

Теория на схемите с положителна обратна връзка

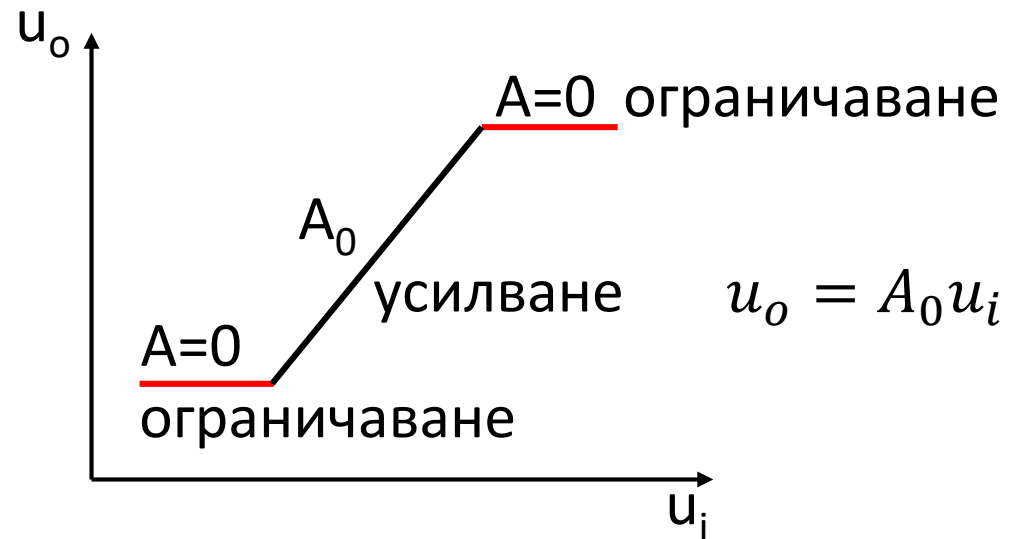
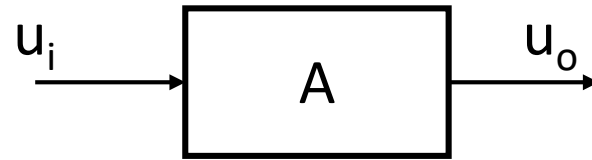
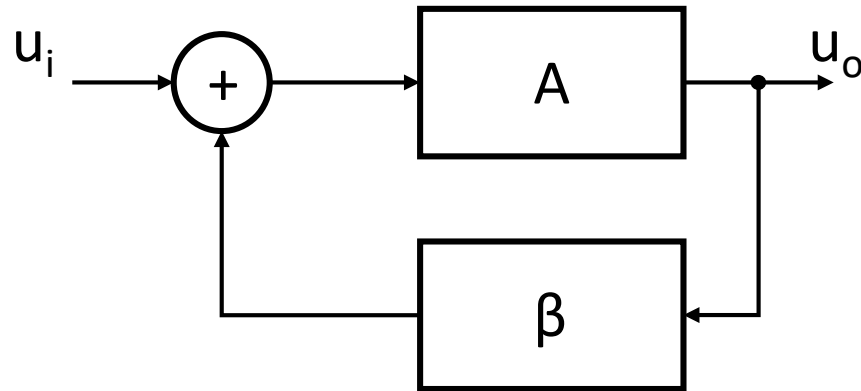


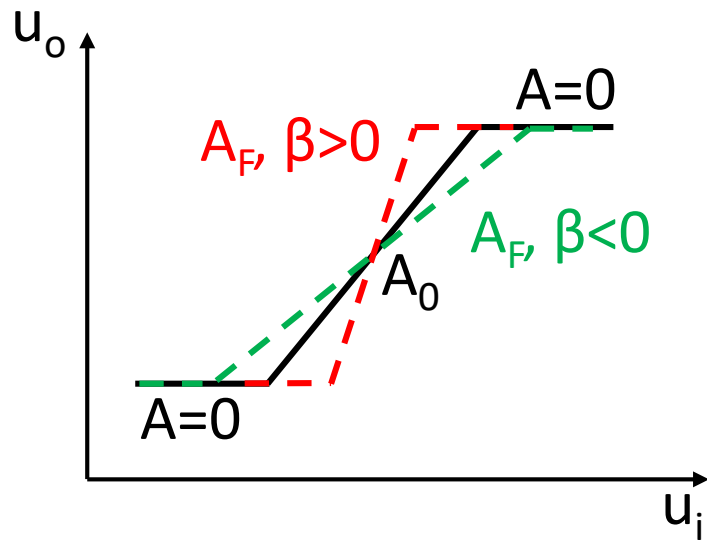
Схема без обратна връзка

Теория на схемите с положителна обратна връзка



$$u_o = A_0(u_i + \beta u_o)$$

$$A_F = \frac{u_o}{u_i} = \frac{A_0}{1 - \beta A_0}$$



$\beta > 0 \rightarrow$ ПОВ

$\beta < 0 \rightarrow$ ООВ

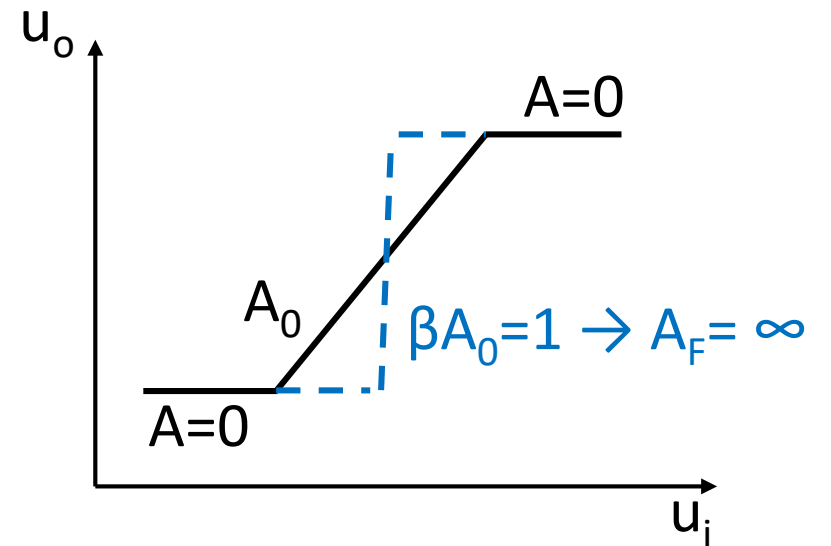
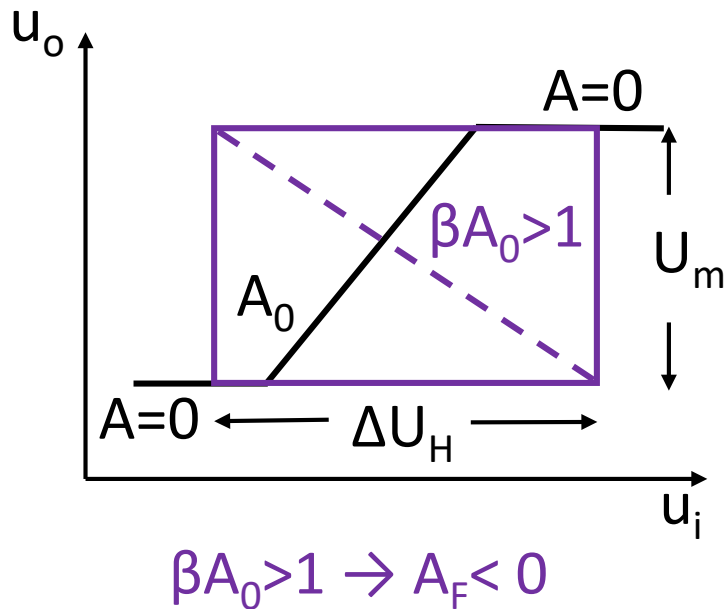


Схема с обратна връзка

Теория на схемите с положителна обратна връзка



- Бързодействие – преходният процес протича с голяма скорост, лавинообразно.
- Две стабилни състояния – когато работната точка е в участъците с $A = 0$; свойство за запомняне. Връзката между стъпалата трябва да бъде постояннотокова. Тогава смяната на състоянията ще се управлява само от външни сигнали.
- Хистерезис – нееднозначност на предавателната характеристика; U_m – амплитуда, ΔU_H - широчина.

При $\beta A_0 \gg 1$ следва $\Delta U_H \approx \beta U_m$.

Необходимо и достатъчно условие за реализиране на тригерен ефект - $\beta A_0 > 1$.

$$|A_F| = \frac{U_m}{\Delta U_H}$$

$$\Delta U_H = \frac{U_m}{|A_F|} = \frac{U_m |1 - \beta A_0|}{A_0}$$

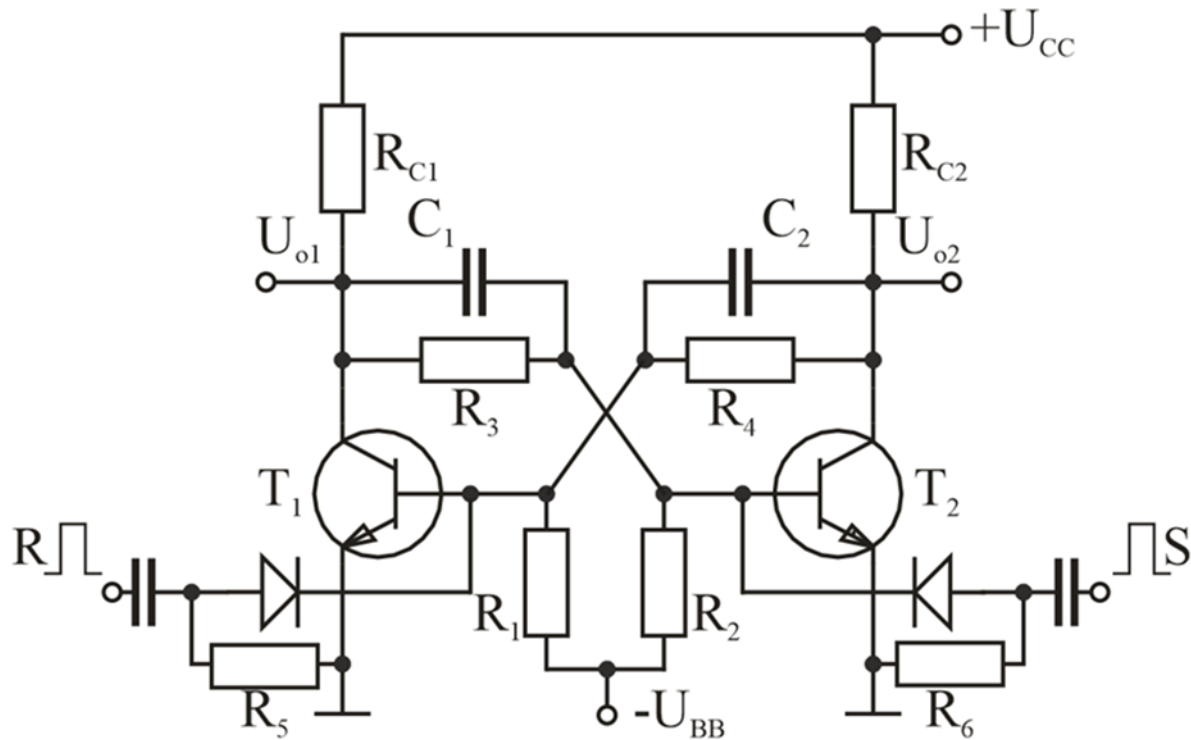
Тригери с биполярни транзистори

Схемата на SR - тригера е симетрична. Тя представлява двустъпален усилвател, работещ с положителна обратна връзка от изхода на второто стъпало към входа на първото. Пусковите импулси може да се подават към базите или към колекторите на транзисторите, където се сумират със сигналите на положителната обратна връзка в тригера. Задействането по базовите входове се характеризира с по-добра чувствителност, отколкото задействането по колекторните входове. Предпочита се тригерите да се задействат с импулси, които запускат транзисторите. Изборът на полярността на входните импулси се извършва с диодни схеми.

Тригери с биполярни транзистори

В схемата има източник на преднапрежение $-U_{BB}$, чрез който се осигурява по-надеждна работа, при работа със съвременни транзистори може да се пропусне. Обикновено двете стъпала са с еднотипни транзистори и с еднакви елементи $R_1 = R_2$ и $R_3 = R_4$. Двата транзистора винаги се намират в противоположно състояние – единият е запушен, а другият – наситен. Схемата се задейства с положителни импулси в базовите входове – за промяна на състоянието се подава отпушващ импулс към запушения транзистор.

Тригери с биполярни транзистори



Симетричен SR – тригер
с управление с положителни
импулси

Чрез входните кондензатори се формират кратки пускови импулси и след това входният сигнал повече не влияе на процеса на превключване и на статичното състояние на тригера. Ако на входа R се подаде положителен импулс транзисторът T_1 се насища и напрежението в колектора му става близко до нула.

Тригери с биполярни транзистори

Това води до запусване на T_2 . Напрежението в неговия колектор се изравнява със захранващото. Промяна в състоянието на схемата може да се получи само с подаване на положителен импулс на входа S . Тогава двата транзистора си сменят състоянието. Кондензаторите C_1 и C_2 са форсиращи и са предназначени за ускоряване на процесите на превключване на тригера. Ако се приеме колекторът на транзистора T_1 за изход на схемата се вижда, че положителен импулс на входа S установява тригера във високо ниво, а положителен импулс на входа R го връща в нула. По тази причина входовете са получили своите названия Set (установяващ) и Reset (нулиращ).

Тригери с биполярни транзистори

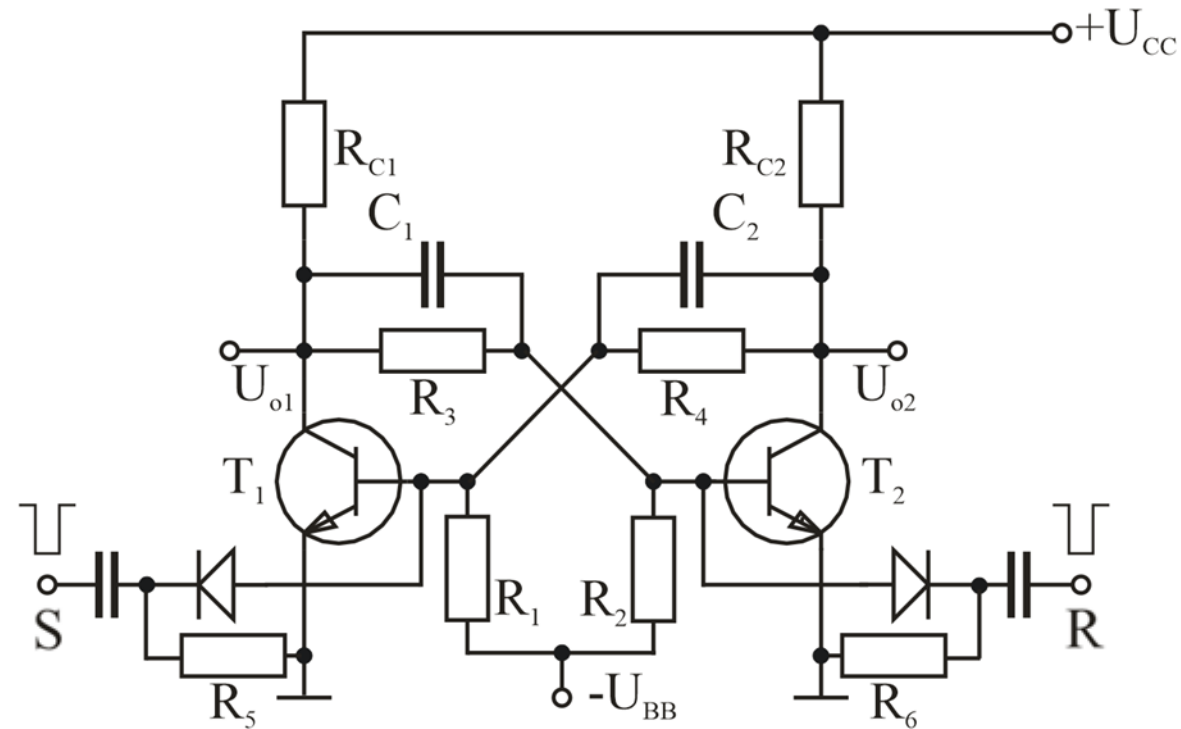
За да се гарантират две устойчиви състояния на тригера трябва да са изпълнени следните условия:

$$R_{C1} = R_{C2} = \frac{U_{CC}}{I_{Csat}}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{U_{BB}}{I_{CB0}} \quad \text{при } U_{BB} = 0 \rightarrow R_1 = R_2 = \frac{U_{BE}}{I_{CB0}}$$

$$R_3 = R_4 = \left(\frac{\beta}{1 + \beta \frac{U_{BB} R_C}{U_{CC} R_1}} - 1 \right) R_C < (\beta - 1) R_C$$

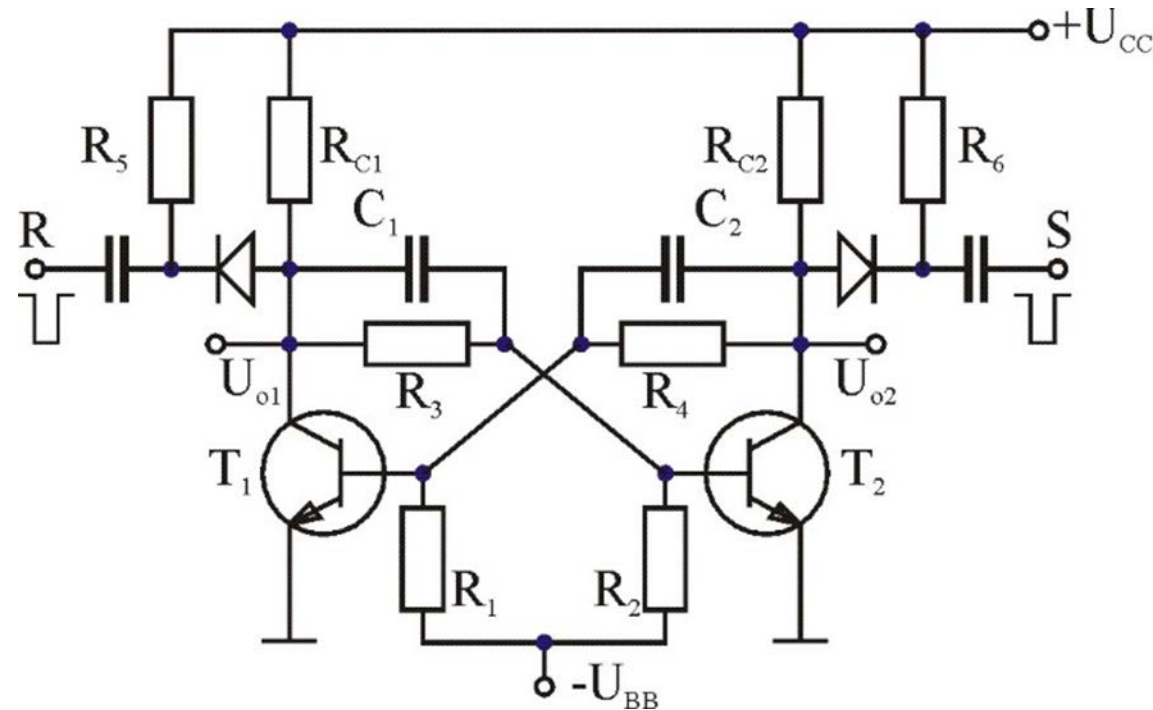
Тригери с биполярни транзистори



Симетричен SR – тригер с управление с отрицателни импулси

Схемата се задейства с отрицателни импулси в базовите входове – за промяна на състоянието се подава запушващ импулс към отпушения транзистор.

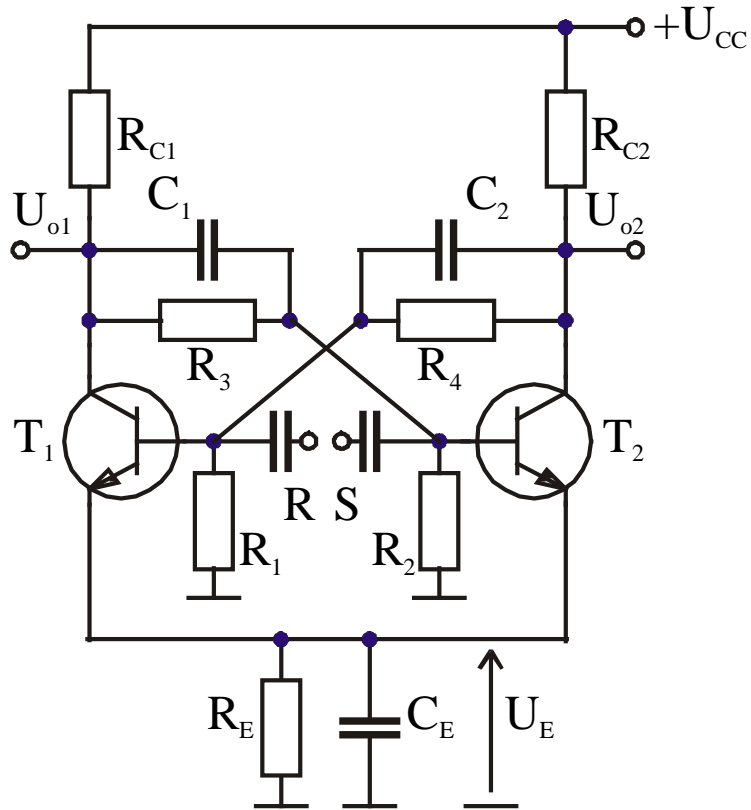
Тригери с биполярни транзистори



Симетричен SR – тригер със задействане по колекторните вериги

Схемата се задейства с отрицателни импулси в колекторните входове – за промяна на състоянието се подава отрицателен импулс към запушения транзистор.

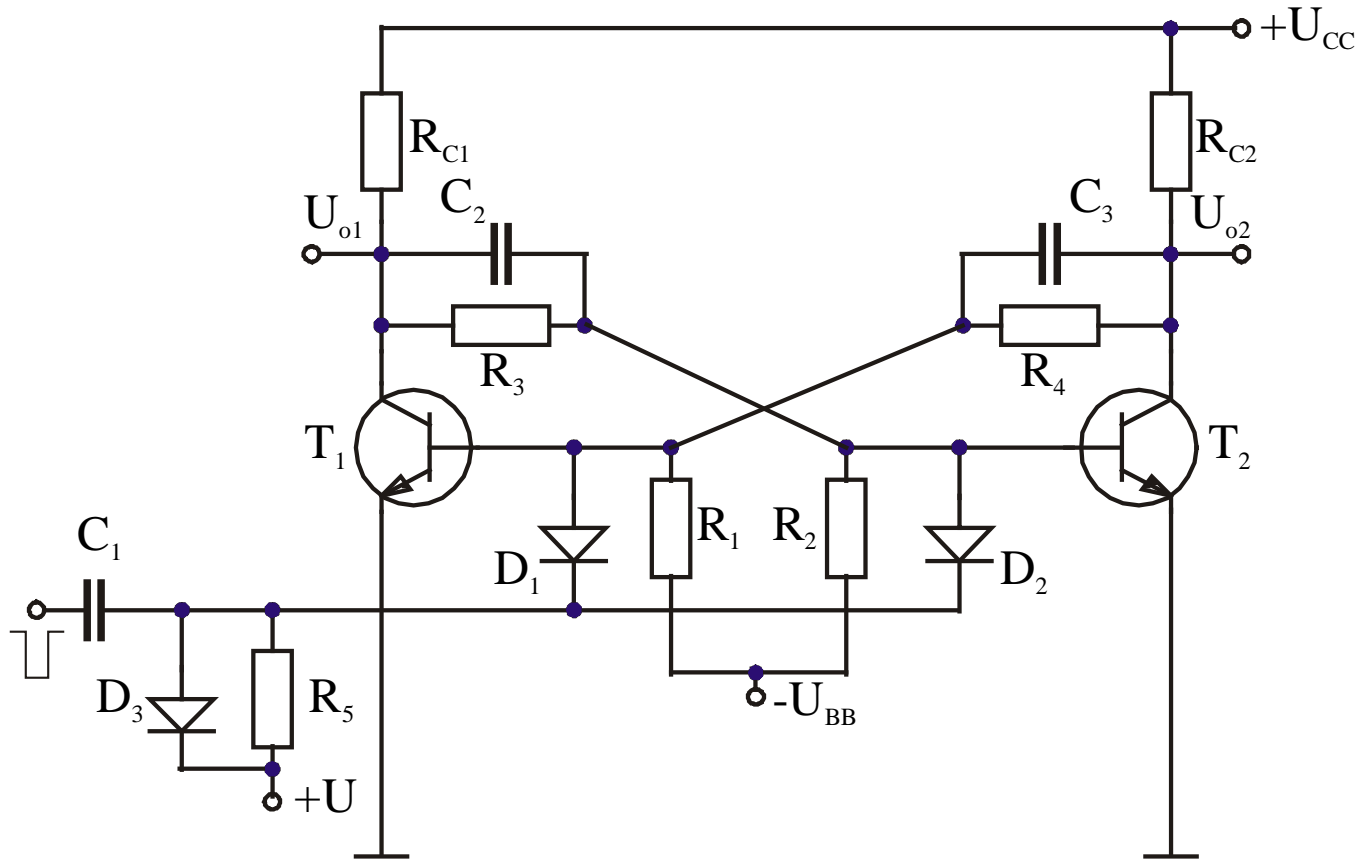
Тригери с биполярни транзистори



Симетричен тригер с
автоматично
преднапрежение

Автоматичното преднапрежение в схемата на симетричния тригер се създава за сметка на пада на напрежение на тока на отпушения транзистор върху емитерния резистор R_E . Кондензаторът C_E избира с такава стойност, че преднапрежението да остане практически постоянно за времето на превключване на тригера (обикновено $1 \div 5 \text{ nF}$). Недостатък е, че колекторното напрежение на наситения транзистор не е равно на нула, а на напрежението U_E .

Тригери с биполярни транзистори



При тригерите с броячен вход се подават еднополярни импулси в една точка на схемата и всеки входен импулс предизвиква преобръщане на тригера. Това дава възможност да се дели честотата на входните импулси на две.

Тригер с броячен вход

Тригери с биполярни транзистори

Диодите D_1 и D_2 са разделителни – те отделят тригера от източника на входен сигнал след завършване на управляващите импулси. Диодът D_3 е фиксиращ. През него става бърз разряд на разделителния кондензатор C_1 след завършване на управляващия импулс. Нека в изходно състояние транзисторът T_1 е отпушен, а T_2 – запушен. Ускоряващият кондензатор C_2 е разреден ($U_{C2} \approx 0$), тъй като напрежението на неговата лява плоча е близко до нула поради отпушения транзистор, а на дясната плоча, съединена към базата на запушения транзистор, напрежението е незначително по-малко от нула.

Тригери с биполярни транзистори

Ускоряващият кондензатор C_3 е включен към колектора на запушения транзистор и е зареден до напрежение, равно на пада върху резистора R_4 :

$$U_{C3} = \frac{U_{CC}}{R_{C2} + R_4} R_4$$

Диодите D_1 и D_2 са запушени от източника на преднапрежение U . При подаване на отрицателен импулс на входа на схемата двата диода се отпушват.

През диода D_2 пусковият импулс постъпва към базата на запушения транзистор T_2 и го поддържа в запушено състояние.

Тригери с биполярни транзистори

През диода D_1 пусковият импулс постъпва към базата на отпушения транзистор T_1 . Неговата продължителност трябва да бъде такава, че транзисторът T_1 да излезе от режим на насищане и да се запуши.

След запушването на T_1 кондензаторът C_2 се зарежда до стойност U_{C2} по веригата $+U_{CC} - R_{C1} - C_2 - D_2 -$ източник на импулси – земя.

След завършване на входния импулс диодите D_1 и D_2 се запушват и отделят източника на импулси от тригера. При това и двата транзистора са запушени, но под влиянието на базовите делители те започват да се отпушват.

Тригери с биполярни транзистори

Тъй като кондензаторът C_3 е зареден до стойността U_{C3} , а C_2 до по-малка стойност U_{C2} , базовите токове са различни:

$$I_{B1} = \frac{U_{CC} - U_{C3}}{R_{C2}} - \frac{U_{BB}}{R_1}$$

$$I_{B2} = \frac{U_{CC} - U_{C2}}{R_{C1}} - \frac{U_{BB}}{R_2}$$

Вижда се, че токът I_{B2} е по-голям от I_{B1} , поради което транзисторът T_2 се отпушва, а T_1 се запушва и схемата си сменя състоянието.

Тригери с биполярни транзистори

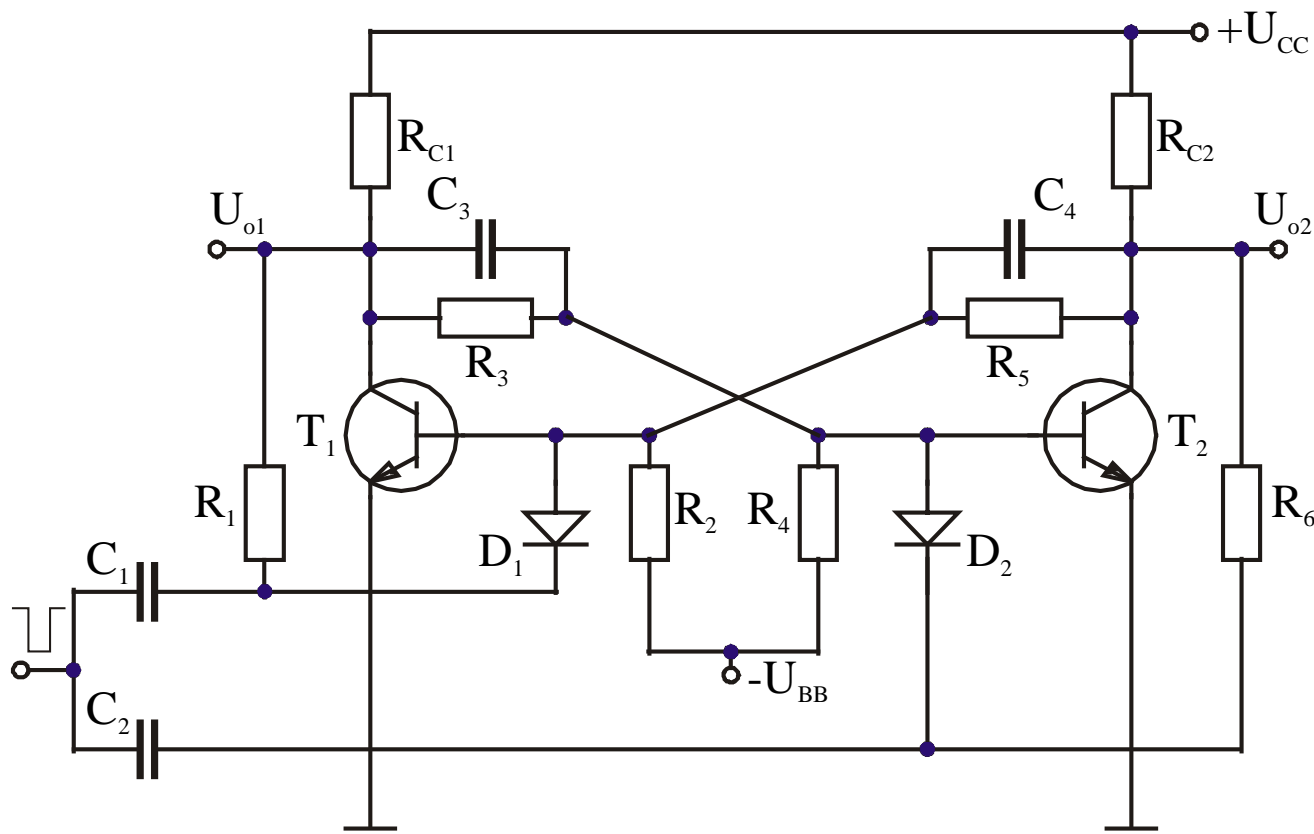
Оттук става ясна принципно новата роля на ускоряващите кондензатори: освен да ускоряват процеса на преобръщането те изпълняват ролята на елементи, които запомнят състоянието на тригера и способстват за протичането на процесите на преобръщането в нужното направление. В този смисъл поставянето на ускоряващи кондензатори в схемата на тригера с броячен вход е задължително. Оптималната им стойност е два пъти по-голяма отколкото в схемата на SR – тригера: $C_2 = C_3 = \frac{0,6}{f_\alpha R_C}$

По тази причина максималната честота е два пъти по-ниска отколкото на SR – тригера: $f_{\max} \approx 0,35 f_\alpha$

Тригери с биполярни транзистори

Значително по-висока надеждност на работа и бързодействие осигурява схемата на тригер с броячен вход и управляемо пускане. В нея има вентили на входа, които насочват пусковия импулс само към базата на единия транзистор. Диодите D_1 и D_2 изпълняват функцията на управляеми вентили. Управлението им се осъществява от колекторите на транзисторите чрез резисторите R_1 и R_6 . Входните импулси се подават през разделителните кондензатори C_1 и C_2 . Нека транзисторът T_1 е отпушен, а T_2 – запушен. Тогава диодът D_2 е запушен, тъй като на неговия катод се подава висок потенциал от колектора на запушения транзистор T_2 чрез резистора R_6 , а диодът D_1 е отпушен, защото потенциалът на отпушения транзистор T_1 е близък до нула.

Тригери с биполярни транзистори



Тригер с броячен вход и управляемо пускане

Пусковият импулс преминава през отпушения диод D_1 само към базата на отпушения транзистор и предизвиква преобръщането на схемата. Повторно преобръщане не може да настъпи, тъй като на катода на диода D_2 се прилага запушващо напрежение от кондензатора C_2 ,

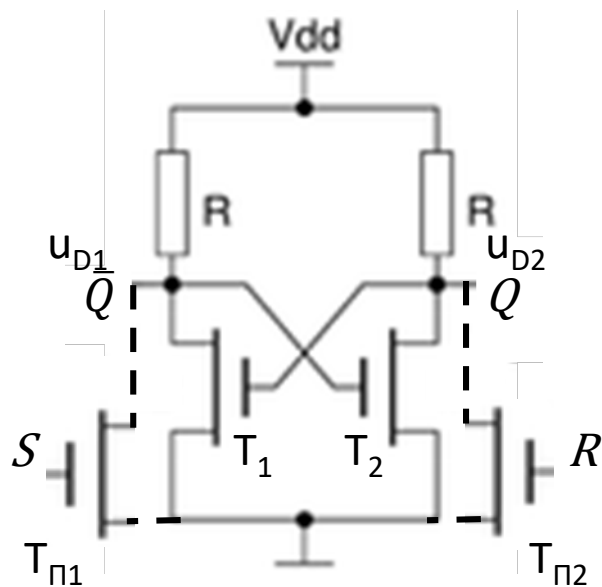
който за времето на преобръщане не е успял да се разрежи.

Тригери с биполярни транзистори

След преобръщане на тригера кондензаторите C_1 и C_2 започват да се презареждат през резисторите R_1 и R_6 . Пусковият импулс е завършил значително по-рано, а следващият ще бъде насочен през диода D_2 към базата на отпушения транзистор T_2 . По такъв начин диодите D_1 и D_2 насочват пусковия импулс само към базата на отпушения транзистор, а кондензаторите C_1 и C_2 , запомняйки състоянието на тригера до поредното преобръщане, не позволяват повторно преобръщане на тригера до изчезване на пусковия импулс.

Бързодействието на тази схема е близо до това на SR – тригера, тъй като запомнящата функция на ускоряващите кондензатори не се използва и техните стойности могат да бъдат по-малки.

Тригери с MOS транзистори

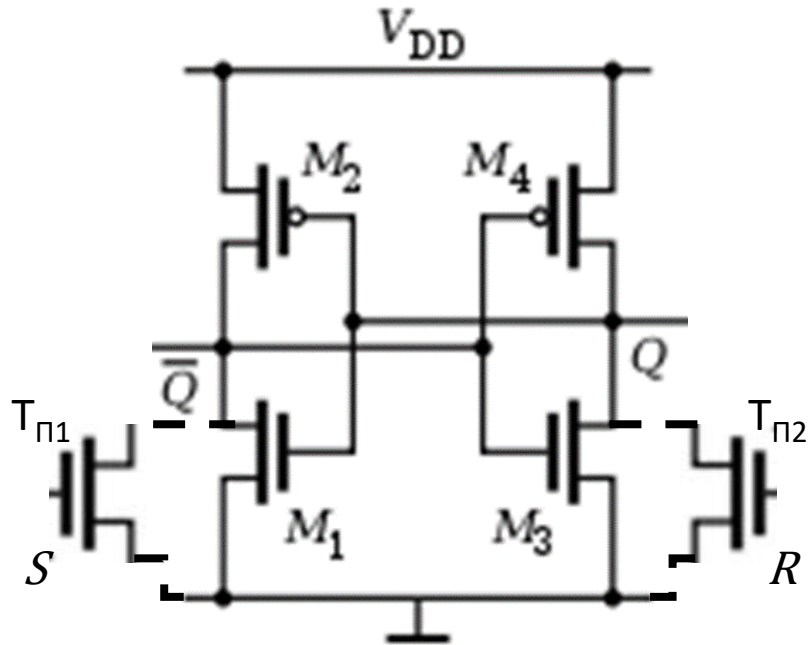


Симетричен SR – тригер с NMOS транзистори

В схемата на симетричен SR – тригер с NMOS транзистори има две възлови точки с напрежения $u_{D1}=u_{G2}$ и $u_{D2}=u_{G1}$. Към всяка от тях има товарен капацитет, който е сума от гейтовия капацитет на единия транзистор и дрейновия капацитет на срещуположния му. Ако се приеме, че T_1 е отпушен, а T_2 – запушен, то за превключване на схемата е необходимо разреждане на капацитета в гейта на T_1 . Това става с пусков NMOS транзистор $T_{п2}$, който в този момент се отпушва.

Тригери с CMOS транзистори

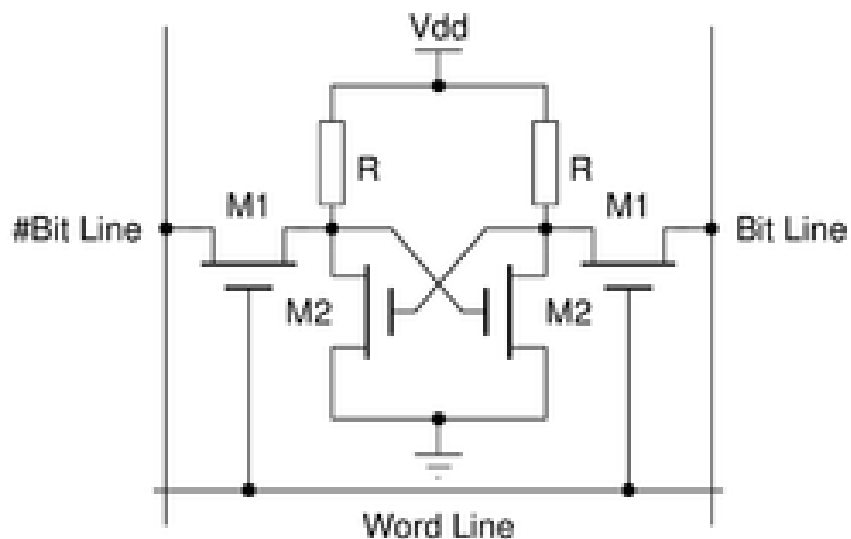
Схемата на CMOS симетричен SR – тригер включва два еднакви инвертора и два пускови NMOS транзистора. Нулевата консумация в статичен режим е нейното най-главно предимство.



CMOS тригер

Тригери с MOS транзистори

Static RAM memory



Запомняща клетка на
SRAM с NMOS транзистори

Структурата на клетките на SRAM е много по-сложна от тази на DRAM памет. В SRAM запомнящите клетки също са подредени в матрица от редове и колони, които са избрани съответно от декодери на редове и колони. Както е случаят с DRAM, гейтовете на транзисторите за достъп M_1 са свързани към линията за избор W (дума) а сорсовете са свързани към двойката линии за данни BL .

Тригери с MOS транзистори

Static RAM memory

При четене на данни от такава клетка на паметта декодерът на реда активира съответния ред от думи W . Двата транзистора за достъп M_1 се включват и свързват тригера с двойката линии BL . По този начин двата изхода на тригера са свързани към битовите линии и сигналите се предават на сензорния усилвател в края на двойката битови линии.

За разлика от DRAM, двата транзистора в тригера осигуряват много силен сигнал тъй като те са усилващи елементи сами по себе си. Сензорният усилвател усилва потенциалната разлика на двойката битови линии BL .

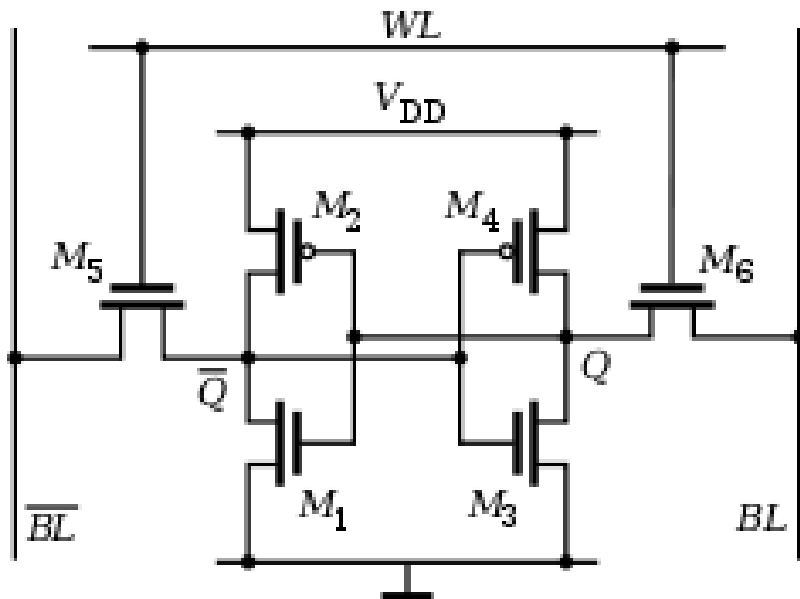
Тригери с MOS транзистори

Static RAM memory

Записването на данни протича по обратния начин. Чрез буфера за въвеждане на данни и декодерът по редове, данните за запис се прилагат към съответния сензорен усилвател. В същото време декодерът по редове активира линията W и включва транзисторите за достъп M_1 . Тригерът се опитва да изведе съхранените данни върху двойката BL , но изходът на сензорния усилвател е по-мощен от запамятаващите транзистори M_2 и доставя на битовите линии BL сигнал, който съответства на данните за запис. Следователно, тригерът се превключва според новата стойност на данните или запазва вече съхранената стойност.

Тригери с CMOS транзистори

Static RAM memory



Запомняща клетка на SRAM с CMOS транзистори

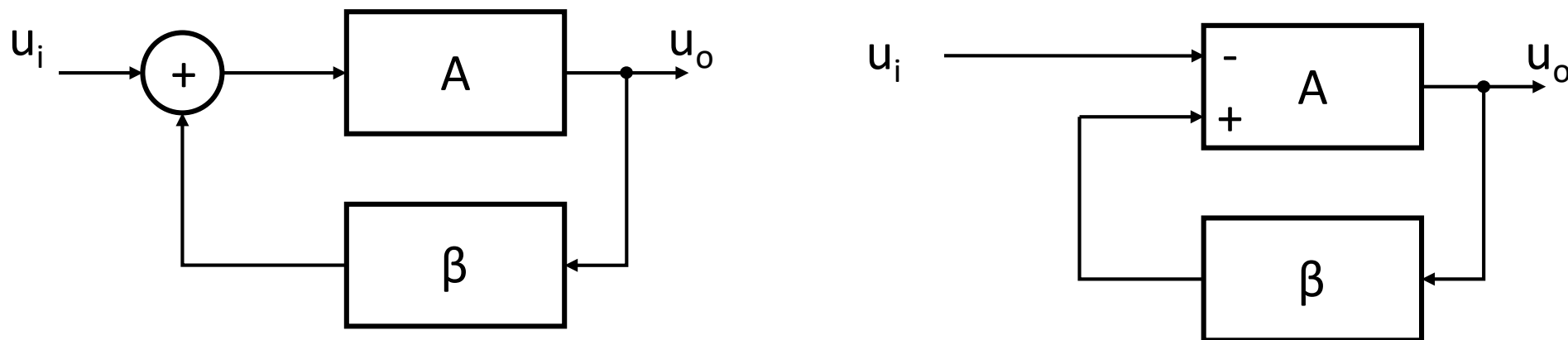
Действието на запомняща клетка на SRAM с CMOS транзистори е подобно. Гейтовете на транзисторите за достъп M_5 и M_6 са свързани към линията за избор WL , а изходите на тригера са свързани към двойката линии за данни BL .

Несиметрични тригери

Несиметричните тригери, наричани още тригери на Шмит (Otto H. Schmitt) са схеми с две състояния, характеризиращи се с две стойности на изходното напрежение U^0 и U^1 , като преходът между тях се извършва при две различни стойности на входното напрежение U_I и U_{II} (често се срещат и означенията ε_1 и ε_2). Следователно в предавателната им характеристика има област с хистерезис, чиято широчина се определя от праговите стойности. Горният праг се нарича още праг на задействане, а долният – праг на отпускане.

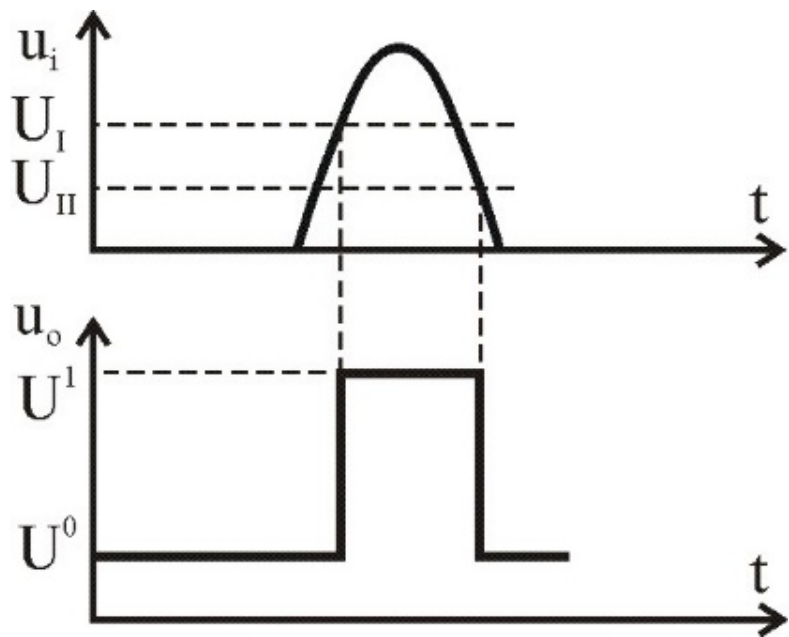
Несиметричният тригер, както и симетричният представлява схема с положителна обратна връзка.

Несиметрични тригери



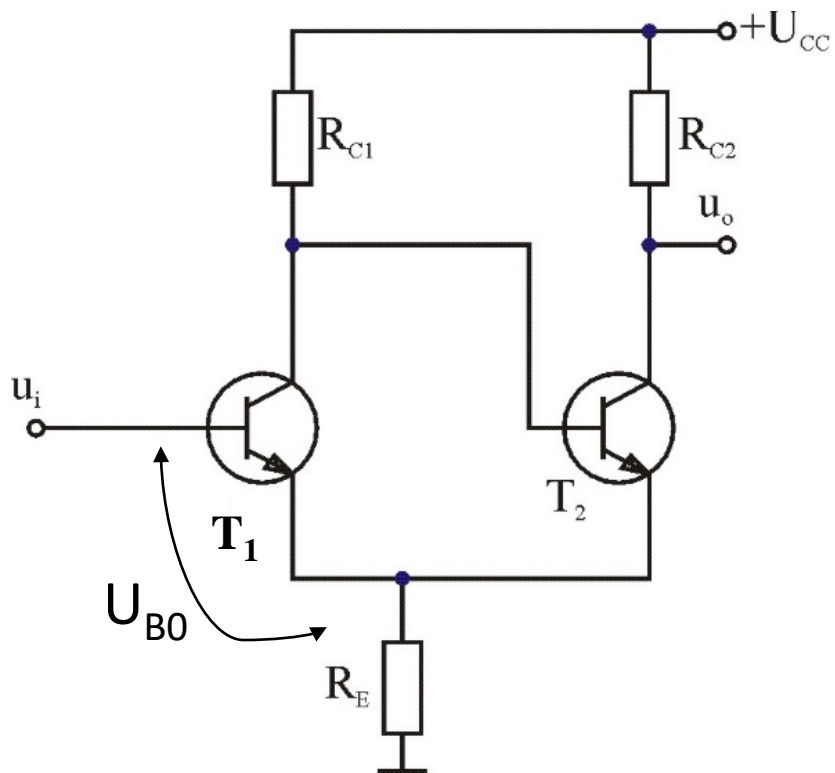
Разликата между несиметричните тригери и симетричните е в усилвателната схема. При симетричните тя включва два еднакви инвертора, а при несиметричните може да има по-голямо многообразие. Основната идея се вижда когато тригерът на Шмит се реализира със стъпало с диференциален вход. Той позволява входната верига да бъде отделна и независима от веригата на положителната обратна връзка.

Несиметрични тригери с биполярни транзистори



Тригерите на Шмит се използват при формиране на правоъгълни импулси от бавно изменящи се входни сигнали. Могат да изпълняват и функцията на пусково устройство (реле), което се задейства, когато входният сигнал достигне определено НИВО.

Несиметрични тригери с биполярни транзистори

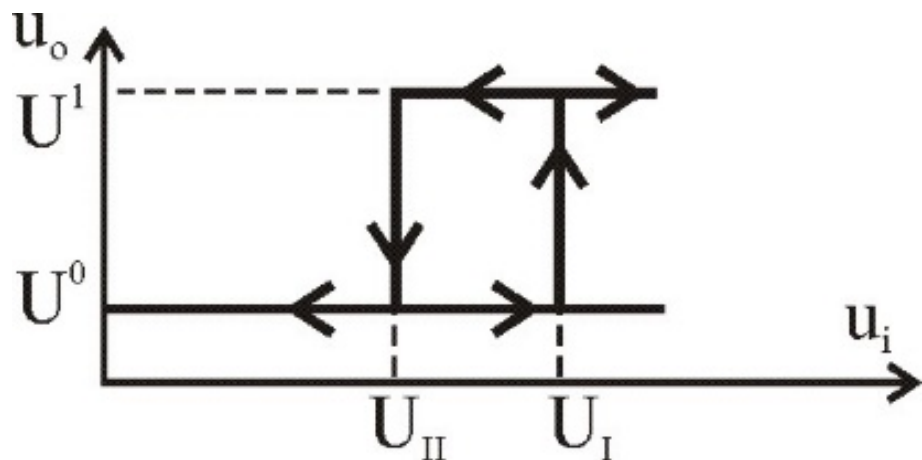


В схемата на несиметричния тригер положителната обратна връзка се осъществява през общия емитерен резистор R_E, затова тази схема често се нарича тригер с емитерна връзка.

При нулево входно напрежение T₁ е запушен, а T₂ – наситен. Тогава изходното напрежение е: $U^0 = U_{REI} + U_{CEsat} \approx U_{REI}$

$$U_{REI} \approx U_{CC} \frac{R_E}{R_E + R_{C2}}$$

Несиметрични тригери с биполярни транзистори



Първият праг на задействане U_I има стойност: $U_I = U_{REI} + U_{B0}$; $U_{B0} = 0,5V$

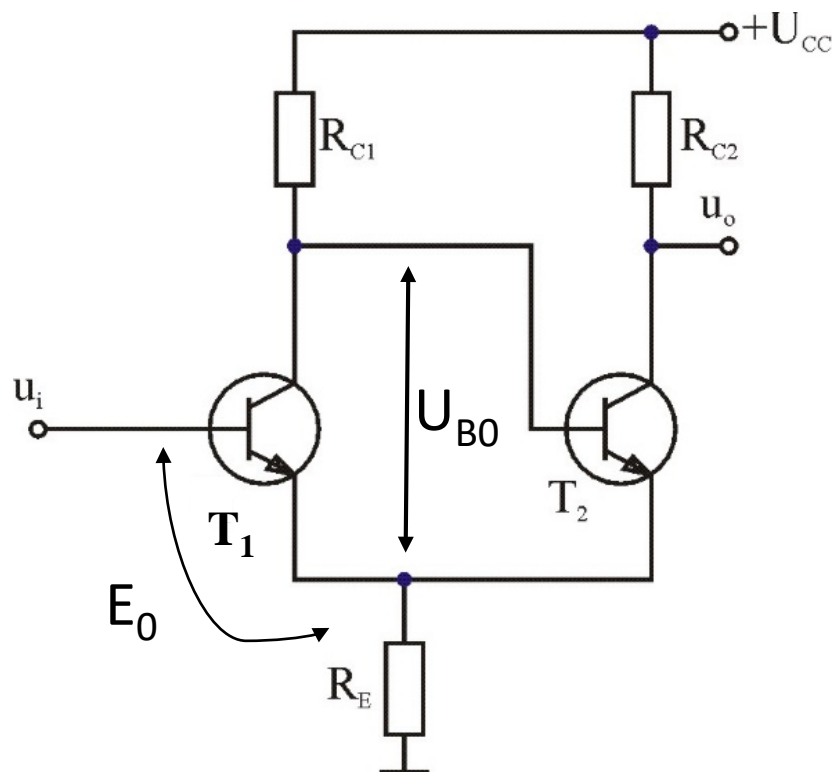
Когато входното напрежение достигне тази стойност се развива лавинообразен процес, в края на който T_1 е наситен, а T_2 – запушен.

Тогава изходното напрежение е $U^1 \approx U_{CC}$.

Напрежението на емитерите става равно на $U_{REII} \approx U_{CC} \frac{R_E}{R_E + R_{C1}}$

Следователно $U_{CC} \frac{R_E}{R_E + R_{C2}} > U_{CC} \frac{R_E}{R_E + R_{C1}}$

Несиметрични тригери с биполярни транзистори



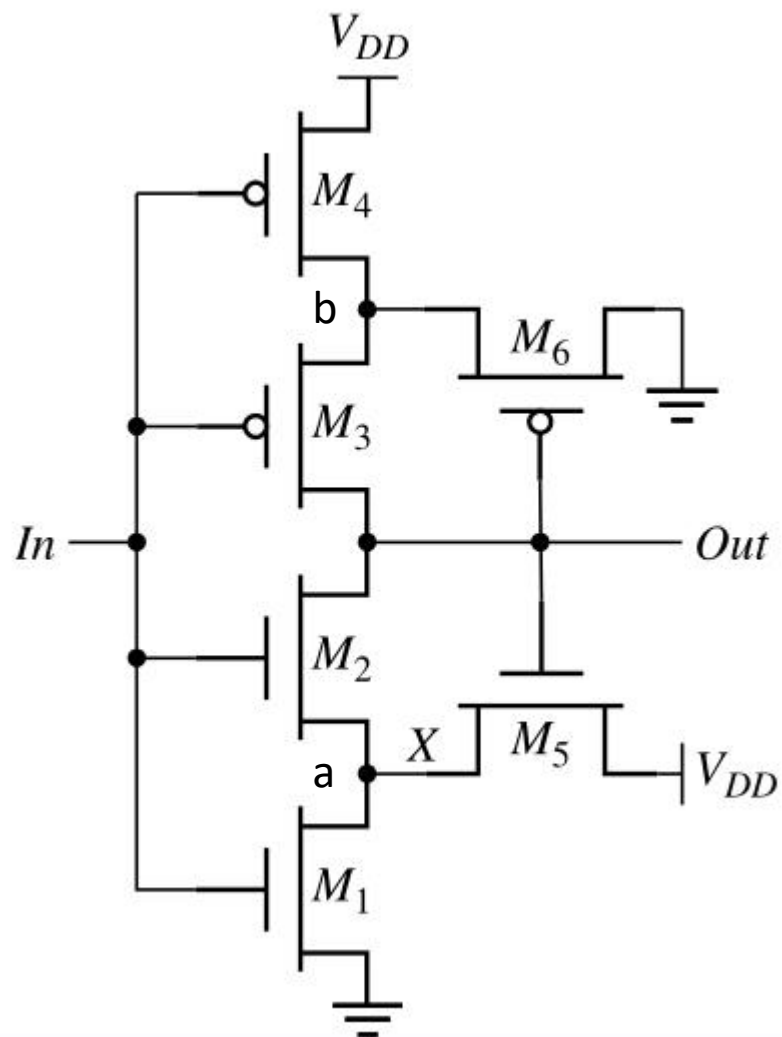
Необходимото условие за стабилност на второто състояние е: $R_{C1} > R_{C2}$. Тогава T_1 е наситен и поддържа T_2 надеждно запушен.

При намаляване на входното напрежение процесите се развиват аналогично, но в обратна посока. Превключването се извършва когато T_1

излезе от насищане и напрежението му U_{CE} стане равно на U_{B0} . Тогава T_2 се отпушва и отново се развива лавинообразен процес. Стойността на втория праг е

$$U_{II} \approx E_0 + (U_{CC} - U_{B0}) \frac{R_E}{R_E + R_{C1}}.$$

Несиметрични тригери с CMOS транзистори



Основната схема на тригер на Шмит с CMOS транзистори може да се получи по аналогия с биполярната със следните стъпки: Биполярните транзистори се заменят с N-каналните MOS транзистори M_2 и M_5 ; Емитерният резистор се заменя с аналогичен транзистор M_1 ; Вместо товарни резистори се поставя огледална структура от P-каналните MOS транзистори M_3 , M_4 и M_6 ;

Несиметрични тригери с CMOS транзистори

Гейтовете на M_1 и M_2 , съответно M_3 и M_4 , се свързват заедно, тъй като по време на лавинообразния процес на преобръщане и двата транзистора трябва да са отпушени; Входният сигнал управлява едновременно P- и N-каналните входни транзистори.

Действието на получената схема също е аналогично на основната. При малко входно напрежение M_1 и M_2 са запушени. P-каналните транзистори M_3 и M_4 са отпушени и през тях положителното захранващо напрежение достига до изхода. Същевременно M_6 е запушен, а M_5 – отпушен. Тогава:

$$U_a = U_{DD} - U_{TN}$$

Несиметрични тригери с CMOS транзистори

Когато входното напрежение расте първо се отпушва M_1 при $u_i = U_{TN}$, и токът през него и през M_5 започва да расте, а напрежението в т. а да намалява. Когато то стане равно на половината от захранващото M_2 ще се отпуши. Тогава стойността на входното напрежение е:

$$U_I = \frac{U_{DD}}{2} + U_{TN},$$
 което е стойността на горния праг, тъй като протича

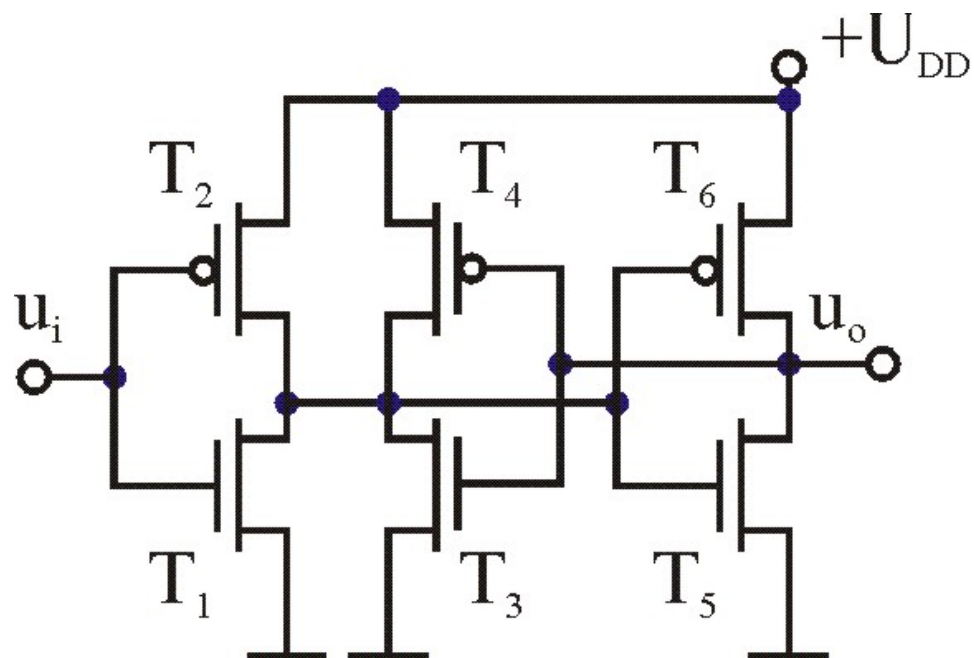
ток от захранването през транзисторите M_1 , M_2 , M_3 и M_4 . Изходното напрежение започва да намалява.

Несиметрични тригери с CMOS транзистори

Едновременно с това се развиват два лавинообразни процеса. Единият е в затворената верига на ПОВ, образувана от M_2 и M_5 , който завършва с пълното отпушване на M_2 и запусване на M_5 . Вторият е в аналогичната верига на M_3 и M_6 и завършва със запусването на M_3 и отпушването на M_6 . При това изходното напрежение на схемата става равно на нула. Връщането става при $u_i = U_{II}$.

$$U_{II} = \frac{U_{DD}}{2} - |U_{TP}|$$

Несиметрични тригери с CMOS транзистори



Една от най-често използваните в практиката схеми на тригер на Шмит с CMOS транзистори се състои от входен инвертор с транзисторите T_1 и T_2 , последван от тригер, съставен от инверторите T_3T_4 и T_5T_6 . Двата прага на схемата са резултат от взаимодействието между входния инвертор и тригера.