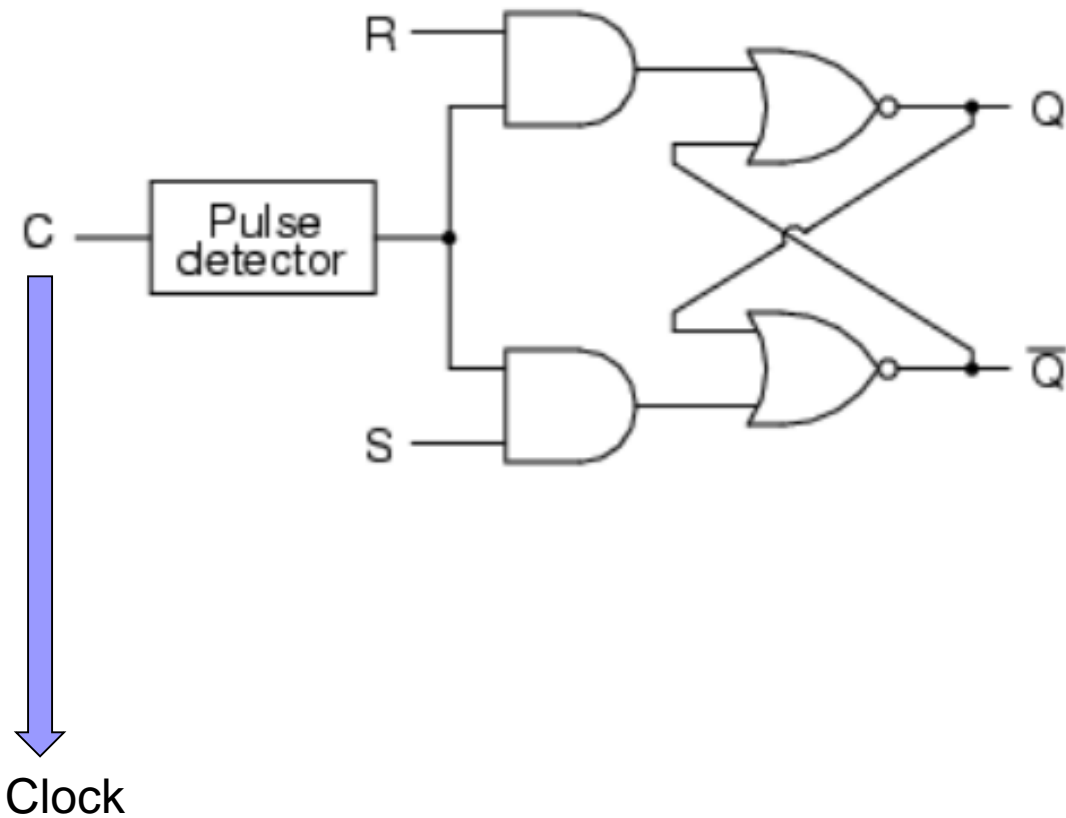
Edge-Triggering (ивица)

- На кој начин се детектира промената, растечка или опаѓачка ивица
- Потребно е дигитално коло кое на излез дава краток пулс без разлика колкаво е понатамошното траење на нивото на неговиот влез
- Излезот од ова коло се користи за овозможување (кратко) на лечот
- Ова коло се нарекува детектор на пулс (pulse detector) или во електрониката т.н моностабилен мултивибратор
- Ваквиот детектор на пулс поврзан на Enable на лечот формира флип-флоп



Edge-Triggering (ивица)

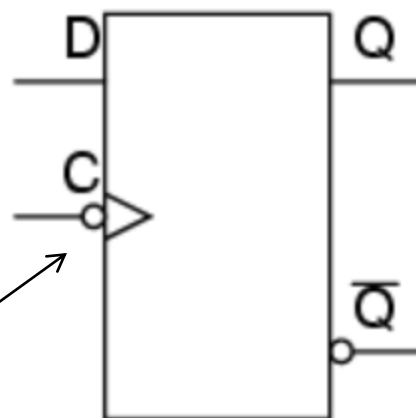
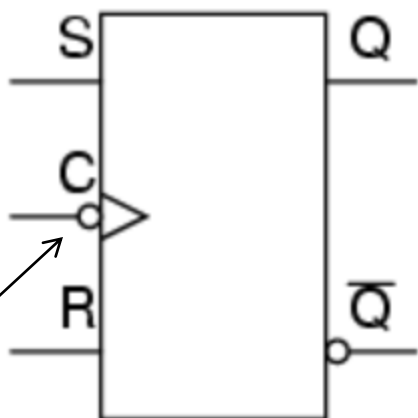
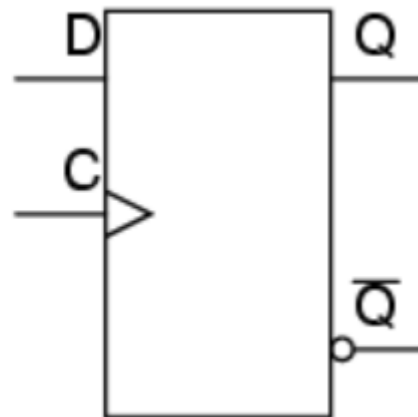
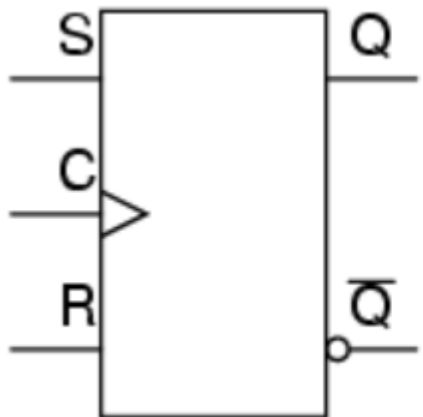
- Да го разгледаме следниот пример кој претставува S-R ФФ активен на растечка ивица



C	S	R	Q	\bar{Q}
┐	0	0	latch	latch
┐	0	1	0	1
┐	1	0	1	0
┐	1	1	0	0
x	0	0	latch	latch
x	0	1	latch	latch
x	1	0	latch	latch
x	1	1	latch	latch

ФФ (Симболи)

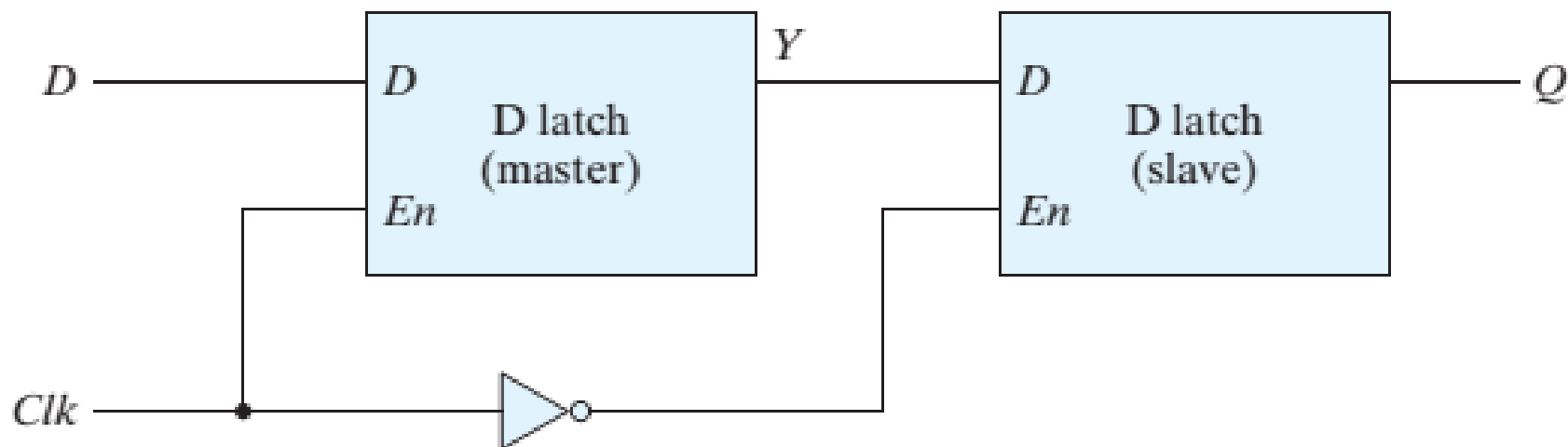
Активен на растечка ивица

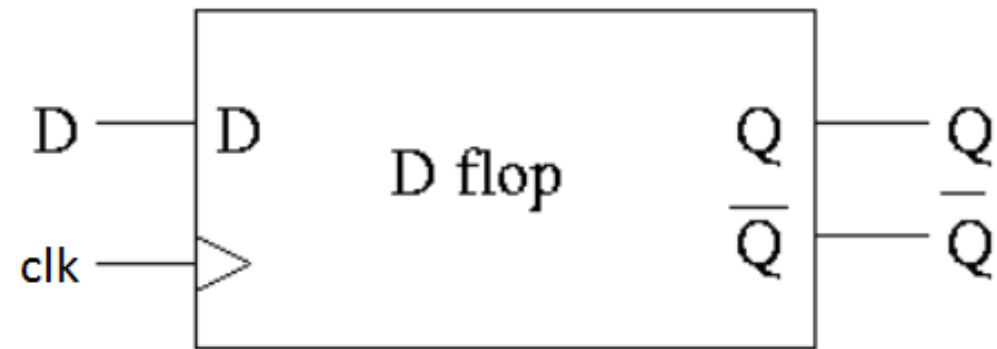
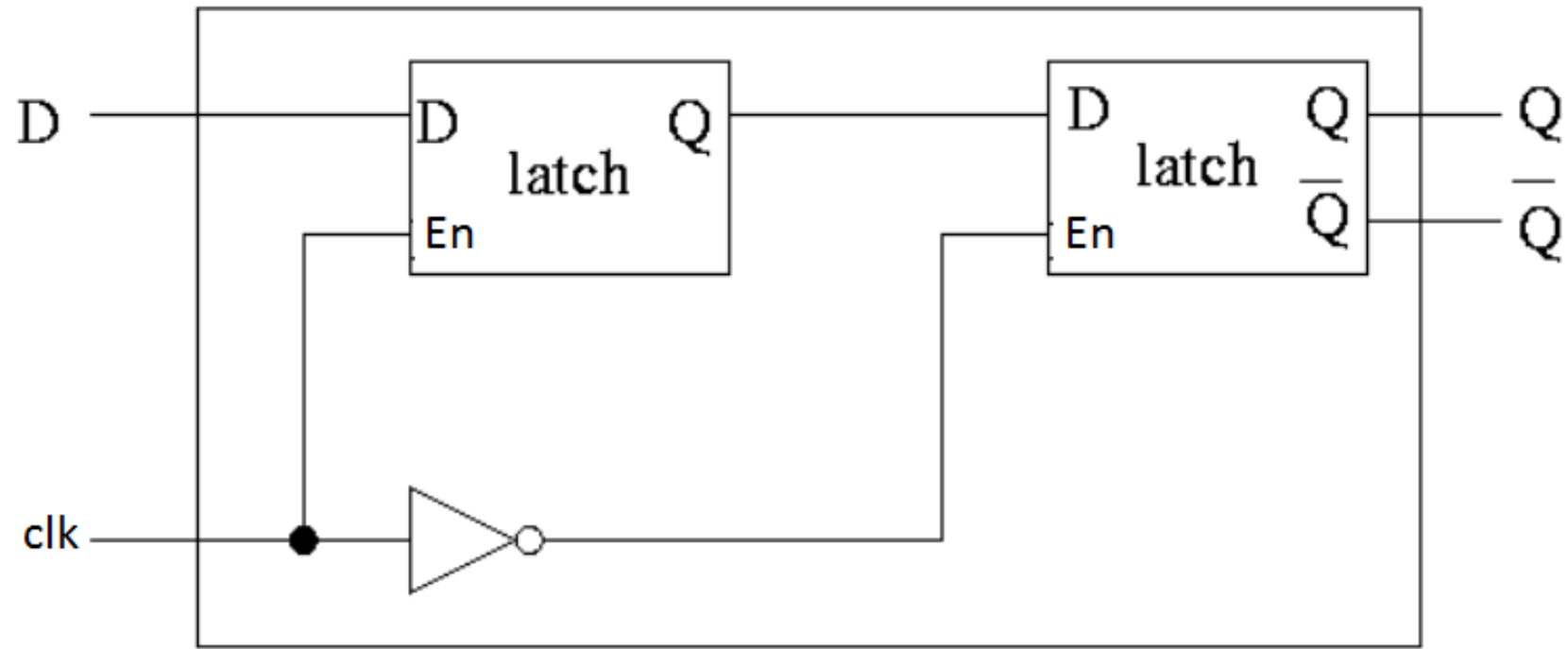


Активен на опаѓачка ивица

D-ФФ активен на ивица

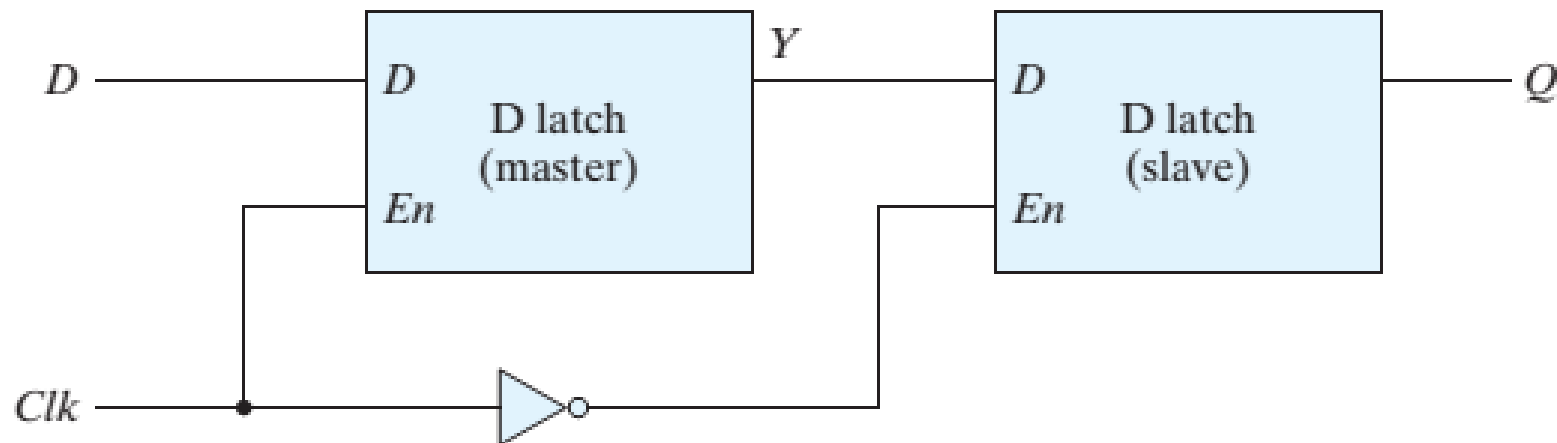
- Master-Slave конструкција на два леча (надреден-подреден)
- Колото зема примероци од влезот D и го менува неговиот излез Q само на опаѓачка ивица на тактот (Clk)
- Кога тактот /пулсот е $Clk=0$ тогаш излезот од инверторот е 1. Slave лечот е овозможен и неговиот излез Q е еднаков на излезот на Master лечот
- Мастер лечот е оневозможен бидејќи $Clk=0$
- Кога $Clk=1$, мастерот податоците од влезот D се пренесуваат до мастер лечот, а slave лечот е оневозможен/деактивиран

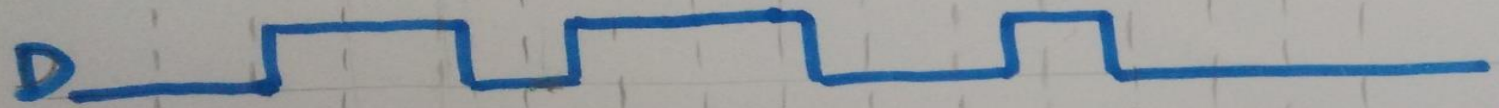
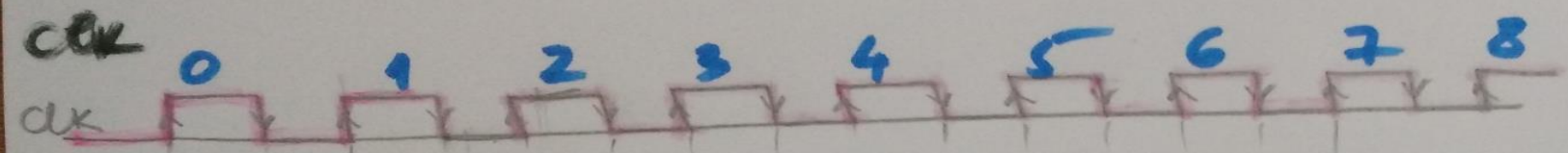
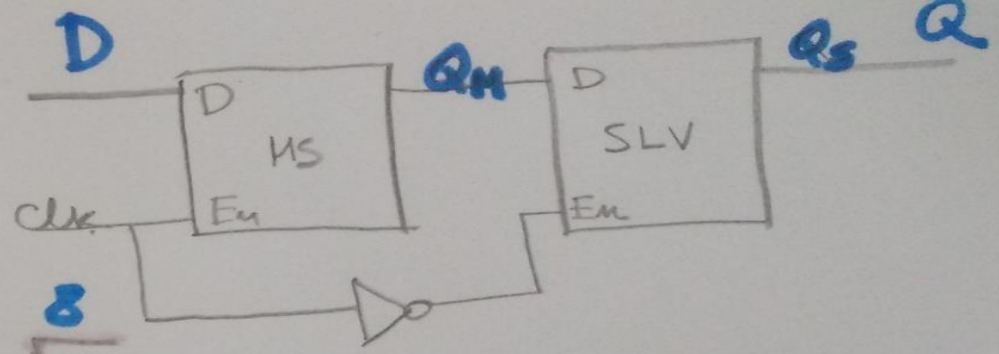




D-ФФ активен на ивица

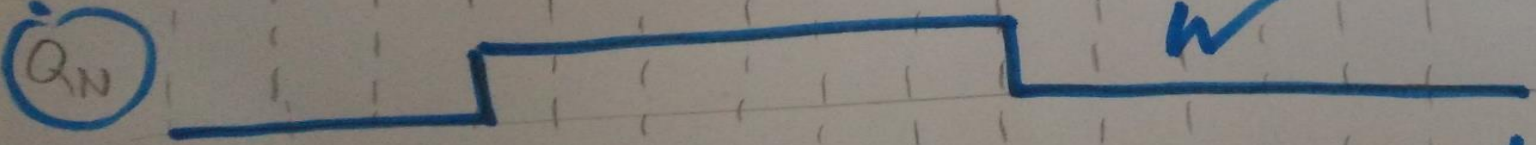
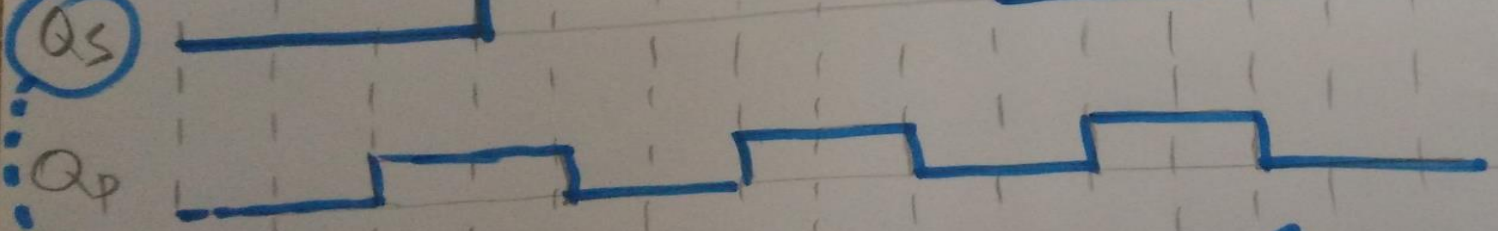
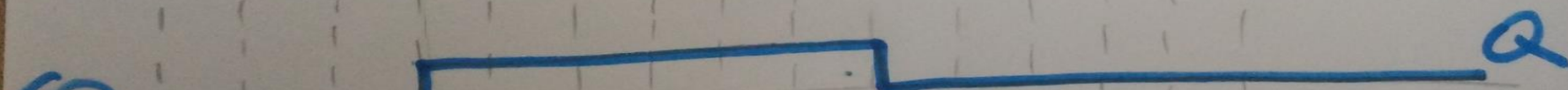
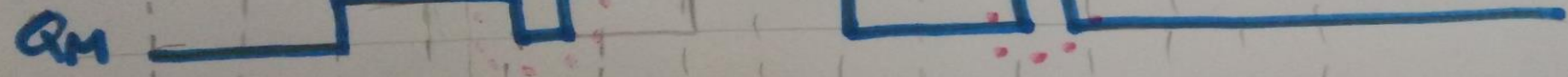
- Кога влезниот пулс ќе се промени во логичко ниво 1, податоците од влезот D се пренесуваат до мастер лочот, а подредениот (slave) лоч е оневозможен, се додека нивото на тактот е 1
- Секоја промена на влезот го менува излезот на мастер лочот, но не може да влијае на излезот на slave
- Кога тактот ќе се врати на 0, мастер лочот е оневозможен и е изолиран од влезот D. Тогаш slave е овозможен и вредноста Y се пренесува на излезот Q.
- Промената на излезот може да биде активирана само во текот на транзицијата од 1 во 0 (опаѓачка)





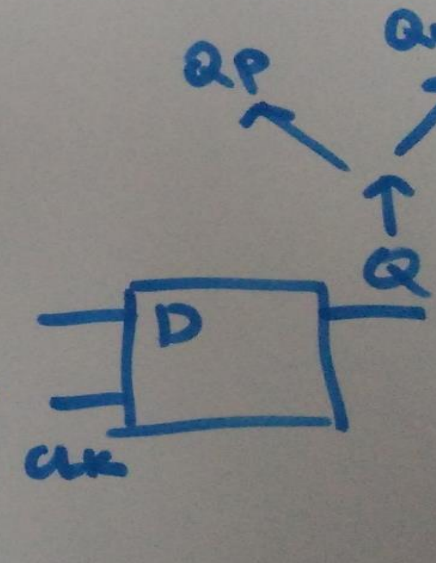
ДАННОЕ D

GLITCH (НЕ ПО СЛУХАМ ЭФФЕКТ).



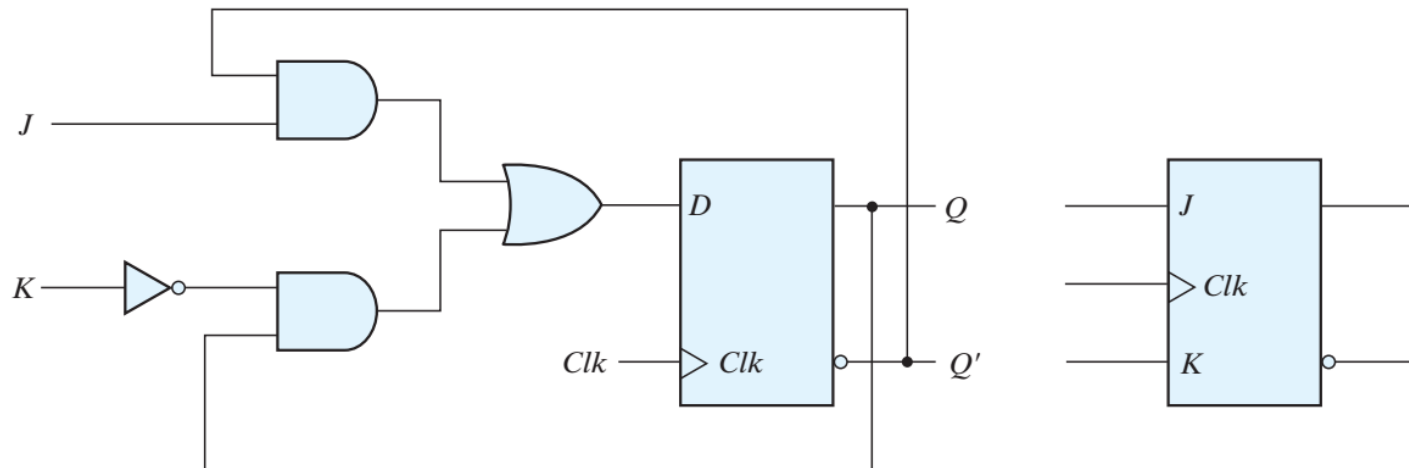
НЕГАТ. ОПАГНКА.

ПОЗИТИВНА ИМПУЛС
НЕГАТИВНА ИМПУЛС



Други типови на ФФ (JK, T)

- Други типови на ФФ може да се конструираат со употреба на D ФФ и надворешна логика
- Два типа кои се користат во дигиталните кола денес се **JK** и **T** флип-флоповите.
- Генерално со ФФ се реализираат три операции (поставување на 1, празнење на 0 и комплентирање на излезот).
- Но, со само еден влез, D ФФ може да го постави или испразни излезот, што зависи од вредноста што ја има на D непосредно пред транзицијата
- Кај JK ФФ, има два влеза и може да ги изведува сите три операции.

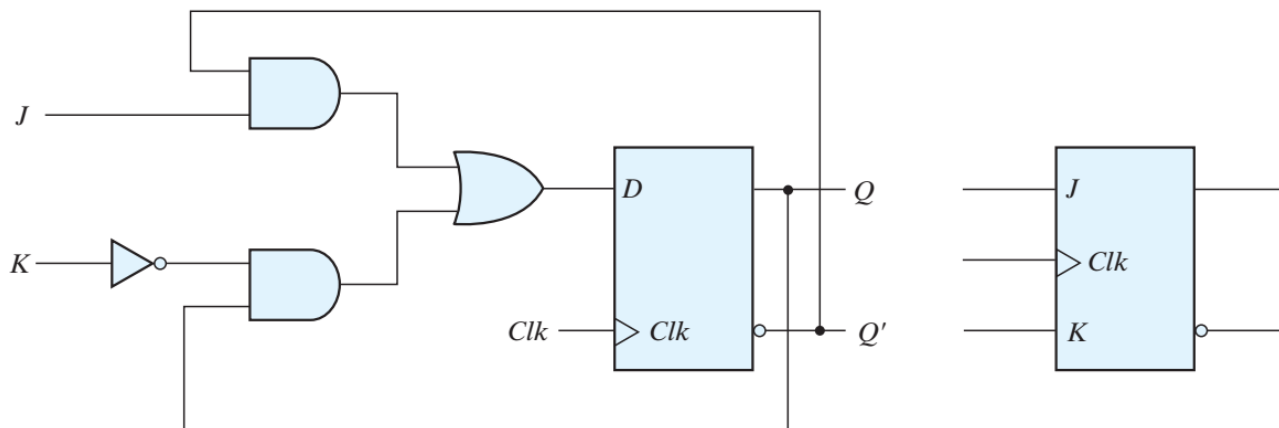


JK

- Влезот J го поставува ФФ на 1, а влезот K го празни на 0
- Кога двата влеза се овозможени (1), тогаш излезот се комплентира
- Ова може да се утврди и преку дијаграмот на колото за влезот D.

$$D = JQ' + K'Q$$

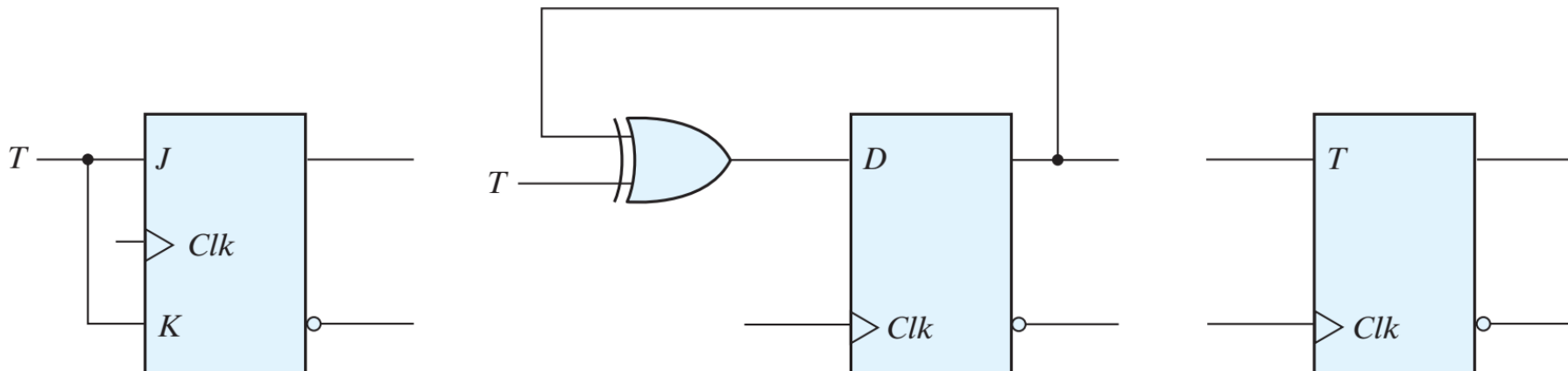
- Така, кога J=1, K=0 → D=Q'+Q=1 и следната ивица на тактот го поставува излезот на 1. Кога J=0, K=1, D=0 и следната ивица го празни излезот на 0. Кога J=K=1, D=Q' (го комплентира).
- Кога двата J=K=0, D=Q, т.е излезот останува непроменет и на следната ивица на такт пулсот.



T флип-флоп (Toggle)

- T е ФФ за комплентирање и истиот може да се добие од JK кога влезовите JK се меѓусебно поврзани (слично на добивање на D од SR лач)
- Кога $T=0$ ($J=0$, $K=0$), нема промена на излезот на ивица
- Кога $T=1$ ($J=1$, $K=1$), на ивицата на тактот излезот ќе се комплентира.
- T ФФ може да се конструира и од D ФФ и XOR порта како на сликата, Изразот за влезот D е:

$$D = T \oplus Q = TQ' + T'Q$$



Опишување на флип-флоп

- За опишување на операциите на фф се користат:
 - Карактеристична табела
 - Карактеристична равенка
 - Дијаграм на состојби, и
 - Екситациска табела (табела на возбуда)
- Карактеристичната табела ги опишува логичките својства на ФФ, т.е ја одредуваат следната состојба како функција од влезовите и тековната состојба. Притоа $Q(t)$ се однесува на тековната, а $Q(t+1)$ ја означува следната состојба која е резултат на транзицијата на тактот.
- Ќе означуваме: $Q(t+1)$ или Q_{next} за следната состојба, и $Q(t)$ или само Q за тековната.
- Треба да напомниме дека тактот (ивицата) не вклучен во к-к табелата, но се подразбира дека ќе се појави во периодот од t до $t+1$.
- Карактерситични табели на претходно споменатите ФФ се претставени на следниот слајд. →

Карактеристични табели на ФФ

***JK* Flip-Flop**

<i>J</i>	<i>K</i>	$Q(t + 1)$	
0	0	$Q(t)$	No change
0	1	0	Reset
1	0	1	Set
1	1	$Q'(t)$	Complement

$(t+1) \rightarrow$ следна состојба

***D* Flip-Flop**

<i>D</i>	$Q(t + 1)$	
0	0	Reset
1	1	Set

***T* Flip-Flop**

<i>T</i>	$Q(t + 1)$	
0	$Q(t)$	No change
1	$Q'(t)$	Complement

Карактеристични равенки

- Логичките својства на фф од к-к табелата може да се изразат алгебарски со користење на т.н. Карактеристична равенка (к-к равенка)

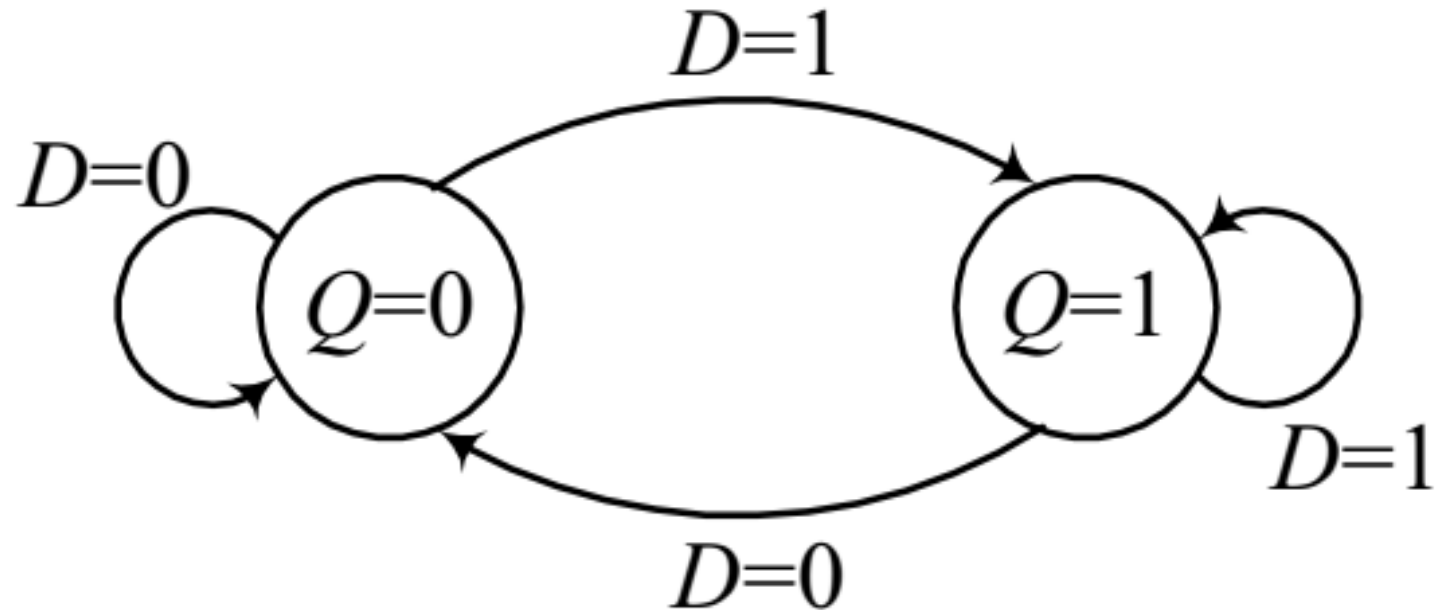
$$\text{За D фф: } Q(t + 1) = D$$

$$\text{За JK фф: } Q(t + 1) = JQ' + K'Q$$

$$\text{За T фф: } Q(t + 1) = T \oplus Q = TQ' + T'Q$$

Дијаграм на состојби

- Дијаграмот на состојби претставува граф со јазли и премини (рабови, edges) и графички ја презентира операцијата на ФФ
- Јазлите претставуваат состојбите на ФФ, а насочените рабови ги означуваат влезните сигнали кои предизвикуваат премин од една во друга состојба.
- Пример за дијаграм на состојби кај D ФФ:



Табела на возбуда (excitation table)

- Табелата на возбуда е слична на карактеристичната табела, но во овој случај таа покажува какви треба да бидат влезовите во ФФ за да истиот премини од една во друга (следна) состојба.
- Со други зборови таа дава одговор на прашањето што треба да донесиме на влез во дадена состојба да преминиме во состојбата која ја посакуваме за следна.
- Пример за D ФФ:

$Q(t)$	$Q(t+1)$	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1