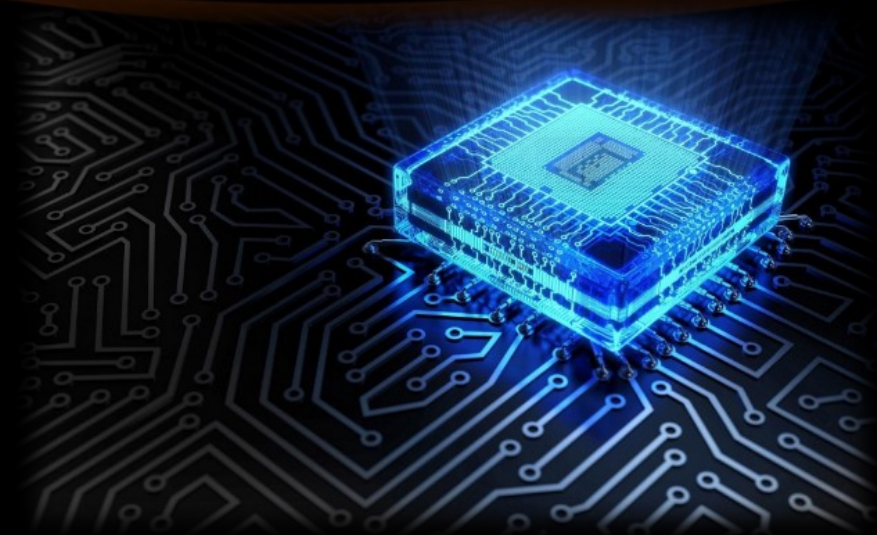
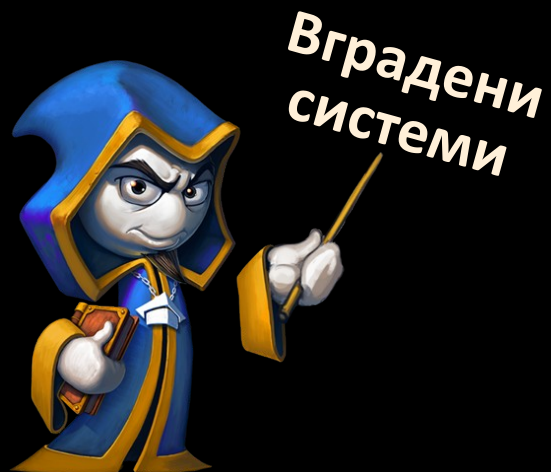


# Полупроводникови елементи. Транзистори



Инж. Венцеслав Кочанов

Наименованието „транзистор“ е въведено от Джон Пиърс, който е съкратил думите *транс*ферен *ре*зистор. Относно изобретяването на първия транзистор нещата са малко спорни и са свързани с определението за транзистор – полупроводников триод с три извода, при който входния сигнал управлява тока в електрическата верига. Транзисторът е активен електронен елемент, осъществяващ усилване, превключване и преобразуване на електрически сигнали. Тъй като през годините различни учени по един или друг начин са се доближавали в експериментите си до устройство с подобни характеристики, не може категорично да се приеме кой е измислил съвременния транзистор.

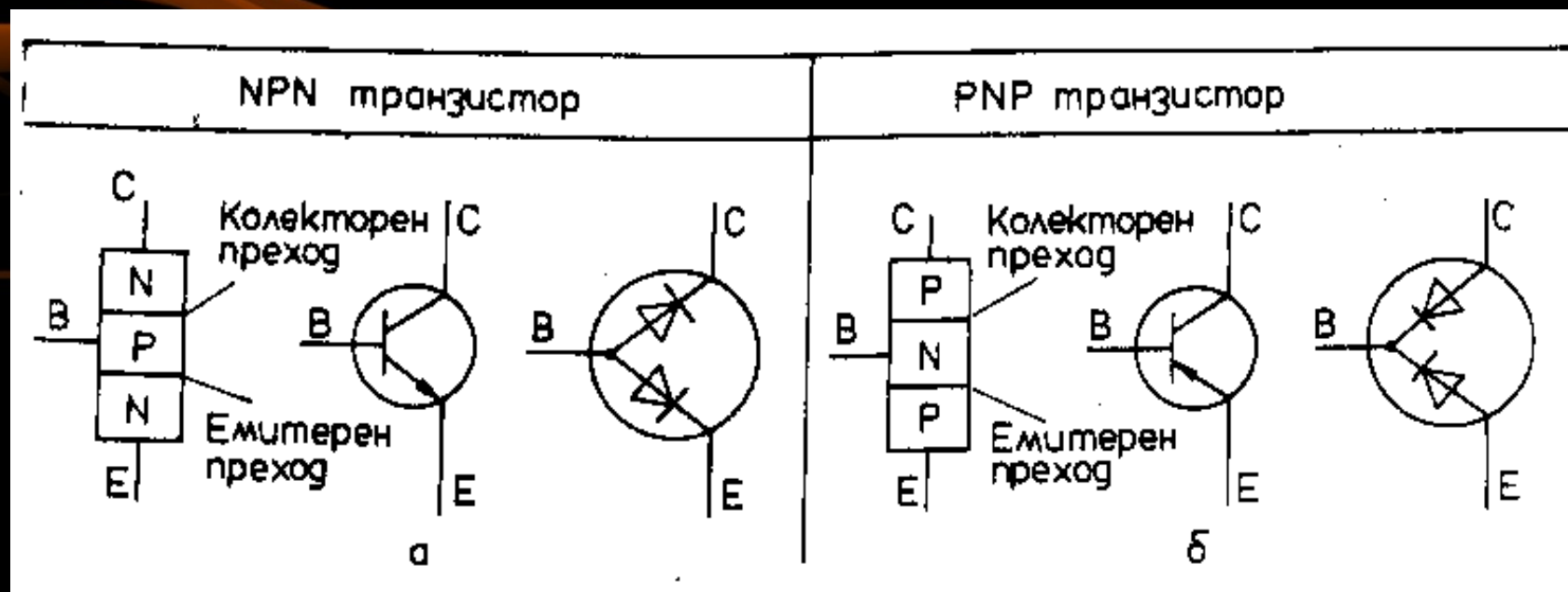
Транзисторите се делят на две основно групи:  
Биполярни и полеви

Транзисторът се нарича биполярен, тъй като потокът от електрически ток включва участието на носители на електричество от два знака - електрони и дупки. Но в различните видове транзистори ролята на електроните и дупките е различна. N-p-n транзисторите са по-често срещани в сравнение с p-n-p транзисторите, тъй като обикновено имат по-добри параметри. Това може да се обясни с факта, че основната роля в електрическите процеси в транзисторите тип n-p-n играят електроните, а в транзисторите тип p-n-p - дупките. Електроните имат подвижност два до три пъти по-голяма от дупките.

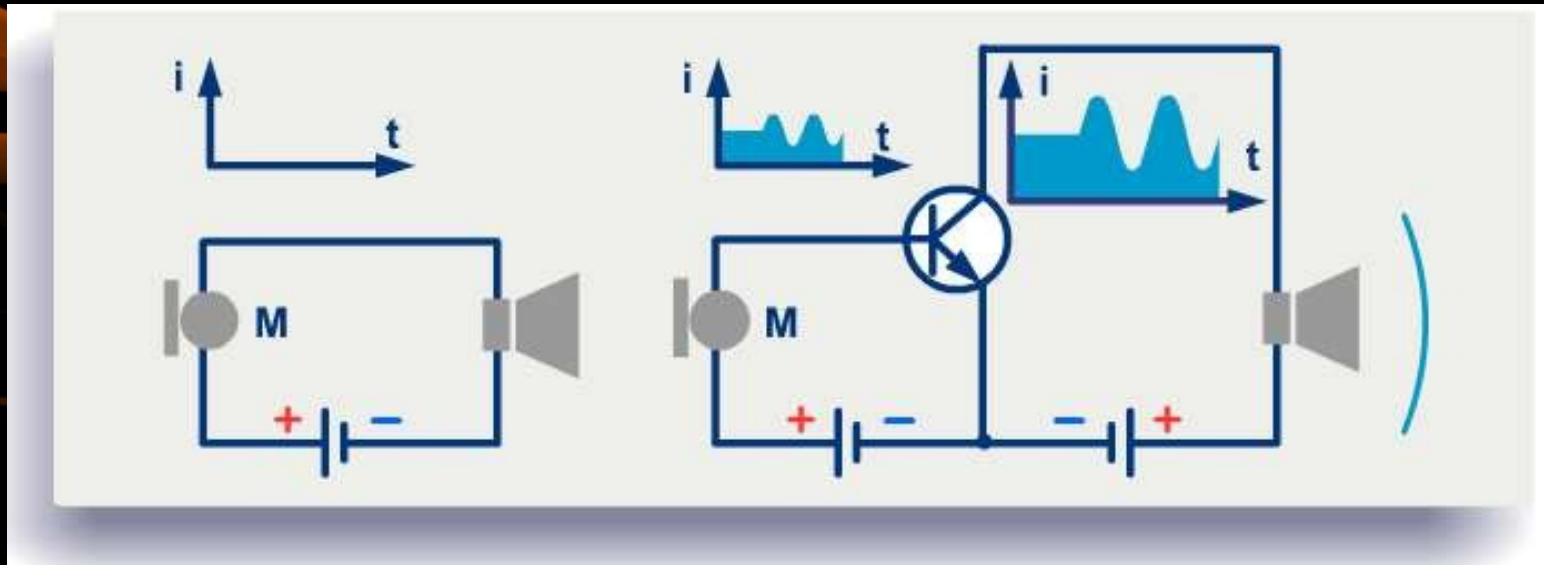


# Биполярен транзистор

Биполярният транзистор представлява полупроводников монокристал, в който са създадени два електронно-дупчести прехода, обърнати един срещу друг. Средната област е обща за двата прехода (фиг. 1) и се нарича база (В). Нейната проводимост е противоположна. В зависимост от редуването на областите имаме PNP и NPN транзистори. Разликата е само в посоката на захранването. Базата е много по-тънка от другите области.



Фиг. 1



Транзисторът е активен полупроводников елемент. Той позволява с много малък входен сигнал да се управлява значително по-голям по амплитуда и мощност изходен сигнал.

Биполярният транзистор е полупроводников елемент, предназначен за усилване, управление и генериране на електрически сигнали.



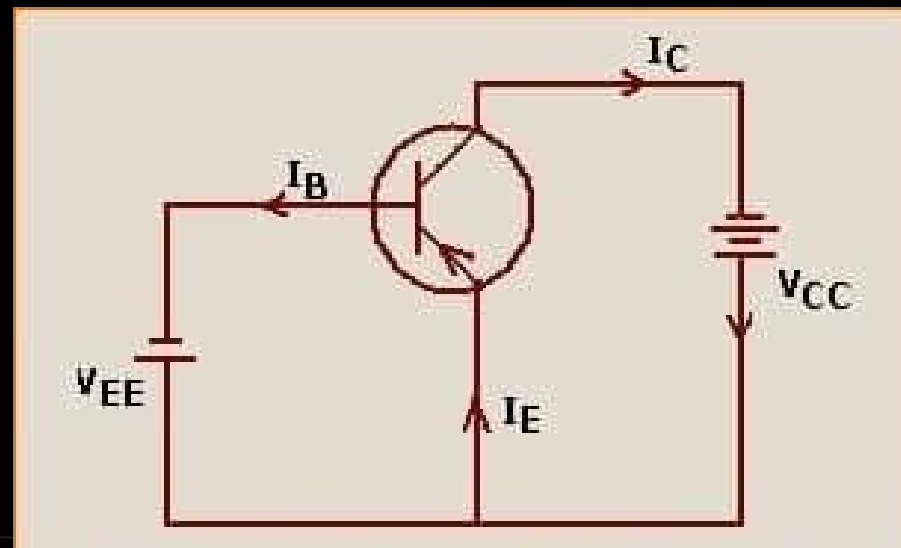


Трите зони се наричат съответно емитер, колектор и база при биполярен транзистор. Първоначално названието транзистор се е използвало за резистор, управляем по напрежение. Всъщност транзисторът може да бъде представен като съпротивление, което може да се регулира от напрежение на един от електродите. Транзисторът е активен полупроводников елемент, намиращ приложение в практически всички електронни устройства. Повечето транзистори се използват като съставна част от интегралните схеми и може да се достигне до милиони транзистори интегрирани в един полупроводников чип. Годишно се произвеждат милиарди самостоятелни транзистори, а така също и още толкова чипове включващи освен транзистори, резистори, кондензатори и др.



## Различаваме три основни схеми за свързване на транзистора :

*Общ емитер* е най-често използваната схема на свързване на биполярните транзистори като усилвателни елементи. При нея общ за входа и изхода електрод е емитерът: входният сигнал се подава между базата и емитера, а изходния се получава между колектора и емитера. Тази схема усилва и по напрежение и по ток и се използва в практиката най-често



## Схема на свързване с обща база

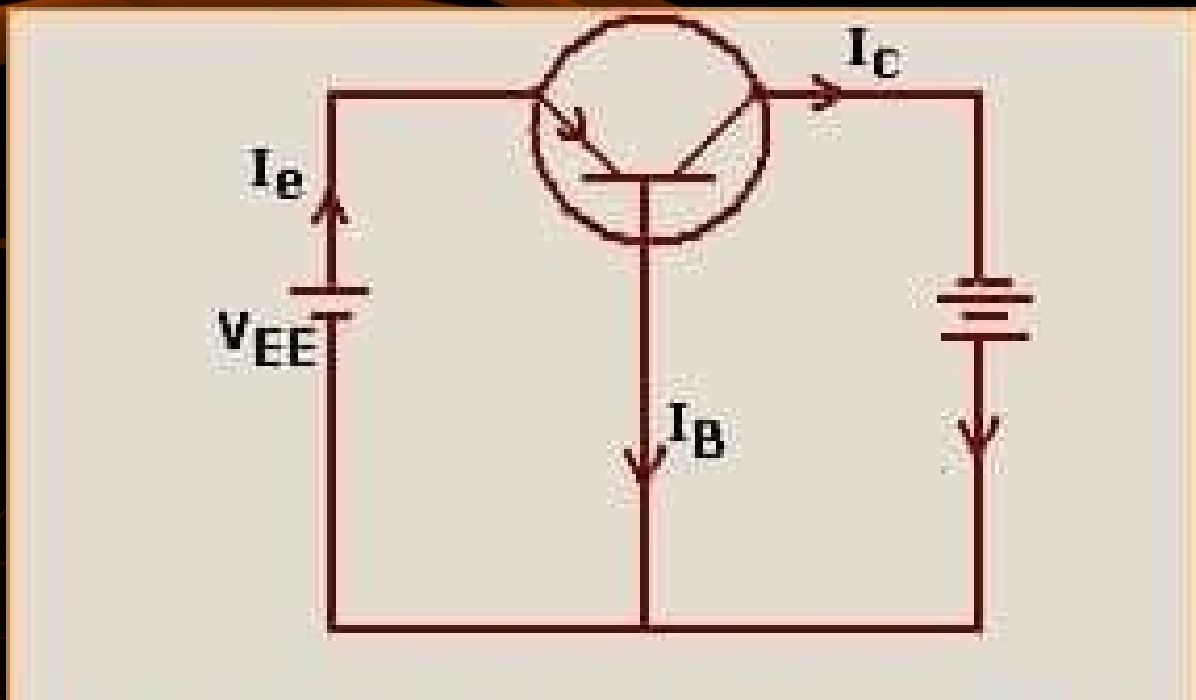
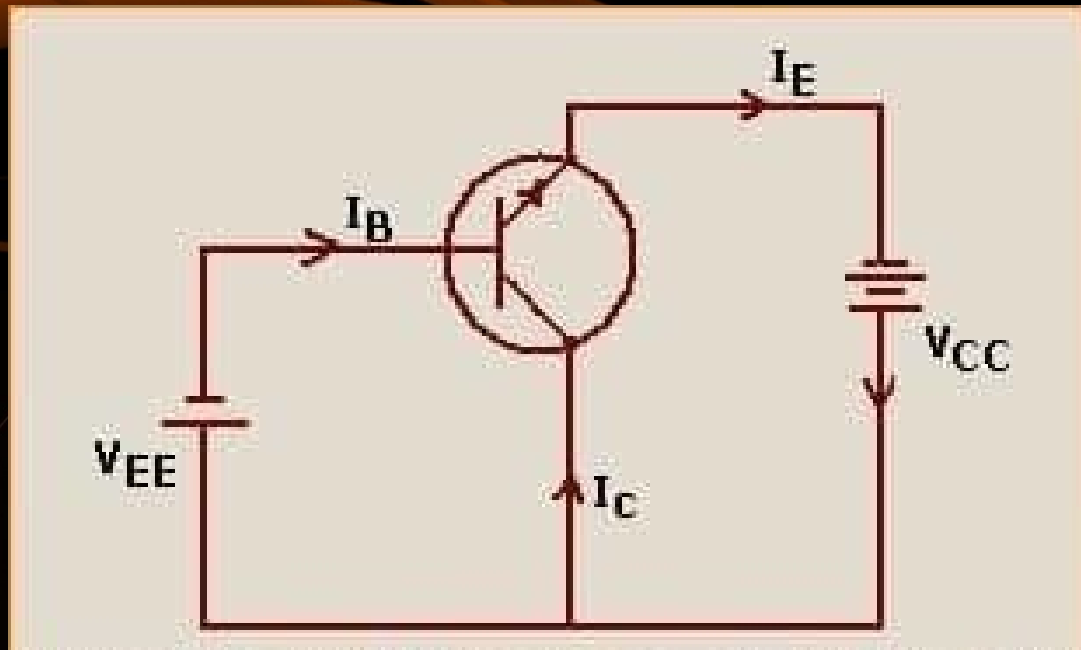


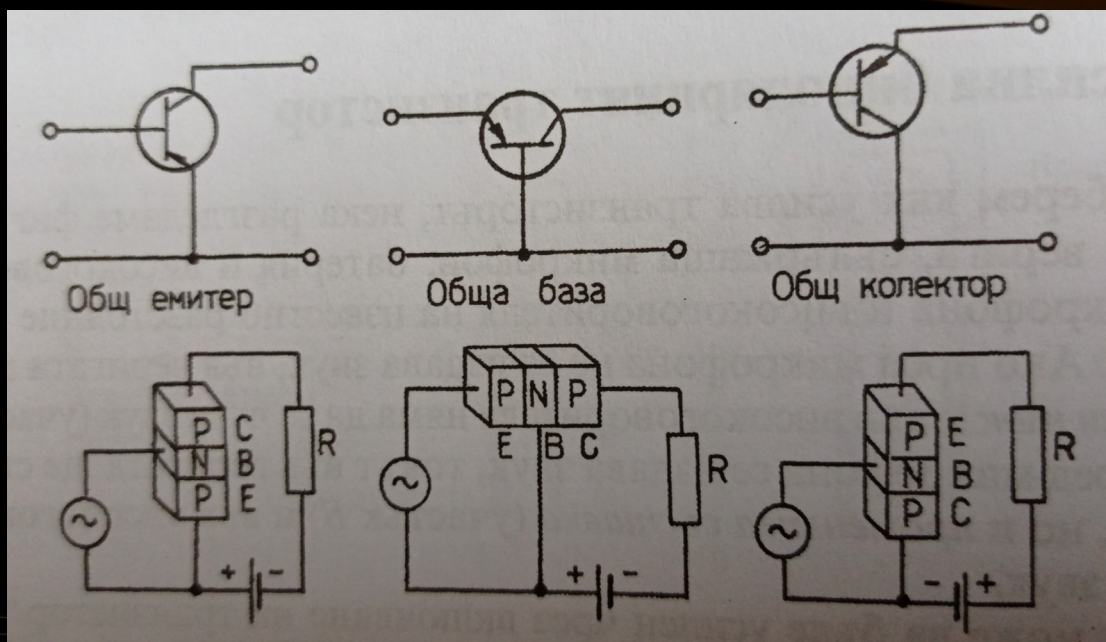
Схема обща база се използва, когато е необходимо малко входно съпротивление, голямо изходно съпротивление и голям коефициент на усилване по напрежение ( $K_u$ ). При нея входния сигнал действа между емитера и базата. Тази схема усилва по напрежение. Нейното входно съпротивление е малко, а изходното е голямо.

## Схема на свързване с общ колектор



Общ колектор – осъществява усилване по ток;

Схема „Общ колектор“ (известна още като „емитерен повторител“) се използва, когато е необходимо голямо входно съпротивление, малко изходно съпротивление или голям коефициент на усилване по ток. Тази схема има голямо усилване по ток, съответно по мощност, но усилването ѝ по напрежение е близко до единица, но по-малко от 1. Тази схема се използва най-често за буферно стъпало.

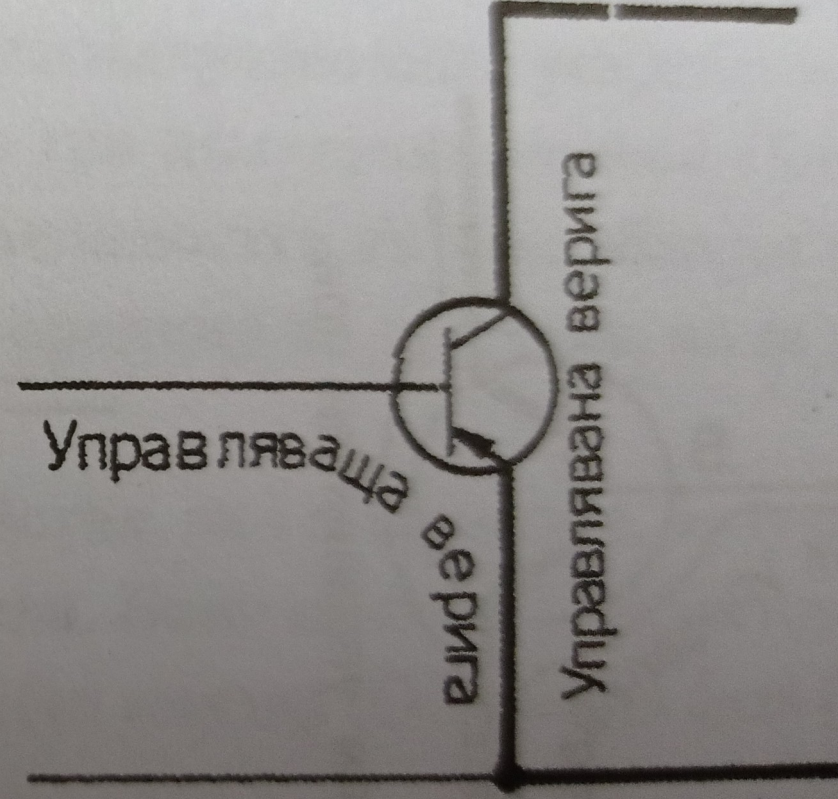
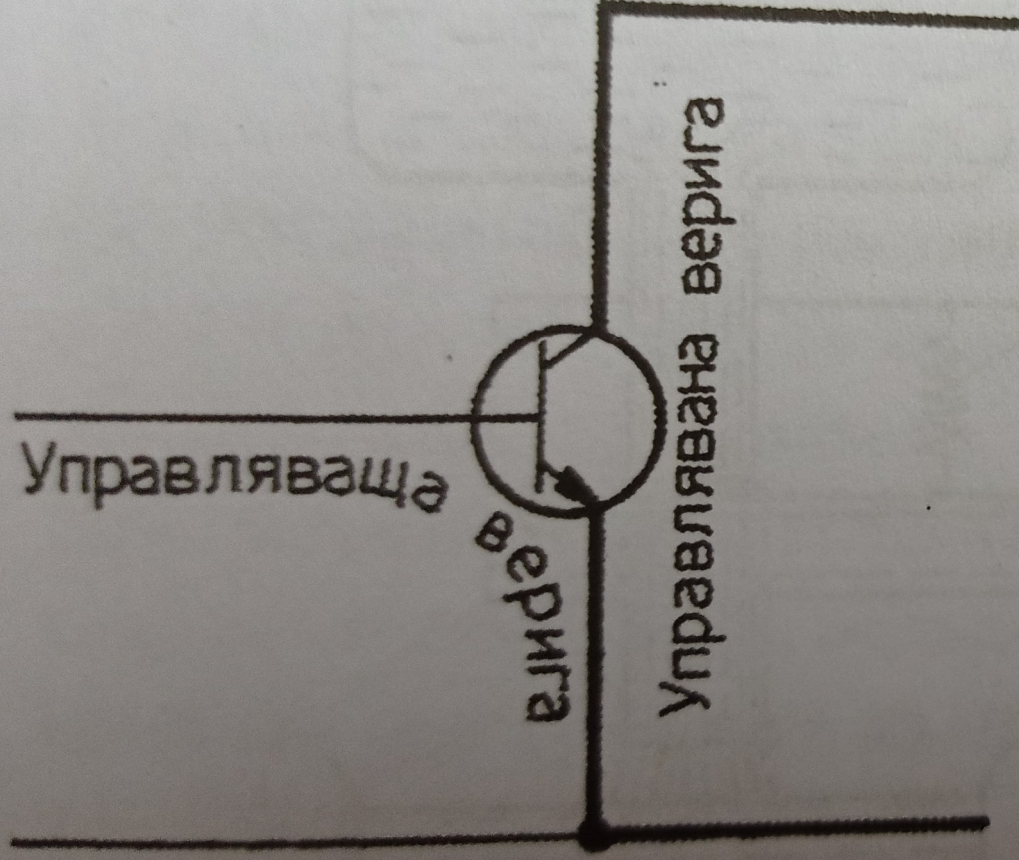




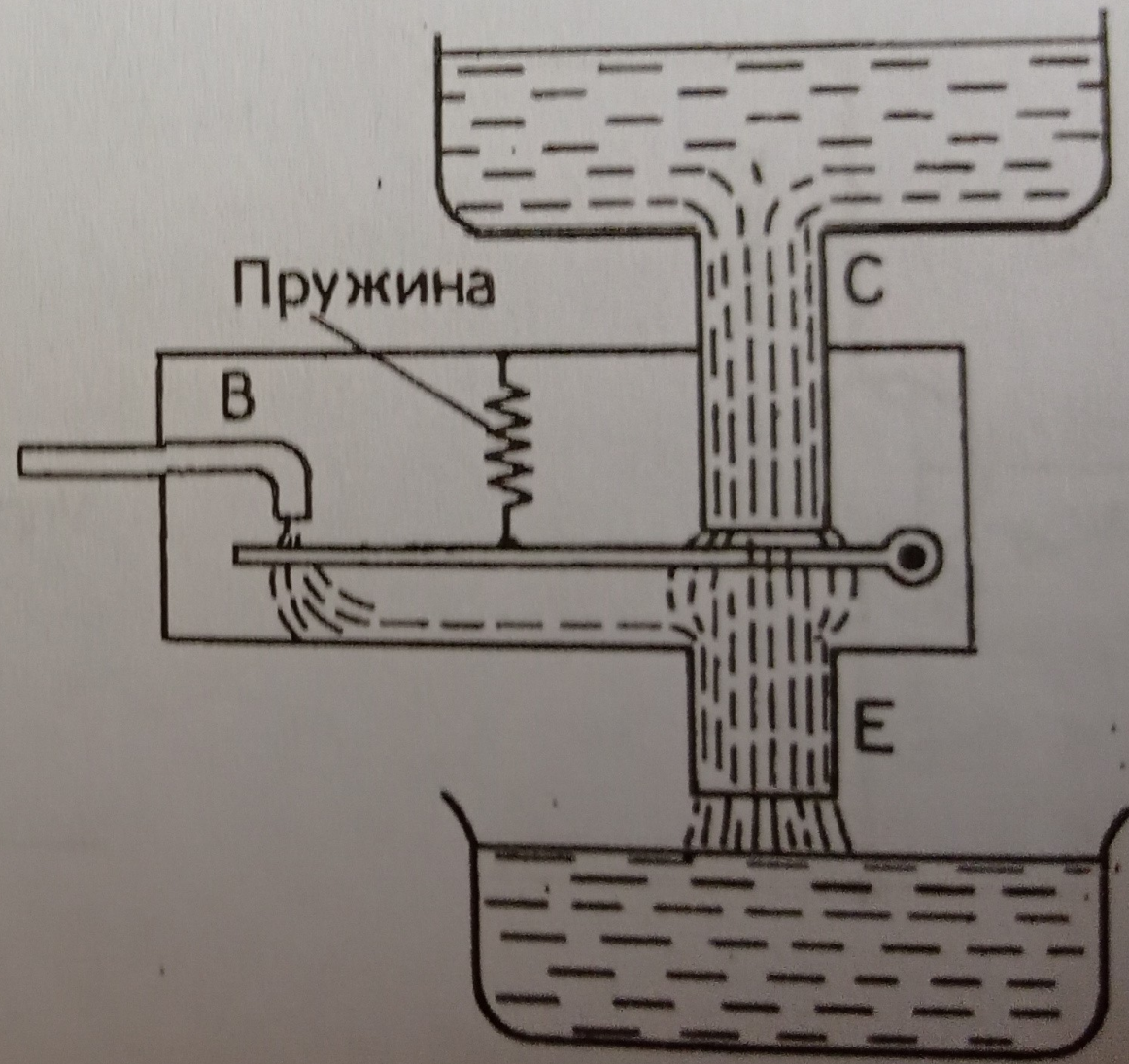
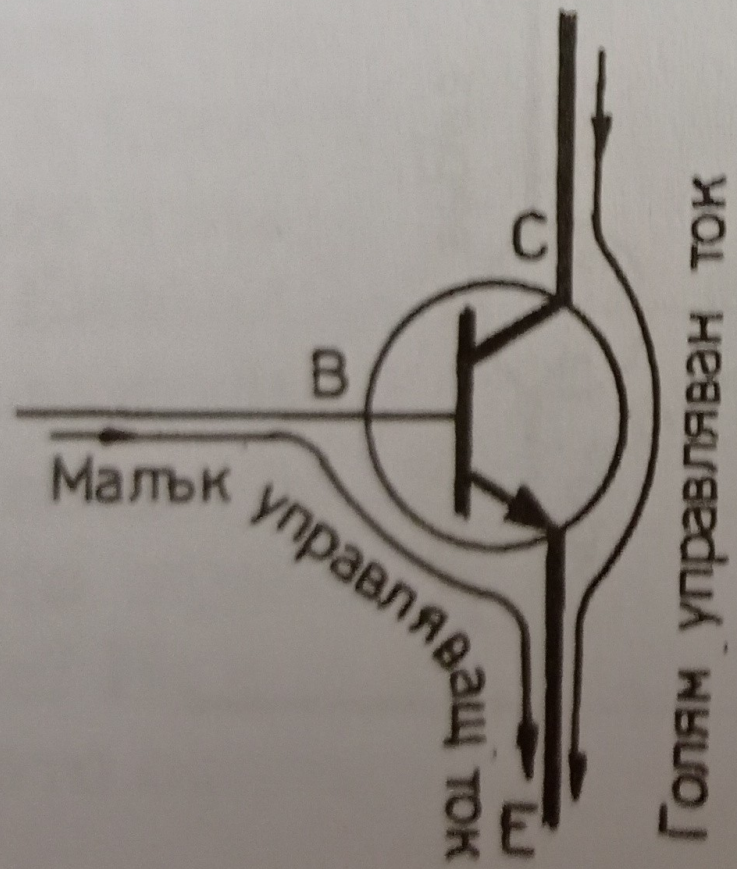
Важно е да се каже, че независимо от схемата на свързване ( ОЕ, ОБ, ОК ) управляващият преход в транзистора е емитерният, а управляваната верига, чието съпротивление се изменя, емитер – колектор.

Друга важна особеност на транзистора е, че базовият ток е многократно по-малък от емитерния и колекторния (последните два са практически еднакви).

Оттук можем да направим извода че: малкият базов ток управлява много по – големият колекторен ток.







Според типа на използвания полупроводник транзисторите се делят на силициеви, германиеви, галиеви, арсенид-галиеви, полупроводникови полимери и др.

Според мощността транзисторите се делят на:

маломощни транзистори- до 100mW;

средномощни транзистори- от 0.1 до 1W;

мощни транзистори – над 1W.



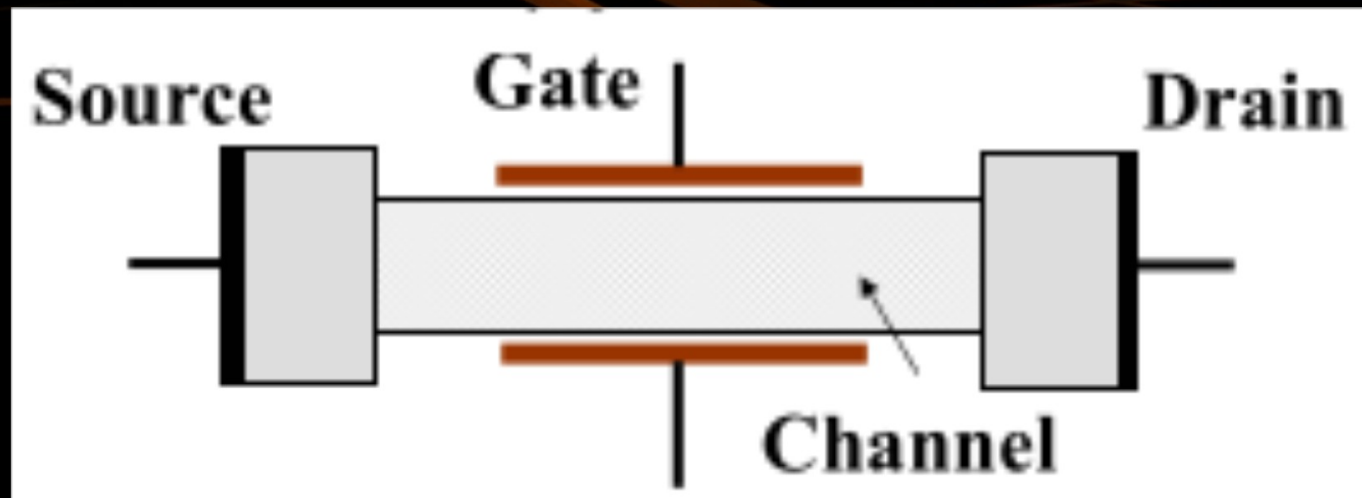
# Полеви транзистори

/Транзистор с полеви ефекти (FET-Field Effect Transistor)/

Полевите транзистори за разлика от биполярните могат да се управляват само с напрежение. Токовете, протичащи във входната им верига са с порядъци по-малки от базовите токове на биполярните транзистори. Това означава, и че те имат в порядъци по-големи входни съпротивления. Ако входното съпротивление на биполярно транзисторно усилвателно стъпало е от порядъка на 1 – 3 килоома, то входното съпротивление на подобно стъпало с полеви транзистор може да достигне до 10 или повече мегаома. Полевите транзистори са само силициеви и са основни в повечето интегрални схеми.

FETs се използват широко в интегралните схеми (IC) поради компактния си размер и значително по-ниската консумация на енергия. Отделно от това, FETs се използват и в комутационни приложения с висока мощност, като резистори с променливо напрежение (VVR) в операционни усилватели (Op-Amps) и контроли на тона и т.н., за работа на миксер на FM и TV приемници и в логически схеми .

# Транзистор с полеви ефект (FET)



Полевият транзистор с PN преход представлява полупроводников кристал с определена проводимост, в който е оформен канал.

# Полевият транзистор има три извода, наречени Source, Drain, и Gate

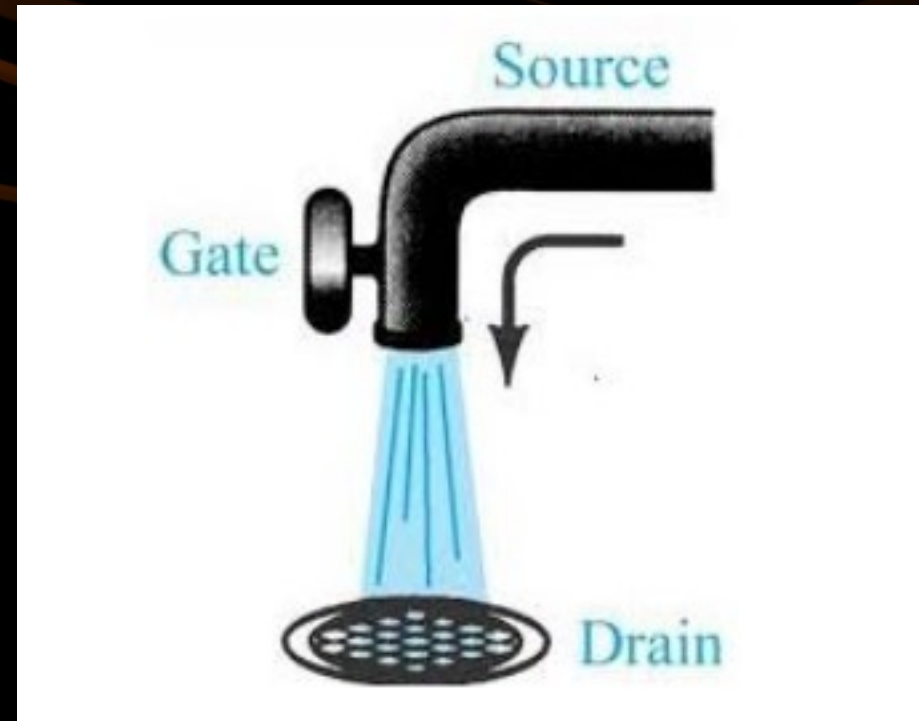
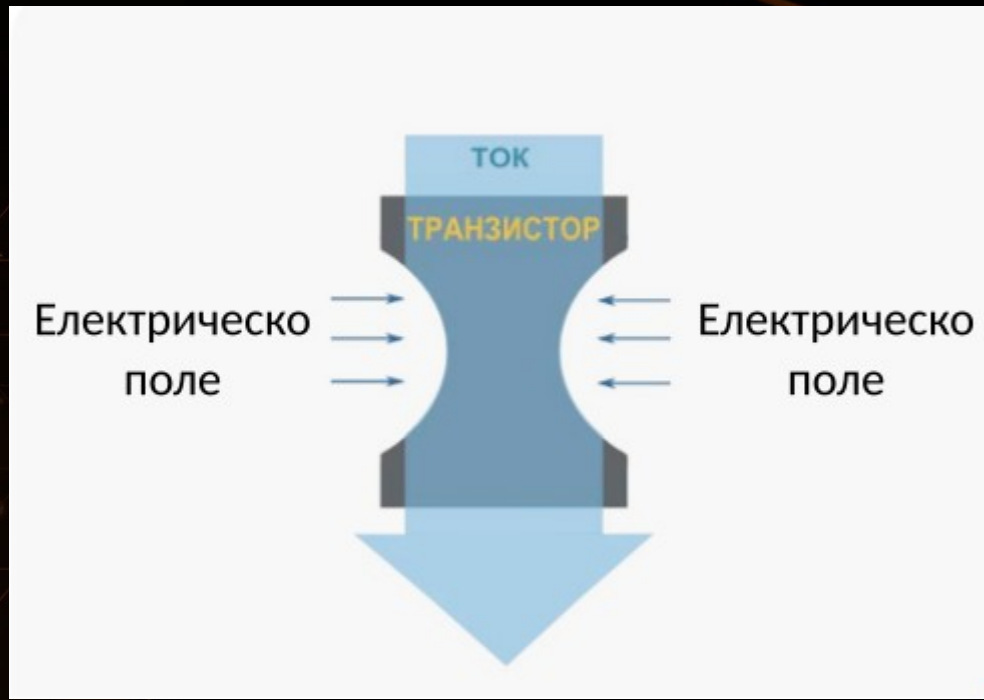
Source /Източник/: Source е изводът, от който носителите на заряд се движат.

Drain /Изтичане/: Drain е изводът, към който носителите на заряд се движат.

Gate /Врата/: изводът , който управлява сечението на канала



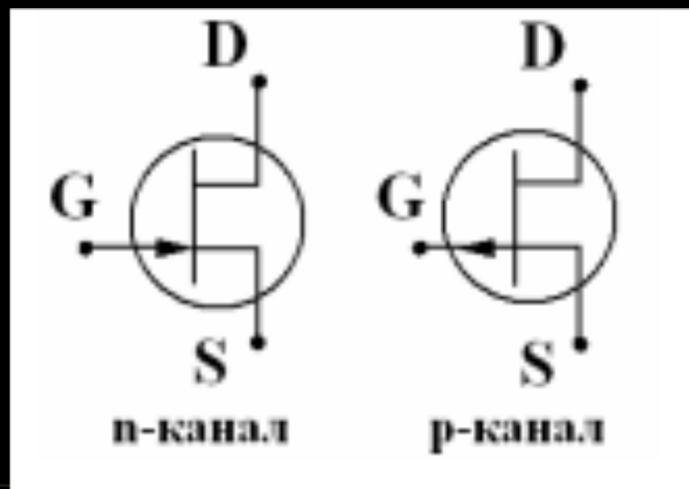
# Водна аналогия, обясняваща принципа действие на полевите транзистори



Основно полевите транзистори се делят на 3 вида:

- Полеви транзистор с р-п преход;
- Полеви транзистор (MOS – метал – окис – полупроводник) с изолиран управляващ електрод със собствен канал;
- Полеви транзистор (MOS) с изолиран управляващ електрод с индуциран канал;

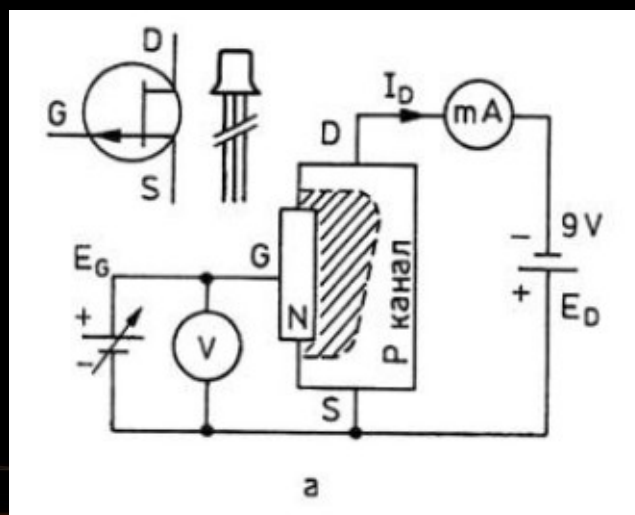
Ще разгледаме начина на действие на всеки един от тях



Полеви транзистори с р-п преход.

Във всички полеви транзистори принципът на действие е с електрическо поле да се управлява проводимостта на т.нар. „канал” където се движат само основни токоносители. Това означава, че управляваните токове не преминават през р-п преходи, а се движат само в еднородна среда. Полевите транзистори с р-п преход могат да бъдат с N – канал или P – канал и работят с обратна поляризация на р-п прехода.

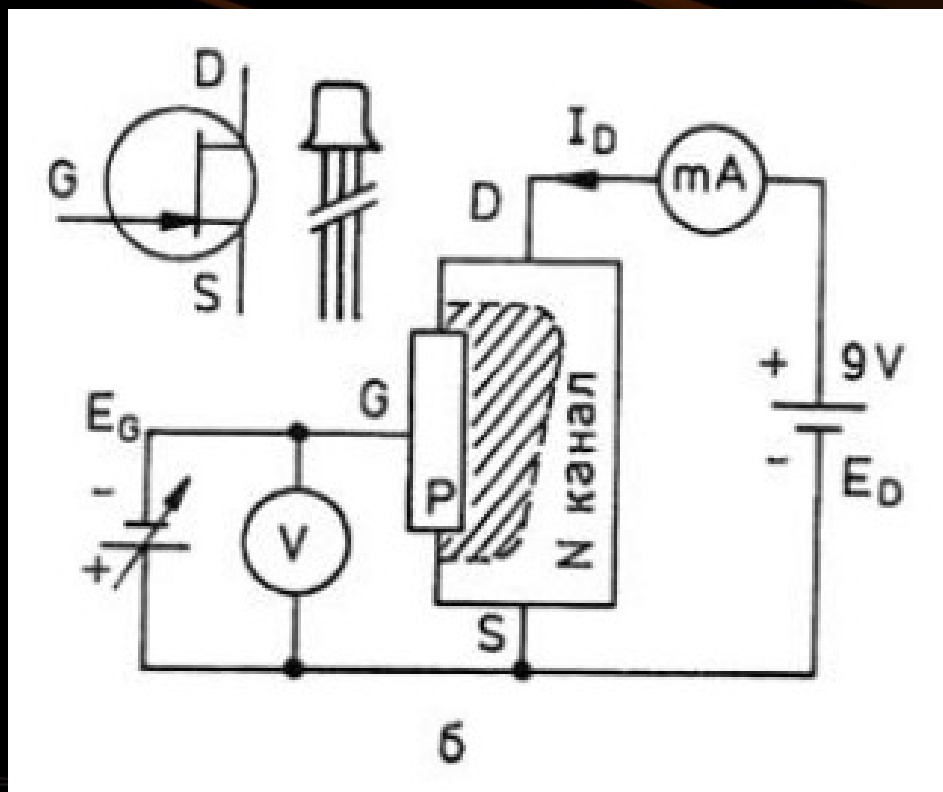
Схема а):



Представен е полеви (или PN) транзистор с P-канал. Изводът му, свързан към + на захранването се нарича „Сорс“. Изводът към минус се нарича „Дрейн“ – там обикновено се включва и товарът. Управляващият електрод се нарича „Гейт“ и му се подава напрежение, положително спрямо сорса. При това положение ток през гейта не протича, но ако си спомните урока за p-n прехода – се увеличава потенциалната бариера, която в тази схема е представена с щриховка. Колкото по-голямо е обратното напрежение на pn прехода на транзистора, толкова по-голяма е тази бариера и толкова повече възпрепятства движението на основните токоносители (в случая дупки) от сорса към дрейна.



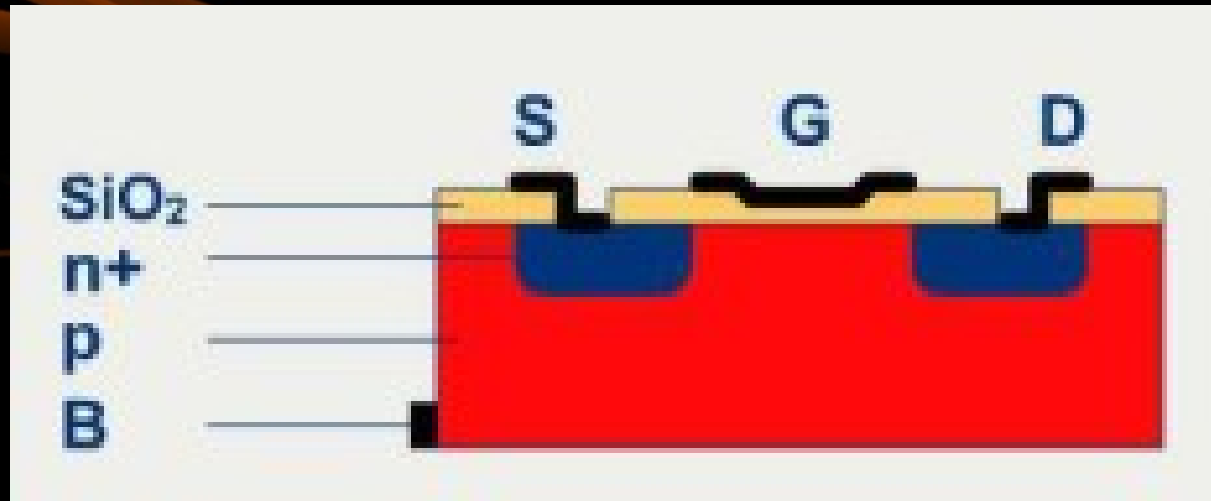
По този начин входното напрежение управлява изходния ток на прибора. На фигура б) имаме схема на полеви транзистор с N-канал. Процесите в него са същите, но се управляват основните токоносители електрони в n-канала и захранващите напрежения са обратни



# MOSFET (метал-оксид-полупроводников полеви транзистор)

Металооксидните полупроводникови полеви транзистори, известни също като MOSFET, имат по-голямо значение и са най-полезният тип сред всички транзистори. MOSFET има четири извода: дрейн, източник, гейт и тяло или подложка. MOSFET също е транзистор с контролирано напрежение, но основната разлика между JFET и MOSFET е, че има електрод от метален оксид, който е електрически изолиран от главния тоководещ канал между дрейна и сорса чрез много тънък слой от изолационен материал, обикновено силициев диоксид, известен като стъкло.

Пистата е направена с помощта на две силно легирани N-тип зони, разпръснати в леко легиран P-тип субстрат. Тези две области от N-тип са известни като Дрейн и Сорс, а областта от тип P се нарича субстрат. Изолацията на управляващия Гейт прави входното съпротивление на MOSFET изключително високо по скалата на мегаомите ( $M\Omega$ ), като по този начин го прави почти безкрайно. По този начин не се позволява ток да тече в Гейта.



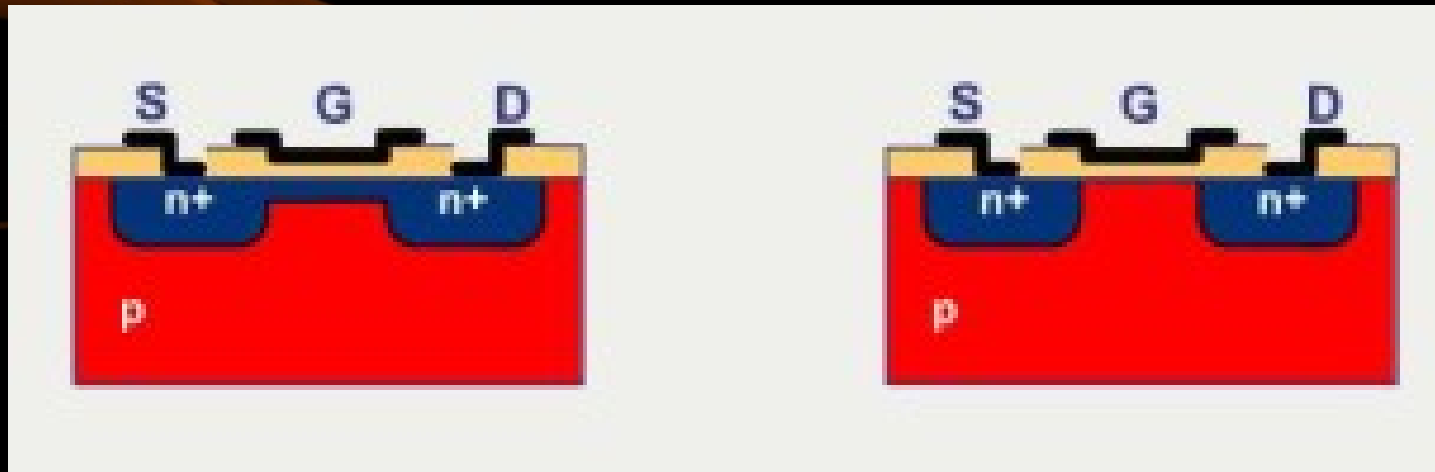
Mos транзистора има четири извода: Source, Drain, Gate и Body /подложка/



## Как работи?

Основният принцип на MOSFET устройството е да може да контролира напрежението и потока на тока между сорса и дрейн ИЗВОДА, като използва напрежението, приложено към гейта. Повърхността на полупроводника в долния оксиден слой, който се намира между източника и изходния извод, може да бъде обърната от р-тип към п-тип чрез прилагане съответно на положително или отрицателно напрежение на гейта. Когато прилагаме отблъскваща сила за положителното напрежение на гейта, тогава дупките, които се намират под оксидния слой, се избутват надолу със субстрата. Областта на изчерпване е заселена от свързаните отрицателни заряди, които са свързани с акцепторните атоми. Когато се достигнат електрони, се развива канал. Положителното напрежение също така привлича електрони от  $n^+$  източника и областите на източване в канала. Сега, ако се приложи напрежение между изтичането и източника, токът тече свободно между източника и изтичането и напрежението на гейта контролира електроните в канала. Вместо положително напрежение, ако приложим отрицателно напрежение, под оксидния слой ще се образува дупка.

# Видове MOSFET

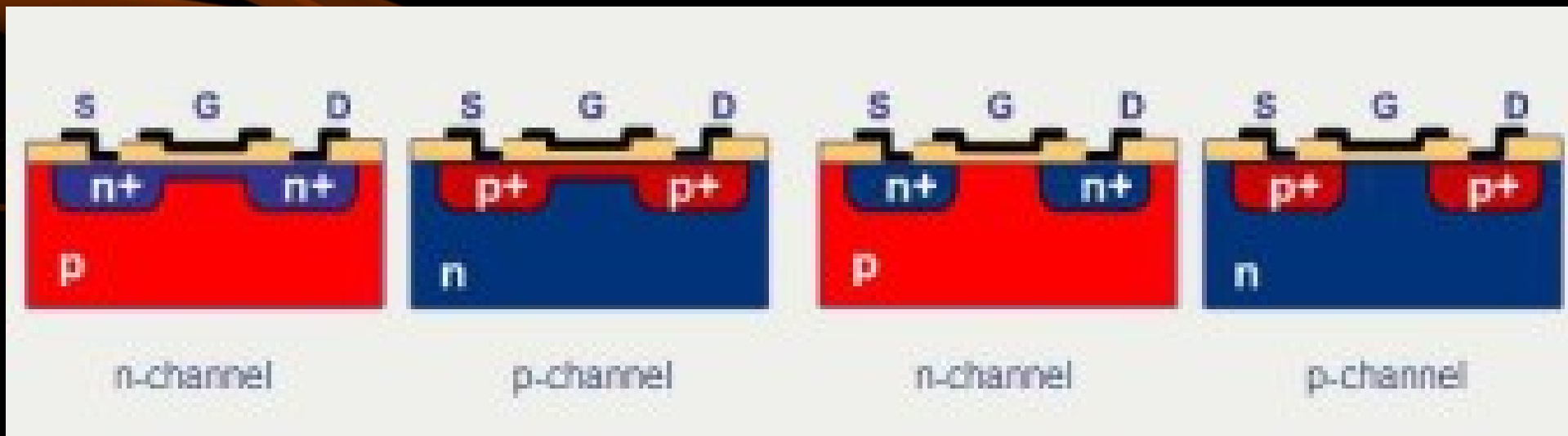


MOSFET с вграден канал

MOSFET с индуциран канал

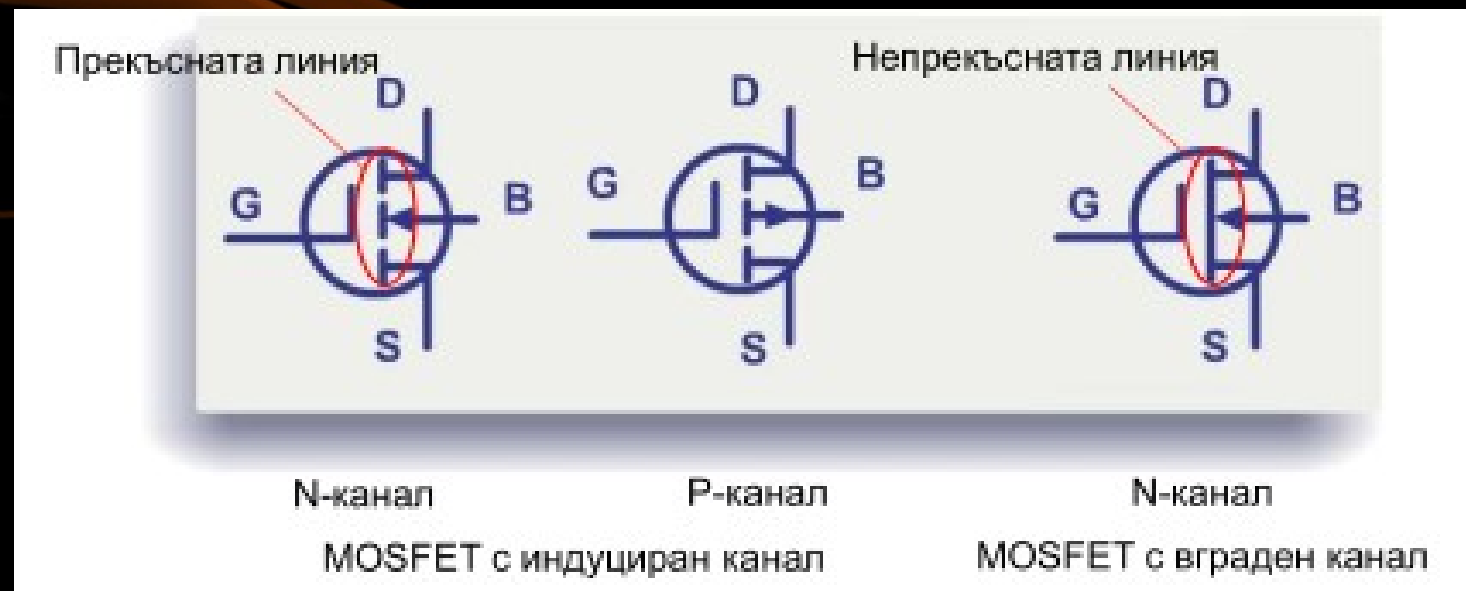
Според начина на създаване на канала се различават два типа MOS транзистори. При транзисторите с вграден канал проводимият канал под гейта се формира по технологичен начин. В MOS транзисторите с индуциран канал, проводящ канал се създава при прилагане на напрежение с определена полярност между гейта и подложката.

# MOS транзистор с N- и P-канал



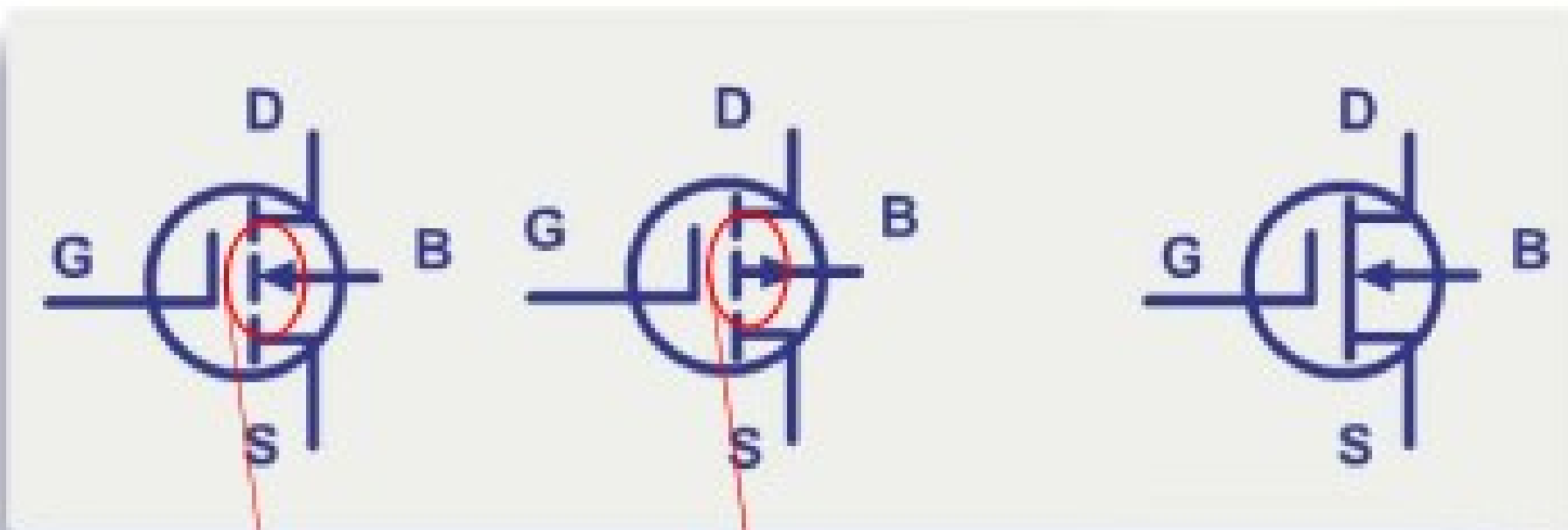
Според проводимостта на канала двата типа MOS транзистори се срещат с n-канал или с p-канал.

# Условни графични означения



Символите за MOS транзистори с индуциран канал имат прекъсната линия между сорса и дрейна (липсва технологично създаден канал), докато за транзисторите с вграден канал линията е непрекъсната.





N-канал

P-канал

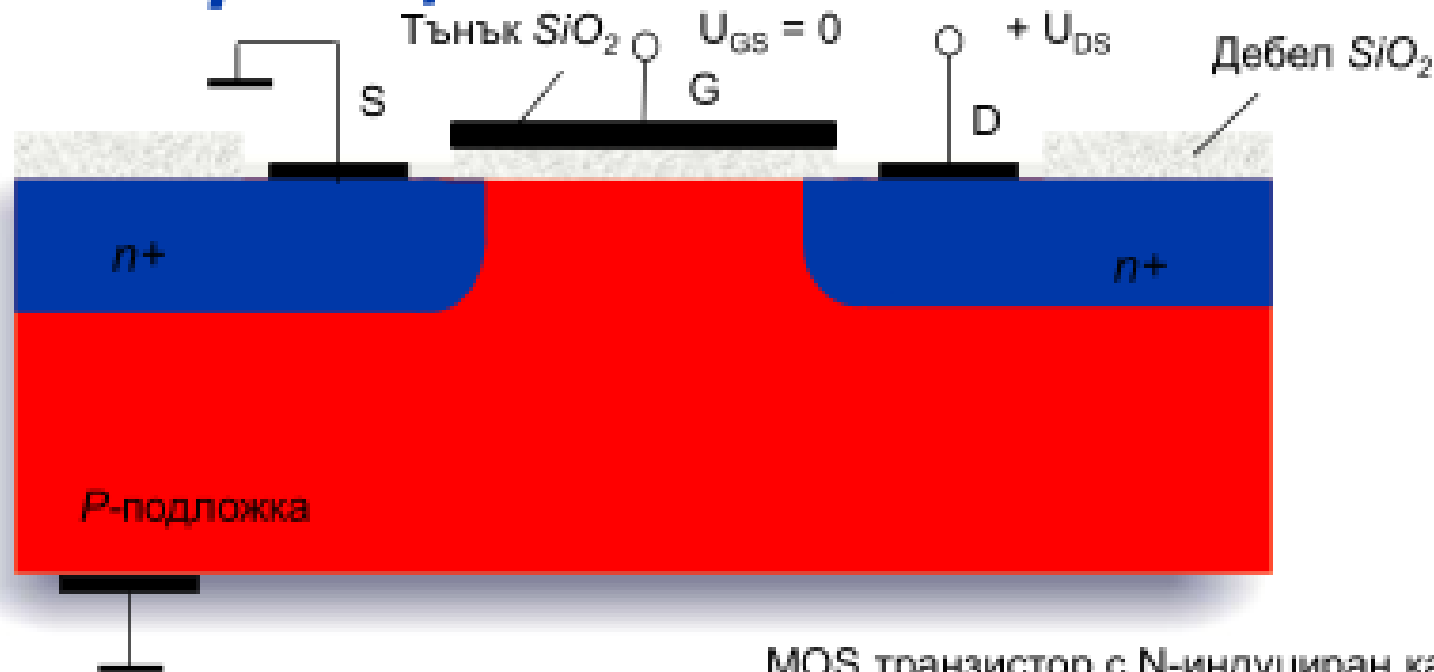
N-канал

MOSFET с индуциран канал

MOSFET с вграден канал

За **n-каналните** транзистори стрелката към p-подложката сочи **навътре**, докато за **p-каналните** MOSFET стрелката е **навън**.

# Принцип на действие

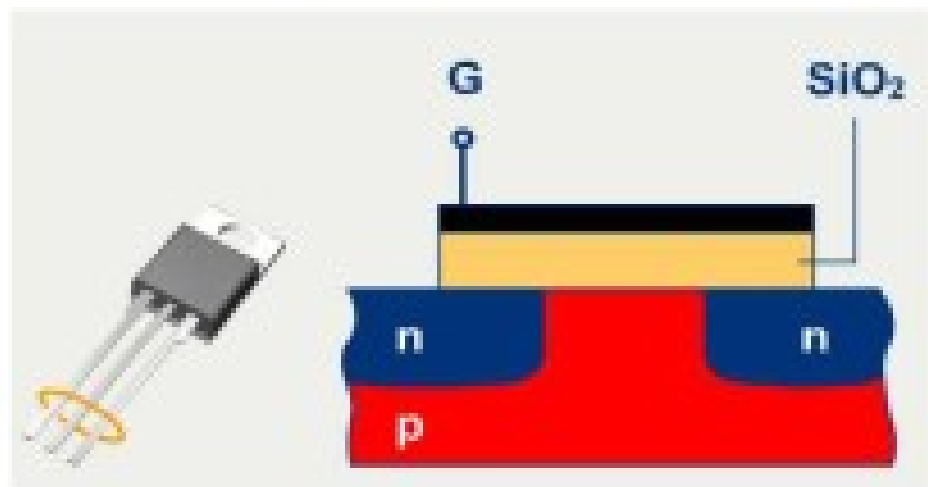


MOS транзистор с N-индуциран канал

Принипът на действие на MOS транзисторите се основава на **полевия ефект** – възможността за промяна на проводимостта на канала между сорса и дрейна чрез напрежение, приложено на гейта.

Когато на гейта не е подадено напрежение ( $U_{GS} = 0$ ), във веригата дрейн-сорс не протича ток, защото тя е прекъсната поради липса на проводящ канал.

# Защита на MOS транзистор



Пробив в окиса настъпва, когато транзисторът не е свързан в схема. Поради много високото входно съпротивление, **статичните заряди**, натрупани върху гейта, могат да предизвикат напрегнатост на полето, достатъчна, за да настъпи пробив в тънкия окис.

За да се предпазят транзисторите от натрупване на статични заряди, те се съхраняват, обвити във фолио като изводите им се свързват накъсо. Това свързване не трябва да се премахва до включване на MOS транзистора в схемата. При работа с MOS транзистори се заземява не само поялникът, но и човекът, работещ с транзисторите.



Вградени системи



Въпроси?

