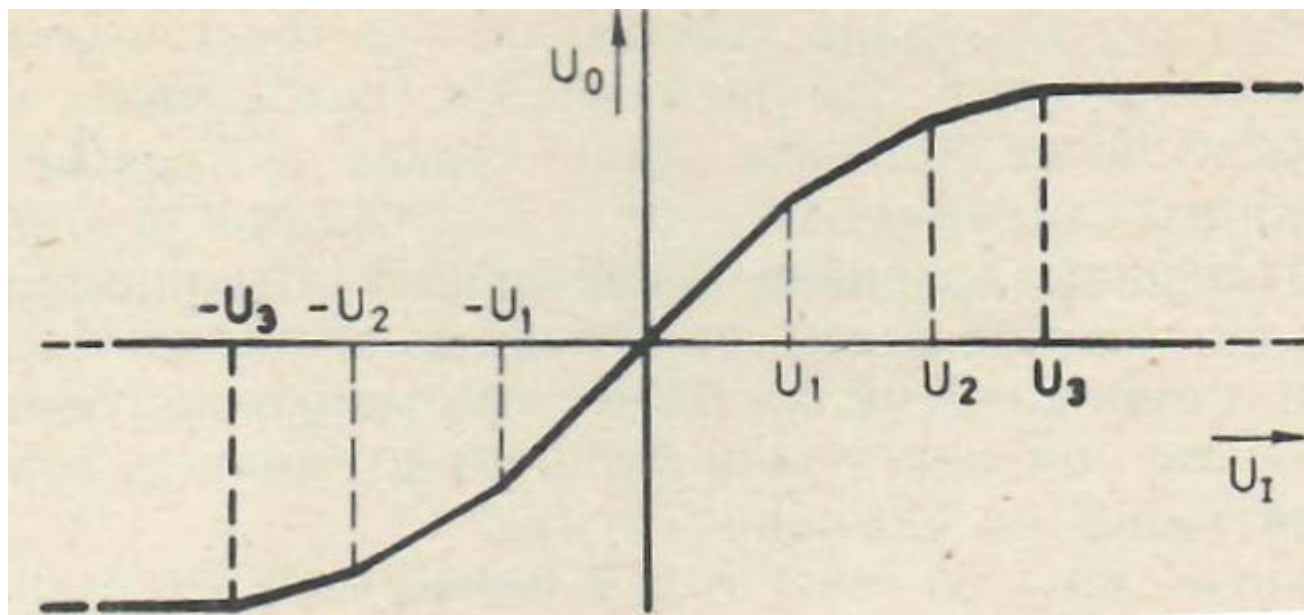


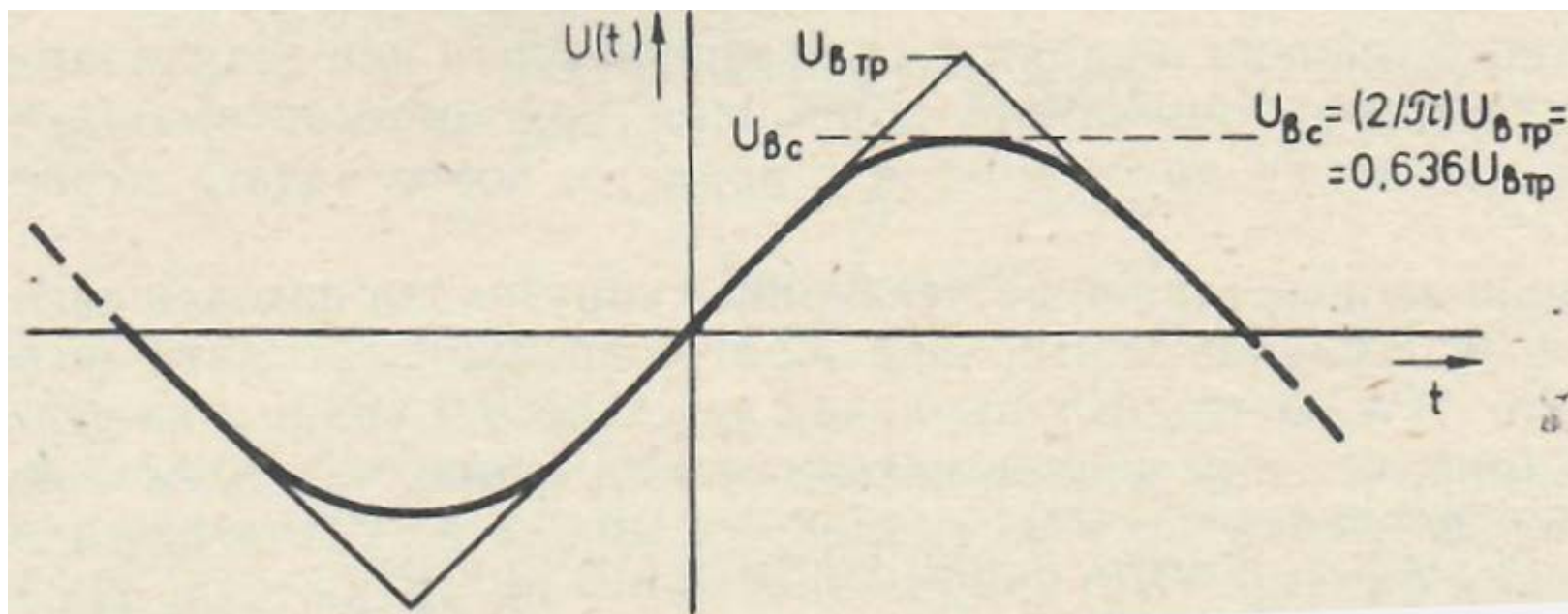
## Генератори на линейно-изменящи се (трионообразни) напрежения

Триъгълното напрежение може да се преобразува в синусоидално с използване на линейно-отсечкова апроксимация. То може да се разглежда като силно изкривено синусоидално напрежение с хармонични изкривявания около 12%.



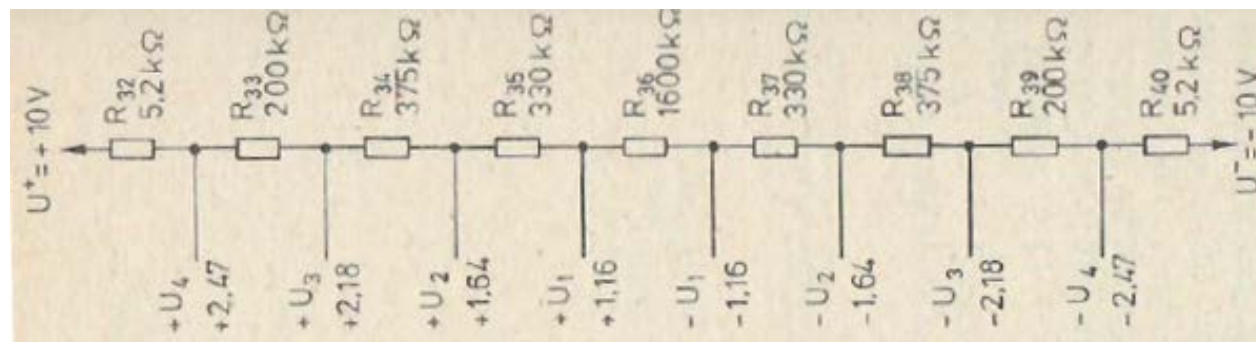
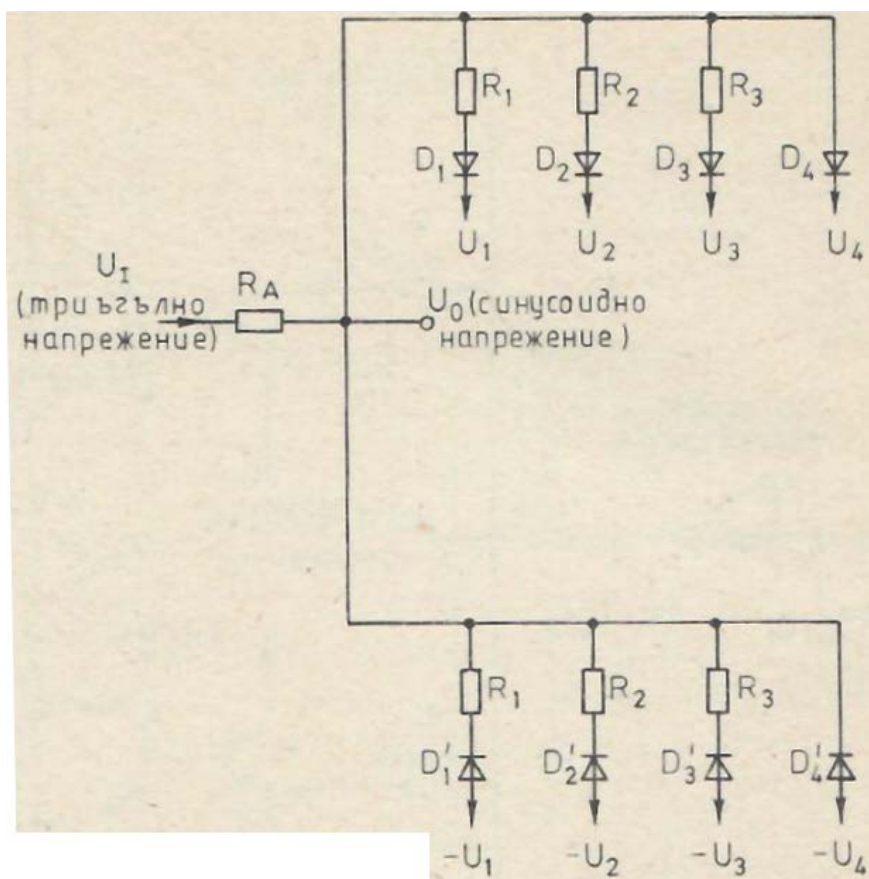
## Генератори на линейно-изменящи се (трионообразни) напрежения

След закръгляване на острите върхове може да се получи синусоидално напрежение с коефициент на хармонични изкривявания, по-малък от 1%.



# Генератори на линейно-изменящи се (трионообразни) напрежения

## Преобразувател на формата на сигнала



## Блокинг - генератори

Блокинг-генераторът е еднотранзисторна релаксационна схема, в която положителната обратна връзка се осъществява чрез импулсен трансформатор. Наименованието им идва от тяхното действие – транзисторът е наситен само през краткото време на импулса, а в продължителната пауза между импулсите е запушен (**блокиран**).

Изходните импулси са къси и почти правоъгълни с много малък коефициент на запълване. Това позволява да се генерира мощен импулс при малка средна мощност за периода на повторение.

## Блокинг - генератори

Двата задължителни елемента в схемата на блокинг-генератора са транзистора и трансформатора, към тях обикновено се добавят резистор и кондензатор. Трансформаторът трябва да отговаря на следните изисквания: силна магнитна връзка между намотките (голяма магнитна проницаемост на материала и малка индуктивност на разсейване) и малки паразитни капацитети на намотките (малък брой навивки).

Изходен сигнал може да се изведе от допълнителна намотка на трансформатора, от малки резистори в колектора или емитера или от колектора (само при наличие на високоомен товар).

## Блокинг - генератори

Трансформаторният изход има редица предимства: галванично изолиран сигнал; сигнал с произволна (повишена) амплитуда.

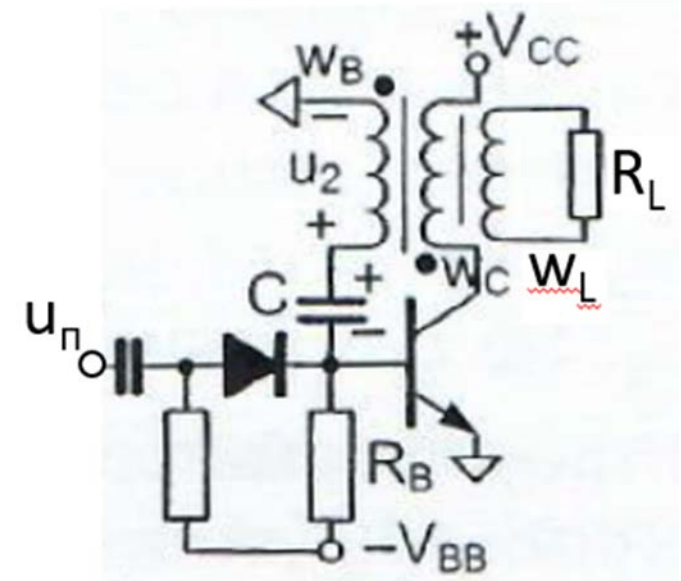
Блокинг-генераторите могат да работят в **чакащ** и **автогенераторен** режим.

**Чакащ** режим се реализира чрез подаване на запушващо напрежение ( $-V_{BB}$ ) към базовия резистор. За пускане е необходим положителен импулс в базата като съществуват и множество варианти – с пускова намотка, директно в базата или в колекторната намотка и от нея в базата.

## Блокинг - генератори

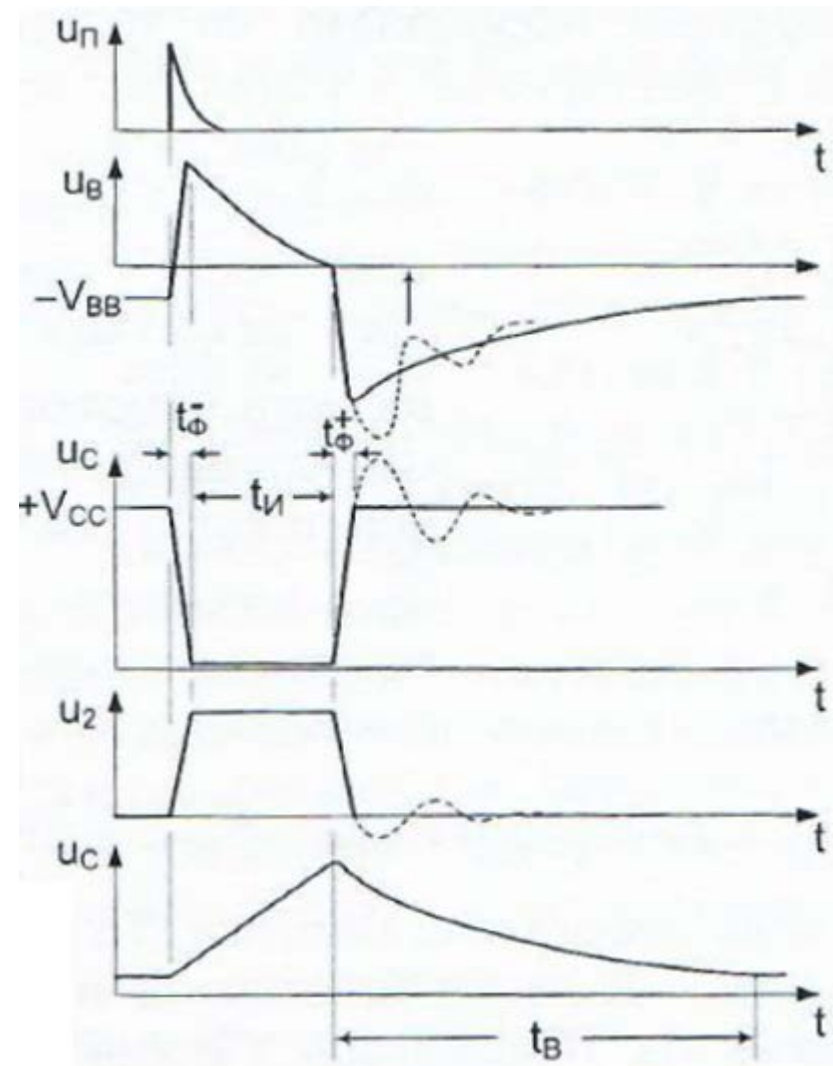
В схемата на блокинг-генератора в чакащ режим импулсният трансформатор има три намотки – базова с брой навивки  $w_2$ , колекторна с брой навивки  $w_C$  и товарна с брой навивки  $w_L$ .

Преводните отношения са  $n_2 = w_2/w_C$  и  $n_L = w_L/w_C$ . Коефициентът  $n_2$  обикновено се избира между 0,2 и 0,5.  $n_L$  се изчислява с израза  $n_L = 1,15(U_{Lmax}/V_{CC})$ . Съответно амплитудите на напреженията са  $U_{2max} = n_2 V_{CC}$  и  $U_{Lmax} = n_L V_{CC}$ .



## Блокинг - генератори

Когато транзисторът е запушен всички токове в схемата, магнитният поток в трансформатора и напреженията в трите намотки практически са равни на нула. След подаване на пусковия импулс транзисторът се отпушва, базовият ток започва да се увеличава, съответно нарастват колекторният ток, магнитният





## Блокинг - генератори

поток в трансформатора и индуцираните напрежения в базовата и товарната намотки.

При правилно свързване на началата и краищата на намотките (началата са означени с точки) нарастването на напрежението  $u_2$  води до увеличаване на базовия ток. След насищането на транзистора напрежението върху колекторната намотка се поддържа постоянно и е равно на  $V_{CC}$ . Кондензаторът  $C$  участва в диференцираща верига заедно с входното съпротивление на отпушения транзистор ( $\approx 10\Omega$ ) и след зареждането му напрежението на базата намалява.

## Блокинг - генератори

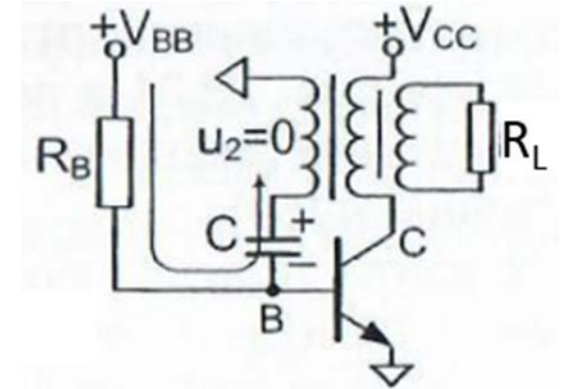
След разсейването на неосновните токоносители транзисторът излиза от насищане, с което намалява и колекторния ток. Тогава схемата отново превключва лавинообразно, този път в обратна посока, докато транзисторът се запуши.

В следствие на натрупаната енергия в първичната намотка могат да се възбудят ударни трептения в кръга, образуван от нейната индуктивност и пълния паразитен капацитет, равен на сумата от паразитните капацитети на трансформатора, на колекторния преход, монтажния и приведения капацитет на товара.

## Блокинг - генератори

**Автогенериращ** режим се получава с промяна на постоянното напрежение в базовата верига – то е отпушващо, най-често  $V_{BB}=V_{CC}$ .

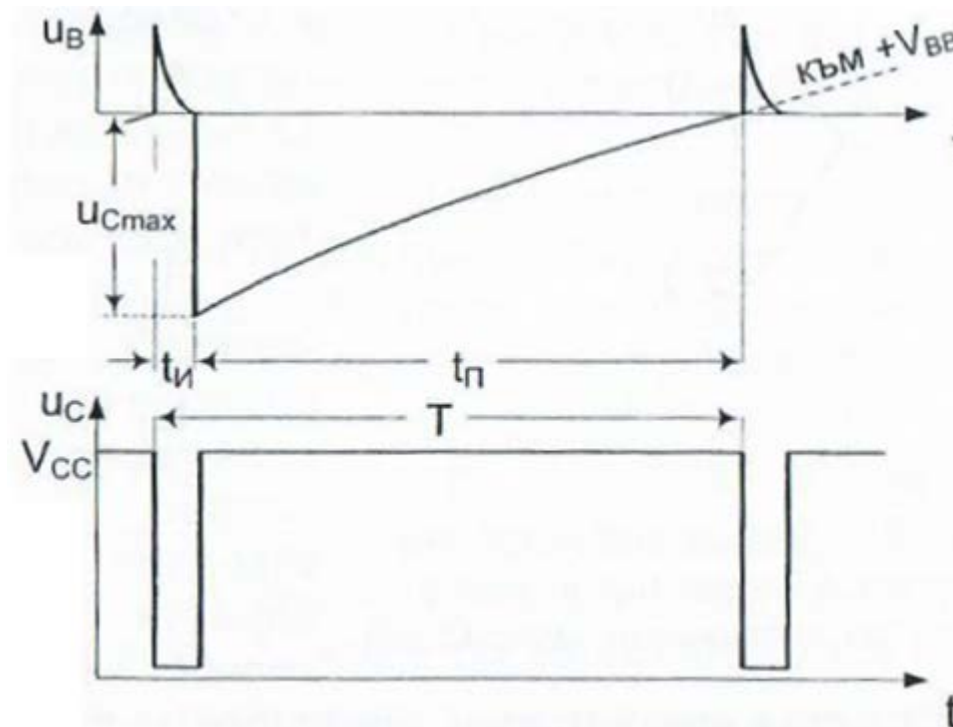
Процесите по време на импулса протичат аналогично на чакащия режим. За определянето на паузата най-съществено е зареждането на кондензатора  $C$  през резистора  $R_B$ .



В края на импулса неговото напрежение е достигнало максималната си стойност  $u_{Cmax}$ . След превключването на схемата  $u_2=0$ , напрежението  $u_C$  се прилага с обратен знак към базата и поддържа транзистора запушен.

## Блокинг - генератори

Той се презарежда към  $V_{BB}$  през  $R_B$  и продължителността на паузата е равна на времето, за което базовото напрежение ще достигне прага на отпушване. Тогава схемата превключва лавинообразно и се генерира нов импулс.



По време на него кондензаторът се зарежда много бързо през малкото входно съпротивление на наситения транзистор. Така се получава много малкия коефициент на запълване на импулсите.

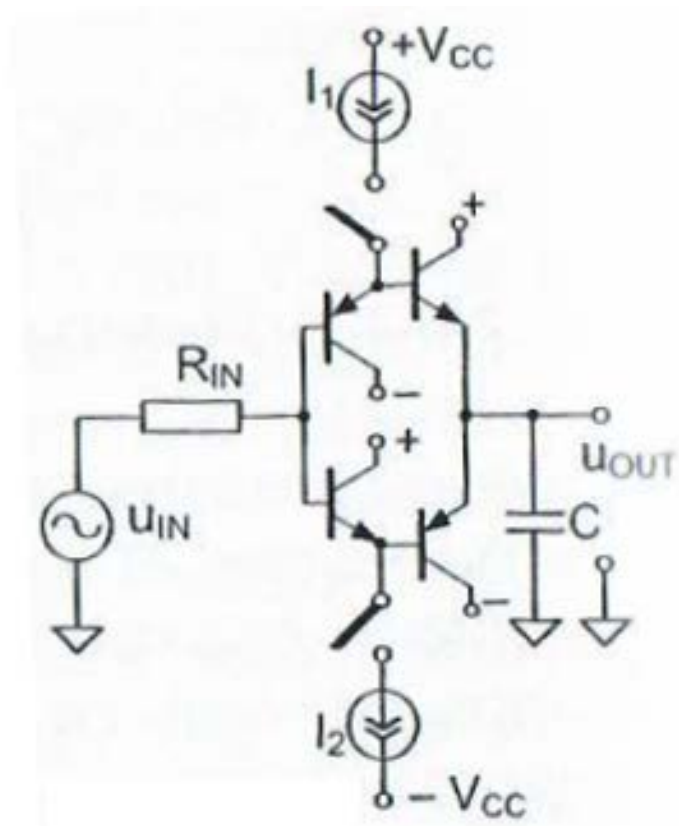
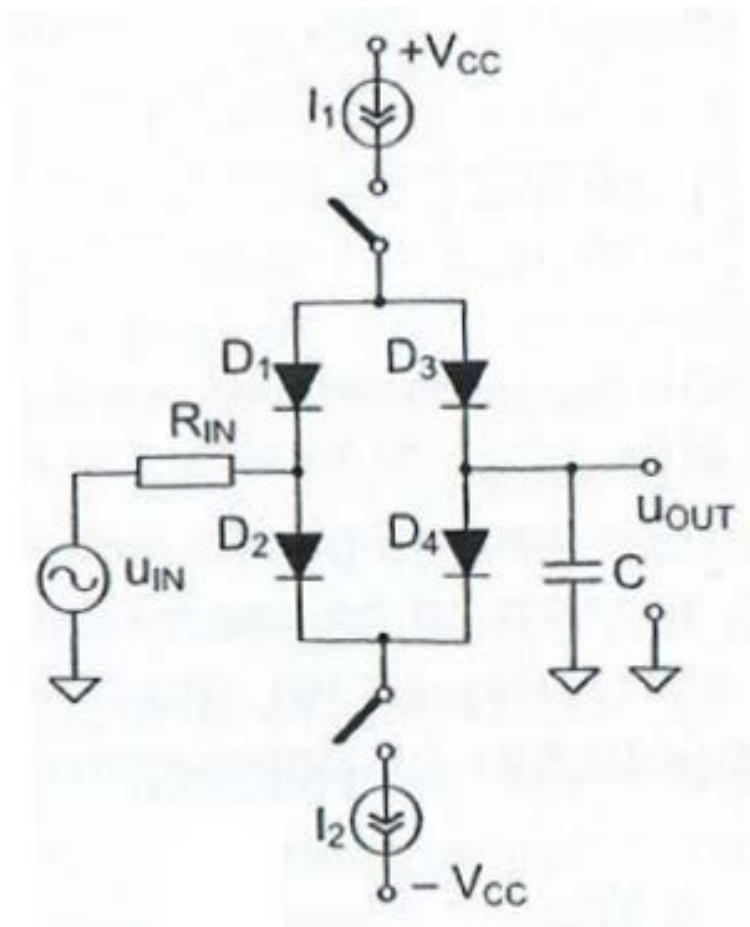
## Аналогови ключове

Идеалният аналогов ключ в положение „включено“ има нулево съпротивление, а в положение „изключено“ – съпротивление, равно на безкрайност. Превключвателите на аналогови сигнали могат да бъдат биполярни, MOS или CMOS. Всеки вид има своите предимства и недостатъци. Биполярните схеми – диодни и транзисторни, имат много малко съпротивление в състояние „включено“ и високо бързодействие, но последното предимство все повече намалява с развитието на MOS и CMOS технологиите.

## Аналогови ключове

Класическата диодна мостова схема съдържа четири диода и два източника на ток ( $I_1 = I_2$ ). Когато двата тока са изключени от моста, диодите, както и целият ключ, са запушени. Отпушват се при включени токове. Съпротивлението от входа до изхода е много малко – равно е на съпротивлението на един отпушен диод. При  $r_B \approx 50\Omega$  и ток  $0,5\text{mA}$  съпротивлението на отпушения ключ е  $r \approx 100\Omega$ . Предимство на схемата е бързодействието и малкото съпротивление на отпушения ключ, но тя е пасивна. Схемата е с нискоомен вход, а зареждането на капацитета  $C$  в изхода е през еквивалентното съпротивление ( $R_{IN} + r$ ).

## Аналогови ключове



## Аналогови ключове

Това ограничава скоростта на нарастване на изходното напрежение. За постигане на точност се изисква равенство на токовете и идентични диоди.

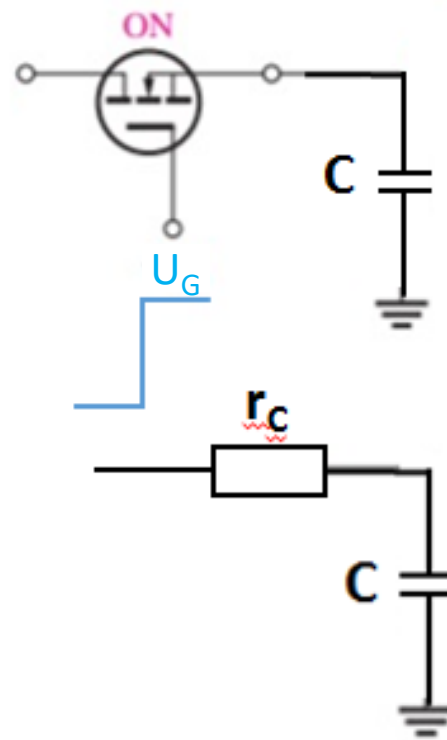
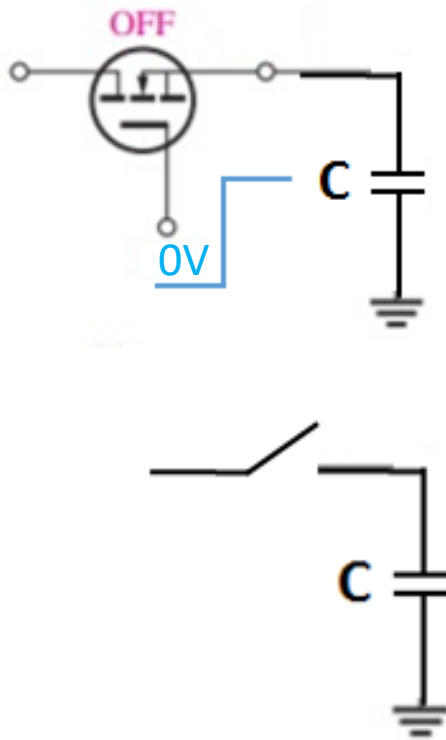
Подобрение в схемата е постигнато с реализирането на диодите чрез емитерните преходи на биполярни транзистори. Така тя е съставена от повторители. Тогава входното съпротивление става много голямо, а изходното – много малко, което позволява с голям ток да се зарежда и разрежда по-малък запомнящ капацитет  $C$ . Основна трудност отново е реализирането на четири еднакви транзистора, особено за двойките PNP и NPN.



## Аналогови ключове

С използване на MOS транзистор се реализира Р-ключ (pass-transistor gate, P-gate). Работните режими на ключа, както и на останалите аналогови превключватели, са най-често два. В единия транзисторът се отпушва за много кратко време, през което кондензаторът трябва да се зареди до моментната стойност на входното напрежение, а след отварянето на ключа да я помни дълго време. Във втория възможен режим транзисторът е отпушен дълго време, през което напрежението на кондензатора следи входното.

## Аналогови ключове



## Аналогови ключове

$$r_C = \frac{1}{k(u_{GS} - V_T)}$$

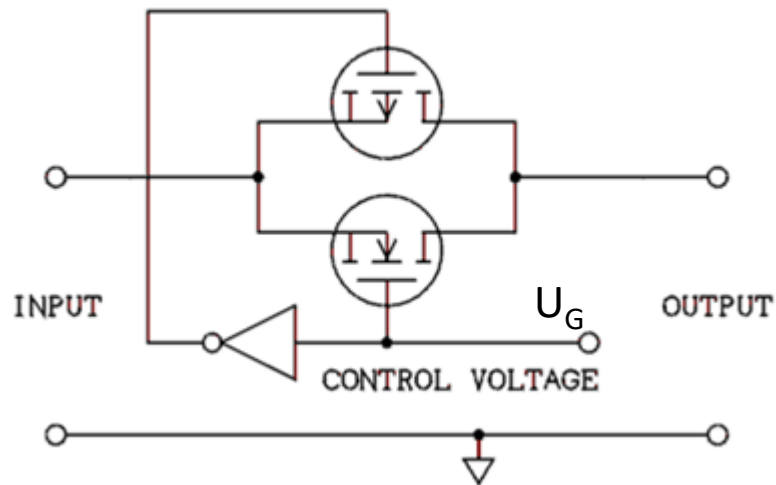
За бързо разреждане на капацитета  $C$  е необходимо  $r_C$  да бъде малко.

При избран транзистор това налага увеличаване на амплитудата на  $U_G$ .

Също така от формулата за  $r_C$  се вижда, че върху стойността му влияе изменението на амплитудата на аналоговия сигнал. Това води до нелинейно предаване на напрежението от входа към изхода. Хармониците в изходния сигнал са толкова по-малки, колкото управляващото напрежение  $(u_{GS} - V_T)$  е по-голямо от аналоговото входно напрежение  $u_{IN}$ .

## Аналогови ключове

Аналоговият ключ, който е съставен от два MOS транзистора с противоположна проводимост - **CMOS аналогов ключ**, е известен като Т-ключ (**TG** – transmission gate). Ключът е **двупосочен**. Тъй като двата транзистора изискват противоположни управляващи сигнали за едновременно отпушване и запушване, управляващата схема на ключа съдържа инвертор.



## Аналогови ключове

Основният параметър на аналоговия ключ – съпротивлението  $r_{ON}$ , се определя от съпротивлението на наситения транзистор -  $r_C$ , чиято стойност зависи от напрежението  $u_{GS}$ . Стойността на това напрежение се променя с промяната на входното напрежение  $u_{IN}$  според израза  $u_{GS} = U_G - u_{IN}$ .

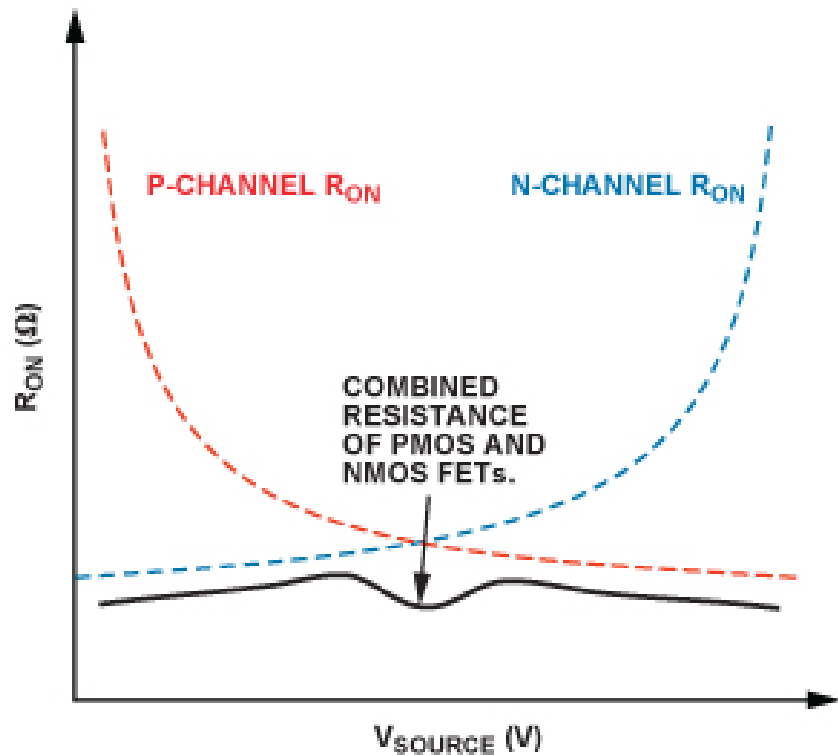
Следователно с увеличаване на входното напрежение  $u_{IN}$  съпротивлението на N-каналния транзистор ще нараства значително вследствие на намаляването на неговото напрежение  $u_{GS}$ . След достигане на стойността  $(U_G - V_T)$  N-каналния транзистор се запущва и остава запущен при продължаващо увеличение на входното напрежение  $u_{IN}$ .

## Аналогови ключове

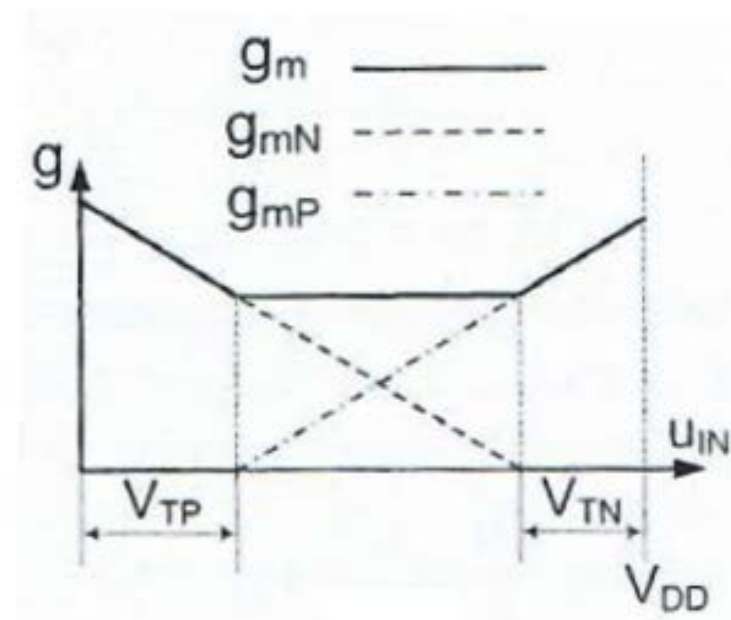
В същото време напрежението  $u_{GS}$  на P-каналния транзистор се увеличава по абсолютна стойност, но е с обратен знак защото неговото управляващо напрежение е равно на 0. Поради тази причина съпротивлението на неговия канал намалява и компенсира с излишък увеличаването на съпротивлението на N-каналния транзистор.

По аналогичен начин протича изменението на съпротивлението на включения ключ когато входното напрежение се увеличава в отрицателна посока. Тогава функциите на двата транзистора са разменени и съпротивлението на N-каналния транзистор компенсира увеличаването на съпротивлението на P-каналния.

## Аналогови ключове



Изменението на съпротивлението на включения ключ от напрежението  $u_{IN}$



Изменението на проводимостта на включения ключ от напрежението  $u_{IN}$

## Аналогови ключове

При определяне стойностите на напреженията се приема, че стойностите на управляващото напрежение  $U_G$  са равни на  $V_{DD}$  и 0.

Проводимостта на отпушения ключ е равна на сумата от проводимостите на двата транзистора  $g_{mN}$  и  $g_{mP}$ , т.е.:

$$g_m = g_{mN} + g_{mP} = k_N(V_{DD} - u_{IN} - V_{TN}) + k_P(u_{IN} - V_{TP}). \text{ Ако } k_N = k_P, \text{ следва:}$$

$$g_m = k_N(V_{DD} - V_{TN} - V_{TP}).$$

Следователно проводимостта на отпушения ключ не зависи от комутирания аналогов сигнал  $u_{IN}$ . Това е в хоризонталния участък от зависимостта на проводимостта на ключа от входното напрежение.



## Аналогови ключове

За да се разшири хоризонталния участък е необходимо увеличаване на захранващото напрежение и намаляване на праговите напрежения на транзисторите. Изискванията към техните размери се определят с:

$$k_N = \mu_N \frac{\varepsilon W_N}{d L}; \quad k_P = \mu_P \frac{\varepsilon W_P}{d L}$$

Следва

$$\mu_N \frac{\varepsilon W_N}{d L} = \mu_P \frac{\varepsilon W_P}{d L}$$

Ако  $\varepsilon$ ,  $d$  и  $L$  са еднакви за двата транзистора, тогава:

## Аналогови ключове

$$\frac{W_N}{W_P} = \frac{\mu_P}{\mu_N}$$

Тъй като подвижността на токоносителите е различна ( $\mu_N > \mu_P$ ), за да бъде проводимостта постоянна и независима от входното аналогово напрежение е необходимо двата транзистора да бъдат с различни размери –  $W_P > W_N$ .

Предимства на MOS транзисторите са липсата на отместване (offset) между сорса и дрейна като и много голямото входно съпротивление, които ги правят подходящи за приложение като аналогови ключове.

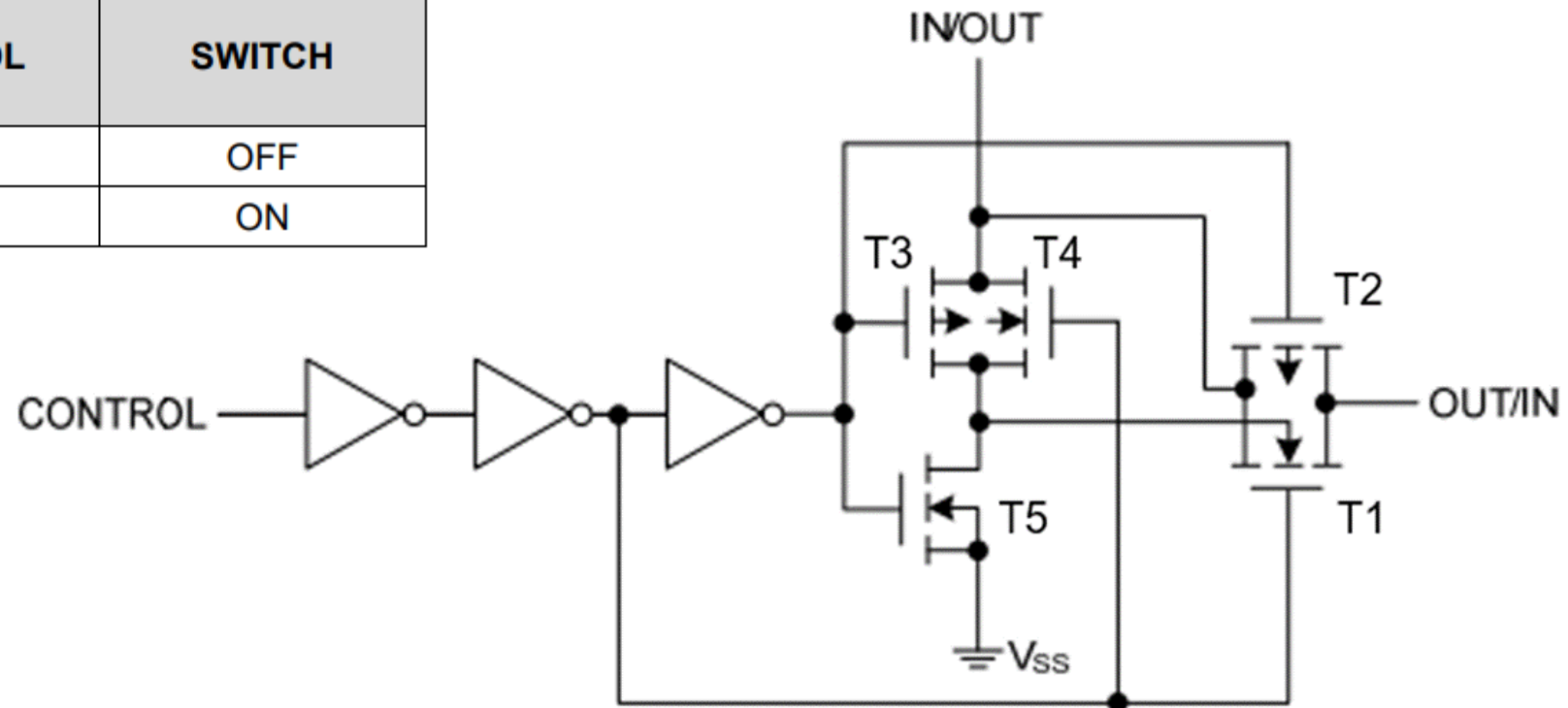
## Аналогови ключове

Интегралната схема 4046 (SN74НС4066) съдържа 4 аналогови ключа от типа TG, всеки с независимо управление. Стандартната схема от серия 4000 има стойност  $r_{ON}=80\Omega$  при захранващо напрежение  $V_{DD}=15V$ . SN74НС4066 може да работи в широк диапазон на  $V_{DD}=2\div 6V$  при стойност на  $r_{ON}=50\Omega$  с много ниска консумация от  $20\mu A$  максимално.

Особеност на схемата е управлението на подложката на N-каналния транзистор T1 на аналоговия ключ. Докато подложките на останалите N-канални транзистори са свързани към отрицателния полюс на захранването, а на P-каналните транзистори към положителния полюс, то подложката на споменатия транзистор е свързана към дрейна на T5.

# Аналогови ключове

| INPUT CONTROL (C) | SWITCH |
|-------------------|--------|
| L                 | OFF    |
| H                 | ON     |



4066

## Аналогови ключове

Когато управляващото напрежение е във високо ниво ключовете T1, T2 и T3, T4 са включени, а транзисторът T5 е запущен. Подложката на T1 е свързана към входното аналогово напрежение през ключа T3, T4. В резултат на това напрежението сорс-подложка на T1 практически е равно на нула. Така за този транзистор се получава минимално по стойност прагово напрежение и минимално съпротивление  $r_{ON}$ .

Когато управляващото напрежение премине в ниско ниво ключовете T1, T2 и T3, T4 са изключени, а транзисторът T5 е отпушен. Тогава подложката на T1 се свързва към отрицателния полюс на захранването и се намалява до минимум капацитивното прехвърляне на сигнал.

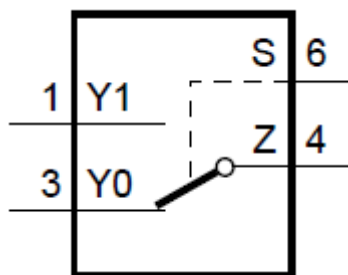
## Аналогови ключове

С използване на CMOS аналогови ключове се произвеждат интегрални схеми на аналогови мултиплексори/демултиплексори. Чрез цифров управляващ сигнал се избира извод на мултиплексора, който да достави своя входен сигнал към общия извод, в случая изпълняващ функцията на изход. В режим на демултиплексор сигналът от общия извод, изпълняващ функцията на вход, се доставя до избрания извод, действащ като изход.

Съществуват схеми с 2, 4, 8 и повече канали. Същите схеми могат да се използват и при работа с цифрови сигнали. За предотвратяване застъпването между каналите при превключване, първо се изключва включения канал и след това се включва новия.

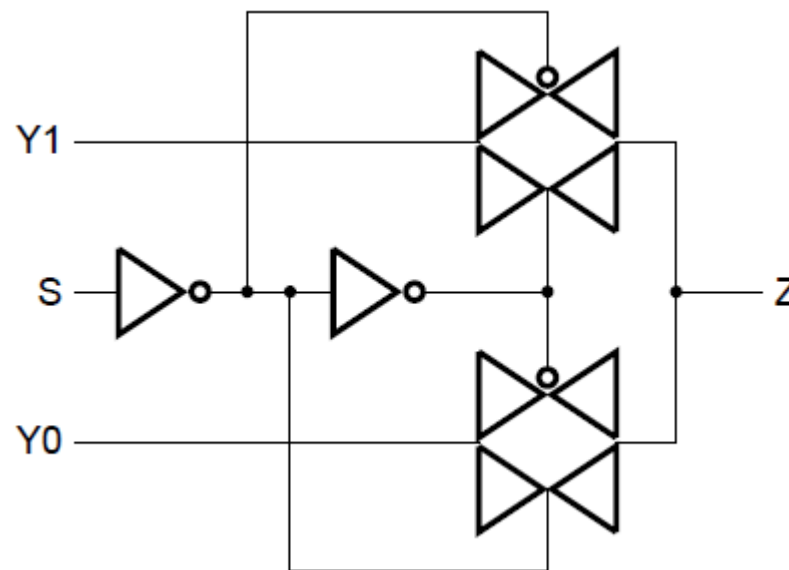
## Аналогови ключове

**74LVC1G3157** – 2-канален аналогов мултиплексор/демултиплексор



Логически символ

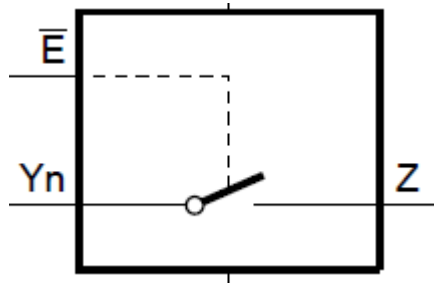
- Типични стойности на  $r_{ON}$ :
  - 7,5  $\Omega$  при  $V_{CC} = 2,7\text{ V}$
  - 6,5  $\Omega$  при  $V_{CC} = 3,3\text{ V}$
  - 6,0  $\Omega$  при  $V_{CC} = 5\text{ V}$



Логическа схема

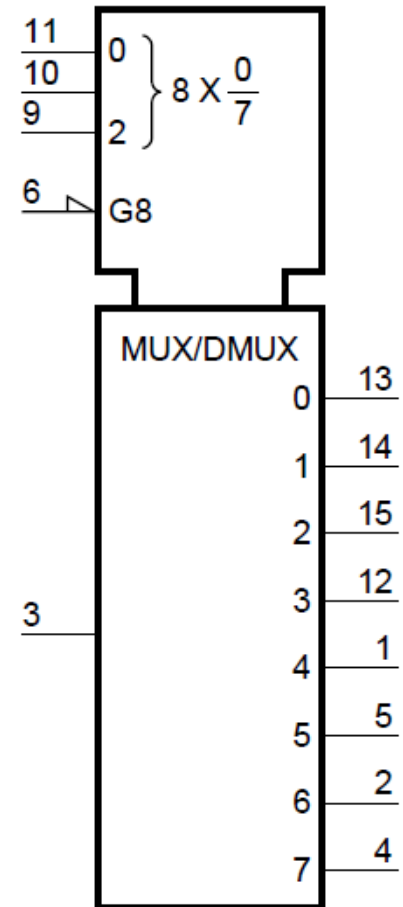
## Аналогови ключове

### 74HC4851 – 8-канален аналогов мултиплексор/демултиплексор



Функционална схема

- Типични стойности на  $r_{ON}$ :
  - 400  $\Omega$  при  $V_{CC} = 2,0 V$
  - 215  $\Omega$  при  $V_{CC} = 3,0 V$
  - 120  $\Omega$  при  $V_{CC} = 3,3 V$
  - 76  $\Omega$  при  $V_{CC} = 4,5 V$
  - 59  $\Omega$  при  $V_{CC} = 6,0 V$



Логически символ



## Аналогови ключове

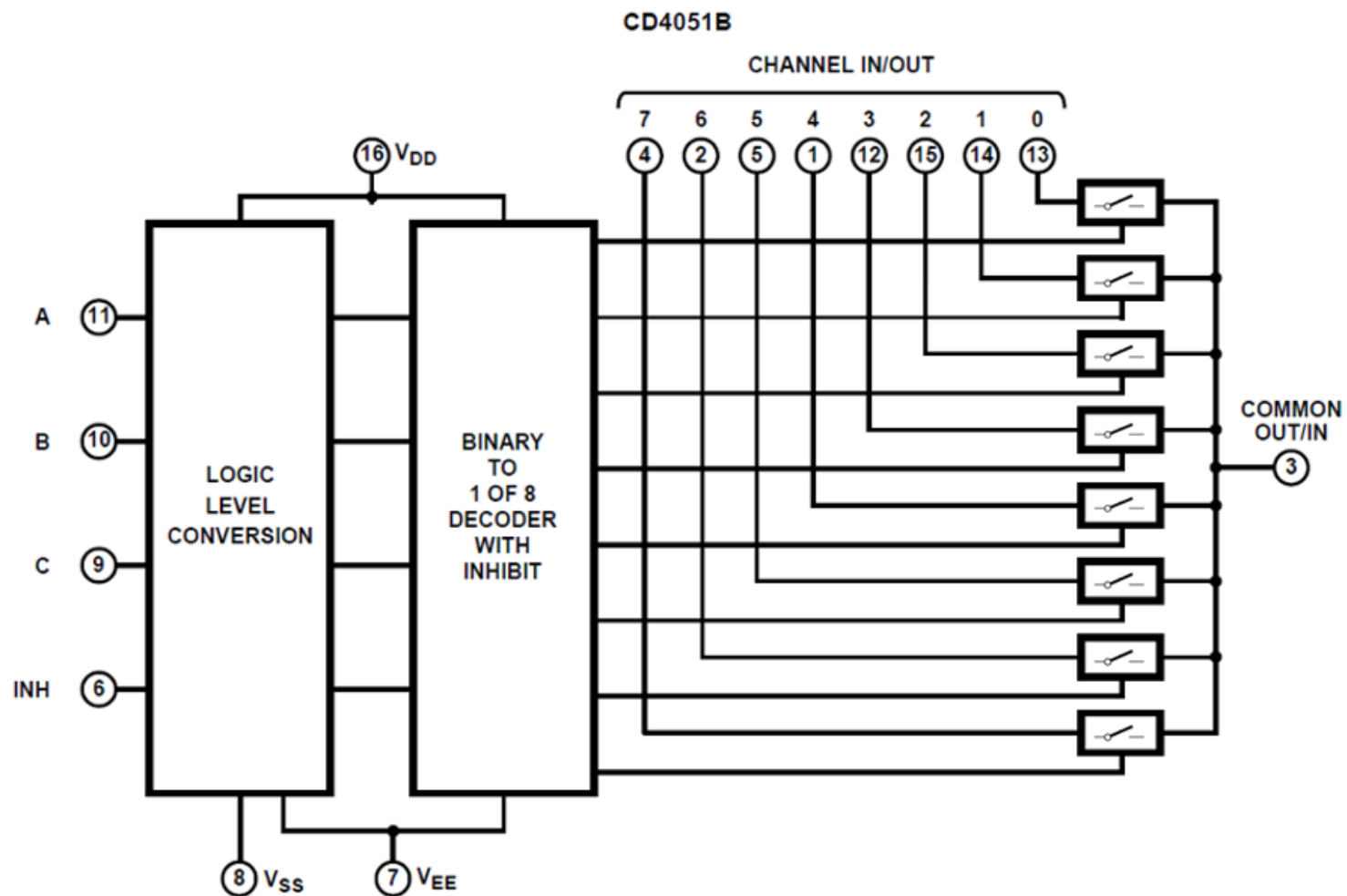
### 74HC4851 – 8-канален аналогов мултиплексор/демултиплексор

| Input     |    |    |    | Channel ON |
|-----------|----|----|----|------------|
| $\bar{E}$ | S2 | S1 | S0 |            |
| L         | L  | L  | L  | Y0 to Z    |
| L         | L  | L  | H  | Y1 to Z    |
| L         | L  | H  | L  | Y2 to Z    |
| L         | L  | H  | H  | Y3 to Z    |
| L         | H  | L  | L  | Y4 to Z    |
| L         | H  | L  | H  | Y5 to Z    |
| L         | H  | H  | L  | Y6 to Z    |
| L         | H  | H  | H  | Y7 to Z    |
| H         | X  | X  | X  | -          |

Функционална таблица

## Аналогови ключове

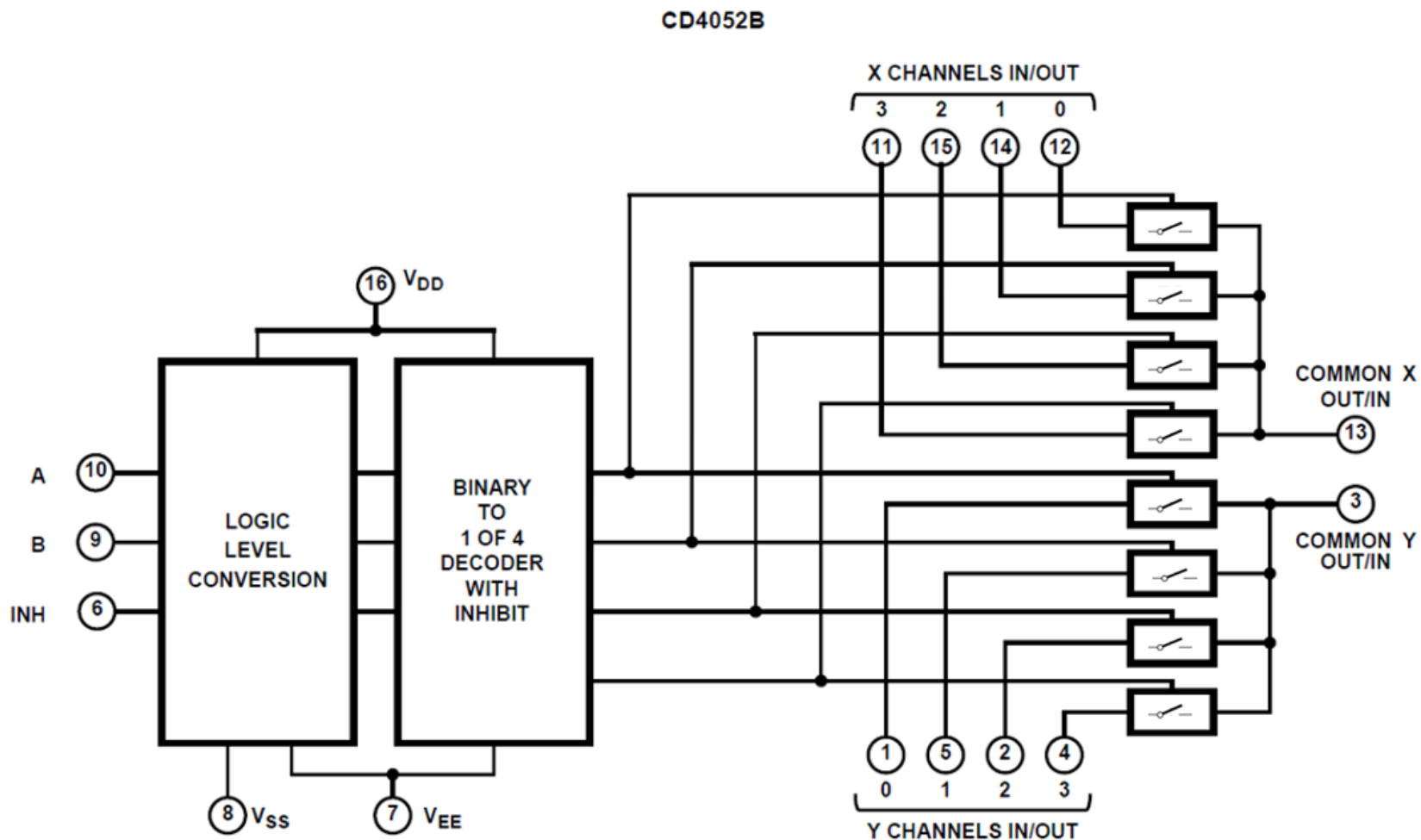
CD4051 – 8-канален аналогов мултиплексор/демултиплексор



$$r_{ON} = 5\Omega \text{ при } V_{DD} - V_{EE} = 15V$$

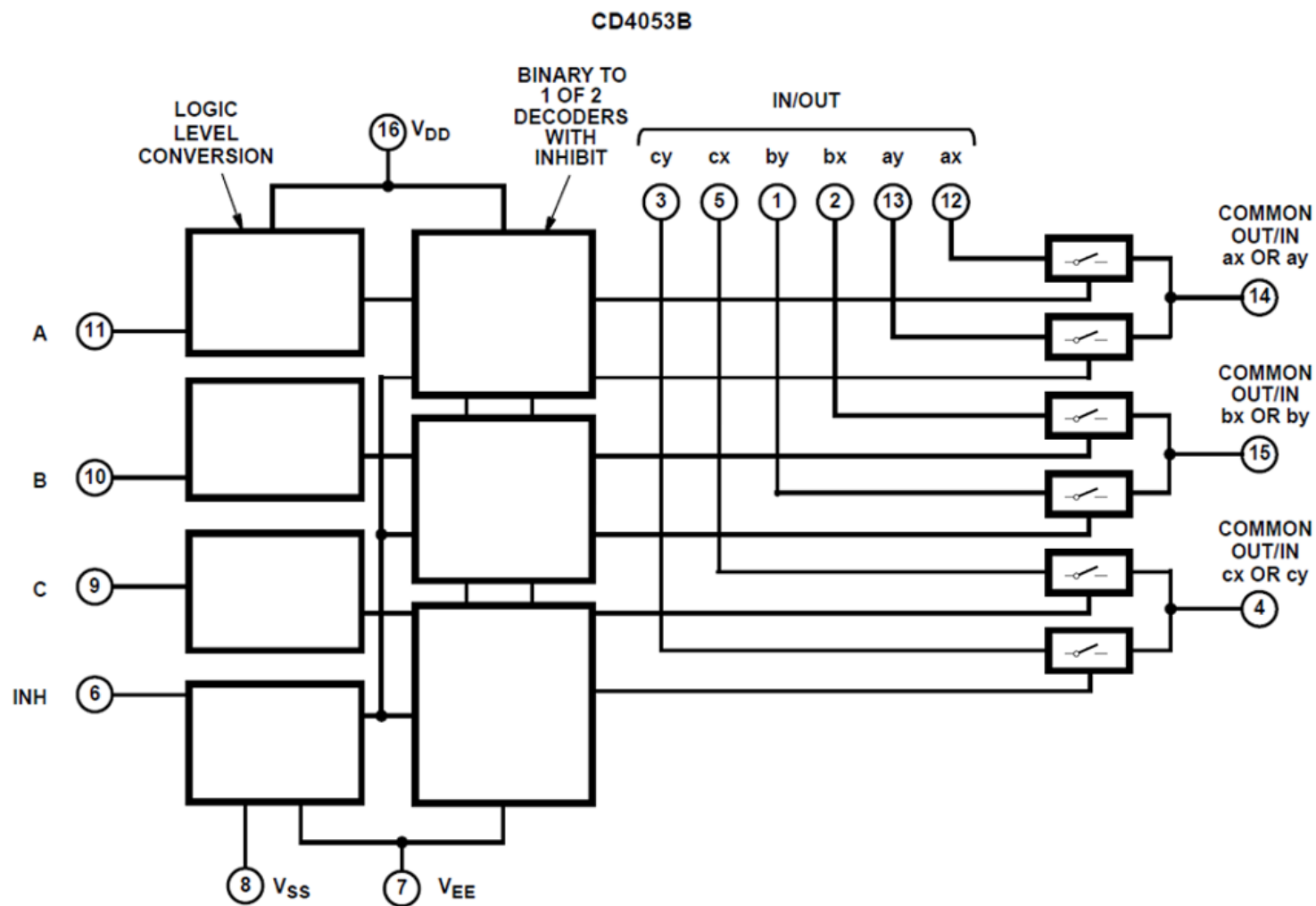
## Аналогови ключове

**CD4052** – 2x4-канален (диференциален 4-канален) аналогов мултиплексор/демултиплексор

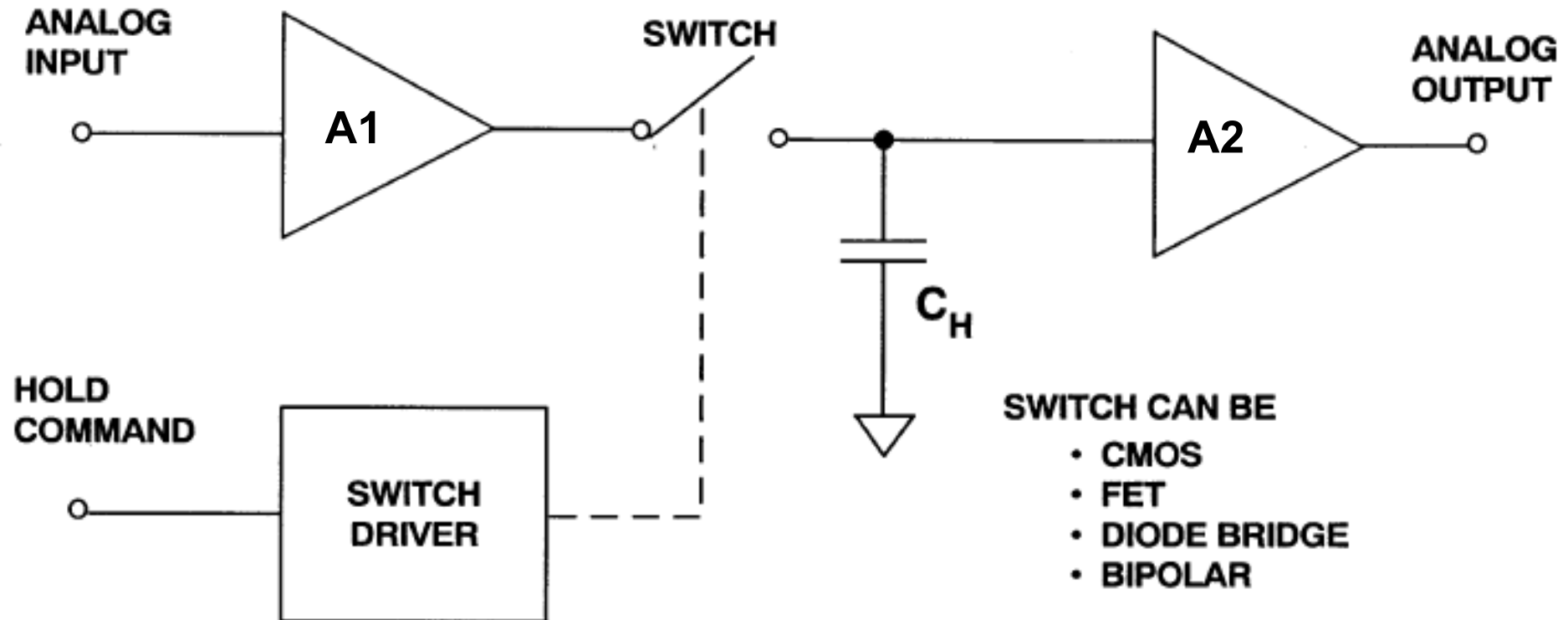


## Аналогови ключове

**CD4053** – 3x2-канален аналогов мултиплексор/демултиплексор с отделни управляващи входове



## Устройство следене-запомняне - S/H



Блокова схема на устройство S/H

## Устройство следене-запомняне - S/H

Елементът за съхранение на енергия, сърцето на S/H, е кондензатор. Входният усилвател буферира входа чрез своя висок импеданс към източника на сигнал и осигурява усилване на тока за зареждане на запомнящия кондензатор. В режим следене напрежението на запомнящия кондензатор следва (или проследява) входния сигнал (с известно ограничаване на закъснението и честотната лента). В режим на запомняне ключът се отваря и кондензаторът запазва наличното напрежение преди изключването от входния буфер. Изходният буфер осигурява висок импеданс на запомнящия кондензатор, за да предотврати преждевременното разреждане на запомненото напрежение.

## Устройство следене-запомняне - S/H

Грешката на схемата в режим на запомняне се определя от разреждането на кондензатора в следствие на утечните токове, които включват тока на запушения ключ, входният ток на поляризация на операционния усилвател A2 и тока на утечка на самия кондензатор.

Времето за установяване е времето, необходимо кондензаторът да се зареди до стойността на входното напрежение. Основните определящи фактори за това време са: времеконстантата, образувана от съпротивлението  $r_{ON}$  на ключа и кондензатора; максималният изходен ток на операционния усилвател A1; скоростта за нарастване на изходното напрежение на операционния усилвател A2.

## Устройство следене-запомняне - S/H

