

Автори:

Наташа Божиновска, дипл. ел. инж.

Софија Темкова, дипл. ел. инж.

Рецензенти:

Проф. д-р Фадиљ Ајредини,

Природно-математички Факултет при Универзитет во Тетово – Тетово

Тони Панов, дипл.ел.инж.

Професор во СОТУ “Ѓорѓи Наумов” – Битола

Никола Дечев, дипл.ел.инж.

Професор во ССОУ “Коле Неделковски” – Велес

Илустратор:

Наташа Божиновска

Изработка на корица:

Јован Молкоски, инж. од областа на индустриски дизајн

Јазичен лектор:

Ивана Коцевска

Тираж на учебникот:

Со одлука за одобрување на учебникот Електроника за втора година струка/сектор електротехника, профил/квалификација електротехничар енергетичар бр. 26-643/1 од 28.03.2023 година донесена од Националната комисија за учебници.

ЦИП каталогизација во публикација на Народната и универзитетска библиотека „Св. Климент Охридски“ - Скопје

Наташа Божиновска, дипл. ел. инж.
Софија Темкова, дипл. ел. инж.

ЕЛЕКТРОНИКА

за II (втора) година

образовен профил/квалификација
Електротехничар - енергетичар

**електротехничка струка/
сектор електротехника**

ПРЕДГОВОР

Учебникот **ЕЛЕКТРОНИКА** за **II (втора) година** е резултат на промените во наставните програми во рамките на проектот за модернизација на техничкото образование. Содржината на учебникот е усогласена со наставната програма за предметот **ЕЛЕКТРОНИКА** за **II (втора) година** на образование, од Електротехничка струка/сектор Електротехника, за образовен профил/квалификација **Електротехничар - енергетичар**, од 2019 година. При изработката на учебникот е користен прирачникот „Концепција за изработка на учебник“ издаден од Бирото за развој на образованието и „Концепцијата за модернизација на техничкото образование“.

За успешно совладување на наставните содржини од овој учебник, потребно е претходно знаење од предметите физика, математика, електротехника, електротехнички материјали и техничка комуникација. Содржински, учебникот е конципиран во три целини, теоретски дел, нумерички задачи и лабораториски вежби.

Согласно со наставната програма, теоретскиот дел на учебникот е поделен на **6 модуларни единици**.

1. Елементи во енергетска електроника. На почетокот е дадена класификацијата на електронските елементи, нивните графички симболи, реалниот изглед, означувањето на полупроводничките диоди, униполарните и биполарните транзистори, тиристорите, термисторите, фотоелектричните елементи и интегрираните кола. Објаснет е и начинот на читање на електронски шеми и каталожки податоци за електронските елементи.

2. Диоди. На почетокот е објаснета поларизацијата на диодите и нивната струјно напонска карактеристика. Примена на диодата како прекинувач, стабилизирачко својство на Зенер диодата, LED диоди и фотодиоди се дел од содржините на оваа модуларна единица. Демонстрирана е реализација на диодни кола: насочувачи, ограничувачи, стабилизатори и логички кола, проверувајќи ја функционалноста на елементите во диодното коло.

3. Транзистори. Во овој модул се објаснува создавањето на биполарните и на униполарните транзистори со помош на PN-споеви, нивните карактеристики и параметри, начинот на поларизација и нивната улога како прекинувачи и засилувачи.

4. Тиристоры. Објаснет е принципот на работа на тиристорите, видовите тиристоры, струјно напонската карактеристика и побудувањето. Се анализира и примената на тиристорите во електроенергетиката.

5. Термистори и специфични електронски елементи. Во овој модул се објаснува принципот на работа на термисторите и специфичните електронски елементи фотоотпорници, фототранзистори, фотогенератори и варистори. Примена на термисторите и специфичните електронски елементи, како и анализа и испитување на нивните електрични кола се дел од содржините во оваа модуларна единица.

6. Електронски склопови и уреди. Во овој модул се објаснуваат видовите електронски склопови и уреди во енергетиката и се анализираат шеми на нивно поврзување. Се презентира и примената на електронските склопови и уреди во проекти за алармни системи, системи за видео надзор, како и нивно поврзување во безбедносни системи. Објаснета е и постапката за конфигурирање софтвер за безбедносни системи.

Резултатите од учење се постигнуваат со разработка на соодветните содржини кои се прилагодени на возраста на учениците и нивните психофизички способности. Во секој модул има резимеа кои ги истакнуваат најважните моменти од претходно изложената материја, а на крајот се дадени прашања за тематско утврдување на истиот.

Во делот од учебникот со нумерички задачи, дадени се решени примери и задачи за решавање со анализа на проблемот и синтеза на стекнатите теоретски основи.

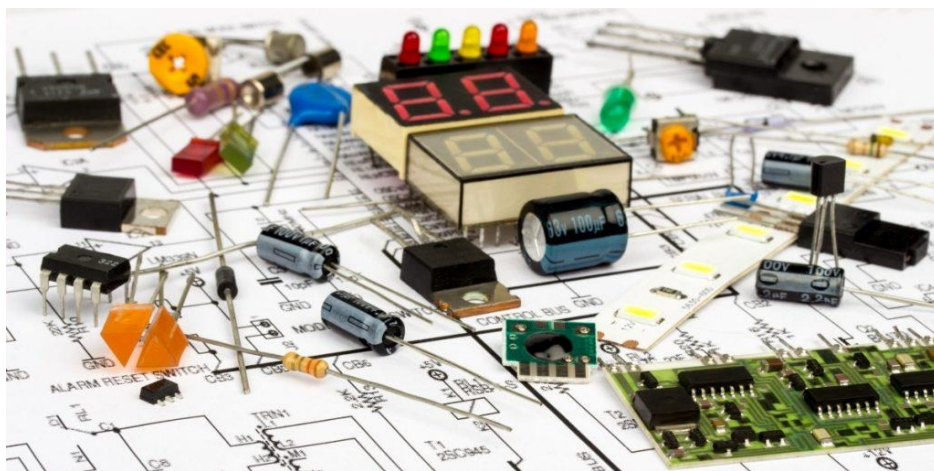
Во изнесувањето на содржините се користени упростени математички операции и голем број слики и графички претставувања, кои треба да овозможат полесно совладување на градивото. Водена е сметка за постепено воведување на нови дефиниции, прашања за проверка на знаењето и задачи, со што се задоволуваат потребните дидактички насоки.

Лабораториските вежби овозможуваат испитување и практична реализација на реални шеми од содржините на модулите.

Авторите се надеваат дека учебникот ќе одговори на потребите на наставниците по предметната настава како и на потребата на учениците за усвојување и за утврдување на материјалот.

Од авторите

МОДУЛАРНА ЕДИНИЦА 1 ЕЛЕМЕНТИ ВО ЕНЕРГЕТСКА ЕЛЕКТРОНИКА



Со изучување на содржините од оваа модуларна единица ученикот ќе стекне основни знаења за електронските компоненти и ќе може:

- да класифицира електронски елементи за примена во енергетиката;
- да препознава енергетски електронски елементи врз основа на нивниот реален изглед;
- да објаснува разлики меѓу приклучоците на елементите;
- да чита електронски шеми;
- да препознава графички симболи на енергетски електронски елементи;
- да црта графички симболи на енергетски електронски елементи;
- да чита каталошки податоци за енергетски електронски елементи.

ВОВЕД

Електрониката е наука што се занимава со емисијата на електроните од атомот, нивното однесување и ефектите, како и со електронските склопови.

Електрониката опфаќа исклучително широк опсег на технологија. Терминот првично се користел за проучување на однесувањето и движењето на електроните во електронските цевки. Овој термин добил поширока смисла со напредокот на знаењето за природата на електроните и начинот на кој може да се искористи движењето на овие честички. Денес, многу научни и технички дисциплини се занимаваат со различни аспекти на електрониката. Истражувањата доведоа до развој на клучните електронски елементи, како што се транзисторите, интегрираните кола, ласерите и оптичките влакна.

Денес со сигурност може да тврдиме дека сме современици на „електронска револуција“, која е исто толку значајна, колку што беше и индустриската револуција во 19 век. Овој назив се користи поради големината и обемот на промените кои ги предизвикува брзиот развој на електрониката – кај луѓето, во домовите, на работното место, во образованието, животниот век, начинот на раѓање и смрт. Исто така, и поради брзината со која електрониката го освои светот, иако нејзиното најголемо влијание е во временски обем од 40-тина години. Секако, најважна причина за називот „револуција“ е што откако започна веќе не може да се сопре.

Секоја година нè импресионира сè поголемиот број на технолошки иновации кои, првенствено, се последица на интензивниот развој на електронските компоненти. Но сепак, развојот на овие „чуда“ е скромн однос на она што се очекува во иднина од изработката на електронските компоненти и склопови.

Технологијата на изработка на електронските компоненти продолжува во насока на намалување на нивните димензии, сè до ниво на молекула, т.н. молекуларна електроника. Покрај зголемувањето на степенот на интеграција, односно бројот на компоненти во еден чип, важно е и зголемувањето на брзината на нивната работа. Секако, ова повлекува замена на постоечките материјали со други, нови материјали, па и нивниот принцип на работа ќе биде поинаков.

1.1 КЛАСИФИКАЦИЈА НА ЕЛЕКТРОНСКИ ЕЛЕМЕНТИ

Електронските елементи се делат во две основни групи: пасивни и активни.

Пасивни елементи се елементите на кои за извршување на нивната функција не им е потребно напојување од еднонасочен извор.

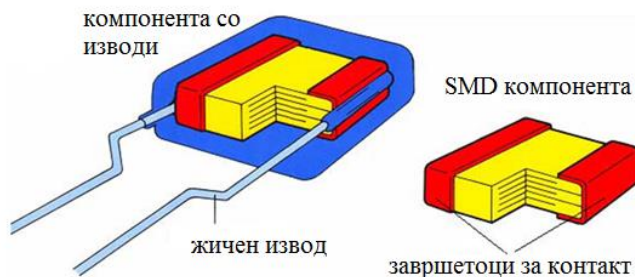
Активни елементи се елементите кои за извршување на нивната функција мора да имаат напојување од еднонасочен извор.

На слика 1.1 се прикажани основните пасивни и активни електронски елементи.



Слика 1.1: Класификација на електронски компоненти

Секоја електронска компонента мора да има **приклучоци** со кои се поврзува со останатите компоненти во електричното коло. Во зависност од видот на електричните приклучоци, електронските компоненти се делат на: компоненти со изводи и компоненти за површинско монтирање (SMD). Разликата меѓу овие два вида може да се види на слика 1.2.



Слика 1.2: Керамички кондензатор со изводи и во SMD изведба

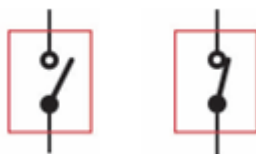
Куќиштата на електронските елементи се неопходни за нивна заштита од надворешни влијанија (влажност, температура, механички оштетувања). Покрај тоа, куќиштата се изведуваат на начин кој овозможува поврзување на компонентата со останатите елементи во електронското коло. За елементите со изводи, според изгледот (формата) на куќиштето се определува и нивниот вид. Кај SMD елементите ова не е возможно, од причина што тие имаат само две форми: паралелолипед и цилиндар.

Полупроводните електронски елементи во енергетиката, уште се нарекуваат и полупроводни енергетски вентили. Тие имаат најмалку два приклучоци или изводи, со кои се поврзуваат во електронското коло. Постојат повеќе видови: диода, биполарен транзистор, MOSFET транзистор, тиристор, итн.

Сите овие елементи се разгледуваат како **прекинувачи**, па затоа е потребно да се споредат карактеристиките на идеален и реален прекинувач.

Карактеристики на идеален прекинувач:

1. Електричната струја низ прекинувачот во исклучена состојба е нула.
2. Електричниот напон на прекинувачот во вклучена состојба е нула.
3. Времето на преклопување (време на преод) од вклучена во исклучена состојба е нула.
4. Моќноста која се развива (дисипира) на прекинувачот изнесува 0, односно нема загуби при префрлање од една во друга состојба.



Слика 1.3: Идеален прекинувач

Карактеристики на реален прекинувач:

1. Во вклучена состојба постои пад на напон од 1 до 2 V.
2. Се јавува дисипација на моќност, односно има загуби при префрлање од една во друга состојба.
3. Се јавува загревање при големи фреквенции на комутација (префрлање од една во друга состојба).

1.2 ДИОДИ

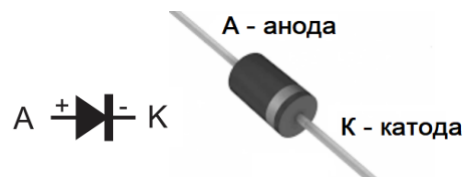
Диодите се изработуваат од полупроводни материјали, најчесто од силициум. Тие се спој од силициум P-тип и силициум N-тип. Диодата има два приклучоци (изводи): **анода (А)** и **катода (К)**. Таа може да се најде во две состојби: директна поларизација (спроведува) и инверзна поларизација (не спроведува), зависно од потенцијалот кој е донесен на приклучоците на диодата. Нејзината работа се опишува на следниот начин:

- Диодата спроведува само во една насока.
- Состојбата на вклучување на диодата зависи од напонот на нејзините краеви.

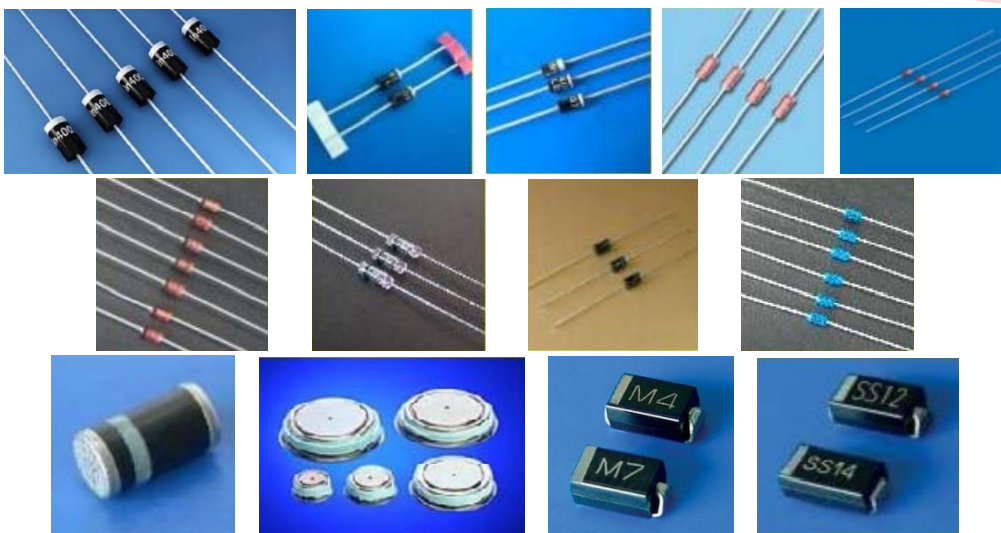
Насочувачката диода во енергетиката има PIN структура, за разлика од насочувачката диода во електрониката која има PN структура. Во PIN структурата, I означува интринсичен полупроводен слој, кој се користи за поголеми напони при инверзна поларизација. Но, тој слој создава значителна отпорност при директна поларизација на диодата, па енергетската диода бара разладување поради големата моќност на дисипација.

Приклучоците на насочувачка диода се означени на симболот, слика 1.4. Диодата спроведува само во една насока, од анода кон катода.

Најчесто се означува приклучокот за катодата со помош на прстен. Мора да се внимава на насоката на поврзувањето на диодата во електричните шеми.



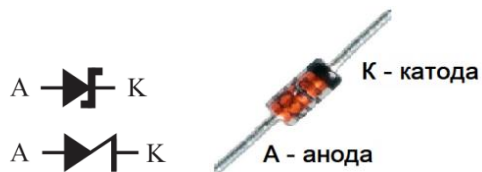
Слика 1.4: Графички симбол и приклучоци на насочувачката диода



1.5: Различни видови насочувачки диоди

Зенер диода е силициумска диода со површински спој, наменета за стабилизација на еднонасочен напон. Поради зголемениот процент на примеси во N и P-подрачјата, има подобри карактеристики при инверзни напони, кадешто е и нејзиното работно подрачје. За овие диоди е карактеристичен Зенеровиот напон, кој воедно е и отпечатен на нивното куќиште.

Приклучоците на Зенер диодата се означени на симболот, слика 1.6. Зенер диодите се приклучуваат сериски со отпорник, заради ограничување на електричната струја која протекува низ нив. Нивни карактеристични параметри се напонот на пробив и максималната дисипација на моќност.



Слика 1.6: Графички симбол и приклучоци на Зенер диода

Како и кај насочувачката диода, катодата е обележана со прстен.



Слика 1.7: Различни видови Зенер диоди

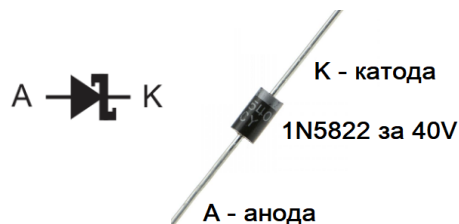
Капацитивна (варикап или варактор) диода е диода чија капацитивност се менува со промена на напонот на нејзините краеве, односно се однесува како променлив кондензатор. Тоа се постигнува со измена во структурата на PN-спојот, при што тој се однесува како диелектрик.



Слика 1.8: Графички симбол и реален изглед на варикап диода

Шоткиевата (Schottky) диода се добива со формирање на контакт меѓу метал (алуминиум) и полупроводен материјал од N-тип. Овој спој овозможува протекување струја во една насока, од металната анода кон полупроводничката катода. Во спротивната насока, диодата се однесува како отворено (прекинато) коло.

На симболот од слика 1.9 се означени приклучоците на Шоткиевата диода. Таа се карактеризира со мал пад на напон, од 0,3 до 0,5 V.



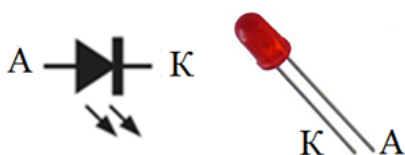
Слика 1.9: Графички симбол и приклучоци на Шоткиева диода

Како и кај насочувачката, и кај Шоткиевата диода најчесто се означува приклучокот за катодата со помош на прстен, затоа што треба да се внимава на насоката на поврзувањето на диодата во електричните шеми.



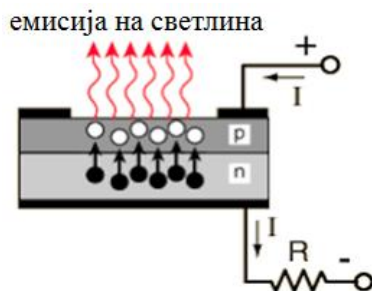
Слика 1.10: Различни видови Шоткиевии диоди

LED (Light Emitting Diode) диодата работи спротивно од фотодиодата, односно, електричната струја која протекува низ неа ја претвора во светлина. Интензитетот на светлината која диодата ќе ја емитира е правопрпорционален со јачината на електричната струја низ диодата.



Слика 1.11: Графички симбол и приклучоци на LED диода

Приклучоците на LED диодата, означени на симболот на слика 1.11, се со различна должина, заради нивно разликување при поврзување со останатите елементи во електрично коло. Подолгиот приклучок на LED диодата секогаш е анода.



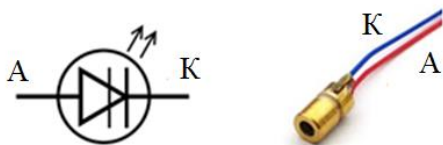
Слика 1.12: Структура на LED диода

LED диодите, како и фотодиодите се изработуваат од полупроводен материјал – галиум арсенид. Многу често се среќаваат во практиката, се користат во голем број на дисплеи и лабораториски инструменти. Се произведуваат во различни бои.



Слика 1.13: Различни видови LED диоди

LED диоди кои создаваат кохерентна светлина со многу тесен спектар, се т.н. **ласер диоди**. Тие се користат во оптичките комуникациски системи и во CD плеерите.



Слика 1.14: Графички симбол и приклучоци на ласер диода



Слика 1.15: Различни видови ласер диоди

Некои видови ласер диоди имаат три приклучоци, но едниот не се користи. При поврзување со останатите елементи во електрично коло, **анодата** се приклучува на позитивен потенцијал, а **катодата** на негативен потенцијал, односно се заземјува.

Тунел диода има ефект на тунел низ нејзината бариера на рп спојот, кој е постигнат со зголемување на процентот на примеси. За оваа диода е карактеристично подрачјето на негативен отпор, каде со зголемување на напонот се намалува струјата низ диодата.

Приклучоците на тунел диодата се означени на симболот на слика 1.16.



Слика 1.16: Графички симбол и приклучоци на тунел диода

Тунел диодата се карактеризира со голема брзина, што предизвикува нејзин побрз премин од една во друга состојба.

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

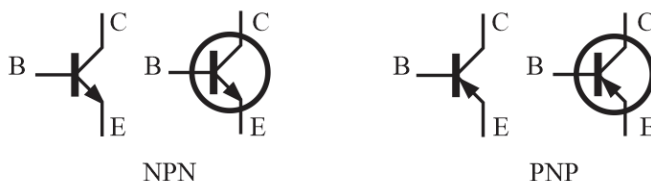
- Сите електронски елементи во енергетиката се користат како прекинувачи.
- Насочувачка диода спроведува електрична струја само во една насока, од анода кон катода.
- Зенер диода се користи како стабилизатор на еднонасочен напон.
- Капацитивна диода се однесува како променлив кондензатор со промената на напонот приклучен на нејзините краеве.
- Шоткиевата диода овозможува протекување струја во една насока, од металната анода кон полупроводничката катода.
- За тунел диодата е најважно што зголемувањето на напонот на нејзините краеве ја намалува струјата низ неа.
- LED диодата ја претвора електричната струја која тече низ неа во светлинска енергија.

1.3 ТРАНЗИСТОРИ

Терминот транзистор е формиран од англиските зборови TRANSfer-resISTOR, или во превод „преносна отпорност“ или отпорност со која може да се управува. За разлика од диодите, транзисторите се електронски компоненти со три приклучоци (изводи). Постојат две групи транзистори: **биполарни транзистори** (BJT) и **транзистори со ефект на поле** (FET-Field Effect Transistor) или униполарни транзистори. Униполарните транзистори имаат помали димензии и поедноставна постапка на производство во однос на биполарните, па затоа многу често се користат во практиката.

1.3.1 БИПОЛАРНИ ТРАНЗИСТОРИ

Биполарните транзистори (**BJT-Bipolar Junction Transistor**) имаат два р-споја, три приклучоци и најчесто се изработуваат од силициум. Зависно од типот на полупроводник, постојат два вида биполарни транзистори – NPN и PNP, слика 1.17.



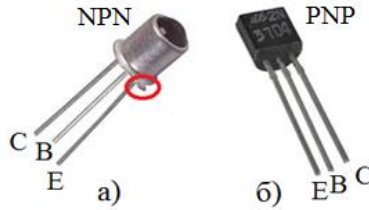
Слика 1.17: Графички симболи за биполарни транзистори

Приклучоците се изведени од три области на транзисторот:

1. Област на транзисторот од која се создаваат носителите на електричество, наречена **емитер (E)**;
2. Област во која се внесуваат (инјектираат) создадените носители на електричество, наречена **база (B)**;
3. Област во која преку базата доаѓаат носителите на електричество, наречена **колектор (C)**.

Во однос на структурата на биполарните транзистори кои се користат во електрониката, колекторот и емитерот се на истата страна на компонентата. Емитерот и колекторот, во структурата на биполарните транзистори кои се

користат во енергетиката, се наоѓаат на спротивни страни од компонентата, со цел да им се овозможи работа при повисоки напони.

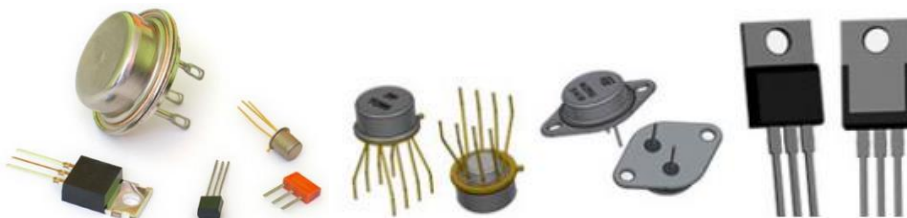


Слика 1.18: Приклучоци на транзистор со а) метално куќиште; б) пластично засечено куќиште

Кај биполарните транзистори со **метално куќиште** (слика 1.18а) приклучоците (пиновите) се поставени циркуларно. За NPN тип најблиску до **ознаката на куќиштето** е емитерот, потоа базата, па колекторот. Но, кај PNP тип, изводите се по обратен редослед. Сепак, не сите типови имаат стандардна пин конфигурација, па за правилно поврзување е потребно да се консултира спецификациската листа за одбраниот транзистор.

Кај биполарните транзистори со **пластично засечено куќиште** (слика 1.18 б) пиновите за емитер (Е) и колектор (С) кај NPN и PNP транзистори се во обратна позиција. Правилното поврзување на транзисторот со останатите елементи во електричното коло е многу важно заради негова правилна работа и работата на колото.

Основна карактеристика на биполарниот транзистор е засилувањето, односно сигналот од влезот на транзисторот се добива засилен на излезот од транзисторот.



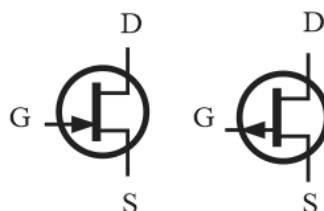
Слика 1.19: Различни видови биполарни транзистори

1.3.2 УНИПОЛАРНИ ТРАНЗИСТОРИ

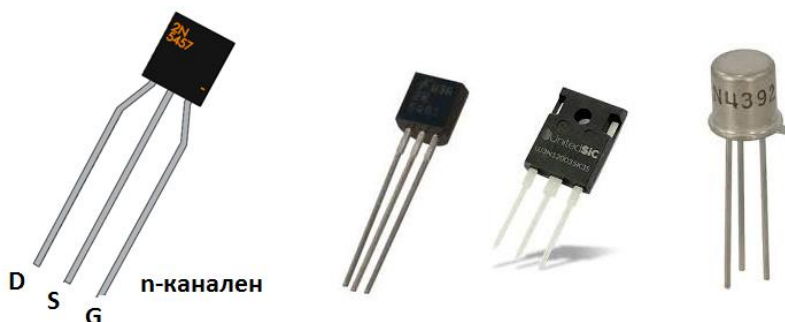
Постојат два вида транзистори со ефект на поле: **спојни FET (JFET-Junction FET)** и **MOSFET (Metal-Oxide Semiconductor FET)**.

Спојните FET транзистори (JFET-Junction Field Effect Transistor) работат со доведување на напон на неговите краеве кој формира електрично поле на површината на полупроводникот. Струјата која протекува низ транзисторот се формира од само еден вид носители на полнеж, затоа и се класифицирани во групата на униполарни транзистори.

Во зависност од видот на полупроводниот материјал за плочката, постојат два вида JFET транзистори: N-канален и P-канален. Имаат три приклучоци **сорс (S)**, **гејт (G)** и **дрејн (D)**, соодветни на приклучоците емитер, база и колектор кај биполарните транзистори, слика 1.20.



Слика 1.20: Графички симболи за JFET а) N-канален; б) P-канален



Слика 1.21: Приклучоци на N-канален JFET и видови

Постои разлика во приклучоците на транзисторот, во зависност од видот на каналот и од типот на транзисторот. Затоа, при изборот на соодветен JFET и заради негово правилно приклучување во електрично коло, неопходно е да се прочита спецификацијата зададена од производителот.

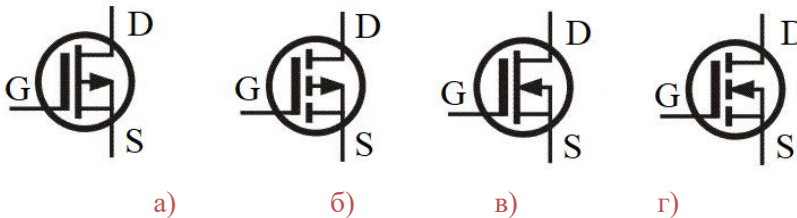
MOSFET транзисторите (Metal-Oxide Semiconductor FET) за разлика од биполарните транзистори, кај кои во процесот на спроведување учествуваат два вида носители на полнеж (електрони и празнини), имаат само еден вид носители на полнеж.

Најголема предност на MOS транзисторите е што тие се напонски контролирани компоненти, за разлика од биполарните транзистори, кои се струјно контролирани.

MOS транзисторите спаѓаат во групата на транзистори со ефект на поле (FET – Field Effect Transistor), така што се среќаваат и со називот MOSFET.

MOS транзисторите имаат три приклучоци: **сопс (S)**, **гејт (G)** и **дрејн (D)**, соодветни на приклучоците емитер, база и колектор кај биполарните транзистори.

Постојат два вида MOSFET транзистори: MOSFET со индуциран канал (канал кој се создава при поларизацијата) и MOSFET со вграден канал (канал кој е формиран во процесот на производство), слика 1.22.



Слика 1.22: Символи на а) MOSFET со вграден канал од P-тип; б) MOSFET со индуциран канал од P-тип; в) MOSFET со вграден канал од N-тип; г) MOSFET со индуциран канал од N-тип

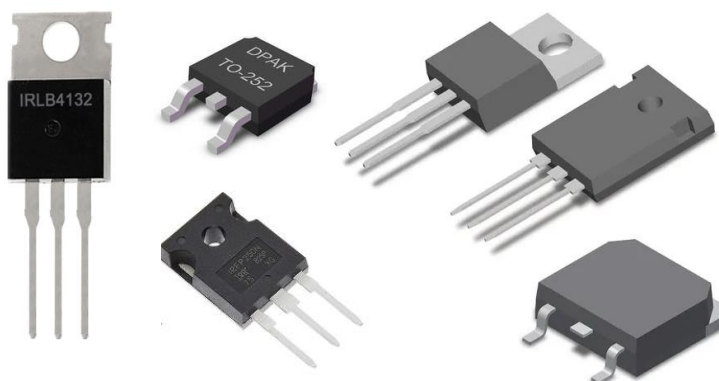
MOS транзисторите во енергетиката (за повисоки напони) имаат различна структура, споредено со оние кои се користат за ниски напони. MOS транзисторите во енергетиката имаат вертикална канална структура, при што сорсот и дрејнот се на спротивна страна од силициумскиот слој. Ова ја зголемува способноста на транзисторот да работи со висок напон.



Слика 1.23: Приклучоци на MOSFET транзистори

На слика 1.23 може да се види дека распоредот на приклучоците (пиновите) кај два различни видови MOSFET транзистори, но за еден ист тип –

со индуциран канал од N-тип, е различен. Затоа, при изборот на соодветен MOSFET и заради негово правилно приклучување во електрично коло, неопходно е да се прочита спецификацијата зададена од производителот.

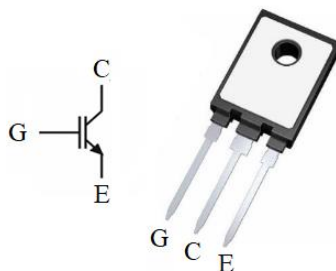


Слика 1.24: Различни видови MOSFET транзистори

Биполарни транзистори со изолиран гејт (IGBT-Insulated Gate Bipolar Transistor) - ги обединуваат предностите на биполарните (спојни) транзистори и MOS транзисторите.

IGBT транзисторите имаат три приклучоци: **емитер (E)**, **колектор (C)** и **гејт (G)**, кој е управувачка електрода, слика 1.25.

Биполарниот транзистор со изолиран гејт се управува со напонот кој се доведува на гејтот. Тој има голема влезна импеданса како моќните MOSFET транзистори, но ниски загуби на моќност како биполарните транзистори. Овие транзистори речиси целосно ги надминаа BJT и MOS транзисторите во примената, но сепак, тие имаат одреден недостаток, а тоа е зголеменото време на исклучување кога работат како прекинувачи.



Слика 1.25: Графички симбол и приклучоци на IGBT транзистор

На слика 1.25 се наведени и приклучоците на еден реален IGBT транзистор, но како и кај MOSFET, за негово правилно приклучување во електрично коло е неопходно да се прочита спецификацијата зададена од производителот.

Биполарните транзистори со изолиран гејт наоѓаат голема примена во уреди, како што се инвертори, конвертори и напојувања, односно секаде кадешто биполарните и MOSFET транзистори не можат да бидат употребени поради нивните недостатоци.

Биполарните транзистори со изолиран гејт се поставуваат во лежишта (модули), кои се користат за нивно напојување. На слика 1.26 се прикажани транзистори и модули кои се користат за нивно поставување и напојување.



Слика 1.26: IGBT транзистори и нивни модули

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Има две групи транзистори: биполарни и униполарни.
- Биполарниот транзистор има два PN-споја и три електроди: емитер (E), база (B) и колектор (C).
- Има две групи униполарни транзистори: спојни FET и MOSFET транзистори.
- Униполарните транзистори имаат три приклучоци: сорс (S), гејт (G) и дрејн (D).
- Биполарниот транзистор со изолиран гејт IGBT ги има предностите од двата вида транзистори: биполарни и MOSFET транзистори.

1.4 ТИРИСТОРИ

Тиристор е најупотребувана компонента во енергетиката, особено во електромоторните погони и енергетските преобразувачи. Тој е повеќеслоен полупроводен елемент, кој содржи три PN-споеви. За да се „вклучи“ мора да добие напон на гејтот. Всушност, тој се однесува како управувана насочувачка диода.

Тиристорот има три приклучоци: **анода (А)**, **катода (К)** и **гејт (G)**, кој е управувачка електрода, слика 1.27.



Слика 1.27: Графички симбол и приклучоци на тиристор

Како и диодата, тиристорот спроведува електрична струја само во една насока, но за разлика од диодата тој може да работи на два начини: како прекинувач или како насочувач, во зависност од управувачката електрода-гејтот.

Постојат повеќе видови тиристори, но ќе се задржиме на многу често употребуваните: **SCR**, **GTO**, **дијак** и **тријак**.

SCR (**S**ilicon **C**ontrolled **R**ectifier) тиристорот има три PN-споеви и четири слоеви полупроводен силициумски материјал, со структура P-N-P-N. Тој е предвиден за работа со големи струи и напони. Вообичаена вредност за струјата е 1,5 kA, а за напонот 10 kV, што одговара на моќност од 15 MW. Оваа моќност може да се управува со струја на гејтот од само 1 A.

SCR тиристорот има три приклучоци: **анода (А)**, **катода (К)** и **гејт (G)**.



Слика 1.28: Приклучоци на SCR тиристор

Работи како прекинувач со две состојби:

- Спроведува кога доаѓа струја на гејтот (во форма на струен импулс) и сè додека е директно поларизиран;
- Останува вклучен сè додека на гејтот има доволно голема струја, во спротивно се исклучува.

SCR тиристорот се применува за контрола на АС и DC напојување за различни потрошувачи. Се користи да отвори или да затвори коло или за контрола на моќност кон одреден потрошувач.

GTO (Gate Turn-Off) тиристорот е управуван со струјата на гејтот. Се вклучува со позитивен струен импулс, а се исклучува со негативен струен импулс на гејтот. Работи како прекинувач.

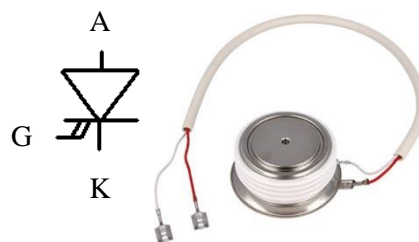
GTO тиристорот има три приклучоци: **анода (А)**, **катода (К)** и **гејт (G)**.

GTO тиристорот многу побрзо преминува од една во друга состојба спореден со SCR тиристорот, но има поголем пад на напон на неговите краеве.

Дијакот (Diac-Diode AC switch) е трислоен полупроводен елемент со два PN-споја, но за разлика од транзисторот, има само два приклучоци кои се обележуваат со **A1** и **A2**, слика 1.30.

Дијак е електронска компонента која ниту управува, ниту засилува, туку се однесува како **двонасочна прекинувачка диода** и може да спроведува електрична струја во двете насоки.

Дијакот вообичаено се користи како елемент кој активира други полупроводни прекинувачки уреди, најчесто SCR тиристор или тријак.



Слика 1.29: Графички симбол и реален изглед на GTO тиристор



Слика 1.30: Графички симбол на дијак



Слика: 1.31 Дијак

Тријак (TRIAC) е најчесто употребуван и брз полупроводен елемент, кој може да прекинува или да управува наизменичен (AC) напон и во двете насоки на синусната форма. Ова значи дека може да се вклучи и со позитивен и со негативен напон, доведен на управувачката електрода гејт. Има три приклучоци: T_1 , T_2 и гејт (G) (управувачка електрода), слика 1.32.



Слика 1.32: Графички симбол и приклучоци на тријак

Како и кај претходните елементи, бидејќи постојат различни видови тријак, за негово правилно приклучување во електрично коло е неопходно да се прочита спецификацијата зададена од производителот.

Тријакот се употребува за регулација на јачина на светлина, управување со брзината на мотори итн. Секако, еден од проблемите при употреба на тријакот за управување со ваков вид на кола е што, како и диодата, тиристорот е еднонасочен елемент, односно спроведува електрична струја само во една насока, од анода кон катода.



Слика 1.33: Различни видови на тријак

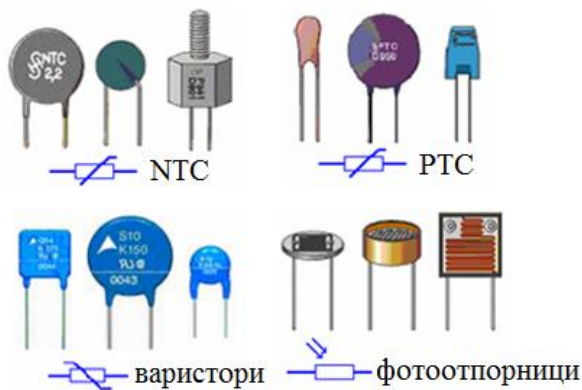
НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Тиристорот спроведува електрична струја само во една насока, но за разлика од диодата, тој може да работи на два начини: како прекинувач или како насочувач, во зависност од управувачката електрода-гејтот.
- Тиристорот има три приклучоци: анода (А), катода (К) и управувачка електрода гејт (G).
- Дијакот се однесува како двонасочна прекинувачка диода и спроведува електрична струја во двете насоки.
- Тријак може да прекинува или да управува наизменичен (АС) напон и во двете насоки.

1.5 ОТПОРНИЦИ СО НЕЛИНЕАРНА ПРОМЕНА НА ОТПОРНОСТ

Отпорниците чија отпорност зависи од надворешните влијанија – температура, светлина, електрично поле, механичка сила, итн., имаат голема примена во електронските уреди. Промената на отпорноста не е линеарна со причината за нејзината промена, па затоа се нарекуваат нелинеарни отпорници.

На слика 1.34 се дадени основните видови **нелинеарни отпорници**.



Слика 1.34: Нелинеарни отпорници

1.5.1 ТЕРМИСТОРИ

Термистори се отпорници кај кои отпорноста се менува со промената на температурата. Во зависност од начинот на загревање, овие отпорници се делат на термистори со директно и индиректно загревање.

Термисторите се користат како температурни сензори. Наоѓаат примена кај противпожарните аларми, во печки и фрижидери. Исто така, се користат за мерење температура на вода или масло, температура на издувни гасови или температура во внатрешноста на автомобил итн.

Постојат два основни видови на термистори: со негативен температурен коефициент на отпорност (NTC отпорници) и со позитивен температурен коефициент на отпорност (PTC отпорници или позистори).

NTC отпорниците се термистори со релативно голем негативен температурен коефициент на отпорност. Најчесто се изработуваат од поликристални оксидни полупроводни материјали.

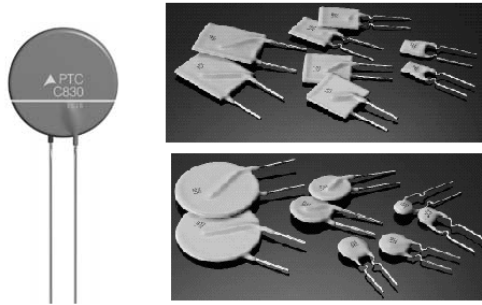


Слика 1.35: NTC отпорници

Телото на NTC отпорникот се изработува во форма на стапче, диск или бисер. Понекогаш, минијатурните отпорници во форма на бисер се сместуваат во стаклена ампула. Карактеристично е што имаат многу долги изводи (приклучоци). Приклучоците на термисторите немаат поларитет и можат да се поврзат и во двете насоки. Вообичаено, во електрични кола се поврзуваат сериски со отпорник, формирајќи напонски делител.

Отпорниците во форма на стапче имаат моќност од неколку вати, а моќноста на отпорниците со форма на диск е најмногу 1W. Отпорниците со форма на бисер се со најмала моќност, до неколку mW.

PTC отпорниците (позистори) се термистори со голем позитивен температурен коефициент на отпорност. Најчесто, позисторите се изработуваат на база на керамика од бариум титанат со поликристална структура.



Слика 1.36 PTC: отпорници за ограничување струја

Наоѓаат примена како ограничувачи на струја (за заштита), како ограничувачи на температура, за демагнетизација на колор-катодните цевки, за заштита на мотори, за регулација на струја во телефонија, за заштита на телефонски линии, итн.



Слика 1.37: PTC отпорници за сензорско ограничување на температура и за ограничување на струја во телефонија

Исто како и за NTC термисторите, приклучоците на PTC термисторите немаат поларитет и можат да се поврзат и во двете насоки. Вообичаено, во електрични кола се поврзуваат сериски со отпорник, формирајќи напонски делител.

1.5.2 ВАРИСТОРИ

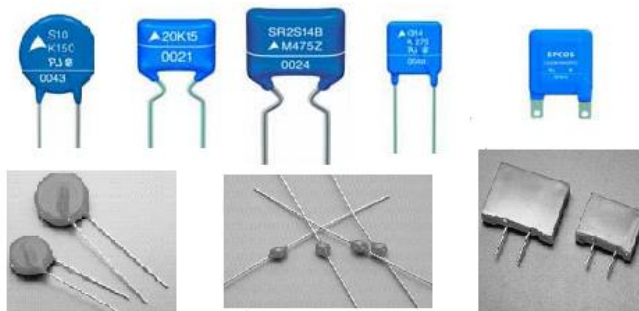


Слика 1.38: Графички симбол на варистор

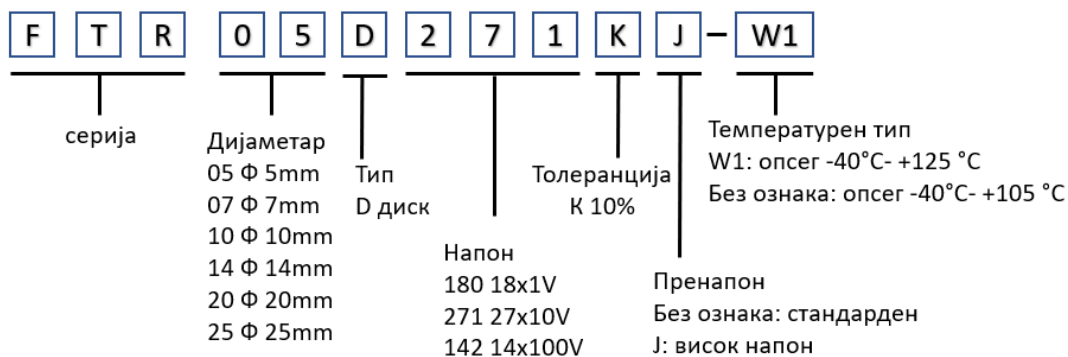
Варистори или **VDR** (**V**oltage **D**ependant **R**esistor) се отпорници чија отпорност нелинеарно се менува со промената на јачината на електричното поле, односно напонот кој е приклучен на неговите изводи. Поточно, отпорноста им се намалува

со зголемување на напонот на краевите. Во литература и во електрични шеми се среќаваат и со ознаката **MOV** (**M**etal **O**xide **V**aristors).

Се изработуваат од цинк оксид во две форми: блок (четвороаголна) или диск (како кондензатор). Најчесто се користат за напонска стабилизација и заштита во колата, особено при поголеми напони. Како и кај сите останати отпорници, нивните приклучоци немаат поларитет и можат да се поврзат и во двете насоки. За заштита на електрична инсталација се поврзуваат сериски со осигурувачот и паралелно со напојувањето. Кога се користат за заштита на полупроводни прекинувачи се поврзуваат паралелно со транзисторот, MOSFET-от или тиристорот.



Слика 1.39: Варистори



Слика 1.40: Означување варистори

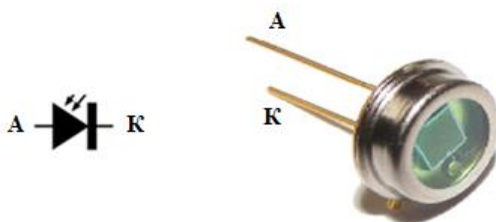
НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Термистори се отпорници кај кои отпорноста се менува со промената на температурата.
- Постојат два основни видови на термистори: NTC отпорници и PTC отпорници.
- Варистори се отпорници чија отпорност се намалува со зголемување на напонот на неговите краеве.

1.6 ФОТОЕЛЕКТРИЧНИ ЕЛЕМЕНТИ

При осветлување на полупроводникот, во него се зголемува концентрацијата на мнозинските и малцинските носители. Ова е т.н. **внатрешен фотоелектричен ефект**.

Фотодиодата работи на принципот на протекување на фотоструја низ неа, кога бариерата на нејзиниот PN-спој се изложува на светлина. Јачината на фотострујата е пропорционална со интензитетот на светлината која ја предизвикува. Оваа диода може да се користи за претворање на светлосни во електрични сигнали.



Слика 1.41: Графички симбол и приклучоци на фотодиода

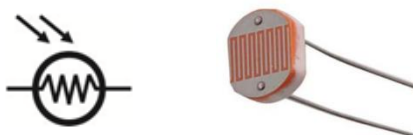
Фотодиодата има два приклучоци: **анода (А)** и **катода (К)**, означени на симболот, слика 1.41. Приклучоците на фотодиодата се со различна должина, заради нивно разликување при поврзување со останатите елементи во електрично коло. Подолгиот приклучок на диодата секогаш е анода. Поврзувањето на фотодиода е многу едноставно, катодата се приклучува на позитивен напон, а анодата преку отпорник на заземјување. Кога светлината ќе падне врз фотодиодата, предизвикува појава на електрична струја низ отпорникот, а таа предизвикува пад на напон на краевите на диодата.

Фотодиодите најчесто се произведуваат од полупроводен материјал – галиум арсенид. Оваа диода е важен елемент во фамилијата на фотоелектронски компоненти, кои во практиката наоѓаат многу голема примена кај оптичките кабли. Тие овозможуваат пренос на голем број информации на големи растојанија без слабеење на сигналот. Исто така, наоѓаат примена и во медиумите за меморирање податоци.



Слика 1.42: Различни видови фотодиоди

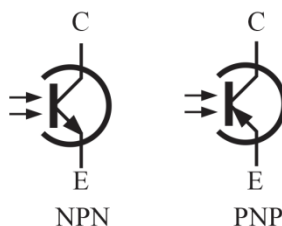
Фотоотпорници (LDR-Light Depending Resistor) се полупроводни отпорници чија отпорност се намалува под дејство на светлината. Работата на полупроводните фотоотпорници се заснова на ефектот на фотоспроводност (внатрешен фотоелектричен ефект). Се изработуваат од кадмиум сулфид, кадмиум селенид, цинк сулфид, а за областа за инфрацрвено зрачење од олово сулфид, индиум антимионид, итн. Најчесто отпорниот материјал се нанесува на изолациона подлога, а потоа се прекрива со просирен материјал.



Слика 1.43: Графички симбол и реален изглед на фотоотпорник

Како и кај сите останати отпорници, неговите приклучоци немаат поларитет и можат да се поврзат и во двете насоки.

Фототранзистор се добива со додавање на еден мал емитер на фотодиодата. Тој има голем колекторски спој и светлината главно дејствува врз колекторскиот спој. Транзисторот е затворен во просирно куќиште, за да може светлината да падне врз транзисторската структура. Тој има два приклучоци: емитер (E) и колектор (C).



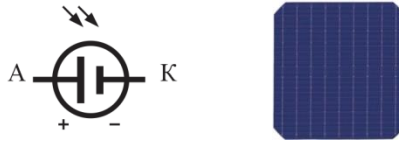
Слика 1.44: Графички симбол на NPN и PNP фототранзистор



Слика 1.45: Фототранзистор и негови приклучоци

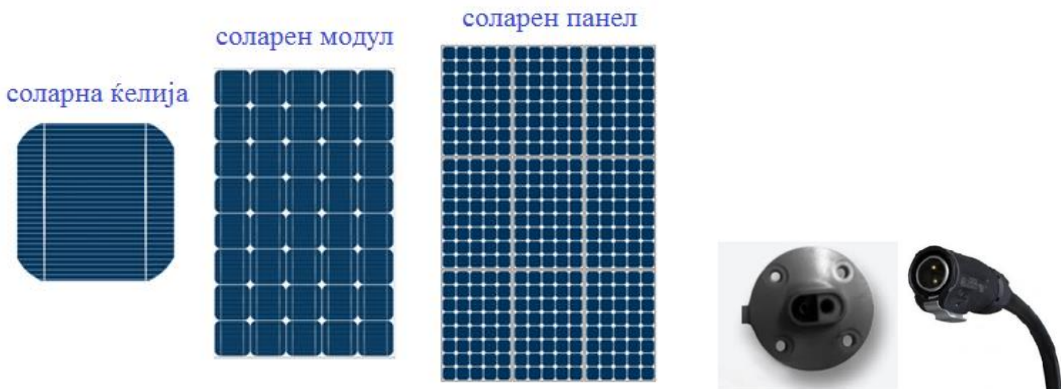
Колектор е подолгиот приклучок на фототранзисторот.

Фотогенераторот (соларна ќелија) создава електромоторна сила под дејство на светлината. Тоа, всушност, е *фотодиода која не е приклучена на надворешен извор за напојување*. При преминот на слободните електрони од P во N-областа на диодата, се нарушува рамнотежата, па **анодата** се електризира позитивно, а **катодата** негативно. Со спојување на краевите (анода и катода) протекува струја, што значи дека диодата се однесува како **генератор на електрична енергија**.



Слика 1.46: Симбол на соларна ќелија и нејзин реален изглед

Со други зборови, оваа диода, која се нарекува **соларна ќелија** (фотоволтаична ќелија), ја претвора сончевата енергија во електрична. Со паралелно и сериско поврзување на голем број соларни ќелии се добиваат **соларни панели** со доволно голема електрична енергија за напојување на некои помали потрошувачи.



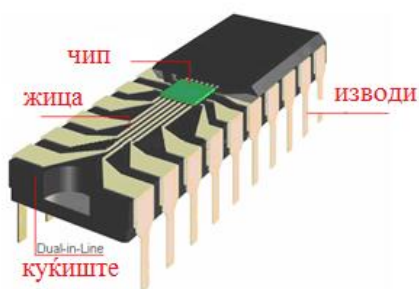
Слика 1.47: Соларен приклучок (порт) и конектор

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Низ фотодиодата протекува електрична струја кога е изложена на светлина.
- Фотоотпорници се отпорници чија отпорност се намалува под дејство на светлината.
- Фототранзисторот има два приклучоци: емитер (E) и колектор (C).
- Соларната ќелија ја претвора сончевата енергија во електрична и работи како фотогенератор.

1.7 ИНТЕГРИРАНИ КОЛА

Интегрирано коло е сложено електрично коло, составено од мноштво елементи поставени на заедничка подлога, со цел вградување во посложени системи како единствена компонента. Содржи електрична шема со различни компоненти, како што се транзистори, отпорници, кондензатори. Интегрираното коло се состои од **куќиште** изработено од пластика или керамика, **изводи** со чија помош се монтира на печатена плочка и **чип** во средиштето на интегрираното коло, а во кој се интегрирани сите елементи. Чипот е поврзан со изводите на интегрираното коло со многу тенки жици, слика 1.48.



Слика 1.48: Елементи на интегрирано коло

Бројот на изводи зависи од типот на интегрираното коло, односно од неговата функција и тој број е стандардизиран за различни функции. Токму функцијата на интегрираното коло, ја дефинира поделбата на интегрираните кола на: **аналогни** (на пример, операциски засилувач), **дигитални** (на пример, процесор) и **хибридни** (на пример, А/Д и Д/А конвертори).

1.7.1 ВИДОВИ НА ИНТЕГРАЦИЈА

После откритието на транзисторот, кое довело до електронската револуција, за развојот на сметачката технологија најзаслужни се интегрираните кола. Тие предизвикаа многу брз технолошки развој, па постојано расте нивната брзина и моќност, благодарение на сè поголемиот број на компоненти во нив.

Сложеноста на интегрираните кола се мери со **степенот на интеграција**, кој претставува број на основни елементи (транзистори) во едно коло.

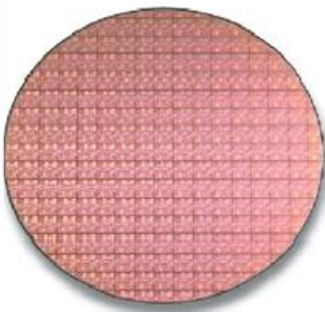
Според степенот на интеграција, интегрираните кола се делат на:

- **SSI** (Small Scale Integration) – кола со мал степен на интеграција, до 100 транзистори;
- **MSI** (Medium Scale Integration) – кола со среден степен на интеграција, од 100 до 1000 транзистори;
- **LSI** (Large Scale Integration) – кола со голем степен на интеграција, од 1000 до 10000 транзистори;
- **VLSI** (Very Large Scale Integration) – кола со многу голем степен на интеграција, од 10000 до 100000 транзистори;
- **ULSI** (Ultra Large Scale Integration) – кола со исклучително голем степен на интеграција, преку милион транзистори;
- **U²LSI³** (Ultra-Ultra Large Scale Integration) – кола со исклучително-исклучително голем степен на интеграција, преку милијарда транзистори во едно интегрирано коло.

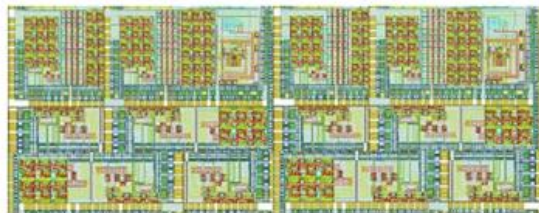
Големиот број на транзистори предизвикува и голема дисипација на моќност. Затоа, особено кај ULSI и U²LSI³ е неопходно овие интегрирани кола да се ладат. Ладењето се врши со вградување разладни уреди (на пример, вентилатори).

Според технолошката изработка, интегрираните кола се делат на: **монолитни** и **хибридни**.

Монолитните интегрирани кола се најчесто користени интегрирани кола. Тие уште се нарекуваат и планарни интегрирани кола, слика 1.49.



зголемена слика на два соседни чипа



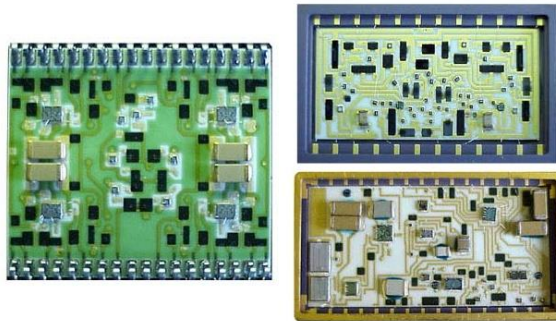
Слика 1.49: Планарна технологија – голем број на интегрирани кола на една полупроводна плочка



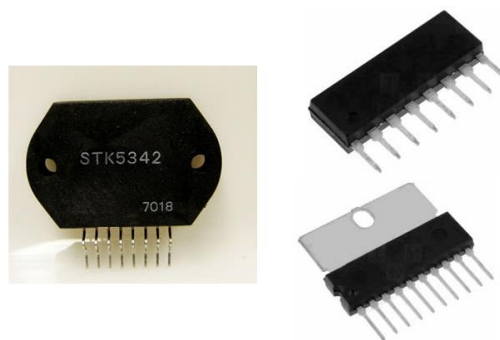
Слика 1.50: Монолитни интегрирани кола

Во зависност од сложеноста и функцијата димензиите на чипот на монолитните интегрирани кола можат да бидат од неколку mm^2 до преку 350 mm^2 .

Хибридните интегрирани кола се комбинација од монолитните кола и елементи со кола изработени во техника на дебели или тенки филми. Активните кола (чипот) се изработуваат во планарна технологија и се додаваат на пасивна подлога со која се поврзуваат. Зависно од видот на подлогата, постојат дебелислојни и тенкослојни хибридни интегрирани кола, слика 1.51.



Слика 1.51: Дебелислојни и тенкослојни хибридни интегрирани кола

















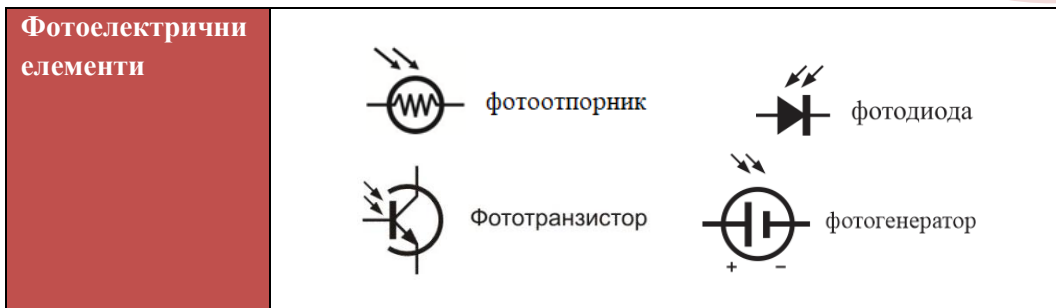
Слика 1.52: Различни видови хибридни интегрирани кола

1.8 ЕЛЕКТРОНСКИ ШЕМИ

Електронски шеми се приказ на одреден електронски склоп, со поврзување на соодветните електронски елементи во една целина. Електронските елементи во шемите се прикажуваат со нивните **графички симболи**. Нивното читање претставува препознавање на елементот, одредување на неговата функција и улогата во дадениот електронски склоп. За правилно читање на електронските шеми е неопходно претходно познавање на симболите на електротехничките елементи и сигналите во електричната шема.

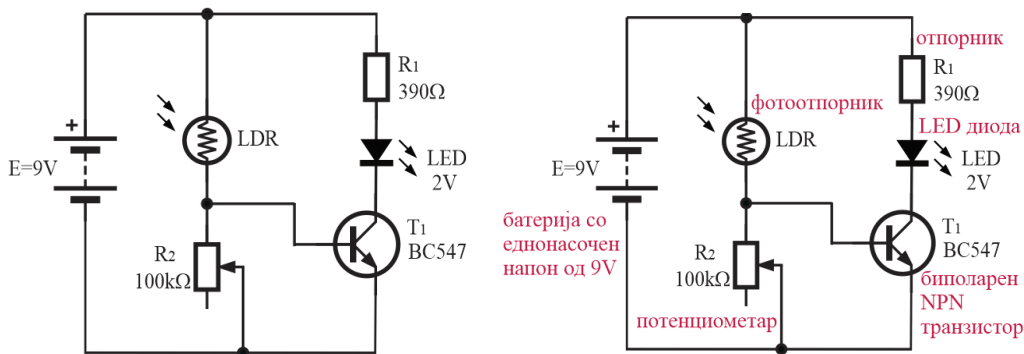
Табела 1.1: Графички симболи на енергетски електронски елементи

<p>Диоди</p>	<p> Насочувачка диода</p> <p> Зенер диода</p> <p> Варактор капацитивна диода</p>	<p> Шоткиева диода</p> <p> Тунел диода</p> <p> LED диода</p>
<p>Биполарни транзистори</p>	<p> транзистор од PNP-тип</p>	<p> транзистор од NPN-тип</p>
<p>Униполарни транзистори</p>	<p> P-канален JFET</p> <p> MOSFET со вграден канал од P-тип</p> <p> MOSFET со вграден канал од N-тип</p>	<p> N-канален JFET</p> <p> MOSFET со индуциран канал од P-тип</p> <p> MOSFET со индуциран канал од N-тип</p>



1.8.1 КОЛО ЗА ВКЛУЧУВАЊЕ НА LED СВЕТЛО СО ФОТООТПОРНИК

Функција на електронската шема за коло за вклучување на LED со фотоотпорник: LED диодата треба да се вклучи и да обезбеди осветлување, само ако нема или има недоволна природна светлина.



Слика 1.53: Вклучување на LED со фотоотпорник

- 1. Анализа** на ова коло претставува идентификација на елементите во шемата.
- 2. Одредување на функцијата и улогата на елементите** во шемата според нивната позиција и карактеристики:

Батеријата е извор на еднонасочен електричен напон од 9V за напојување на колото.

Фотоотпорникот (LDR) има задача да ја регистрира светлината која паѓа на неговата површина и, соодветно, преку промена на сопствената отпорност да предизвика промена на отпорноста во гранката во која е поставен. Тој го вклучува или го исклучува транзисторот T₁.

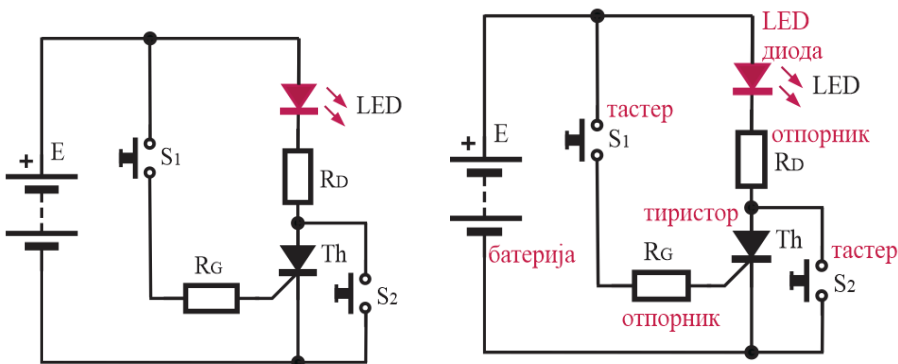
Потенциометарот како променлив отпорник и заедно со LDR се користи за нагодување на вкупната отпорност на која е потребно да дојде до вклучување на транзисторот.

Биполарниот NPN транзистор T_1 е употребен како прекинувач за вклучување на LED диодата.

Отпорникот R_1 е за регулација на јачината на електричната струја во гранката со LED диодата. Воедно е и нејзина заштита.

LED диодата се вклучува при обезбедени услови: транзисторот да спроведува, напонот на нејзините краеве да е 2 V и низ неа да протече електрична струја.

1.8.2 ПРЕКИНУВАЧКО КОЛО СО ТИРИСТОР ЗА ВКЛУЧУВАЊЕ НА LED



Слика 1.54 Вклучување на LED со тиристор

1. **Анализа** на ова коло претставува идентификација на елементите во шемата.
2. **Одредување на функцијата и улогата на елементите** во шемата според нивната позиција и карактеристики:

Батеријата E е еднонасочен извор на електричен напон за напојување на колото.

Отпорникот R_G ја регулира струјата во гранката на тастерот за вклучување на светло и управувачката електрода на тиристорот.

Отпорникот R_D ја регулира јачината на електричната струја во гранката со LED диодата.

Тастерите S1 и S2 соодветно, се за вклучување и исклучување на тиристорот, односно светлото. Тастерот S1 ја затвора гранката кон управувачката електрода на тиристорот и обезбедува електрична струја на управувачката електрода, што значи вклучување, односно спроведување на тиристорот. Тастерот S2 кусо ги врзува анодата и катодата на тиристорот, односно го исклучува.

Тиристорот Th е употребен како прекинувач за потрошувачот, LED диодата. Поврзан е сериски со диодата, па доколку се најде во состојба на спроведување, врши нејзино вклучување. Соодветно, неговото неспроведување значи исклучување на диодата.

LED диодата е потрошувач, односно извор на светлина.

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Има три вида интегрирани кола: аналогни, дигитални и хибридни.
- Сложеноста на интегрираните кола се мери со степенот на интеграција, кој претставува број на транзистори во едно коло.
- Според технолошката изработка, интегрираните кола се делат на: монолитни и хибридни.
- Електронските елементи во шемите се прикажуваат со нивните графички симболи.
- За правилно читање на електронските шеми е неопходно претходно познавање на симболите на електротехничките елементи и сигналите во електричната шема.

1.9 КАТАЛОШКИ ПОДАТОЦИ

Сите електронски елементи се категоризираат во соодветни каталози, според нивната ознака, материјалот, функцијата и нивната примена. Денес, најчесто се користат електронски каталози, поради достапноста и нивно поедноставно ажурирање (дополнување) со нови податоци. Во табела 1.2 се дадени некои податоци од каталожки параметри на одредени видови диоди, во табела 1.3 податоци со каталожки параметри за некои видови транзистори, а во табела 1.4 каталожки податоци за тријак.

Табела 1.2: Каталожки податоци за диоди

Каталожки податоци за насочувачки диоди					
Ознака	Максимална струја при директна поларизација (A)	Директен напон (V)	Струја при инверзна поларизација (mA)	Инверзен напон (V)	Максимална дозволена температура (°C)
AX101	0,5	<0,5	<0,02	40	45
AX102	0,5	<0,6	<0,03	60	45
BY50A	20	1,2	1	100	175
BY50B	20	1,2	1	200	175
1N4001	1	1,1	0.01	50	175
1N4002	1	1,1	0,01	100	175
1N5407	3	1,3	/	1000	175
Каталожки податоци за Зенер диоди					
Ознака	Зенеров напон U_z (V)	Толеранција (%)	Максимална дозволена дисипација на моќност (W)	Максимална дозволена струја при инверзна поларизација (μ A)	
SZ10N 27VL	27	/	5	10	
SZ10N N40VL	40	± 10	6	10	

Табела 1.3: Каталожки податоци за биполарни транзистори

Ознака	Колекторска струја I_c (A)	Напон U_{ce} (V)	Примена
AC187k	1	25	NF транзистор
AL102	6	130	Транзистор на моќност
BD139	1,5	100	Транзистор на моќност

Табела 1.4: Каталожки податоци за тријак

Ознака	Напон при исклучување (V)	Струја при вклучување (A)	Напон на гејт (V)
Q6006LH4TP	600 V	6	1,3
Q6006LH6TP	800 V	16	1,3
OT415Q	600 V	12	1
ВТА308Х-800С0,127	800 V	8	1
CLA80MT1200NHВ	1,2 kV	88	1,3
CLA40MT1200NPВ	1,2 kV	44	1,3

Прашања за утврдување на знаењата од Модул 1



1. Кои електронски елементи се пасивни?
2. Кои електронски елементи се активни?
3. Што значи електронски елемент да работи како прекинувач?
4. Зошто електронските елементи се сместени во куќишта?
5. Каква е функцијата на насочувачката диода?
6. Колку приклучоци имаат диодите?
7. Кои се приклучоците на диодата?
8. Што е разликата меѓу електронска и енергетска диода?
9. Колку видови на транзистори постојат?
10. Колку приклучоци имаат транзисторите?
11. Кои се приклучоците на биполарните транзистори?
12. Кои се приклучоците на униполарните транзистори?
13. Кои се предностите на биполарниот транзистор со изолиран гејт во однос на другите видови?
14. Кои се приклучоците на IGBT транзисторот?
15. За што се користат тиристорите во енергетиката?
16. Кој вид тиристор се однесува како двонасочна диода?
17. Дали приклучоците на термисторите имаат поларитет?
18. Како се менува отпорноста на PTC термистор?
19. Кој фотоелемент се нарекува соларна ќелија?
20. Што е разликата меѓу варистор и фотоотпорник?
21. Што е разликата меѓу фотодиода и LED диода?
22. Колку приклучоци има фототранзисторот?
23. Што претставува читање на електронска шема?
24. Каде се наоѓаат податоци за одреден тип на елемент?
25. Што значи ознаката на електронскиот елемент?

ТЕМАТСКО УТВРДУВАЊЕ

I Прашања со заокружување

(Заокружи ги точните одговори)



1. Кој електронски елемент има еден PN-спој и два изводи?
 - а) диода
 - б) тиристор
 - в) транзистор

2. Изводи на биполарни транзистори се:
 - а) сорс, дрејн и гејт
 - б) анода и катода
 - в) емитер, база и колектор

3. Изводи на униполарни транзистори се:
 - а) анода и катода
 - б) сорс, дрејн и гејт
 - в) емитер, база и колектор

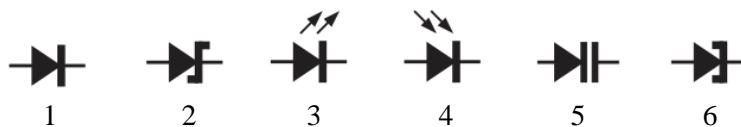
4. Изводите на тиристорот се означуваат:
 - а) G, D, S
 - б) A, K, G
 - в) E, B, C

5. Тиристор со три електроди е:
 - а) дијак
 - б) тријак
 - в) емитер, база и колектор

6. Отпорноста на PTC отпорниците зависи од:
 - а) осветленоста
 - б) температурата
 - в) притисокот на околината

II Прашања со поврзување

7. Поврзи ги графичките симболи со соодветните диоди:



Варикап диода _____

Насочувачка диода _____

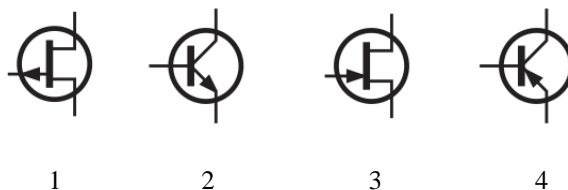
Зенер диода _____

Фотодиода _____

LED диода _____

Тунел диода _____

8. Поврзи ги графичките симболи со соодветните транзистори:



N-канален FET _____

PNP-транзистор _____

P-канален FET _____

NPN-транзистор _____

9. Поврзи ги графичките симболи со соодветните елементи:



Тиристор

Дијак

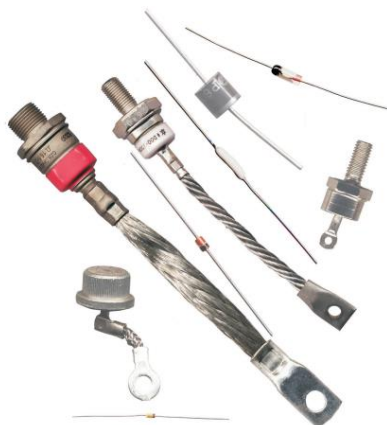
Тријак

III Прашања со дополнување

10. Од полупроводникот од P-тип на диодата се изведува електродата наречена _____, а од полупроводникот од N-тип се изведува електродата _____.
11. Електронските елементи со три PN-споеви се нарекуваат _____.
12. Тиристор кој спроведува во две насоки се нарекува _____.
13. Тиристор кој има управувачка електрода се нарекува _____.
14. Електронски елементи кои се меѓусебно поврзани и се наоѓаат во едно куќиште се нарекуваат _____.

Модуларна единица 2

Диоди



Со изучување на содржините од оваа модулarna единица ученикот ќе стекне основни знаења за диодните кола и ќе може:

- да чита каталошки податоци;
- да објаснува поларизација на диоди;
- да претставува карактеристики на електронски компоненти во графички облик;
- да објаснува принцип на работа на диоди;
- да определува режим на работа;
- да разликува видови диоди и нивна примена;
- да претставува диода како прекинувач;
- да го објаснува стабилизирачкото својство на Зенер диодата;
- да прикажува симболи на компоненти во диодни кола;
- да дискутира принцип на работа на полубранов насочувач со една диода;
- да дискутира принцип на работа на ограничувач со една диода;
- да решава задачи и графички да анализира диодни кола;
- да реализира практични вежби со едноставни диодни кола.

2.1 PN-СПОЈ

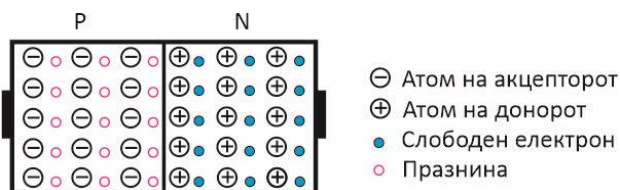


Полупроводник од N-тип се добива со внесување на петвалентни атоми (наречени донори) во кристалната решетка на германиум или силициум, притоа електроните се главни носители на електричниот полнеж.

Со внесување тривалентни атоми (наречени акцептори) во кристалната структура на германиум или силициум се добива полупроводник од P-тип, притоа празнините се главни носители на електричниот полнеж.

Полупроводниците од N и од P-тип индивидуално не се од голема полза. Многу поинтересен ефект се добива кога двата типа полупроводници меѓусебно се комбинираат во еден кристал на повеќе начини. При тоа обичното физичко спојување на два вида кристали не е употребливо, туку во еден единствен кристал, кој веќе содржи примеси од еден тип (т.н. подлога), од едната страна на кристалот се врши внесување на примеси од спротивен тип, но со многу повисока концентрација. На пр., се внесуваат акцептори во подлога од N-тип или обратно, донори во подлога од P-тип. Поради повисоката концентрација, новите примеси го менуваат типот на полупроводникот во делот од кристалот каде што се внесени. На тој начин се формира полупроводничката структура наречена **PN-спој**. Тој од едната страна има полупроводник од P-тип, а од другата страна полупроводник од N-тип.

Да замислиме дека спојот на двата полупроводника штотуку настанал. Таа состојба е прикажана на слика 2.1 и може да постои само во замислениот момент на создавање.

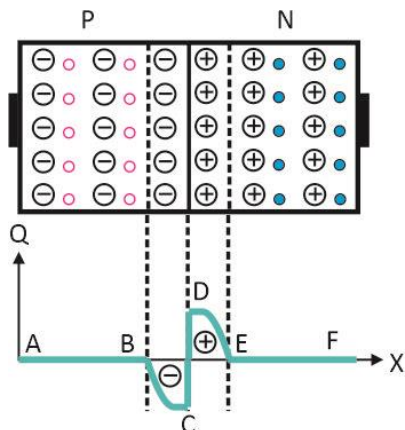


Слика 2.1: Кристал на PN-спој

Имено, знаеме дека концентрацијата на електрони на N-страната е многу поголема од концентрацијата на празнини, а на P-страната концентрацијата на празнини е многу поголема од концентрацијата на електрони. Тоа создава состојба на силна нерамнотежа на концентрациите поради која електроните се придвижуваат кон P-страната, додека празнините кон N-страната. Ваквото придвижување се одвива без надворешни влијанија според т.н. принцип на дифузија. Принципот на дифузија вели дека честичките кои можат слободно да

се движат во некој простор секогаш се стремат да постигнат изедначена концентрација во целиот простор.

Сепак, движењето на електроните и празнините кон спротивните страни кај PN-спојот не трае до изедначување на концентрациите во целиот простор бидејќи тие се рекомбинираат веднаш штом ќе поминат на другата страна од спојот. На тој начин околу спојот се создава подрачје без слободни електрони и празнини (т.е. без слободни носители на електричен полнеж). Во тоа подрачје остануваат само акцепторски и донорски јони кои исто така се носители на електричен полнеж, но се неподвижни бидејќи се врзани во решетката. Вака создаденото подрачје се нарекува подрачје на просторен полнеж. Со навлегувањето на електроните и празнините во спротивните страни од PN-спојот подрачјето се шири сè до моментот кога се воспоставува рамнотежа и престанува натамошното навлегување.



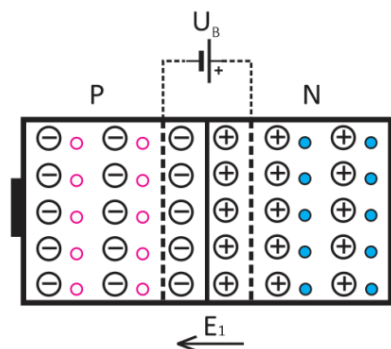
Слика 2.2: Распределба на густината на полнежи

Оваа состојба е прикажана на слика 2.2. На сликата е прикажана и распределбата на полнежите долж полупроводникот со PN-спој. Делот A-B е стандардниот полупроводник од P-тип во кој постои рамнотежа (еднаквост на концентрациите) меѓу негативниот полнеж на акцепторските јони и позитивниот полнеж на празнините.

Делот E-F е стандардниот полупроводник од N-тип со рамнотежа меѓу позитивниот полнеж на донорските јони и негативниот полнеж на електроните. Поради тоа деловите A-B и E-F се електрички неутрални (вкупниот полнеж во тие делови е 0). Во делот B-C се наоѓаат само акцепторски јони од P-полупроводникот, а во делот D-E само донорски јони од N-полупроводникот. Помеѓу овие врзани полнежи се појавува електрично поле E_1 кое всушност, е причината за запирање на натамошното навлегување на електроните и празнините кон спротивните страни. Затоа подрачјето на просторен полнеж се нарекува и подрачје на попречување (бариера). Навистина, ако уочиме дека полето е насочено од N кон P-страната на спојот (од позитивните кон негативните јонски полнежи), тогаш е јасно дека тоа ќе дејствува врз

електроните со сила насочена од P кон N-страната и ќе ги попречува да поминат – ќе ги враќа од спојот кон N-страната. На сличен начин ги попречува и празнините, но сега со сила во спротивната насока (од спојот кон P-страната), бидејќи тие се носители на позитивен полнеж.

Подрачјето на попречување е мошне тесно и обично е од редот на $1\mu\text{m}$. Полето што се создава во него предизвикува појава на внатрешна потенцијална разлика меѓу двата краја на подрачјето, позната под името потенцијална бариера. Таа симболично е прикажана со изворот U_B на слика 2.3.



Слика 2.3: Потенцијална бариера во PN-спој

Интересно е да забележиме дека непостоето слободни носители на електрицитет во подрачјето на попречување прави тоа да се однесува како изолатор. Од друга страна, внесените примеси во полупроводникот ја прават P-страната релативно добар спроводник, а истото тоа го прават и примесите внесени во N-страната. Комбинацијата од два спроводника разделени со изолатор, всушност, претставува кондензатор, а во случајов тој е во форма на плочест кондензатор. Неговата капацитивност се пресметува според познатата формула за плочест кондензатор:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot S}{d} \dots\dots\dots(2.1)$$

каде S претставува површина на спојот, d -ширината на зоната на попречување, а ε -диелектрична константа.

Што се однесува до споредните носители, внатрешното електрично поле го овозможува нивното преминување преку спојот и се формира струја на споредни електрони и струја на споредни празнини. Но таа е само незначителен дел од вкупната струја што под дејство на електричното поле ја поништува струјата што би настанала со дифузија поради големите разлики во концентрациите на двете страни од PN-спојот. На тој начин PN-спојот се одржува во рамнотежа.



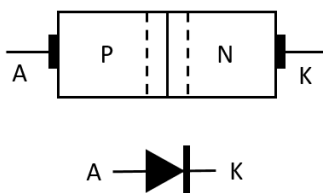
Истражи го влијанието на електричното поле врз позитивно и негативно наелектризирани честички!

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- PN-спој е полупроводничка структура формирана со внесување на акцептори во подлога од N-тип или обратно, донори во подлога од P-тип.
- Барьерата е подрачје без слободни електрони и празнини.
- Ако се поврзе позитивниот пол на изворот со приклучокот на P-подрачјето, а негативниот пол на приклучокот на N-подрачјето, PN-спојот е директно поларизиран.
- Во неспроводно поларизируваниот PN-спој, тече мала струја, струја на споредните носители на полнежите, празнините во N-подрачјето и електроните во P-подрачјето. Оваа струја има многу мала вредност, затоа што е мал бројот на споредните во однос на главните носители на полнежите.

2.2 ПОЛАРИЗАЦИЈА НА ДИОДАТА

Прв и основен претставник меѓу електронските елементи базиран врз PN-спојот е полупроводничката диода. Структурата и графичкиот симбол на диодата се дадени на слика 2.4.



Слика 2.4: Структура и графички симбол на диодата

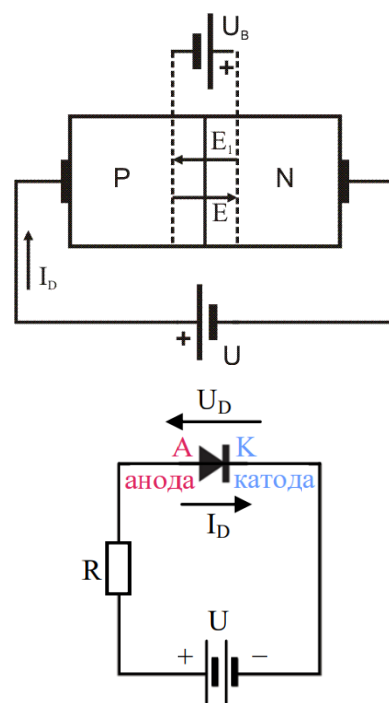
Металниот приклучок на P-делот се нарекува анода и се означува со буквата А, а на N-делот е катода означена со К. Основната карактеристика на диодата е, како и кај PN-спојот, да ја пропушта електричната струја само во една насока од анодата кон катодата.

Диодата е поларизирана во спроводна насока или директно, кога позитивниот пол на изворот за напон е врзан со анодата, а негативниот со катодата. Инверзна или неспроводна поларизација имаме кога позитивниот пол на изворот е врзан со катодата, а негативниот со анодата на диодата. Ако на металните приклучни места на краевите на кристалот на PN-спој се приклучи извор на еднонасочен напон, во внатрешноста на кристалот ќе се создаде електрично поле E , коешто понатаму ќе го викаме надворешно. Под негово влијание, во PN-спојот ќе настапат различни промени, во зависност од тоа како е приклучен изворот.

Директно поларизирана диода

Ако се поврзе позитивниот пол на изворот со приклучокот на P-подрачјето, а негативниот пол на приклучокот на N-подрачјето (слика 2.5), надворешното електрично поле E ќе има спротивна насока од внатрешното поле E_I .

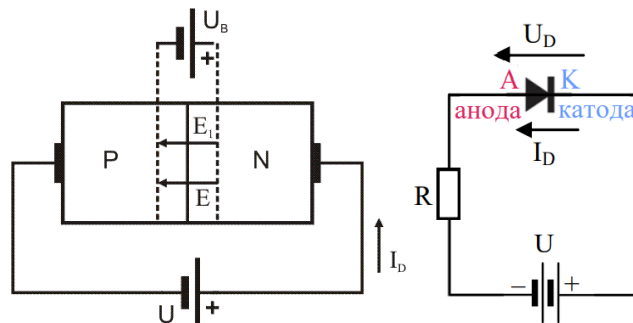
Под влијание на резултантното поле, потенцијалната бариера се намалува, празнините од P-подрачјето ќе преминуваат во N-подрачјето, а електроните од N-подрачјето преминуваат во P-подрачјето, па протекува струја I_D . PN-спојот станува спроводлив, односно станува поларизиран во спроводлива насока. За PN-спојот практично да стане спроводлив, потребно е струјата I_D да има јачина од редот на $1\mu\text{A}$. Напонот, при кој ќе протече оваа струја се вика напон на вклучување на диодата и неговата вредност зависи од материјалот на полупроводникот. За германиумот тој изнесува $0,3\text{ V}$, а за силициумот $0,7\text{ V}$.



Слика 2.5: PN-спој поларизиран во спроводна насока

Инверзно поларизирана диода

При свртувањето на поларитетот на изворот се свртува и насоката на надворешното поле E (слика 2.6) и неговата насока се совпаѓа со насоката на внатрешното поле E_I .

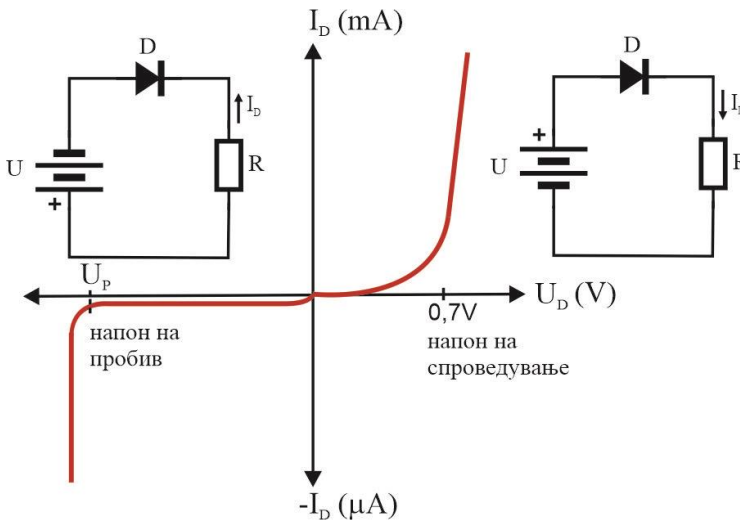


Слика 2.6: PN-спој поларизиран во неспроводна насока

Сега потенцијалната бариера станува поголема, зоната на попречување поширока, па основните електрони и празнини уште потешко ќе можат да ја поминуваат. Во оваа состојба, PN-спојот е поларизиран во неспроводна насока. Во неспроводно поларизиранот PN-спој, сепак, тече мала струја. Тоа е струјата на споредните носители на полнежите, празнините во N-подрачјето и електроните во P-подрачјето. Оваа струја има многу мала вредност, затоа што е мал бројот на споредните во однос на главните носители на полнежите. Интересно е да се напомене дека таа расте со зголемување на температурата, што влијае врз поведението на електронските елементи кај кои е применет PN-спојот.

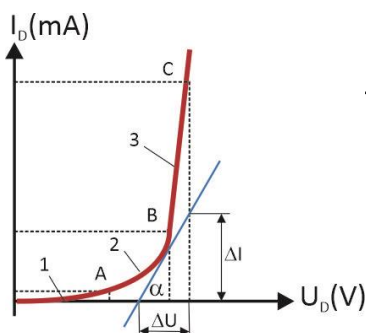
2.3 СТРУЈНО-НАПОНСКА КАРАКТЕРИСТИКА НА ДИОДАТА

Статичката карактеристика на диодата (слика 2.7а) најдобро ја опишува состојбата при директната и при инверзната поларизација на диодата. Тоа е струјно-напонска карактеристика која ја претставува зависноста на струјата на диодата I_D од еднонасочниот напон на нејзините краеве U_D , при одредена константна температура на околината (слика 2.7б).

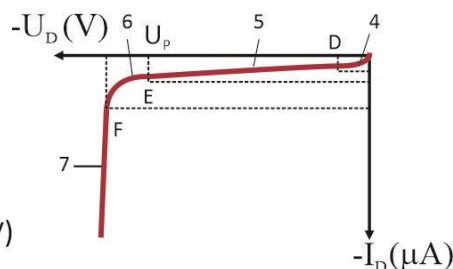


Слика 2.7: Статичка карактеристика на диодата
т.н. струјно-напонска карактеристика

Карактеристиката на директно поларизирана диода е прикажана во првиот квадрант. Таа може да се подели на три зони (слика 2.8).



Слика 2.8: Карактеристика на спроводно поларизирана диода



Слика 2.9: Карактеристика на инверзно поларизирана диода

Првата зона, од координатниот почеток до точката А, е подрачје на многу мали напони. Тука се работи за напони од неколку десетини милivolти, при што струјата достигнува вредности помали од микроампер. Блиску до координатниот почеток таа е праволинииска, а потоа преминува во параболола.

Во **втората зона** формата на карактеристиката најмногу одговара за процесот на детекција. Таа се протега од точката А до точката на напонот на вклучувањето на диодата (В), кој, да повториме, за германиумот изнесува 0,3V, а за силициумот 0,7 V.

Третата зона, од точката В до точката С, претставува подрачје на големи струи. Овде напонот на краевите на диодата не се менува значително во еден поширок опсег на промена на струјата. Отпорот на диодата се менува со промена на директниот напон, донесен на диодата. Тој е одреден со наведнатоста на карактеристиката во таа точка:

$$rd = \frac{\Delta U_D}{\Delta I_D} \dots\dots\dots(2.2)$$

Карактеристиката на инверзно поларизираната диода е прикажана во третиот квадрант на координатните оски. И таа може да се подели на неколку зони (слика 2.9).

Зоната број 4, од 0 до точката D, е идентична со зоната број 1, спојот во двете зони се однесува симетрично и поради тоа при мали напони нема појава на насочување.

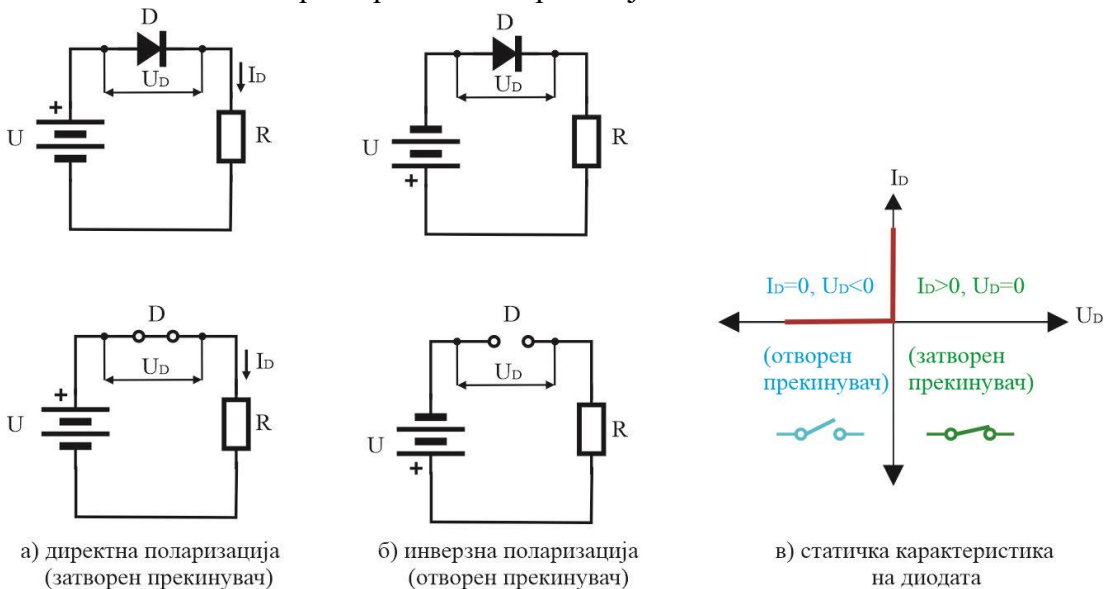
Во **зоната број 5**, од точката D до точката E, инверзната струја се доближува кон една константна вредност, наречена инверзна струја на заситување. Отпорот на диодата во оваа зона е многу голем, но никогаш не станува бесконечен.

Зона 6, од точката E до точката F, е подрачје на коленото на карактеристиката. Тука при мал пораст на инверзниот напон, инверзната струја

почнува да се зголемува. Кај диодите од силициум оваа зона е многу тесна, а кај германиумовите диоди е поширока. Вредноста на максималниот дозволен инверзен напон U_{BR} се наоѓа на почетокот на коленото на карактеристиката.

Во **зоната 7** настапува пробив на PN-спојот на диодата, при што инверзната струја многу се зголемува. Пробивот на диодата може да биде од термички и од електрични причини.

Дефинираната струјно-напонска карактеристика на диодата се однесува на физички реална диода. За анализа на многу електронски кола се користи модел на **идеална диода**, која во директната насока има отпор нула и претставува совршен спроводник (слика 2.10 а), а во инверзната насока нејзината струја е нула и има бесконечен отпор (слика 2.10 б). Оваа апроксимација на нејзината карактеристика е дадена на слика 2.10 в). Идеалната диода дејствува како **бесконтактен прекинувач** – затворен прекинувач, кога е директно поларизирана, и како отворен прекинувач, кога е инверзно поларизирана. Овој линеарно сегментен модел ги задоволува резултатите во режим на големи сигнали, односно, напони во колото многу пати поголеми од напонот на диодата при директна поларизација.



Слика 2.10: Карактеристика на идеална диода

Од извршената анализа на струјно-напонската карактеристика на диодата произлегува дека таа е неуправлив вентил кој ја спроведува струјата само во еден смер (од анода кон катода), додека при инверзна поларизација го презема негативниот, инверзен напон.

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Основната карактеристика на диодата е да ја пропушта електричната струја само во една насока од анодата кон катодата.
- Диодата е поларизирана во спроводна насока или директно, кога позитивниот пол на изворот на напон е врзан со анодата, а негативниот со катодата.
- Инверзна или неспроводна поларизација на диодата имаме кога позитивниот пол на изворот е врзан со катодата, а негативниот со анодата на диодата.
- Струјно-напонската карактеристика на диодата ја претставува зависноста на струјата на диодата од еднонасочниот напон на нејзините краеве, при одредена константна температура на околината.

2.4 КЛАСИФИКАЦИЈА НА ДИОДИТЕ

Денес се среќаваме со повеќе видови диоди, зависно од материјалите од кои се изработени и од нивната намена. Според намената разликуваме: насочувачки, ограничувачки, прекинувачки, Зенер, фотодиоди, LED диоди, капацитивни и други диоди (слика 2.11).



Слика 2.11: Шематски приказ на видови полупроводнички диоди

Насочувачка диода. Основна карактеристика на насочувачката диодата е да ја пропушта електричната струја само во една насока од анодата кон катодата. Во спротивна насока низ диодата тече инверзна струја многукратно помала од струјата во спроводната насока. Насочувачкото својство на диодата се користи во *уреди кои претвораат наизменична во еднонасочна струја*. Тие уреди се нарекуваат *насочувачи*.

Зенер диода. Зенер диодата има мала промена на напонот на нејзините краеве при големи промени на струјата при инверзна поларизација. Ова нејзино својство *се применува во електронски кола за стабилизација на еднонасочен напон*. Зенер диодите се изработуваат за напони на стабилизација од 3 до 75 V, но можни се и напони надвор од овој опсег (до 200 V).

LED диода. LED или светлечка диода (името доаѓа од кратенката на англискиот израз **Light Emitting Diode** – диода која емитира светлина) претставува извор на светлина. Принципот на работа на LED диодата се базира на својството на електронот да емитира енергија од одредена област на видливиот спектар, кога преминува од повисоко во пониско енергетско ниво. За тоа е потребен надворешен извор за напојување. Во процесот на создавање на светлината, наречен електролуминисценција, LED диодата е спроводно поларизирана. Бојата на зрачење на LED диоди зависи од материјалот на изработка, таа може да биде црвена, зелена, жолта, сина и др. *LED диодата има поголема брзина на вклучување и исклучување, што овозможува да се користи за пренос на дигитални информации преку фиброоптички влакна со голема брзина. LED диода со ултра светла бела боја со напон од 3 V и моќност од околу 1 W има примена во светлечки тела.* Светлечки тела со поголема моќност (12 W, 24 W итн.) се добиваат со сериска врска на поголем број вакви диоди.

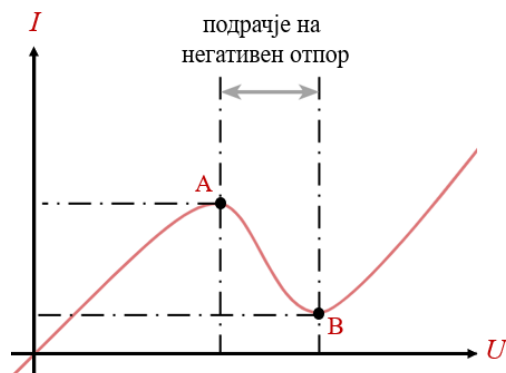
Фотодиода. Фотодиодата, како и другите фотодетектори, има задача да ја претвори светлосната радијација во електричен сигнал. Во идеален случај, електричниот сигнал треба да биде пропорционален на јачината на светлината која ѝ ја менува нејзината спроводливост. Струјата која тече во диодата кога не е осветлена се нарекува струја на темно. *Една од најпознатите примени е како соларна ќелија во која се акумулира енергија добиена од светлината. Фотодиодите најмногу се среќаваат и во алармните системи. Се применуваат и во уреди за детекција на букви, видливи и невидливи објекти, во енкодери и оптички комуникации.* Како материјал за изработка на фотодиодите најчесто се користи силициум или галиум арсенид, индиум антимионид, индиум арсенид, оловен селенид и оловен сулфид.

Капацитивна диода. Оваа диода се однесува како променлив кондензатор, при што промената на капацитивноста се добива со промена на напонот на нејзините краеве. Капацитивноста се постигнува со постоење празен регион на PN-спојот кој дејствува како диелектрик. *Најчесто се применува во радио и ТВ-приемниците.*

Шоткиева диода. Шоткиевите диоди се добиваат со нанесување на полупроводник од N-тип (катода) директно на метал (анода), односно не претставуваат PN-спој. Со тоа се избегнува постоење на инверзна струја, отпорот во спроводна состојба станува многу мал, додека брзината на насочување се зголемува. Прагот на спроведување на овие диоди е два пати понизок од прагот на спроведување на силициумските диоди и изнесува (0,3-

0,4) V. Се применуваат како прекинувачки елементи во дигиталните кола, кои во состојба „отворено“ имаат бесконечно голем отпор, а во состојба „затворено“ бесконечно мал отпор.

Тунел диода. Тунел диодата претставува диода со ефект на тунел, кој се постигнува со поголема концентрација на примеси, со тоа се зголемува моќноста на носителите на полнежот и тие ја пробиваат бариерата (постапка слична на пробивање тунели). На слика 2.12 е дадена струјно-напонската карактеристика на тунел диодата. Кај оваа диода, од интерес е подрачјето од карактеристиката помеѓу точките А и В кое се нарекува „подрачје на негативен отпор“, бидејќи со зголемување на напонот на краевите на диодата се намалува струјата низ неа.



Слика 2.12: Струјно-напонска карактеристика на тунел диода

Ова подрачје овозможува употреба на тунел диодите во прекинувачките и засилувачките кола, а најчесто во *осцилаторите*. Тунел диодата е диода со голема брзина и има примена во *осцилатори во микробрановата област* и за *релаксациони осцилатори*.

Во табела 2.1 е даден дел од каталог за диоди, кој е составен од четири колони во кои, во првата и втората колона се дадени ознаката и кодот на диодата, во третата колона е даден материјалот од кој е изработена а во последната колона се наоѓа описот и примената на диодата.

Табела 2.1: Дел од каталог за видови диоди

Ознака	Код	Матријал	Краток опис на елементот
AA	119	Ge	диода демодулатор, високо омска 30 V, 35 mA
AA	133	Ge	диода универзална, 130 V, 50 mA
BA	159	Si	диода прекинувач, 1000 V/1 A, 300 ns



На интернет можете да најдете каталози за диоди од различни производители. Да се изработи табела со податоци за следните диоди 1N 4007, 1N 4148, BY 500/400, PBY 266, BY 50!

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Насочувачката диода пропушта електрична струја само во една насока, од анодата кон катодата. Таа е составен дел на насочувачите.
- Зенер диодата – мала промена на напон при големи промени на струјата при инверзна поларизација. Се користи за стабилизација на напон.
- Фото диодата ја претвора светлосната енергија во електричен сигнал.
- LED диодата ја претвора електричната струја која тече низ неа во светлосна енергија.
- Капацитивната диода го менува својот капацитет во зависност од големината на инверзниот напон приклучен на нејзините краеве.
- PIN диодата ја менува отпорноста со промена на струјата низ неа. Се применува како прекинувачки елемент.
- Тунел диода – во карактеристиката има подрачје на негативен отпор –со зголемување на напонот на краевите на диодата се намалува струјата низ неа. Се применува кај осцилаторите.

2.5 ДИОДНИ КОЛА

2.5.1 ДИОДНИ НАСОЧУВАЧИ

Својството на диодата да пропушта струја во една насока овозможува нејзина примена во уреди кои служат за добивање еднонасочни напони од наизменичниот напон на електричната мрежа (т.н. **исправувачи**). Потребата од исправувачи произлегува од фактот дека голем број електронски уреди работат на еднонасочни напони за напојување.

Исправувачите се електронски преобразувачки склопови кои ја претвораат наизменичната електрична енергија во еднонасочна. Насочувачките уреди може да се поделат според начинот на поврзување со наизменичната мрежа, според карактерот на излезниот напон и според степенот на управливост.

Според начинот на врзување со наизменичната мрежа разликуваме:

- еднофазни и
- повеќефазни.

Според начинот на користење на енергијата од наизменичната мрежа насочувачките уреди може да бидат:

- полубранови и
- целобранови.

Според степенот на управливост разликуваме:

- неуправувани исправувачки уреди во кои се користат диоди како вентили,
- полууправувани исправувачки уреди во кој диодите и тиристорите се користат како вентили,
- управливи исправувачки уреди во кои се користат тиристори како вентили.

Кај неуправуваните исправувачи може да се постигне промена на излезниот напон со промена на влезниот наизменичен напон или со промена на оптоварувањето. Кај управливите исправувачи промена на излезниот напон се постигнува со промена на почетниот момент на спроведување на тиристорите. На слика 2.13 е дадена блок-шема на еден комплексен уред за напојување од мрежа со наизменичен напон со примена на мрежен трансформатор. Со овој уред се извршуваат три основни функции: промена на мрежниот напон со трансформатор, насочување и стабилизација на излезниот напон.



Слика 2.13: Блок-шема на исправувач

Со помош на трансформаторот се остварува приспособување на влезниот напон кон насочувачот и галванско одвојување на електричната мрежа од оптоварувањето кое се напојува. Трансформаторот има една примарна и една или повеќе секундарни навивки, од кои се добиваат разни секундарни напони. Секундарните напони се добиваат како производ на примарниот напон и односот на трансформацијата n :

$$n = \frac{N_{SEK}}{N_{PRIM}} \dots\dots\dots (2.3)$$

кадешто со N се означува бројот на навивките на примарот и секундарот.

Со насочувачот се остварува функцијата на претворување на наизменичната енергија во еднонасочна.

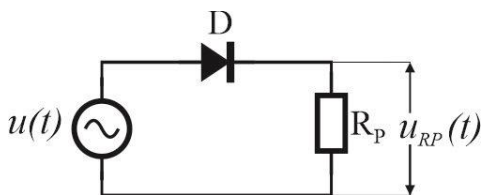
Филтерот ги намалува пулсирањата на излезниот напон и струја на потрошувачот R_L .

Неуправливи исправувачи се исправувачи кај кои диодите се користат како вентили. Постојат два типа еднофазни диодни исправувачи кои вршат преобразување на еднофазниот наизменичен напон во излезен еднонасочен напон, и тоа:

- еднофазен полубранов исправувач и
- еднофазен целобранов исправувач.

2.5.1.1 ЕДНОФАЗЕН ПОЛУБРАНОВ НАСОЧУВАЧ

Наједноставниот еднофазен диоден насочувач е составен од една диода D приклучена во серија со потрошувачот во колото претставен со отпорност R_P (слика 2.14).

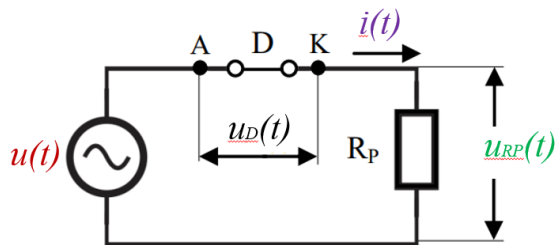


Слика 2.14: Полубранов насочувач со диода

На влез на колото е приклучен наизменичен синусоидален извор на напон $u(t)$, а на излез потрошувачот R_P . Колото ќе се анализира за време на позитивна и негативна полупериода на наизменичниот влезен напон $u(t)$.

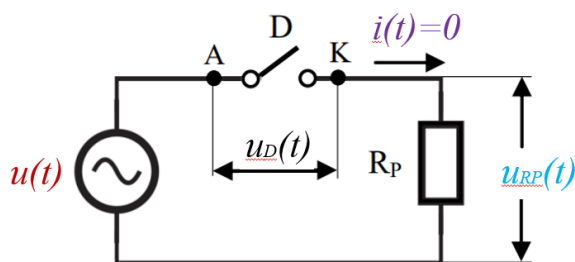
Со цел за поедноставна анализа диодата ќе биде заменета со нејзиниот идеален еквивалент. За време на позитивната полупериода на влезниот напон $u(t)$, анодата на диодата ќе биде на повисок потенцијал од нејзината катода.

Диодата ќе биде директно поларизирана, претставена со затворен прекинувач, нема пад на напон на нејзините краеве, но ќе тече струја низ неа во насока од анодата кон катодата. Таа е истовремено и струја низ потрошувачот R_P со насока означена на слика 2.15.

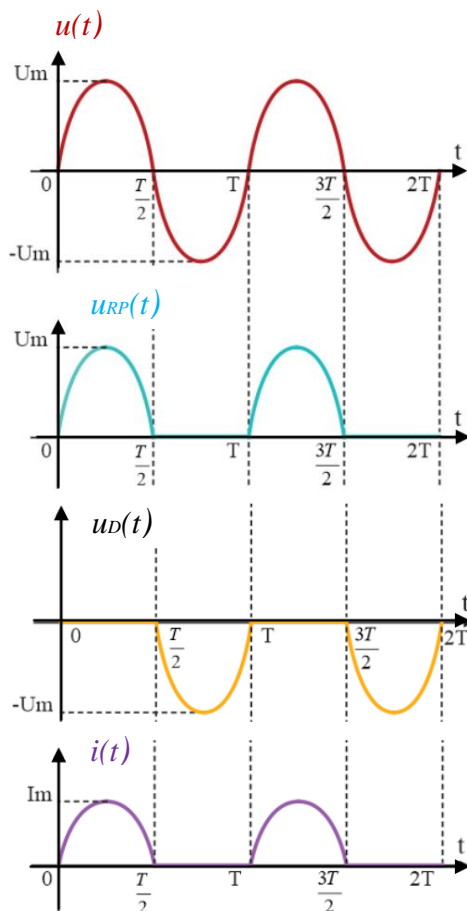


Слика 2.15: Полубранов насочувач со диода за време на позитивна полупериода на изворот $u(t)$

Во временскиот интервал од $T/2$ до T на напонот $u(t)$, катодата на диодата ќе биде на повисок потенцијал од нејзината анода. Диодата ќе биде инверзно поларизирана, претставена со отворен прекинувач, и нема да протекува струја низ колото (слика 2.16). Притоа нема пад на напон на потрошувачот R_P . Напонот на диодата ќе биде идентичен со приклучениот напон $u(t)$.



Слика 2.16: Полубранов насочувач со диода за време на негативната полупериода на изворот $u(t)$



Слика 2.17: Бранови облици на карактеристични големини

На слика 2.17 се прикажани брановите облици на влезниот синусен напон $u(t)$, напонот на потрошувачот $u_{RP}(t)$, напонот на диодата $u_D(t)$ и струјата $i(t)$ на полубранов насочувач за време од две периоди. Во временскиот интервал од 0 до $T/2$, како и од T до $3T/2$ (поради периодичноста на синусниот напон) на напонот $u(t)$, напонот на потрошувачот е $u_{RP}(t)=u(t)$, додека во временскиот интервал од $T/2$ до T ($3T/2$ до $2T$) напонот на потрошувачот е $u_{RP}(t)=0$.

Брановата форма на струјата низ потрошувачот $i(t)$ е со иста форма со напонот на потрошувачот $u_{RP}(t)$ но со помала амплитуда. Бидејќи струјата низ потрошувачот тече само за време од една полупериода, овој насочувач е наречен полубранов насочувач.

Од извршената анализа може да се забележи дека напонот на диодата е идентичен со влезниот напон, кога таа е неспроводна. Затоа е потребно да се

конструира коло со диода која има поголем напон на пробив од приклучениот влезен напон за да не дојде до нејзино пробивање. Во насочувачките кола најчесто се користат силициумски диоди.

Во колото, во времетраење на една периода, тече средна вредност на еднонасочна струја, која се пресметува според:

$$I_{SR} = \frac{I_m}{\pi} = 0,32I_m \dots\dots\dots(2.4)$$

при што со I_m е означена амплитудата на струјата, додека еднонасочниот напон според:

$$U_{Rp} = \frac{U_m}{\pi} \dots\dots\dots(2.5)$$

при што U_m е амплитуда на наизменичниот напон.

Оваа струја може да се претстави како да е составена од една еднонасочна компонента I_{SR} и од повеќе хармониски компоненти, од кои првата има најголема амплитуда. Односот на овие две компоненти го одредува **факторот на брановитост** како мерка за квалитетот на уредот за напојување. За добар насочувач, факторот на брановитост треба да биде што е можно помал.

Полубрановиот насочувач има фактор на брановитост 1,21 и мала средна струја што го прави насочувач од пониска класа. Средната струја, како еднонасочна компонента, го магнетизира јадрото на трансформаторот и го носи во заситување со што се зголемуваат загубите во железото.

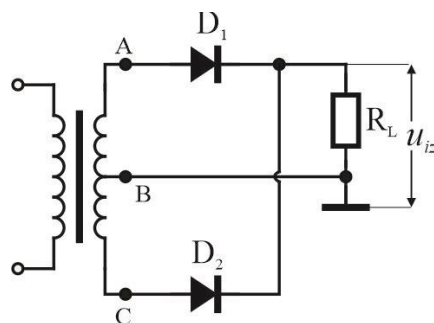
2.5.1.2 ЕДНОФАЗЕН ЦЕЛОБРАНОВ НАСОЧУВАЧ

Целобрановиот насочувач има подобри карактеристики од полубрановиот насочувач. Може да се изведе во две варијанти: со 2 насочувачки диоди и со 4 насочувачки диоди меѓусебно поврзани во конфигурација на мост, познат како **Грецов спој**.

На слика 2.18 е дадена шема на целобранов насочувач со две диоди, кој работи како два полубранови насочувачи во противфаза и напојуваат ист потрошувач.

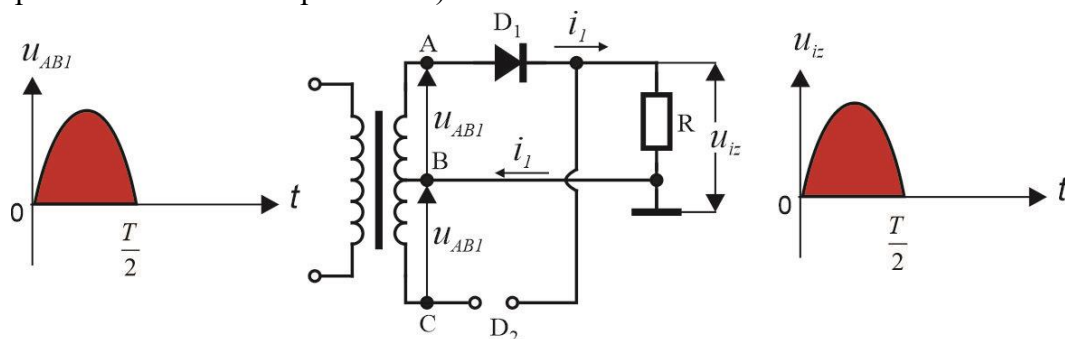
Насочувачот е составен од трансформатор со среден извод на секундарната навивка, односно со два секундара и две диоди D_1 и D_2 . Напоните на секундарите на трансформаторот u_{AB} и u_{BC} имаат иста амплитуда но спротивна фаза. Потрошувачот е претставен со отпорникот R .

Анодите на диодите (точките А и С) се приклучени на краевите на секундарната навивка на трансформаторот. Катодите на диодите се поврзани на едниот крај на потрошувачот R, а другиот крај на потрошувачот е приклучен на средниот извод на секундарната навивка (точката В).



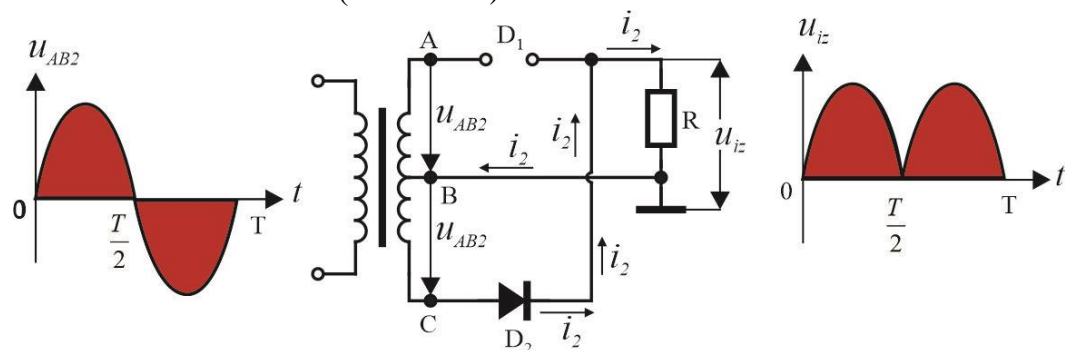
Слика 2.18: Целобранов насочувач со две диоди

За време на позитивната полупериода на напонот u_{AB1} , диодата D_1 е директно поларизирана и тече струја i_1 низ потрошувачот R во насока од точката А кон точката В (слика 2.19). Во исто време, напонот u_{BC} е негативен, диодата D_2 е инверзно поларизирана и не тече струја низ неа (на сликата е претставена како отворено коло).



Слика 2.19: Целобранов насочувач со две диоди за време на позитивната полупериода

За време на негативната полупериода на напонот u_{AB2} , диодата D_2 е директно поларизирана и тече струја i_2 низ потрошувачот R во насока од точката С кон точката В (слика 2.20).

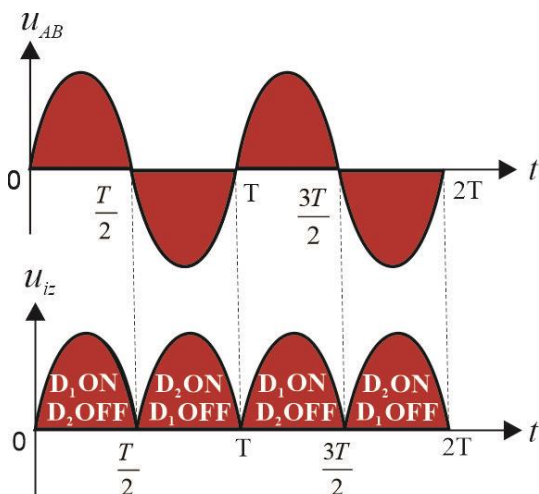


Слика 2.20: Целобранов насочувач со две диоди за време на негативната полупериода

Во исто време, напонот u_{AB2} инверзно ја поларизира диодата D_1 и не тече струја низ неа (на сликата е претставена како отворено коло).

Струјата низ потрошувачот ќе тече во иста насока за време на двете полупериоди на влезниот напон. Затоа овој насочувач се нарекува целобранов насочувач.

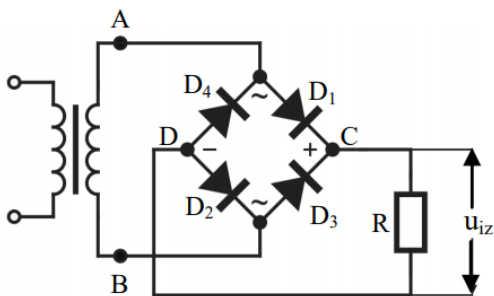
На слика 2.21 се прикажани брановите облици на напонот u_{AB} и излезниот напон за време од две периоди на целобрановиот насочувач со две диоди.



Слика 2.21: Бранови облици на напоните кај целобранов насочувач со две диоди

Овие карактеристики покажуваат дека целобрановиот насочувач е многу подобар од полубрановиот, со таа разлика што користи нешто поскап секундар со среден извод. Но, затоа, пак, трансформаторот нема „празен од“, во секундарот на трансформаторот тече струја во текот на двете полупериоди и тоа во спротивни насоки, со што јадрото на трансформаторот се магнетизира со едната и се демагнетизира со другата струја во текот на секоја периода на напонот.

На тој начин се намалуваат загубите во железото и за иста моќност овој трансформатор има помали димензии и тежина во однос на трансформаторот на полубрановиот насочувач.

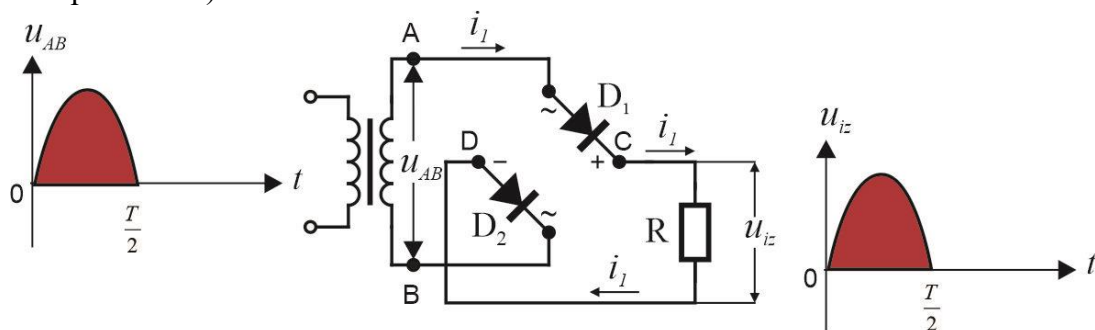


Слика 2.22: Целобранов насочувач со четири диоди - Грецов мост

Недостаток на оваа шема е употребата на трансформатор со среден извод кој е поскап од трансформаторот со еден секундар. Изведбата на целобранов насочувач во мостна конфигурација го надминува овој недостаток. Шемата на полубранов насочувач во мостна конфигурација е составена од трансформатор со еден секундар и четири диоди врзани во мост – Грецов мост (слика 2.22).

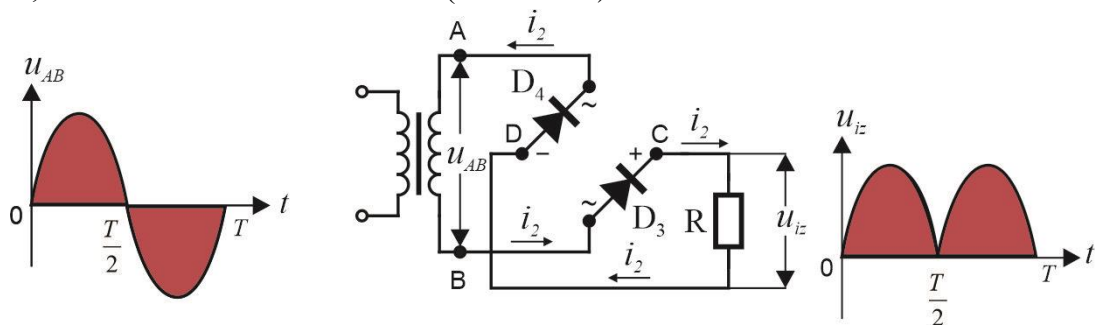
За правилна работа на насочувачот мора да се внимава на начинот на поврзување на диодите. На едната дијагонала на мостот е приклучен наизменичниот напон u_{AB} од секундарот на трансформаторот, а во другата дијагонала потрошувачот R.

За време на позитивната полупериода на напонот u_{AB} , точката A е на повисок потенцијал од точката C, па диодите D_1 и D_2 се директно поларизирани и протекува струја низ потрошувачот R во насока од точката A, низ C, низ точката D кон точката B (слика 2.23). Во исто време, диодите D_3 и D_4 се инверзно поларизирани и не тече струја низ нив (на сликата се претставени како отворено коло).



Слика 2.23: Целобранов насочувач со четири диоди за време на позитивната полупериода

За време на негативната полупериода на напонот u_{AB} , точката C е на повисок потенцијал од точката A, па диодите D_1 и D_2 се инверзно поларизирани и низ нив нема да тече струја. Во овој случај, диодите D_3 и D_4 се директно поларизирани и низ потрошувачот R тече струја i_2 во насока од точката B, низ C, низ точката D кон точката A (слика 2.24).



Слика 2.24: Целобранов насочувач со четири диоди за време на негативната полупериода

Брановите облици на напонот u_{AB} и излезниот напон u_{iz} за време од две периоди на целобрановиот насочувач со четири диоди се исти со брановите облици на напоните кај насочувач со две диоди кои се прикажани на слика 2.21.

Вкупната струја, во времетраење на една периода на наизменичниот напон, претставува збир на струите кои протекуваат низ потрошувачот за време на позитивната i_1 и негативната полупериода i_2 :

$$i = i_1 + i_2 \dots\dots\dots(2.6)$$

а за нејзината средна вредност се добива:

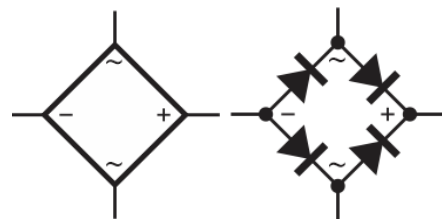
$$I_{SR} = \frac{2I_m}{\pi} = 0,64I_m \dots\dots\dots(2.7)$$

Добиената струја е два пати поголема од средната струја на полубрановиот насочувач, што значи и подобар фактор на брановитост, кој изнесува 0,48.

Друга предност на Грецовиот спој во однос на целобрановиот насочувач со две диоди е двојно намалување на максималниот инверзен напон на диодите, кој е еднаков на максималната вредност на напонот на секундарот на трансформаторот и е со ист бранов облик со примарниот напон на трансформаторот.

Мостната конфигурација на диодите, позната како Грецов спој, се сместува во едно куќиште со четири изводи: два се означени со знакот „~“, а другите два со „+“ и „-“. Изводите со знакот „~“ се точките на спојување на анода и катода на две диоди, изводот со знакот „+“ е точка во која се споени катодите, а изводот „-“ точка на спојување на анодите на две диоди (слика 2.25).

Се означуваат на два начина: $VXCY$ и $VXCY/Y_1$, каде X е број кој ја означува ефективната вредност која може да се приклучи на „~“ изводите, Y број кој ја означува максималната еднонасочна струја низ Грецовиот спој без ладилник, изразена во mA , а Y_1 со ладилник.



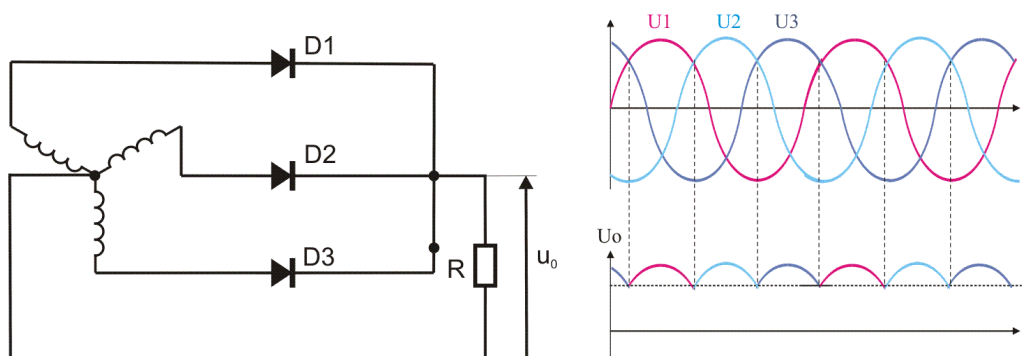
Слика 2.25: Симбол на Грецов спој

Двата целобранови насочувачи даваат иста средна вредност на струјата и имаат еднаков фактор на брановитост, сепак, целобрановиот насочувач со мостна конфигурација користи едноставен трансформатор, затоа најчесто се користи во практика.

2.5.1.3 ПОВЕЌЕФАЗЕН НАСОЧУВАЧ

Еднофазните целобранови насочувачи не можат да дадат повисок напон од 63,7 % од амплитудата на влезниот напон. Исто така, поради релативно нискиот коефициент на искористување и големиот фактор на брановитост, овие насочувачи се користат во услови на релативно мала моќност, до 15 kW. За работа со поголеми моќности се користат трифазните и повеќефазните насочувачи, кои можат да се изведат како кола со среден извод или како насочувачки мостови.

На слика 2.26 а) е прикажана принципиелна шема на трифазен насочувач со среден извод, додека соодветните дијаграми се дадени на слика 2.26 б).



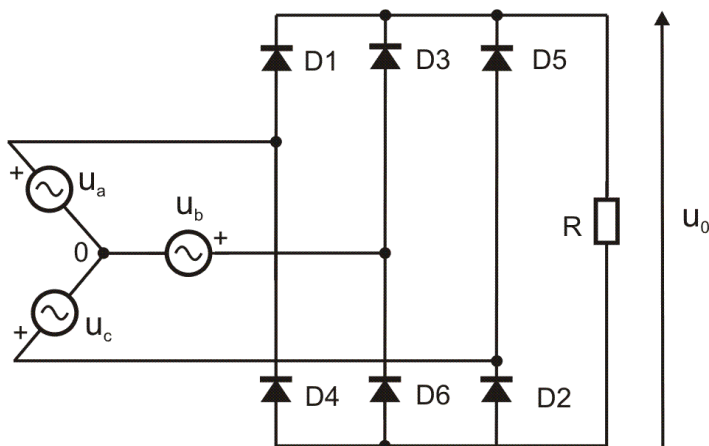
Слика 2.26: Трифазен насочувач со среден извод: а) електрична шема; б) бранови форми на напоните на диодите и потрошувачот

Средната вредност на струјата низ една диода ќе биде 3 пати помала од средната вредност на струјата низ потрошувачот и се одредува од релацијата:

$$I_{D(1)} = I_m \frac{1}{\pi} \sin \frac{\pi}{3} \dots \dots \dots (2.8)$$

Еден од основните проблеми кој се јавува кај трифазните насочувачи со среден извод е што низ секоја од намотките на секундарот на трансформаторот струјата тече само во една насока. Подобрување на карактеристиките се добива и ако се користат трифазни насочувачи врзани како мост. Во тој случај, низ намотките тече струја во двете насоки. Во согласност со тоа, ќе се намали брановитоста, а ќе се зголеми еднонасочната вредност на излезниот напон. Сепак, диодите ќе спроведуваат $1/3$ од периодата на влезниот напон.

Упростена електрична шема на трифазен мостен насочувач е прикажана на слика 2.27.



Слика 2.27: Трифазен мостен насочувач



Направи пребарување на вредности на параметри за различни видови насочувачи, запиши ги табеларно и направи анализа на добиените податоци!

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

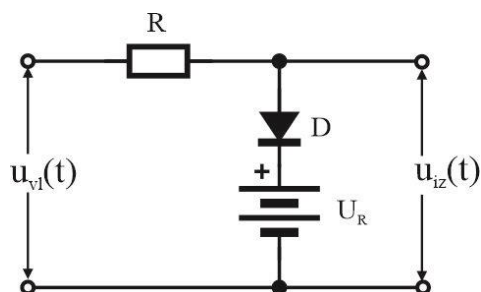
- Со уредот за напојување се извршуваат три основни функции: промена на мрежниот напон со трансформатор, насочување и стабилизација на излезниот напон.
- Односот меѓу ефективната и средната вредност на наизменичната струја низ потрошувачот се дефинира како фактор на брановитост што претставува мерка за квалитетот на уредот за напојување.
- Полубрановиот насочувач има една насочувачка диода која ја пропушта струјата само за време на едната полупериода на наизменичниот напон.
- Полубрановиот насочувач има фактор на брановитост 1,21.
- Целобраново насочување се прави со две или четири насочувачки диоди во Грецов спој;
- Со целобраново насочување се добива фактор на брановитост кој изнесува 0,48.

2.5.2 ДИОДНИ ОГРАНИЧУВАЧИ

Во електрониката многу често има потреба од ограничување на порастот/падот на напонот над/под одредена вредност. Електронските кола кои ја вршат оваа функција се нарекуваат **ограничувачи (т.н. лимитери)**. Во нив се користи прекинувачкото својство на диодата. Во зависност од начинот на поврзување на диодата, односно нејзината поларизација, излезниот напон ќе има иста форма со влезниот напон со одредено ограничување. Ограничувањето може да биде од горе, од долу или од двете страни. Доколку во колото сериски со диодата се поврзе и еднонасочен извор на напон како референтен напон U_R , ќе се добие ограничувач на напонско ниво под или над вредноста на референтниот напон.

Едностраните ограничувачи се реализираат со редна врска на отпорник и диода. Во зависност од поставеноста на диодата во однос на напонскиот извор, се добиваат редни и паралелни ограничувачи.

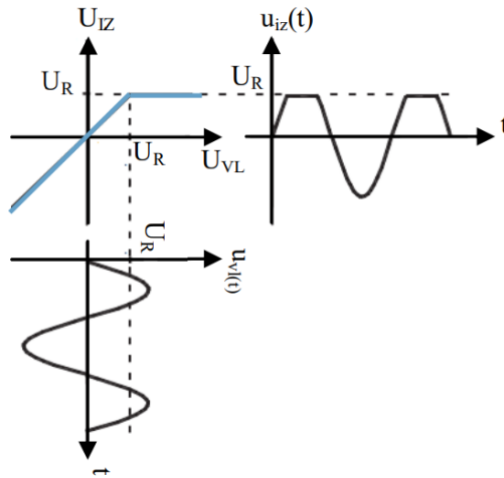
На слика 2.28 е претставен паралелен ограничувач од горе. Диодата D се користи како прекинувачки елемент, односно при директна поларизација како затворен прекинувач а при инверзна – отворен.



Слика 2.28: Паралелен ограничувач од горе

При анализата на принципот на работа ќе бидат земени влезни напони почнувајќи од „големи“ негативни вредности до „големи“ позитивни вредности, при што диодата ќе се замени со нејзиниот идеален еквивалент.

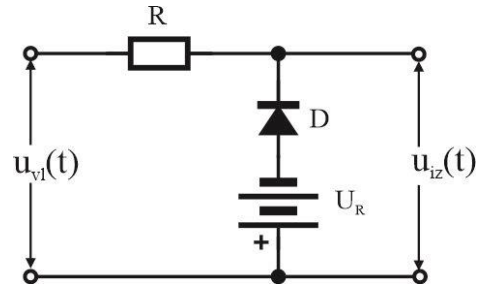
За $u_{vl} < 0$, диодата ќе биде инверзно поларизирана, заменета во колото со нејзиниот модел – отворен прекинувач, во колото нема да протекнува струја бидејќи на излезот не е приклучен потрошувач, нема да има пад на напон на отпорникот R и притоа влезниот напон се пренесува на излез, односно $U_{iz} = U_{vl}$. Преносната карактеристика (зависноста на излезот од влезот) ќе има линеарен облик ($y=x$) (слика 2.29). Излезот ќе го следи влезот сè додека влезниот напон не ја достигне вредноста на напонот на еднонасочниот извор U_R .



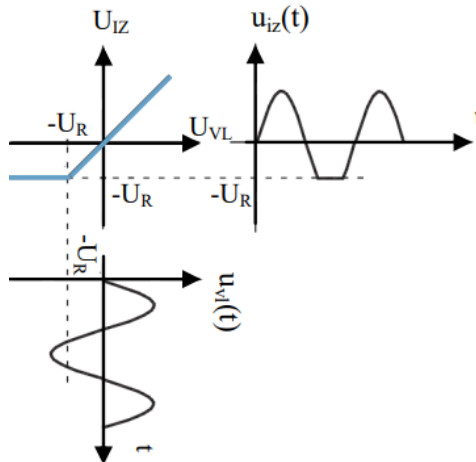
Слика 2.29: Преносна карактеристика на паралелен ограничувач од горе

За влезни напони $u_{vi} > 0$ диодата ќе биде директно поларизирана при што во колото се заменува со куса врска. Во тој момент излезниот напон е директно, паралелно, приклучен на краевите на референтниот извор U_R , односно, $U_{IZ} = U_R$. Преносната карактеристика ќе биде паралелна со x -оската ($y = \text{const.}$).

Паралелен ограничувач од долу (слика 2.30) се добива доколку во шемата од слика 2.28, диодата D и референтниот извор U_R се поврзат во обратна насока.



Слика 2.30: Паралелен ограничувач од долу

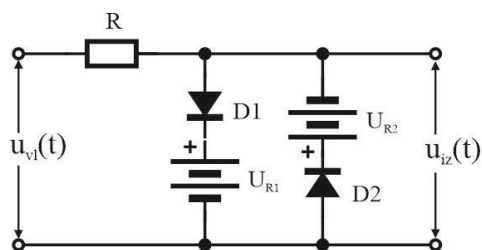


Слика 2.31: Преносна карактеристика на паралелен ограничувач од долу

Анализата е идентична како кај паралелен диоден ограничувач од горе. За влезни напони $u_{vl} < -U_R$ диодата е директно поларизирана (куса врска), $U_{IZ} = -U_R$, додека за влезни напони поголеми од референтниот, диодата е инверзно поларизирана и во колото не тече струја, излезот го следи влезот (слика 2.31). Еднаков ефект се постигнува и со сериски диоден ограничувач каде диодата е сериски поврзана со влезниот напон.

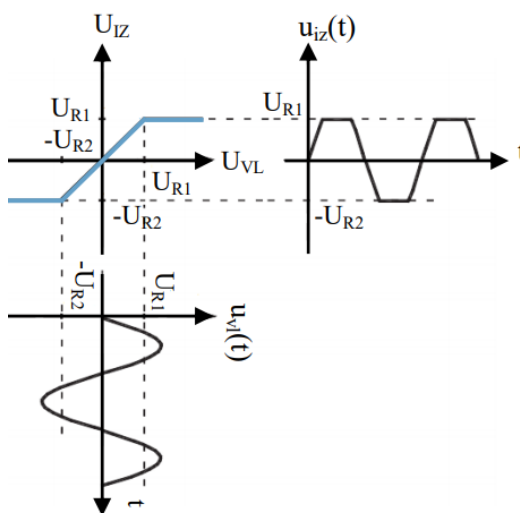
Доколку има потреба од ограничување на излезниот напон истовремено и од горе и од долу, на исти или на различни референтни нивоа, се употребуваат двострани ограничувачи.

На слика 2.32 е прикажана електрична шема на двостраниот ограничувач. Во паралелната гранка се интегрирани двете претходни изведби.



Слика 2.32: Двостран ограничувач

За одредување на обликот на преносната карактеристика (слика 2.33), анализата ќе се спроведе во три чекори.



Слика 2.33: Преносна карактеристика на двостран ограничувач

1. За вредности на влезни напони $u_{vl} < -U_{R2}$, катодата на диодата D2 е на понизок потенцијал од нејзината анода што ја прави спроводна. Таа се заменува со затворен прекинувач, при што излезниот напон е паралелно приклучен на изворот U_{R2} ($U_{IZ} = -U_{R2}$). Во исто време диодата D1 е инверзно поларизирана,

бидејќи катодата ѝ е приклучена на позитивниот пол на референтниот извор U_{R1} , низ неа не тече струја и се еквивалентира со отворен прекинувач. Струјниот круг во колото од влезниот напон се затвора низ диодата D2, референтниот извор U_{R2} и отпорникот R.

2. За влезни напони $-U_{R2} < u_{VL}$, диодата D2 ќе се поларизира инверзно, диодата D1 и понатаму е исклучена сè додека влезниот напон не ја достигне вредноста на изворот U_{R1} . Двете диоди се еквивалентираат со отворен прекинувач, па излезниот напон го следи влезниот напон $U_{IZ} = U_{VL}$ (линеарниот дел од преносната карактеристиката).

3. За влезни напони $-U_{R2} > u_{VL}$ анодата на D1 ќе биде на повисок потенцијал од нејзината катода, таа ќе се вклучи, додека диодата D2 останува исклучена. Под овие услови во колото, излезниот напон ќе биде паралелно приклучен на изворот U_{R1} ($U_{IZ} = U_{R1}$).

Добиениот излезен напон е ограничен од горе на вредност U_{R1} а од долу на $-U_{R2}$.



Врз основа горе - наведеното нацртај преносни карактеристики на дефинираните видови ограничувачи доколку не се вклучени референтни извори на напон!

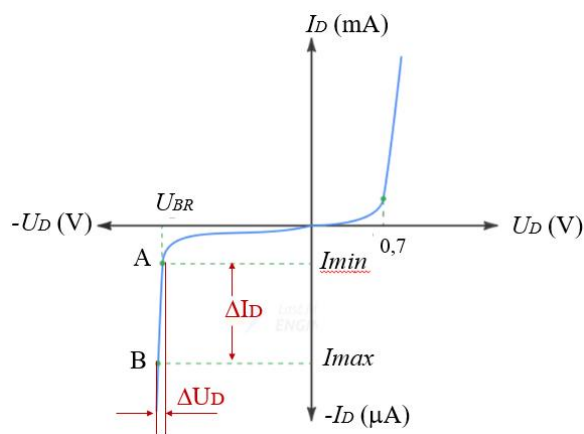
НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Електронските кола кои го ограничуваат порастот на напонот над одредена вредност се нарекуваат ограничувачи (лимитери).
- Ограничувачите можат да бидат еднострани (од горе или од долу) и двострани.

2.5.3 ДИОДНИ СТАБИЛИЗАТОРИ НА НАПОН

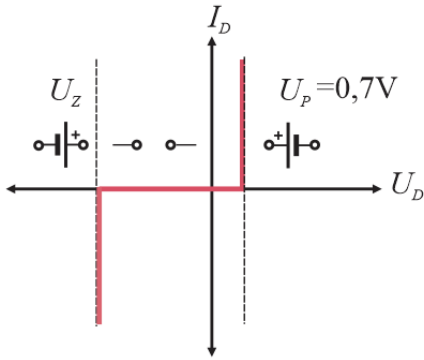
Зенер диодата според конструкција е силициумска диода со зголемен процент на хемиски примеси во полупроводниците од P и N-тип. Ги има истите својства како и насочувачката диода при директна поларизација. При напони поголеми од напонот на спроведување U_p , низ неа протекува струја. Тие се разликуваат според нивните работни подрачја, за насочувачките диоди ограничувањето е во максималниот инверзен напон, а за Зенер диодите максималната инверзна струја. Низ Зенер диодата протекува струја со голема јачина при напони поголеми од инверзниот напон на пробив U_{BR} . Овој напон се нарекува **Зенеров напон**.

На слика 2.34 е прикажана струјно-напонската карактеристика на Зенер диодата. Со додавање на хемиски примеси во полупроводниците од P и N-тип, се постигнува поголема стрмина и остро колено на кривата во делот на пробивниот напон. Во подрачјето на пробив, при големи промени на струјата низ диодата ΔI_D , промените на напонот на нејзините краеве ΔU_D се многу мали.



Слика 2.34: Струјно-напонска карактеристика на Зенер диода

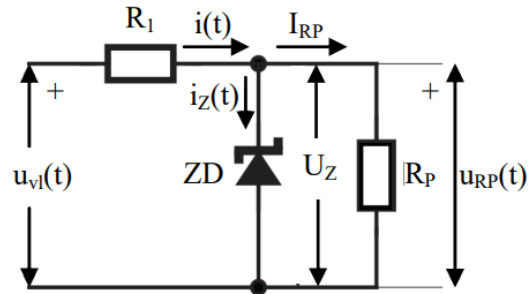
Стабилизирачкото подрачје на Зенер диодата се наоѓа во граници од I_{min} до I_{max} . При помали струи од I_{min} , Зенер диодата го губи стабилизирачкото дејство и во колото не протекува струја. При работа во подрачјето на пробив, не доаѓа до оштетување на диодата. При надминување на вредноста на I_{max} се случува пробив кој е неповратен, односно уништување на диодата. Зенер диода, како елемент кој во карактеристиката во подрачјето на пробив има особина на стабилизирачко дејство, на краевите да одржува константен напон кој практично не зависи од струјата, се применува во уреди наречени стабилизатори на напон.



Слика 2.35: Апроксимирана струјно-напонска карактеристика на Зенер диода

При директна поларизација, Зенер диодата може да се апроксимира со еднонасочен извор $U_p=0,7V$, додека при инверзна поларизација за напони помали од напонот на пробив со отворен прекинувач а за поголеми напони со еднонасочен извор U_Z со поларитет како на слика 2.35. Големината на Зенеровиот напон се одредува при процесот на производство. Се произведуваат Зенер диоди со напони на пробив од неколку волти до неколку стотици волти. Најчесто се користат диоди со Зенеров напон 6-15 V со моќност до 1 W.

Наједноставен стабилизатор на напон изведен со отпорник R_I , Зенер диода ZD (елемент кој во карактеристиката во подрачјето на пробив има особина на краевите да држи константен напон) и отпор на потрошувачот R_P , е прикажан на слика 2.36. Колото треба да обезбеди стабилизирани напон на потрошувачот R_P .



Слика 2.36: Стабилизатор на напон со Зенер диода

Нестабелизираниот влезен напон U_{VL} треба да биде поголем од напонот на стабилизација на Зенер диодата U_Z . Според Вториот Кирхофов закон, се одредува големината на отпорникот R_I кој служи за ограничување на струјата:

$$R_I = \frac{U_{VL} - U_{RP}}{I} \dots \dots \dots (2.9)$$

каде за струјата I важи:

$$I = I_Z + I_{RP} \dots \dots \dots (2.10)$$

додека за струјата I_{RP} :

$$I_{RP} = \frac{U_{RP}}{R_P} \dots \dots \dots (2.11)$$

До промена на напонот на потрошувачот може да дојде со промена на нестабилизираниот влезен напон U_{VL} или поради промена на струјата I_{RP} , предизвикана со промена на отпорот на оптоварувањето R_P .

Ако дојде до зголемување на нестабилизираниот влезен напон U_{VL} , ќе се зголеми струјата I на отпорникот R_I . Сега стапува во дејство Зенер диодата, така што ќе се зголеми нејзината струја I_Z , а струјата I_{RP} и напонот U_{RP} остануваат непроменети. Во случај на намалување на нестабилизираниот напон, процесот се одвива во спротивната насока, така што се намалува струјата низ Зенер диодата.

Кога доаѓа до промена на отпорноста на потрошувачот R_P , обидот за промена на струјата I_{RP} се надоместува со промена на струјата на Зенер диодата I_Z . Ако се намали отпорноста на отпорникот R_P , се зголемува струјата I_{RP} за да остане напонот U_{RP} непроменет, притоа се намалува струјата I_Z и обратно.

Во двата примера напонот U_{RP} останува непроменет, односно тој е стабилизирани.

Употребата на овој стабилизатор е ограничена со дозволената струја на Зенер диодата, а најчесто за струја од неколку mA дава добри резултати. Што се однесува до напонот, Зенер диодите со иста дозволена јачина на струја можат да се врзуваат сериски и со соодветна комбинација да се добие бараниот напон.



Анализирај електрична шема на стабилизатор на напон со Зенер диода и согледај ја поврзаноста на добиениот стабилизирани напон со ознаката на Зенер диодата!

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

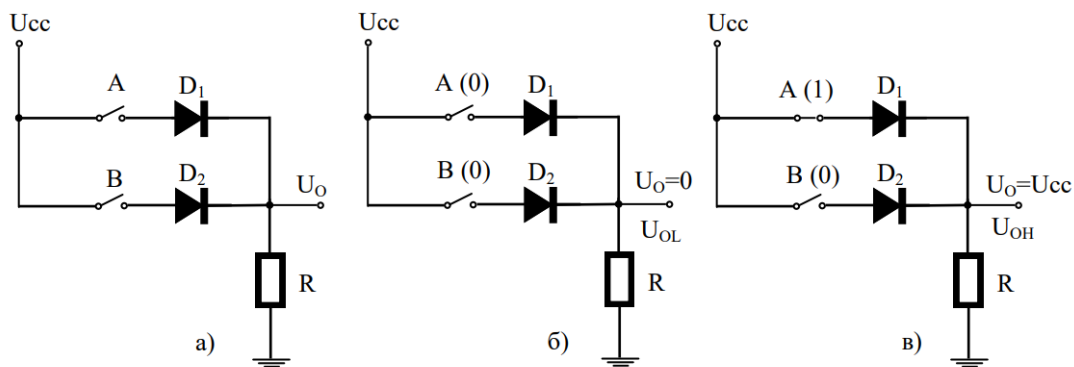
- Зенер диодата дејствува во подрачје на пробивен напон при инверзна поларизација.
- Во подрачјето на пробив, Зенер диодата има особина на краевите да држи константен напон.
- Зенер диодите се користат во уреди за стабилизација на напон.
- За правилно функционирање на Зенер диодата како стабилизатор на напон потребно е ограничување на I_{ZMAX} и I_{ZMIN} .

2.5.4 ДИОДНИ ЛОГИЧКИ КОЛА

Дигиталните кола работат со сигнали кои се континуирани по време но дискретни по вредност. Во дигиталната електроника најчесто се користат бинарните дигитални сигнали кои имаат само две различни напонски нивоа, високо и ниско, кои се интерпретираат со цифрите 0 и 1.

Логичките кола се дигитални кола во кои полупроводничките елементи работат во прекинувачи режим на работа. На излез од логичкото коло се добиваат две вредности на напон U_{OL} или U_{OH} , односно, една од состојбите, „1“ - **високо (High)** логичко ниво или „0“ - **ниско (Low)** логичко ниво. Според логичката функција која ја реализираат, постојат различни видови логички кола. Основната логичка функција собирање се реализира со **ИЛИ (OR) логичко коло**, додека логичката функција множење со **И (AND) логичко коло**. Останатите логички кола се добиваат со комбинација на основните логички кола.

Колото за реализација на операцијата логичко собирање со два влезе е прикажано на слика 2.37 а). Составено е од две диоди D_1 и D_2 , кои преку прекинувачите А и В се поврзани со извор на напојување U_{cc} и потрошувач претставен со отпорник R . Во зависност од комбинациите на прекинувачите се добиваат четири состојби на поларизација на диодите D_1 и D_2 . При анализа на колото диодите ќе бидат еквивалентирани со моделот на идеален прекинувач. Ниско логичко ниво на излез се добива само под услов двата прекинувачи да се отворени (логичка 0), односно не се доведува напон на анодите на диодите и тие се инверзно поларизирани. Во колото не протекува струја и при тоа излезниот напон има вредност 0 V (слика 2.37 б). Доколку кој било од прекинувачите е затворен (логичка 1), се доведува напонот U_{cc} на анодата на диодата, при што таа ќе биде директно поларизирана. Преку кусата врска на диодата (еквивалент при директна поларизација), на излезот се доведува напонот U_{cc} . На слика 2.37 в) е прикажана една од трите комбинации на прекинувачите (А-затворен, В-отворен) кога на излез од колото се добива високо напонско ниво (логичка 1). Истата анализа се спроведува и во случај на другите комбинации каде барем еден од прекинувачите е затворен. При анализа на функционирањето на колото се земени идеални диоди.



Слика 2.37: ИЛИ коло: а) електрична шема; б) состојба на ниско излезно ниво; в) состојба на високо излезно ниво

Табела на вистинитост на ИЛИ логичко коло со влезни состојби на двата влеза А и В, логичка функција на собирање и состојба на излезниот сигнал U_o се прикажани на слика 2.38 а), додека на слика 2.38 б) неговиот графички симбол.

Влезни состојби		Логичка функција собирање	Излезна состојба U_o
A	B		
0	0	$0+0=0$	0
0	1	$0+1=1$	1
1	0	$1+0=1$	1
1	1	$1+1=1$	1

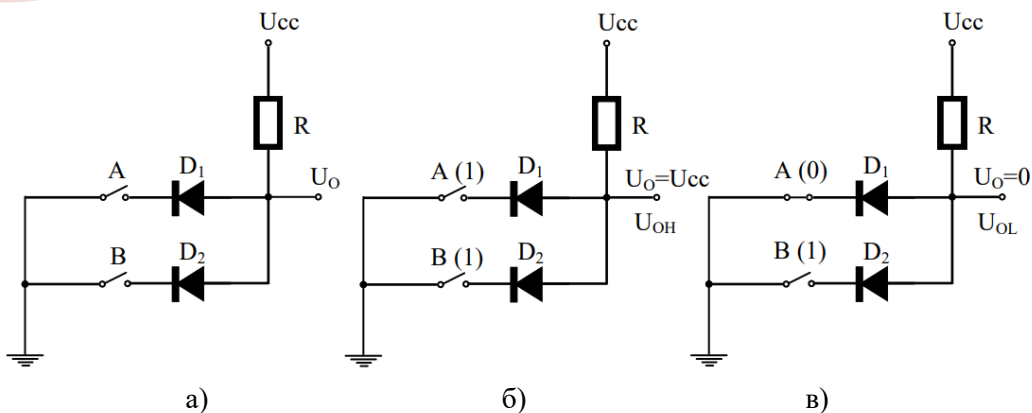


б)

а)

Слика 2.38: ИЛИ коло: а) табела на вистинитост; б) графички симбол

На слика 2.39 е прикажано диодно И логичко коло со два влеза и еден излез. За разлика од ИЛИ колото, прекинувачите се поврзани со маса, што значи влезниот сигнал е на логичка 0 во случај кога прекинувачот е затворен. Единствено во случај кога двата прекинувачи се отворени (логичка 1), во колото не тече струја, нема пад на напон на отпорникот R и при тоа напојувањето U_{cc} се пренесува на излез ($U_o=U_{cc}$), состојба на логичка 1 (слика 2.39 б). Доколку кој било од прекинувачите е затворен (логичка 0), соодветната диода се заменува со куса врска, во колото протекува струја притоа излезот директно се поврзува со масата состојба на логичка 0 (слика 2.39 в).



Слика 2.39: И коло: а) електрична шема; б) состојба на високо излезно ниво; в) состојба на ниско излезно ниво.

На слика 2.40 се прикажани табела на вистинитост (а) и графички симбол на И логичко коло (б).

Влезни состојби		Логичка функција множење	Излезна состојба U_o
A	B		
0	0	$0 \times 0 = 0$	0
0	1	$0 \times 1 = 0$	0
1	0	$1 \times 0 = 0$	0
1	1	$1 \times 1 = 1$	1

а)



б)

Слика 2.40: И коло а) табела на вистинитост; б) графички симбол



Во програмски пакет за симулација на работа на логички кола постави ги сите влезни состојби и согледај ја излезната состојба на И и ИЛИ логичко коло!

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- На излез од логичко коло се добиваат две вредности на напон U_{OL} („0“ ниско – Low логичко ниво) или U_{OH} („1“ високо – High логичко ниво).
- Доколку кој било од прекинувачите во ИЛИ логичкото коло е затворен (логичка 1), на излезот се добива напонот U_{cc} .
- Доколку кој било од прекинувачите во И логичкото коло е затворен (логичка 0), соодветната диода се заменува со куса врска, во колото протекнува струја притоа излезот директно се поврзува со масата – состојба на логичка 0.

Прашања за утврдување на знаењата од Модул 2



1. Што претставува PN-спој?
2. Како може да се поларизира PN-спојот?
3. На кој пол од изворот треба да се приклучи анодата на диодата за низ неа да тече струја?
4. На кој пол од изворот треба да се приклучи катодата на диодата за да биде инверзно поларизирана?
5. Што претставува статичка карактеристика?
6. Како е поларизирана диодата во првиот квадрант од нејзината статичка карактеристика?
7. Која диода се користи за стабилизација на еднонасочен напон?
8. Која диода работи во подрачје на пробив?
9. Каде се применуваат Шоткиевите диоди?
10. Која диода претставува фотодетектор?
11. Каде наоѓаат примена фотодиодите?
12. Кои диоди се користат во фиброоптичките влакна поради големата брзина на вклучување и исклучување?
13. Која диода има својство да ја менува својата капацитивност со промена на напонот приклучен на нејзините краеве?
14. Кои диоди се применуваат во светлечките тела?
15. Каде се применуваат тунел диодите?
16. Дефинирај го моделот на идеална диода.
17. При која поларизација диодата се апроксимира со затворен прекинувач?
18. Како се апроксимира диодата по инверзна поларизација?
19. Со кои уреди се ограничува порастот на напонот над одредена вредност?
20. Со кои уреди се добива еднонасочен напон од наизменичен?
21. Кој насочувач е проектиран само со една диода?
22. Во која насока тече струја низ диодата, во однос на нејзините приклучоци, при директна поларизација?
23. Кои се основните функции на уредите за напојување од мрежа со наизменичен напон?
24. Која е задачата на мрежниот трансформатор?
25. Дефинирај го поимот „фактор на брановитост“.
26. Колкава е вредноста на факторот на брановитост кај полубранов, а колкава кај целобранов насочувач?
27. Која е предноста на целобрановиот насочувач со четири диоди во однос на целобрановиот насочувач со две диоди?

28. Која е функцијата на насочувачкиот филтер?
29. Зошто тече струја само за време на една полупериода во полубранов насочувач?
30. Што се приклучува на влез а што на излез од насочувач на напон?
31. При која поларизација на Зенер диодата напонот на нејзините краеве скоро и не се менува при големи промени на струјата?
32. Како се поврзува потрошувачот во однос на Зенер диодата во колата за стабилизација на напон?
33. Што се случува со Зенер диодата при напони поголеми од напонот на пробив?
34. Кој напон се нарекува Зенеров напон?
35. Кои диоди се користат во колата за стабилизација на напон?
36. Која диода работи во подрачјето на пробив?
37. При која поларизација LED диодата емитура светлина?
38. Зошто е потребно да се приклучи отпорник во колото со LED диода?
39. Од што зависи бојата на светлината на LED диодите?
40. Каде се применуваат LED диодите?
41. Кои диоди конвертираат електрична во светлосна енергија?
42. Што е потребно да се приклучи во колото за ограничување на струјата низ LED диодата?
43. Во што се разликуваат фотодиодата и светлечката LED диода?
44. Кои диоди детектираат светлина?
45. Која диода се применува во алармните системи?
46. Каде се применуваат фотодиодите?
47. Кои диоди конвертираат светлосна во електрична енергија?
48. При која поларизација на фотодиодата тече струја на темно кога не паѓа светлина на нејзината површина?
49. Кои логички состојби се дефинирани во дигиталните кола?
50. Која логичка операција се реализира со ИЛИ диодно логичко коло?
51. Со кое диодно логичко коло се реализира логичката операција множење?
52. Кое логичко коло на својот излез дава високо логичко ниво единствено кога двата влезе се на високо логичко ниво?
53. Кое логичко коло на својот излез дава високо логичко ниво доколку барем еден влез се наоѓа на високо логичко ниво?

ТЕМАТСКО УТВРДУВАЊЕ

I Прашања со заокружување
(Заокружи ги точните одговори)

1. При која поларизација на изводите на диодата таа е директно поларизирана?
 - а) $\varphi_A > \varphi_K$
 - б) $\varphi_A = \varphi_K$
 - в) $\varphi_A < \varphi_K$.

2. Кои диоди работат при инверзна поларизација, при напони поголеми од пробивниот напон на диодата и притоа не доаѓа до нејзино уништување?
 - а) Насочувачка диода
 - б) Зенер диода
 - в) Варикап диода

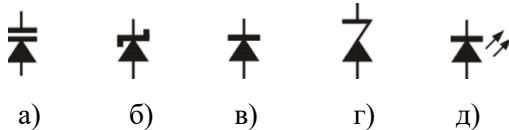
3. Елементи кои се користат во инструменти за мерење на осветленоста се:
 - а) фотодиоди
 - б) фотоотпорници
 - в) фототранзистори
 - г) фотогенератори

4. Полупроводнички елементи со способност да ја претвораат енергијата на светлосното зрачење директно во електрична се нарекуваат:
 - а) фотогенератори
 - б) фотоотпорници
 - в) фототранзистори
 - г) термистори

5. Како составен дел од инверторите се употребуваат:
 - а) фотодиоди
 - б) термистори
 - в) фотоотпорници

II Прашања со поврзување

6. Поврзи ги електричните симболи со елементите:



- | | | | |
|------------------|-------|----------------------|-------|
| 1. Варикап диода | _____ | 3. LED диода | _____ |
| 2. Зенер диода | _____ | 4. Насочувачка диода | _____ |

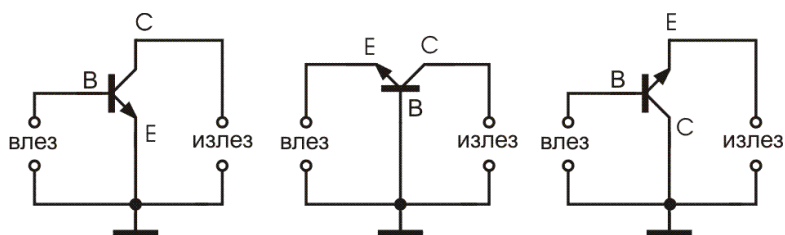
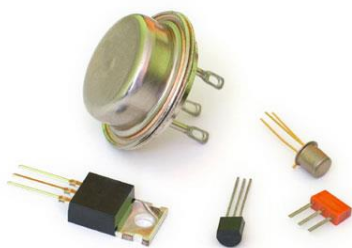
7. Поврзи ги специфичните електронски елементи со нивната примена како:

- | | |
|-------------------|-------------------------------|
| 1. Термистори | а) Светломери _____ |
| 2. Фотогенератори | б) Температурни сензори _____ |
| 3. Фотоотпорници | в) Соларни ќелии _____ |

III Прашања со дополнување

8. Статичка карактеристика на тиристорот се дефинира како зависноста на _____ низ тиристорот од _____ на неговите краеве за различни вредности на _____.
9. Статичката карактеристика на директно поларизирана диода е прикажана во _____ квадрант, при инверзна поларизација на диодата, во _____ квадрант.
10. Приклучокот на диодата од страната на полупроводникот од P-тип се нарекува _____ и се означува со _____, додека од страната на полупроводникот од N-тип се нарекува _____ и се означува со _____.
11. Електронските елементи чии електрични својства зависат од промената на енергијата на светлосното зрачење се нарекуваат _____.
12. LED диодата емитира светлина при _____ поларизација.
13. Низ фотодиодата протекува струја на темно при _____ поларизација.

МОДУЛАРНА ЕДИНИЦА 3 ТРАНЗИСТОРИ



Со изучување на содржините од оваа модуларна единица ученикот ќе стекне основни знаења за транзисторите и ќе може:

- да разликува видови транзистори;
- да објаснува примена на различни видови транзистори;
- да објаснува поларизација на биполарни и униполарни транзистори;
- да дефинира подрачја на работа на биполарни и униполарни транзистори;
- да објаснува статички и динамички карактеристики на транзисторите;
- да презентира карактеристики на транзисторите;
- да применува транзистор како засилувач и прекинувач;
- да објаснува изведба на логички кола со транзистори.

Во анализата ќе ги користиме следниве ознаки на еднонасочните големини:

U_{CE} – напон колектор – емитер

U_{BE} – напон база – емитер

U_{CC} – напон на изворот за напојување на колекторот

U_{BB} – напон на изворот за напојување на базата

I_C – колекторска струја

I_B – базна струја

I_E – емитерска струја

Во динамичкиот режим на работа на транзисторот се применува следниот начин на означување на напоните и струите:

$U_{BE}, U_{CE}, U_B, U_C, I_B, I_C, I_E$ – константна еднонасочна вредност;

$u_{vl}, u_{be}, u_{ce}, u_{iz}, i_b, i_c, i_e$ – променлива компонента (мал сигнал);

$U_{vl}, U_{be}, U_{ce}, U_{iz}, I_b, I_c, I_e$ – амплитуда на малиот сигнал;

$u_{BE}, u_{CE}, i_B, i_C, i_E$ – тотална (вкупна) вредност (еднонасочна + мал сигнал).

3.1 ПОИМ ЗА ТРАНЗИСТОР



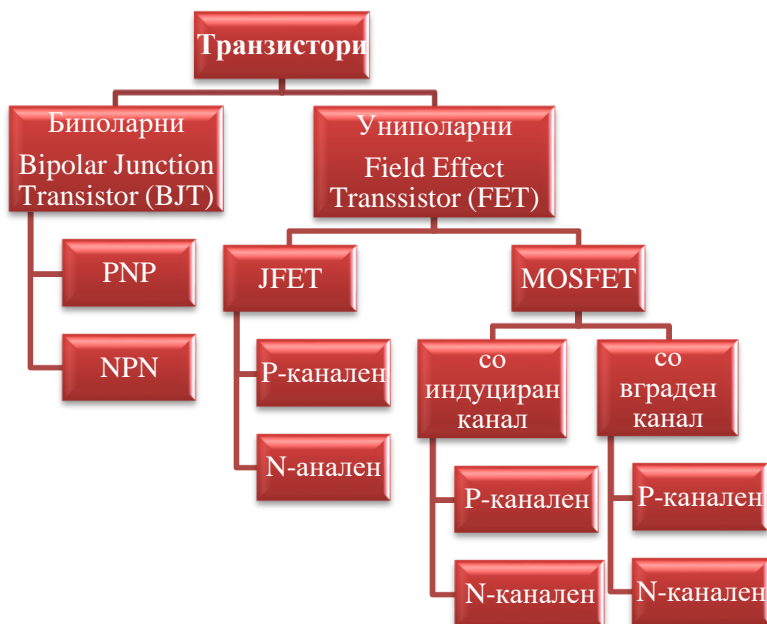
Електронските компоненти можат да бидат активни или пасивни. Активните компоненти се оние компоненти на кои им е потребна енергија од еднонасочен извор за да ја извршуваат својата функција. Во активни компоненти спаѓаат: биполарни и униполарни транзистори, операциски засилувачи, микропроцесори и интегрирани кола.

Што се случува кога се комбинираат два PN-споја во еден полупроводник? Во таа насока, уште во 1948 година работеле двајца американски научници Бретејн и Бердин и успеале да конструираат нов електронски елемент, наречен транзистор. Првиот силициумски транзистор е произведен 1954 година во компанијата **Texas Instruments**. Потоа следува брз развој на полупроводничката технологија кој резултира со различни видови транзистори.

Теоријата на **транзисторите со ефект на поле** или **FET (Field Effect Transistor)** е разработена меѓу 1920 г. и 1930 г., што е далеку пред откривањето на биполарните транзистори. Првобитниот модел на FET имал алуминиумска плоча на која биле поставени две полупроводнички плочки. На другата страна од плочките се ставени метални контакти. Меѓу алуминиумската плоча и металните контакти се доведува напон кој формира електрично поле на површината на полупроводникот. Со овој напон се овозможува управување со течењето на струјата меѓу металните контакти. Недоволно развиената технологија на пречистување на полупроводничките материјали не овозможила идејата да се реализира до крај.

Дури во 1952 г., американскиот физичар Вилием Шокли (*William Shockley*) воведува слоен **FET (JFET - Junction Field Effect)**, во кој алуминиумската плоча е заменета со PN-спој.

Називот транзистор е добиен со спојување на два англиски збора **TRANS**fer res**ISTOR**, со значење преносна отпорност, или поточно, отпорност со која може да се управува. Транзисторите можат да се поделат на две основни групи: биполарни (**BJT – Bipolar Junction Transistor**) и униполарни или транзистори со ефект на поле (**FET – Field Effect Transistor**) (слика 3.1). Двете групи се со слична конструкција со примена на PN-споеви, но со различен принцип на работа.



Слика 3.1: Видови транзистори

Според режимот на работа, транзисторите од двете групи можат да се поделат на засилувачи и на прекинувачи.

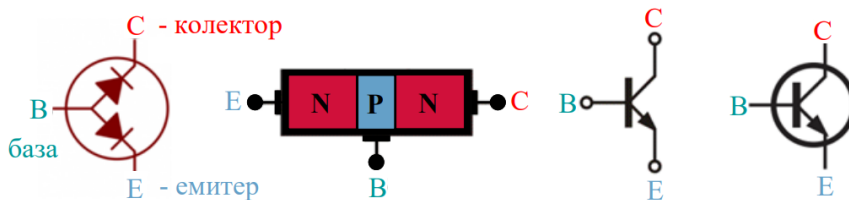
3.2 ВИДОВИ БИПОЛАРНИ ТРАНЗИСТОРИ

Биполарните транзистори претставуваат полупроводнички елементи со два PN-споја и три електроди (приклучоци): **емитер (E)**, **база (B)** и **колектор (C)**. Во зависност од начинот на поврзување на PN-споевите можни се две варијанти означени со NPN и PNP.

Струјата на транзисторот, која тече од колекторот до емитерот, низ двата PN-споја, се формира од двата вида носители на електричниот полнеж: негативно поларизираните електрони и позитивно поларизираните празнини.

NPN-транзисторот е составен од две подрачја од N-тип меѓу кои се наоѓа полупроводник од спротивен тип, P-тип. Може да се претстави како спој на два PN-споја со заеднички P-подрачја, односно спој на две диоди со заеднички емитер. Неговата структура и графички симболи се дадени на слика 3.2.

Транзистори

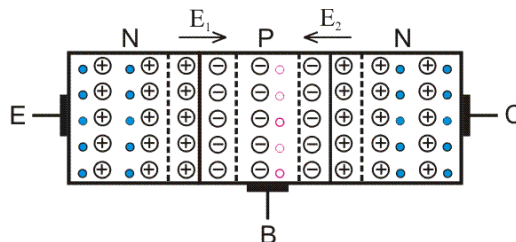


Слика 3.2: Структура и графички симболи на NPN-транзистор

Средниот регион на транзисторот се означува како **база (B)** и во конструкцијата на транзисторот има многу помала ширина од другите два региона.

Едниот крај на N-подрачјето е означен како **емитер (E)**, тоа е подрачје од кое се емитираат електрони кои патуваат преку базата (B) и се собираат на спротивниот крај на транзисторот, означен како **колектор (C)** под услов на поларизација на транзисторот која ќе биде објаснета во понатамошниот текст.

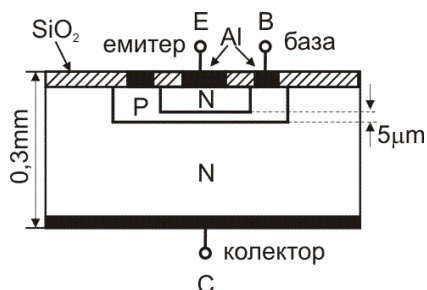
За подобро разбирање на процесите ќе се послужиме со графички приказ на NPN-транзисторот, даден на слика 3.3. Од сликата се гледа дека по завршениот процес на формирање на единствениот кристал, се создаваат две потенцијални бариери и две зони на попречување со внатрешните полиња E_1 и E_2 со спротивни насоки.



Слика 3.3: Графички приказ на NPN-транзистор

Едната е на спојот емитер-база, кој е наречен **емитерски спој**, а другата на спојот меѓу базата и колекторот и тој е наречен **колекторски спој**. Начинот на формирањето на бариерите е идентичен на оној што веќе е опишан кај диодите во модуларната единица 2.

На сликата е даден реалниот физички распоред на полупроводните региони на NPN-транзистор (слика 3.4).

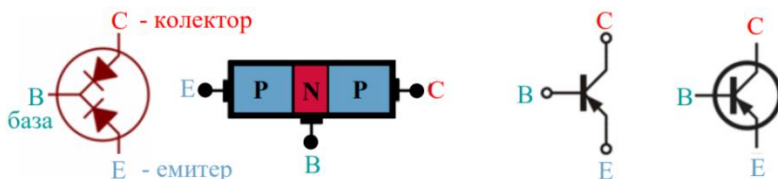


Слика 3.4: Физички распоред на полупроводните региони на NPN-транзистор

Ширината на базата меѓу емитерот и колекторот за некои видови транзистори изнесува до неколку μm , а самиот спој меѓу P и N полупроводниците е околу $1\mu\text{m}$. Површините на споевите база-колектор и база-емитер не се еднакви. Површината на колекторскиот спој е неколку пати поголема од површината на емитерскиот спој. Ова е потребно за да може колекторот да ги собере сите електрони кои доаѓаат од емитерот.

Начинот на формирање на PN-споевите со внесување повисоки концентрации примеси од спротивен тип во подлога од даден тип полупроводник, опишан кај диодите, се применува и при производството на современите транзистори. Од слика 3.4 се гледа дека слојот за базата е формиран во колекторот, а слојот на емитерот е формиран во базата. Тоа значи дека концентрацијата на акцептори во базата е повисока од концентрацијата на донори во колекторот и концентрацијата на донори во емитерот е повисока од концентрацијата на акцептори во базата. Ова ни кажува дека **при директна поларизација на емитерскиот спој емитерот ќе уфрла (емитира) многу повеќе електрони во базата отколку што базата уфрла празнини во емитерот**. Оваа особина, заедно со многу малата широчина на базата се клучни чинители на транзисторскиот ефект.

PNP-транзисторот е составен од две подрачја од P-тип помеѓу кои се наоѓа полупроводник од спротивен тип, N-тип. Може да се претстави како спој на два PN-споја со заеднички N-подрачја, односно спој на две диоди со заеднички колектор. Неговата структура и графички симбол се дадени на слика 3.5.

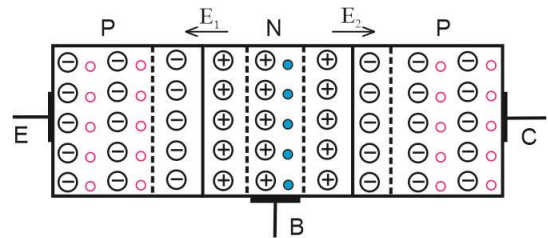


Слика 3.5: Структура и графички симбол на PNP-транзистор

Транзистори

Целата негова конструкција е иста со конструкцијата на NPN-транзисторот, со таа разлика што P и N-полупроводниците ги менуваат местата. Овде емитерот и колекторот се од P-тип, а базата е од N-тип. PN-споевите се поставени така што внатрешните полиња E_1 и E_2 сега се насочени во спротивна насока од онаа кај NPN-транзисторот (слика 3.6).

Концентрацијата на акцептори во емитерот кај него е многу поголема од концентрацијата на донори во базата, а таа, пак, е многу поголема од концентрацијата на акцептори во колекторот, што значи дека овде **главната струја е струјата на празнините.**



Слика 3.6: Графички приказ на PNP-транзистор

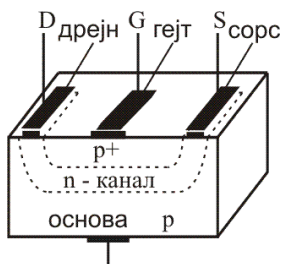
Претходно спроведената дискусија за NPN-транзисторот може да се примени и кај PNP-транзисторот. Сега наместо електрони емитерот ќе емитира празнини кои минуваат низ тенката база и преминуваат во колекторот. Тие сега претставуваат основни носители на струјата во транзисторот.

3.3 ВИДОВИ УНИПОЛАРНИ ТРАНЗИСТОРИ

Постојат два вида униполарни или FET (Field Effect Transistor) транзистори: **спојни FET (JFET)** и **MOSFET**.

Транзисторите со ефект на поле или FET, имаат слични карактеристики со биполарните транзистори. Имаат три приклучоци соодветно на приклучоците на биполарните транзистори (слика 3.4). Тоа се приклучоците **дрејн D** (одвод), **гејт G** (порта) и **сопс S** (извор), соодветни на колектор, база и емитер.

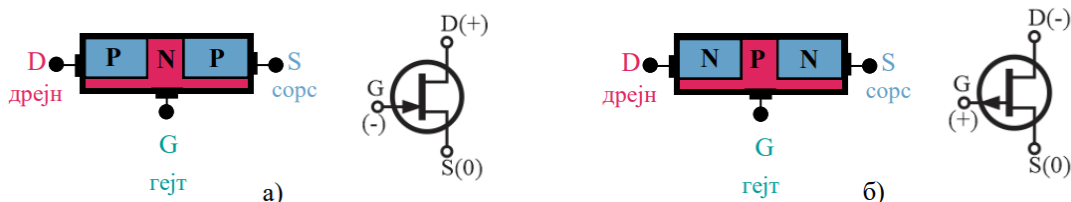
Структурата на FET е прикажана шематски на слика 3.7. Тој е составен од тенка плочка со правоаголен пресек од силициумски полупроводник од N или од P-тип. На двете спротивни површини (на сликата спротивни по вертикала) на плочката е нанесен полупроводник, спротивен од оној од кој е направена плочката и се формирани два PN-споја.



Слика 3.7: Структура на FET

Тие две области меѓусебно се сврзани преку металните приклучоци и претставуваат влезна електрода, наречена **гејт (G)**. На другите краеве на плочката се поставени метални приклучоци за изводите **дрејн (D)** и **сорс (S)**. Стеснетиот дел на плочката меѓу сорсот и дрејнот се вика **канал**.

Во зависност од видот на полупроводникот на плочката, на која е нанесен полупроводник од спротивен тип, разликуваме **N-канален FET** со N-тип полупроводник на плочката (слика 3.8 а) и **P-канален FET**, со P-тип полупроводник на плочката (слика 3.8 б).

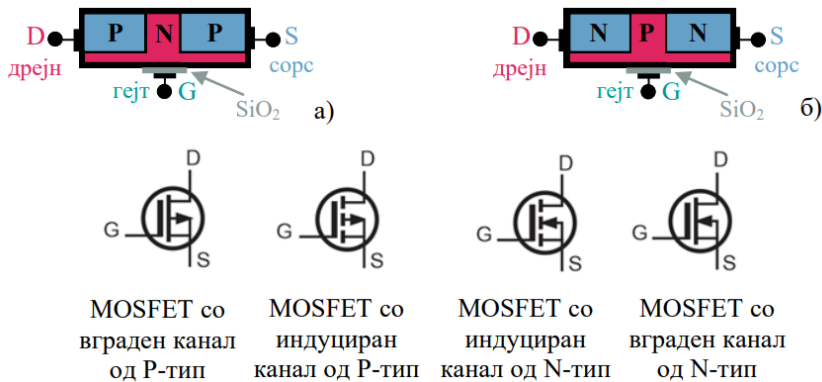


Слика 3.8: Физичка структура на а) N-канален и б) P-канален JFET и нивни графички симболи

Спојните транзистори со ефект на поле имаат неколку особини што ги прават посупериорни од биполарните транзистори во некои примени. Тоа се: поголемата влезна отпорност, помали сопствени шумови, помали димензии и поголемо напонско засилување, како излезни степени.

Кај MOSFET-от се подобрени одредени карактеристики на JFET. Називот **MOSFET** претставува кратенка од **Metal Oxide Semikonductor FET**, а може да има и ознака IGFET (Insulated Gate FET) што значи FET со изолиран гејт. Неговата конструкција е слична како кај JFET-от со таа разлика што под плочката гејт е поставен слој од силициум диоксид (стакло), кој се однесува како изолатор и електрично го одделува гејтот од подлогата (слика 3.9). Постојат два вида MOSFET транзистори: MOSFET со индуциран канал (канал кој се создава при поларизација) и MOSFET со вграден канал (вграден канал при процесот на производство).

Транзистори



Слика 3.9: Структура на N-канален а) и P-канален MOSFET б) и графички симболи

Основна карактеристика на овој транзистор е тоа што струјата низ него е формирана само од еден вид полнежи поради што се наречени и **униполарни**. Уште една разлика во однос на биполарните транзистори е во начинот на управувањето со струјата. Излезната струја на биполарниот транзистор се контролира со влезната струја, а на униполарниот со електрично поле, создадено со влезниот напон. При тоа, влезната струја има многу мала јачина. Влезниот отпор на униполарниот транзистор е многу голем, што значи дека тој бара многу мала моќност од претходниот степен.

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Според режимот на работа, транзисторите од двете групи можат да се поделат на засилувачи и на прекинувачи.
- Биполарниот транзисторот има два PN-споја и три електроди: емитер (E), база (B) и колектор (C).
- Главни носители на колекторската струја во NPN-транзистор се електроните, додека кај PNP-транзисторот се празнините.
- Постојат два вида униполарни транзистори: спојни FET-ови (JFET) и MOSFET-и (Metal – Oxide – Semiconductor FET).
- Приклучоците на униполарниот транзистор се означуваат со G (гејт), D (дрејн) и S (сорс).
- Постојат два вида MOSFET транзистори: MOSFET со индуциран канал и MOSFET со вграден канал.
- Струјата низ униполарните транзистори е формирана само од еден вид полнежи поради што се наречени и униполарни транзистори.

3.4 ПРИМЕНА НА ТРАНЗИСТОРИТЕ

Транзисторите се применуваат во сите гранки на електрониката и електротехниката – при изработка на засилувачи, осцилатори, предавателни уреди и склопови за регулација. Освен во електрониката и електротехниката, транзисторите денес се користат речиси во сите гранки на индустријата. Големиот успех и брзиот развој се последица на малите димензии, едноставното и масовно производство и многу малата потрошувачка на енергија.

Биполарните транзистори се струјно управувани засилувачи, а униполарните се напонски управувани засилувачи. Од времето кога се пронајдени па до сега, тие се усовршувани и приспособувани за општа употреба или за специјални функции. Како засилувачи тие се изработуваат за засилување при ниски фреквенции до 1 MHz, при средни фреквенции до 100 MHz и при високи фреквенции преку 100 MHz. Според моќноста, можат да бидат за мали моќности до 0,2 W, за средни моќности до 1 W и за големи моќности преку 1W.

Како прекинувачки елементи, освен за стандардните прекинувачки функции, транзисторите се применуваат во дигиталната технологија за изработка на логички порти како составни делови на комплексни дигитални системи. Така, на пример, еден полупроводнички чип може да содржи и по неколку милиони транзисторски прекинувачки елементи.

Употребата на транзисторите има два основни аспекти: како основни градбени елементи во интегрираните кола (аналогни или дигитални) и како дискретни компоненти во колата за поголеми моќности. Функционално служат како засилувачки елементи или како прекинувачки елементи. Денес целокупниот свет на комуникациите, компјутерството, автоматиката, сообраќајот, радио и телевизиската техника, интернетот, воената технологија, вселенската технологија, но и нашиот секојдневен живот (во домаќинствата) е зависен од „неговото величество транзисторот“.



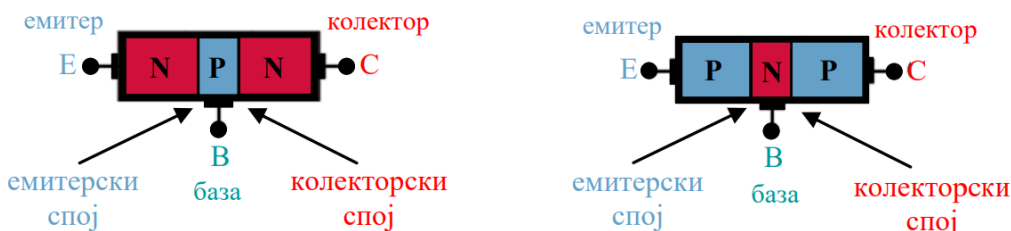
Анализирај електрични шеми на електронски кола со транзистори.
Одреди ја практичната примена на анализираните шеми со помош на твојот наставник!

3.5 ПОЛАРИЗАЦИЈА НА БИПОЛАРЕН ТРАНЗИСТОР



Електронската компонента биполарен транзистор претставува полупроводнички елемент кој, за разлика од диодата (која има еден PN-спој и две електроди, А-анода и К-катода), има два PN-споја и три електроди: Е-емитер, В-база и С-колектор.

Бидејќи транзисторот има два PN-споја, а секој од нив може да биде поларизиран директно или инверзно, постојат четири начини на поларизација, односно четири подрачја на работа на транзисторот. Бидејќи базата се наоѓа во средина, помеѓу емитерот и колекторот, двата PN-споја се нарекуваат: **емитерски спој** (помеѓу базата и емитерот) и **колекторски спој** (помеѓу базата и колекторот) (слика 3.10).



Слика 3.10: PN-споеви на транзисторот од NPN-тип и PNP-тип

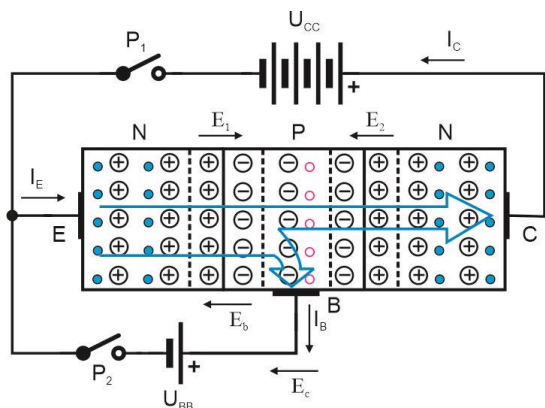
Според начинот на поларизација на PN-споевите, транзисторот може да се најде во еден од следните режими на работа (табела 3.1):

Табела 3.1: Режији на работа на транзисторот

Режим на работа на транзисторот	Поларизација на емитерскиот спој	Поларизација на колекторскиот спој
Нормално активно подрачје	Директна	Инверзна
Инверзно активно подрачје	Инверзна	Директна
Подрачје на заситување	Директна	Директна
Подрачје на закочување/исклучување	Инверзна	Инверзна

Во кое подрачје на работа ќе се најде транзисторот зависи од неговата поларизација. На слика 3.11 е прикажано колото за поларизација на NPN-транзистор. За поларизација на споевите се потребни два еднонасочни извори. Со изворот U_{BB} , поврзан меѓу базата и емитерот, директно се поларизира емитерскиот спој, а со изворот U_{CC} , врзан помеѓу колекторот и емитерот, кој

треба да е поголем од изворот U_{BB} , колекторскиот спој се поларизира инверзно. При ваква поларизација на транзисторот, тој работи во **нормално активно подрачје**.



Слика 3.11: NPN-транзистор поларизиран во нормално активно подрачје

Со затворање на прекинувачите P_1 и P_2 , еднонасочниот извор U_{BB} создава надворешно поле E_b меѓу базата и емитерот, насочено од базата кон емитерот. За доволно голема вредност на напонот на изворот, надворешното поле E_b му се спротивставува на внатрешното поле E_1 и го поларизира емитерскиот спој директно.

Слободните електрони во голем број преминуваат од регионот на емитерот преку емитерскиот спој и навлегуваат во регионот на базата.

Но, бидејќи областа на базата е многу мала и располага со мал број празнини, можноста за рекомбинација меѓу електроните и празнините е многу мала. Само оние електрони што се рекомбинираат со празнините учествуваат во формирањето на базната струја I_B . Останатиот број електрони не можат да се насочат кон приклучокот на базата, тие по пат на дифузија се преместуваат на границата на зоната на попречување меѓу базата и колекторот. Тука, тие паѓаат под влијание на полето E_C и E_2 , го поминуваат колекторскиот спој и одат во регионот на колекторот. Како резултат, во колото емитер колектор ќе протече струјата I_C . Јачината на таа струја ќе зависи од бројот на слободните електрони кои преминале преку емитерскиот спој, односно од степенот на директна поларизација на емитерскиот спој, но практично не зависи од степенот на инверзна поларизација на колекторскиот спој бидејќи сите електрони што стигнале до него ќе поминат во колекторот. Значи, кога транзисторот се наоѓа во нормално активно подрачје **со помош на мал напон U_{BB} и малата базна струја I_B се управува голема колекторска струја а со тоа и емитерска, што е суштина на транзисторскиот ефект.**

Бидејќи емитерскиот спој во нормалното активно подрачје работи во

Транзистори

режим на релативно големи струи (од редот на mA), напонот на директно поларизируваниот спој база-емитер сосем малку се менува. Низ транзисторот ќе течат струите I_E и I_C со големи јачини при што ќе важи:

$$I_E = I_B + I_C.$$

Ако на слика 3.11 се промени поларитетот само на напонот база-емитер U_{BB} , транзисторот од нормално активно подрачје преминува во **подрачје на исклучување**. Во подрачјето на исклучување двата PN-споја се инверзно поларизирани бидејќи базата е на понизок потенцијал, и во однос на емитерот, и во однос на колекторот. Сега кон базата течат само инверзните струи на заситување на двата споја. Бидејќи тие се многу мали (кај силициумскиот транзистор се од редот на nA) може да сметаме дека транзисторот се однесува како отворено коло.

Доколку се промени поларитетот само на напонот за поларизација на колекторскиот спој, транзисторот од нормално активно подрачје преминува во **подрачје на заситување**. Во тоа подрачје двата PN-споја се директно поларизирани. Низ транзисторот може да протечат големи струи кои зависат само од напоните и отпорностите во колото во кое е приклучен. Ова поведење на транзисторот е спротивно на претходното и тој во колото се однесува како куса врска.

Ако на слика 3.11, при вклучени прекинувачи P_1 и P_2 , колекторот и емитерот си ги заменат местата, транзисторот ќе се поларизира во **инверзното активно подрачје**. Сега емитерот и колекторот си ги менуваат улогите, но тоа доведува до некавалитетно поведење, бидејќи колекторот е лош „емитирач“ на носители, а емитерот лош „собирач (колекционер)“. Ако не внимаваме, ова може лесно да ни се случи при поврзување на транзисторот во некое коло, па може да си помислиме дека тој е неисправен.

Ако прекинувачот P_2 се остави отворен (базата виси), напонот колектор-емитер ќе се распредели меѓу двата споја, така што скоро цел ќе се појави на инверзно поларизируваниот спој колектор-база, а база-емитер ќе биде сосем малку директно поларизиран поради што ќе тече мала колекторска струја I_{CEO} наречена „**струја колектор-емитер при отворена база**“.

Инверзната струја I_{CBO} е „**струја колектор-база при отворен емитер**“, колекторска струја со мала вредност која тече низ инверзно поларизируваниот спојот колектор-база при отворен емитер (емитерот виси).

Кога ја дискутираваме работата на транзисторот во нормалното активно подрачје, видовме дека скоро целата струја што тече низ емитерот (I_E) тече и низ колекторот (I_C). Разликата меѓу тие две струи ја сочинува базната струја ($I_B = I_E - I_C$). Меѓу струите на транзисторот во нормалното активно подрачје постои линеарна зависност прикажана со релацијата:

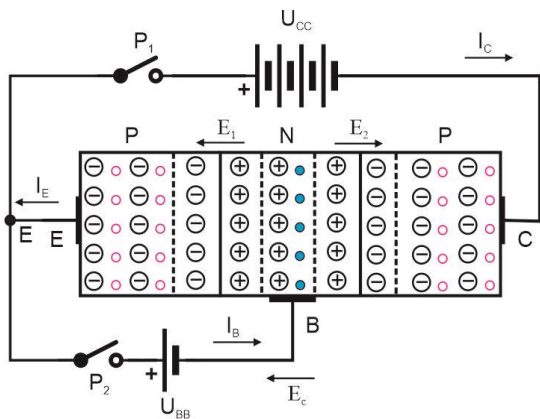
$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CBO} \dots\dots\dots(3.1)$$

која поради малата вредност на струјата I_{CBO} , во најголем број случаи може да се упрости на:

$$I_C \approx \beta I_B \dots\dots\dots(3.2)$$

Оваа релација ја извеле научниците Еберс и Мол, според кои равенките за напоните и струите кај транзисторот, т.н. модел на транзисторот, се нарекуваат „**Еберс-Молов модел**“. Параметарот β се нарекува коефициент на струјно засилување на транзисторот.

Истата анализа се спроведува за PNP-транзистор земајќи ги сите напони и струи со спротивна насока.



Слика 3.12: PNP-транзистор поларизиран во нормално активно подрачје

На слика 3.12 можеме да забележиме дека двата извори на напон се поставени обратно, а исто така обратно се означени и техничките насоки на струите низ неговите приклучоци. Ваквата поставеност на напоните при вредности $U_{CC} > U_{BB}$ обезбедува поларизација во нормалното активно подрачје.

Сега наместо електрони, емитерот ќе емитира празнини кои минуваат низ тенката база и преминуваат во колекторот. Тие сега претставуваат основни/главни носители на струјата во транзисторот.

Патем, ако ги споредиме насоката на стрелката од емитерот во шематската ознака на транзисторот и техничките насоки на струите прикажани

Транзистори

на слика 3.12, ќе видиме дека се поклопуваат. Сепак, треба да укажеме дека во практиката се користат и референтните насоки за струите кај транзисторот. Според референтните насоки се зема дека сите струи влегуваат во транзисторот. Затоа кај нив постојат и позитивни и негативни вредности (за разлика од техничките кои секогаш имаат позитивни вредности).

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Транзисторот се наоѓа во нормално активно подрачје при директна поларизација на емитерскиот PN-спој и инверзна поларизација на колекторскиот PN-спој.
- Зависност на струите кај транзисторите се претставува со изразот:
 $I_E = I_B + I_C$.
- Транзисторот во нормално активно подрачје работи како засилувач на струја, напон или моќност.
- Подрачјето на заситување е одредено со директна поларизација на двата споја, а транзисторот се однесува како затворен прекинувач.
- Во подрачјето на заситување напонот на колекторскиот спој има многу мала вредност.
- Низ транзисторот во подрачје на исклучување течат многу мали инверзни струи на заситување кои при собна температура може да се занемарат.
- β претставува коефициент на струјно засилување на транзисторот во спој со заеднички емитер.
- Режимот исклучен се дефинира со инверзна поларизација на емитерскиот и на колекторскиот спој. Во овие услови транзисторот се однесува како отворен прекинувач.
- Во инверзно активно подрачје на работа на транзисторот, струјното засилување е многу мало.
- Колекторската струја се управува со помош на мал влезен напон на изворот за поларизација и малата влезна струја I_B што е суштина на транзисторскиот ефект.
- Според референтните насоки се зема дека сите струи влегуваат во транзисторот.

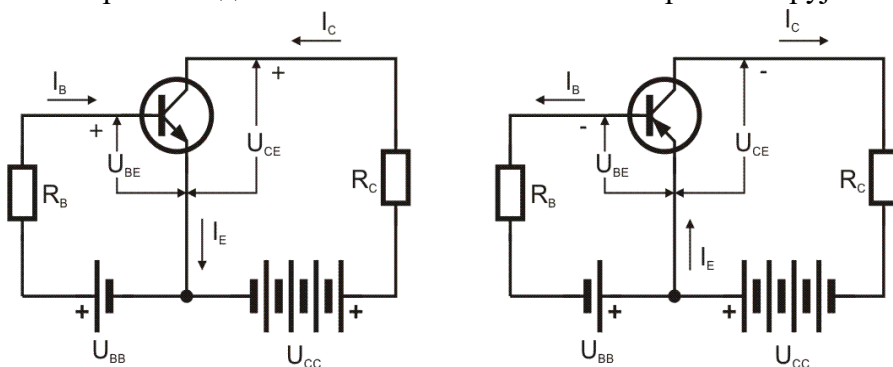
3.6 СТАТИЧКИ РЕЖИМ НА РАБОТА НА ТРАНЗИСТОР

Кај транзисторот постојат два режима на работа: статички и динамички. Статички режим на работа имаме кога во колото на транзисторот постојат само еднонасочни напони и струи со кои се поларизира транзисторот. Транзисторот се поларизира така што емитерскиот спој ќе биде директно поларизиран, а колекторскиот инверзно. Во динамичкиот режим на работа, покрај еднонасочните напони и струи, имаме напон и струја на наизменичен сигнал, кој треба да се засилува.

3.6.1 Статички карактеристики на транзисторот

Колото на транзисторот во статички режим на работа е прикажано на слика 3.13. За анализа го користиме колото со NPN-транзисторот, која важи и за колото со PNP-транзистор, само со спротивни насоки на струите и напоните. Во колото на колекторот и на базата се ставени отпорникот R_B , со кој се одредува базната струја и отпорникот R_C , со кој се одредува колекторската струја.

Транзисторите се нарекува дека се „во спој со заеднички емитер“ бидејќи емитерот е заеднички и за базната и за колекторската струја.



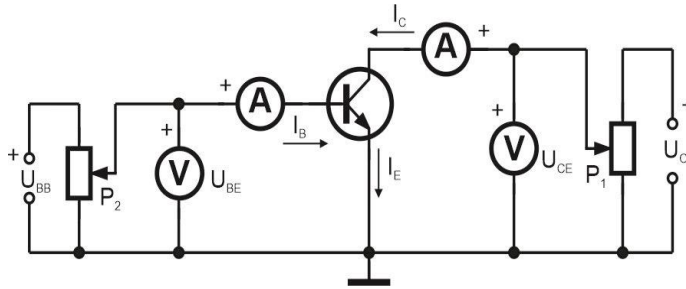
Слика 3.13: Колото на транзисторот во статички режим на работа

На колата се прикажани референтните насоки на струите. За решавање на колата е препорачливо да се користи насоката која, всушност, ја покажува стрелката на емитерот.

Од горе-наведените, четири големини се со јасно изразена меѓусебна зависност. Тоа се: базната струја I_B и напонот база-емитер U_{BE} , како влезни, и колекторската струја I_C и напонот колектор-емитер U_{CE} , како излезни големини. Нивните зависимости можат да се претстават графички преку статичките карактеристики на транзисторот. Статичките карактеристики најверодостојно

Транзистори

го опишуваат принципот на работа на транзисторот. Најзначајни се: **влезните карактеристики, излезните карактеристики и преносните карактеристики**. Комплетните карактеристики ги дава производителот на транзисторот, или се добиваат со едноставно коло за мерење. Такво коло е прикажано на слика 3.14.



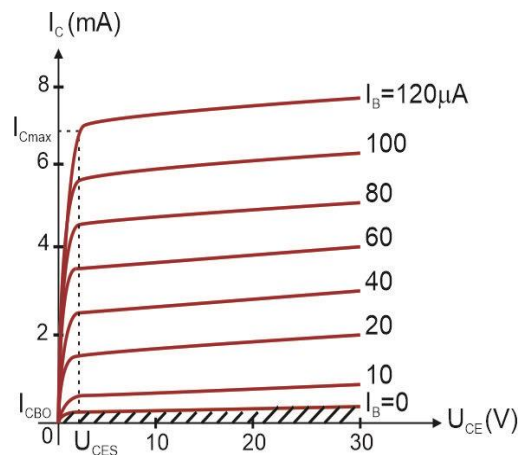
Слика 3.14: Коло за снимање на статичките карактеристики на NPN-транзистор во спој со заеднички емитер

На слика 3.15 се прикажани фамилија карактеристики на промената на колекторската струја I_C во зависност од промената на напонот U_{CE} за различни вредности на базната струја I_B , според функцијата:

$$I_C = f(U_{CE})/I_B = const.....(3.3)$$

Овие карактеристики на транзисторот во спој со заеднички емитер се нарекуваат **излезни карактеристики**.

Со колото од слика 3.14, првата од карактеристиките се мери така што со потенциометарот P_2 се регулира струјата I_B да биде 0, а со P_1 се менува напонот U_{CE} во чекори од по 2V, почнувајќи од нула па до 30V и за секој чекор се забележува вредноста на струјата I_C , при што се води сметка струјата I_B да не се промени. Добиените резултати се внесуваат во координатниот систем I_C-U_{CE} и со поврзување на точките се добива кривата $I_C=f(U_{CE})$ за $I_B=0$.

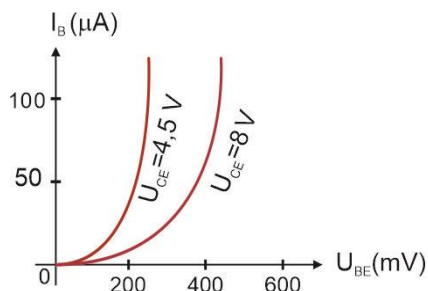


Слика 3.15: Излезни карактеристики

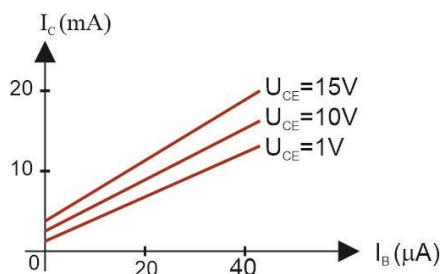
При снимањето на следната крива, со R_2 се регулира големината на струја I_B на 10 μA , а целата постапка се повторува како и претходно. Со натамошна промена на струјата I_B на вредностите 20, 40, 60, 80, 100 и 120 μA се добиваат сите останати криви на дијаграмот.

Карактеристиката која ја претставува промената на базната струја I_B во зависност од промените на напонот база-емитер U_{BE} при константни вредности на напонот колектор-емитер U_{CE} се нарекува **влезна карактеристика** на транзисторот. За различни вредности на напонот U_{CE} се добива фамилија карактеристики (слика 3.16). Математички се претставува со изразот:

$$I_B = f(U_{BE})/U_{CE} = \text{const}.....(3.4)$$



Слика 3.16: Влезни карактеристики



Слика 3.17: Преносни карактеристики

Додека влезната карактеристика дава зависност на две влезни големини, излезната на две излезни, преносната карактеристика дава зависност на една влезна и една излезна големина. Кај транзисторот во спој со заеднички емитер, преносната карактеристика се дефинира како зависност на излезната колекторска струја I_C од влезната базна струја I_B при константен излезен напон U_{CE} (слика 3.17).

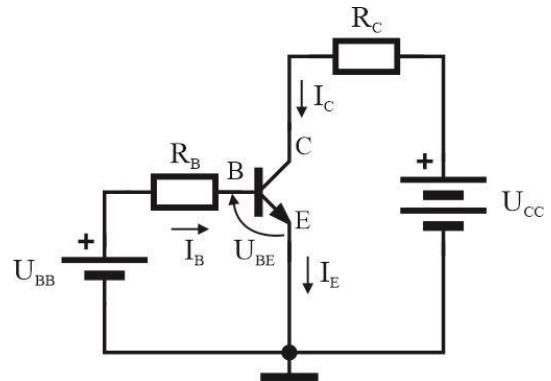


Дефинираните статички карактеристики се однесуваат за транзистор во спој со заеднички емитер. Запиши ги зависностите кај транзистор во спој со заедничка база (влез емитер-излез колектор) и во спој со заеднички колектор (влез емитер-излез база)!

3.6.2 СТАТИЧКА РАБОТНА ТОЧКА И РАБОТНА ПРАВА НА ТРАНЗИСТОР

Излезните карактеристики даваат можност и за дефинирање на поимите работна точка и работна права.

Во практиката, колекторот на транзисторот многу ретко директно се врзува на изворот за напојување. Меѓу колекторот и изворот најчесто се вградува отпорник R_C (слика 3.18), со кој се нагодува вредноста на напонот U_{CE} и служи како оптоварување на колекторското коло. Влијанието на овој отпорник врз работата на транзисторот може да се претстави со права во излезните карактеристики на транзисторот.



Слика 3.18: Статички режим на работа на транзисторот

Положбата на правата зависи од вредноста на напонот на изворот и од вредноста на отпорот на оптоварувањето, а може да се одреди по математички пат. За математичкото одредување се користи **равенката на работната права**, добиена со примена на II Кирхофов закон за излезното коло на транзисторот:

$$U_{CC} - R_C I_C - U_{CE} = 0 \dots\dots\dots(3.5)$$

или во друга форма како:

$$U_{CE} = U_{CC} - R_C I_C \dots\dots\dots(3.6)$$

Сега треба да одредиме две точки и тоа:

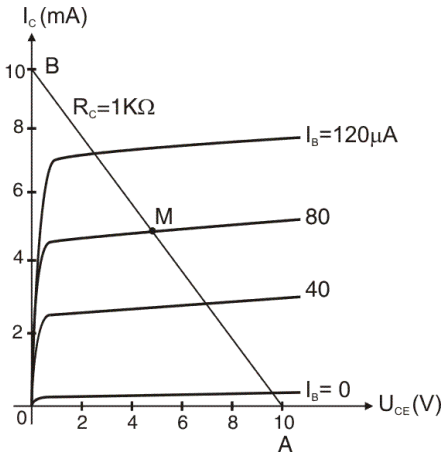
за $I_C = 0, U_{CE} = U_{CC}$ и за $U_{CE} = 0, I_C = \frac{U_{CC}}{R_C}$,

да ги внесеме во системот на излезните карактеристики I_C-U_{CE} и да ги поврземе. Така, на пример, ако се дадени вредностите за $U_{CC}=10 \text{ V}$ и $R_C=1 \text{ k}\Omega$, координатите на точките ќе бидат:

за точката А, $I_C = 0$, $U_{CE} = 10V$

за точката В, $U_{CE} = 0$, $I_C = \frac{10}{1000} = 10mA$.

Добиената состојба се гледа на слика 3.19.



Слика 3.19: Положба на работната права

Статичката работна точка

М на транзисторот претставува пресек меѓу работната права и линијата $I_B = const.$ која одговара на струјата поставена во базното коло. Струјата во базата може лесно да се одреди од базната контура ако се познати напонот U_{BB} и отпорот R_B бидејќи напонот на директно поларизирианиот спој база-емитер обично се движи во опсегот од 0,6 до 0,7 V и се зема како константен (најчесто 0,7 V).

Со примена на II Кирхофов закон за влезната контура во коло се добива:

$$U_{BB} - R_B I_B - U_{BE} = 0 \dots\dots\dots(3.7)$$

од каде за базната струја се добива изразот:

$$I_B = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{R_B} \dots\dots\dots(3.8)$$

Која било линија од излезните карактеристики $I_C = f(U_{CE})$ за $I_B = const.$, дава можност за приближно одредување на статичкиот параметар на транзисторот – факторот на струјното засилување во спој со заеднички емитер β :

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \dots\dots\dots(3.9)$$

Факторот на струјното засилување се дефинира како однос на колекторската струја I_C и базната струја I_B и претставува неименуван број.

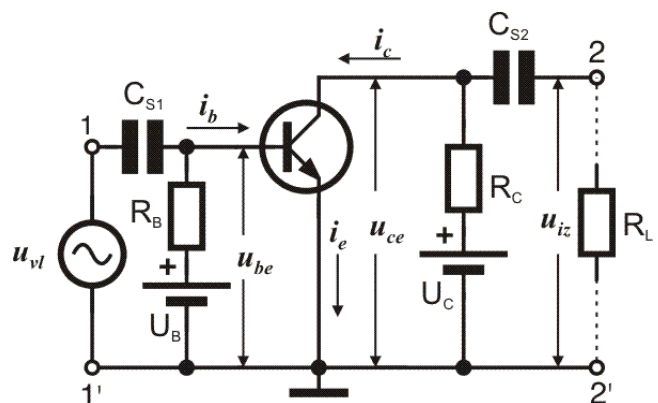
НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Статички режим на работа имаме кога во колото на транзисторот постојат само еднонасочни напони и струи со кои се поларизира транзисторот.
- $I_C=f(U_{CE})$ за $I_B=const.$ претставува излезна карактеристика на транзисторот.
- $I_B=f(U_{BE})$ за $U_{CE}=const.$ претставува влезна карактеристика на транзисторот.
- Факторот на струјното засилување се дефинира како однос на колекторската струја I_C и базната струја I_B и претставува неименуван број.

3.7 ДИНАМИЧКИ РЕЖИМ НА РАБОТА НА ТРАНЗИСТОР

Сите напори што ги правиме за да го ставиме транзисторот во статички режим на работа во нормалното активно подрачје се само подготовка за тој да може да ја извршува функцијата на засилувач. Со донесување на променливиот напон (струја) на сигналот на влезот на транзисторот, неговата работна точка веќе не мирува, туку се поместува долж работната линија во ритамот на сигналот и транзисторот преминува во динамички режим на работа.

Динамичкиот режим на работа подразбира функционирање на транзисторот како засилувач. Во динамичкиот режим, освен еднонасочните напони и струи, со кои се поларизира транзисторот и му се одредува статичката работна точка, постои и наизменичен напон и струја на сигналот, кој треба да биде засилен. Тој сигнал се носи на влезот на транзисторскиот засилувачки степен (слика 3.20) и се добива засилен на излезот од тој степен за



Слика 3.20: Транзистор во динамички режим

натамошна обработка (натамошно засилување или за активирање на одреден уред).

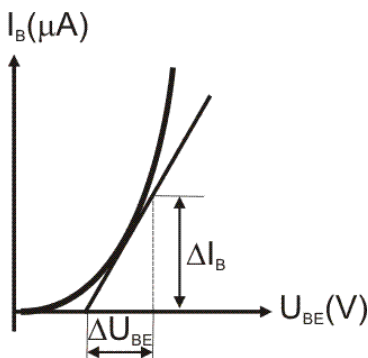
Струјното засилување на транзисторот се дефинира како однос на колекторската струја I_C и базната струја I_B во работната точка од излезните карактеристики.

Излезниот отпор се одредува со наведнатоста на тангентата на излезната карактеристика во работната точка.

Влезниот отпор е соодветно наведнатост на тангентата на влезната карактеристика во работната точка. Тој може да се спореди со динамичкиот отпор кај диодите.

Од влезната карактеристика се одредува како наклон на тангентата на карактеристиката во работната точка (слика 3.21):

$$R_{vl} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} \dots\dots\dots(3.10)$$

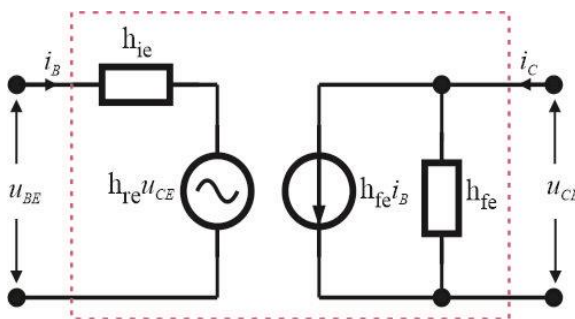


Слика 3.21: Одредување на влезната отпорност на транзисторот

3.7.1 ЕКВИВАЛЕНТНА ШЕМА НА ТРАНЗИСТОР СО h-ПАРАМЕТРИ

За анализа на транзисторот во спој со заеднички емитер, кога работи со нискофреквенциски сигнали со мали амплитуди најповолни се **h-параметрите** (слика 3.22). Шемата со h-параметри важи само за променливите сигнали и служи за поедноставување на анализата на неговата работа така што може посебно да се разгледува колото за еднонасочниот од колото за наизменичниот режим.

Транзистори



Слика 3.22: Еквивалентно коло на транзисторот со h-параметри

Со овие параметри се формираат по две равенки со кои се одредува односот меѓу влезниот напон и влезната струја кон излезниот напон и излезната струја. Наизменичните напони и струи, во тој случај, можат да се претстават како мали промени на еднонасочните вредности и системот на равенките со h-параметрите може да се напише како:

$$\begin{cases} \Delta U_{BE} = h_{ie}\Delta I_B + h_{re}\Delta U_{CE} \\ \Delta I_C = h_{fe}\Delta I_B + h_{oe}\Delta U_{CE} \end{cases} \dots\dots\dots(3.11)$$

Со кратко спојување на излезното коло на транзисторот во однос на наизменичната струја, промената на излезниот напон ΔU_{CE} станува нула. Од првата равенка на системот се добива:

$$h_{ie} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} \text{ за } \Delta U_{CE} = 0 \dots\dots\dots(3.12)$$

Овој параметар претставува **влезен отпор на транзисторот при краткоспоен излез**.

Кога влезното коло е отворено, не тече влезната струја, па имаме $\Delta I_B = 0$, а од првата равенка се добива:

$$h_{re} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{CE}}; \text{ за } \Delta I_B = 0 \dots\dots\dots(3.13)$$

Овој параметар претставува **коэффициент на напонска повратна спрега при отворено влезно коло** и тој е неименуван број. Вредноста на овој параметар е многу мала кај современите транзистори, па во понатамошните анализи ќе биде изоставен.

За краткоспоено излезно коло, од втората равенка добиваме:

$$hfe = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}; \text{ за } \Delta U_{CE} = 0. \dots\dots\dots(3.14)$$

Овој параметар го претставува **коэффициентот на струјното засилување на транзисторот при краткоспоено излезно коло** и претставува неименуван број.

Кога промените на базната и колекторската струја се еднакви, односно кога е карактеристиката линеарна, изразот за струјното засилување може да се напише како:

$$hfe = \frac{I_C}{I_B}. \dots\dots\dots(3.15)$$

Промената на струјното засилување зависи од видот на транзисторите. За транзистори со мала моќност, растојанието меѓу карактеристиките, за иста промена на базната струја е константно, што значи дека нивното струјно засилување не зависи од јачината на колекторската струја. Струјното засилување кај транзисторите со поголема моќност има помала вредност и опаѓа со зголемувањето на колекторската струја.

За отворено влезно коло, од втората равенка се добива:

$$hoe = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{CE}}; \text{ за } \Delta I_B = 0. \dots\dots\dots(3.16)$$

Реципрочната вредност на излезната отпорност е, всушност, **излезната спроводливост**, односно параметарот h_{oe} . Поради малата вредност, параметарот h_{oe} може, во повеќето случаи, исто така, да се изостави.

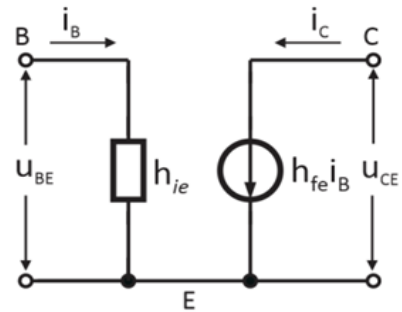
Вредностите на хибридниите параметри можат лесно да се измерат со мерење на напоните и струите на изводите на транзисторот, под услови наведени во нивните дефиниции. Во практиката, тие се мерат директно со компјутерски управувани инструменти.

Транзисторот може да се претстави и со други параметри кои во општ случај се комплексни вредности со реален и имагинарен дел. Ако се ограничи

Транзистори

режимот на работа на транзисторот на сигнали со ниски фреквенции, имагинарните делови можат да се запостават и да останат само реалните делови на вредностите на параметрите. Во таквата состојба импедансите стануваат отпорности, а адмитансите инверзни вредности на отпорностите, односно спроводности.

Од друга страна, за режим на работа со мали сигнали нема потреба да се користат сите четири параметри за да се добие прифатливо добар модел на транзисторот. Се покажува дека параметрите h_{re} и h_{oe} во голем број случаи имаат толку мали вредности што можат да се занемарат. Во тие случаи транзисторот се претставува само со два параметри h_{ie} и h_{fe} . Еквивалентната шема на транзисторот со h -параметрите сега добива изглед како на слика 3.23.



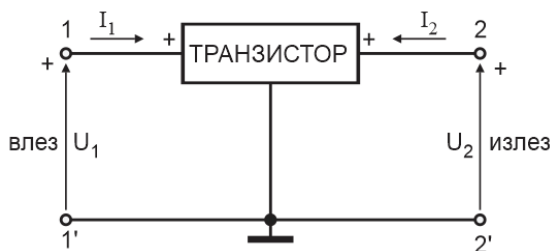
Слика 3.23: Еквивалентна шема на транзистор со h -параметри

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Струјното засилување на транзисторот се дефинира како однос на колекторската струја I_C и базната струја I_B во работната точка од излезните карактеристики.
- Излезниот отпор се одредува со наведнатоста на тангентата на излезната карактеристика во работната точка.
- Влезниот отпор е соодветно наведнатост на тангентата на влезната карактеристика во работната точка.
- Параметарот h_{ie} претставува влезен отпор на транзисторот при краткоспоен излез.
- Параметарот h_{fe} претставува струјното засилување на транзисторот при краткоспоено излезно коло и претставува неименуван број.
- За режим на работа со мали сигнали транзисторот се претставува само со два параметри h_{ie} и h_{fe} .

3.8 СПОЕВИ НА БИПОЛАРЕН ТРАНЗИСТОР

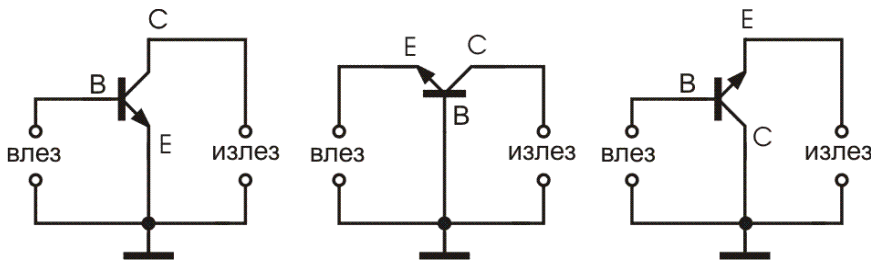
Транзисторот е нелинеарен елемент, но може да се направи негов модел како линеарен елемент, како специјален случај на општа линеарна мрежа со две порти. Портата се дефинира со два приклучока за влезот (1 и 1') и два приклучока за излезот означени со 2 и 2' на слика 3.24.



Слика 3.24: Транзистор како активен четворопол

Но, бидејќи тој има само три изводи, едниот од нив ќе биде заеднички за влезот и за излезот. Зависно од тоа кој извод е заеднички за влезот и за излезот, разликуваме три вида на транзисторски споevi (слика 3.25):

- транзистор во спој со заеднички емитер, во кој влезот е меѓу базата и емитерот, а излезот меѓу колекторот и емитерот;
- транзистор во спој со заедничка база, во кој влезот е меѓу емитерот и базата, а излезот меѓу колекторот и базата;
- транзистор во спој со заеднички колектор, во кој влезот е меѓу базата и колекторот, а излезот меѓу емитерот и колекторот.



Слика 3.25: Видови споevi на транзисторот

Спојот со заеднички емитер е најмногу употребуван спој. Заедничкиот извод обично се заземјува, па се употребува и изразот: спој со заземјен емитер, заземјена база или заземјен колектор.

Транзистори

Врз основа на системот на равенките за h -параметрите, може да се нацрта еквивалентна шема како на слика 3.22 која одговара на генералната шема на засилувач (со струјно засилување h_{fe} , влезна и излезна отпорност). Во зависност од видот на спрегата на транзисторот во колото, се менуваат и вредностите на h -параметрите. За да можат да се разликуваат, тие во индексот носат и ознака за кој спој се работи. Така, параметрите h_{ib} , h_{rb} , h_{fb} , h_{ob} се однесуваат на спој со заедничка база, параметрите h_{ie} , h_{re} , h_{fe} , h_{oe} на спој со заеднички емитер и параметрите h_{ic} , h_{rc} , h_{fc} , h_{oc} на спој со заеднички колектор. Другите конфигурации (зависно од заедничката електрода) можат да се прикажат со h -параметри за соодветната конфигурација, но параметрите за заеднички емитер се доволни и можат да се употребат за решавање на сите конфигурации.

За илустрација, во табелата се дадени просечни вредности на h -параметрите за транзистор BFY 67 за работната точка одредена со $U_{CE} = 5 \text{ V}$ и $I_C = 1,3 \text{ mA}$. (табела 3.1)

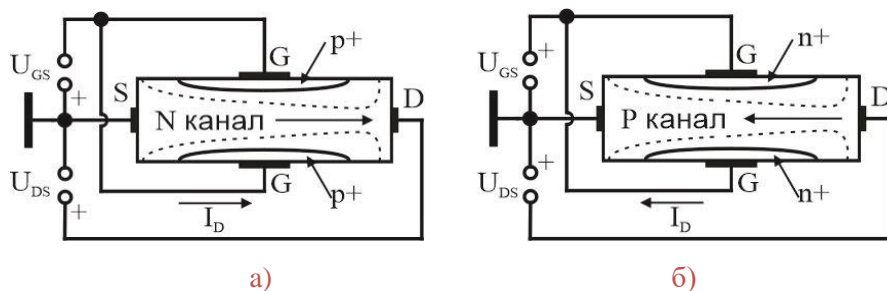
Табела 3.1: Каталожки вредности на h -параметрите за транзистор BFY 67

	Заедничка база	Заеднички емитер	Заеднички колектор
$h_i (\Omega)$	21,6	1100	1100
h_r	$2,9 \times 10^{-4}$	$2,5 \times 10^{-4}$	1
h_f	-0,980	50	-51
$h_o (S)$	$0,49 \times 10^{-6}$	24×10^{-6}	25×10^{-6}

Ако се познати еден вид h -параметри, можат да се пресметаат и параметрите од друг вид спрега.

3.9 ПОЛАРИЗАЦИЈА НА УНИПОЛАРЕН ТРАНЗИСТОР

Принципот на работа на N-канален JFET и на P-канален JFET е ист, само што напоните на електродите се со спротивни поларитети, а струите со спротивни насоки (слика 3.26). Кај N-канален JFET носителите на полнежот се електроните додека, кај P-канален JFET се празнините. Во натамошната анализа ќе се ограничимо само на N-канален JFET.



Слика 3.26: Поларизација на а) N-канален и б) P-канален JFET

Кога нема напон меѓу гејтот и сорсот, или кога гејтот кратко е споен со сорсот, каналот е широко отворена патека за електроните да течат од сорсот кон дрејнот под влијание на изворот U_{DS} . При помали напони на дрејнот јачината на струјата на дрејнот I_D зависи само од напонот на изворот U_{DS} и отпорноста на полупроводникот на каналот.

Со приклучување на изворот U_{GS} , како на слика 3.26, двата PN-споја инверзно се поларизираат и по должината на споевите се создава бариера. Полупроводникот на каналот е формиран со мал процент на донори, а областа на гејтот е со поголем процент на акцептори, бариерата повеќе се шири во областа на каналот отколку во гејтот. Електроните во каналот се оддалечуваат од границата на бариерата кон средината на каналот. Каналот станува стеснет со проширувањето на бариерата, а како последица се намалува неговата спроводност и јачината на струјата на дрејнот. Со промена на напонот меѓу гејтот и сорсот U_{GS} се менува и јачината на струјата на дрејнот. Со зголемување на вредноста на напонот U_{GS} , по апсолутна вредност, ширината на каналот се намалува, неговата отпорност се зголемува а струјата низ него се намалува. Напонот при кој доаѓа до прекин на проток на струја низ каналот се нарекува **напон на прекин U_T** или напон на спроведување. Ова подрачје на работа на JFET-от се нарекува **омско подрачје** или **линеарно подрачје**. Во омската област транзисторот се однесува како отпорник, односно струјата на дрејнот линеарно се зголемува со зголемување на напонот меѓу дрејнот и сорсот. При вредност на напонот $U_{GS}=0V$ каналот е најширок, притоа се зголемува бројот на електроните кои се движат низ каналот, односно низ JFET-от протекува струја на дрејнот која има максимална вредност, која се обележува со **I_{DSS}** (инверзна струја на заситување на спојот гејт-канал, и претставува струја на дрејнот при краток спој гејт-сорс).

Транзистори

Може да заклучиме дека при мали вредности на напонот меѓу дрејот и сорсот U_{DS} , и негативни вредности на напонот U_{GS} , јачината на струјата ќе зависи од ширината на каналот, која пак зависи од вредноста на напонот U_{GS} .

При поголеми вредности на напонот U_{DS} ширината на каналот не е еднаква по целата должина на плочката. Каналот е најширок во близината на сорсот, а најтесен во околината на дрејот, прикажано на слика 3.26 со испрекинати линии. Причината лежи во фактот што напонот меѓу гејтот и дрејот има најголема вредност и изнесува:

$$U_{DS} + |U_{GS}|.$$

Со понатамошно зголемување на напонот U_{DS} каналот се стеснува, односно се зголемува отпорноста на каналот додека струјата останува приближно константна (според Омовиот закон $I=U/R$ при истовремено зголемување на напонот и отпорноста, струјата останува константна). Ова подрачје на работа на JFET-от се нарекува **подрачје на заситување**. Со U_P (**pinch-off voltage**) се дефинира напонот при кој униполарниот транзистор преминува од линеарното подрачје во подрачје на заситување.

При поголеми вредности на напонот U_{DS} (на пр., 30V) транзисторот се наоѓа во **подрачје на пробив**, каде струјата нагло расте и доколку не се ограничи доаѓа до уништување на транзисторот.

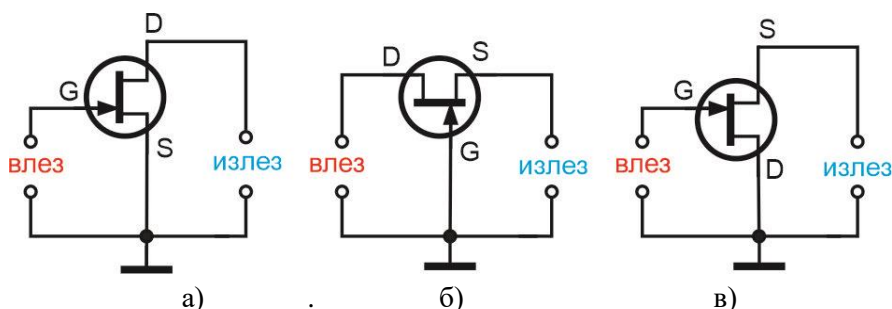
P-канален JFET е прецизен комплемент на N-каналниот, којшто е веќе анализиран. Струјата и сите напони се со спротивен поларитет во однос на N-каналниот JFET, а направената анализа останува непроменета, со тоа што носителите на полнежот се празнините.



Изработи табела во која ќе ги прикажеш работните подрачја во зависност од напоните на поларизација U_{DS} и U_{GS} кај N-канален и P-канален JFET!

3.10. СПОЕВИ НА УНИПОЛАРЕН ТРАНЗИСТОР

Како кај биполарните, така и кај униполарните транзистори постојат три можни конфигурации. Секоја од трите електроди може да биде заедничка, така што постои спој со заеднички сорс (слика 3.27 а), спој со заеднички гејт (слика 3.27 б) и спој со заеднички дрејн (слика 3.27 в).



Слика 3.27: Споеви на униполарен транзистор

- Кај спојот со заеднички сорс напонот U_{GS} е влезен напон додека излезен напон е напонот U_{DS} , заедничка електрода е сорсот.
- Кај спојот со заеднички гејт напонот U_{DG} е влезен напон додека излезен напон е напонот U_{SG} , заедничка електрода е гејтот.
- Кај спојот со заеднички дрејн напонот U_{GD} е влезен напон додека излезен напон е напонот U_{SD} , заедничка електрода е дрејнот.

Најголема примена има спојот со заеднички сорс. Се применува во влезните засилувачи на различни уреди, како, на пример, кај аудио-засилувачите, кај електронските инструменти и др.

Спој со заеднички дрејн има голема примена во засилувачи за приспособување на импедансата бидејќи има многу голема влезна а мала излезна отпорност, додека напонското засилување му е приближно 1.

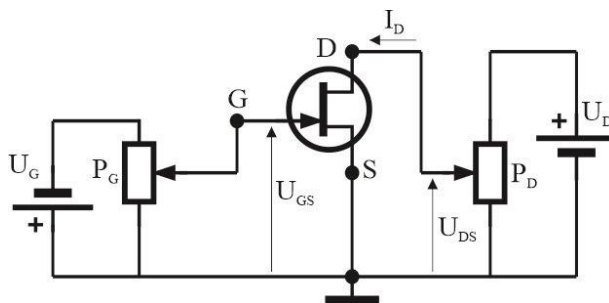
Кај засилувачот во спој со заеднички гејт, засилувањето е позитивно, значи не внесува фазно поместување од 180° и има мал влезен отпор. Колото на засилувачот може да се користи за приспособување на некој степен со мал излезен отпор со некој друг степен со голем влезен отпор, ако се стави меѓу нив.

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Излезната струја на униполарниот се контролира со електрично поле, создадено со влезниот напон.
- FET е напонски управуван, униполарен електронски елемент со три изводи: дрејн, гејт и сорс, во кој тече струја преку канал од само еден вид полупроводник.
- Според видот на полупроводникот на каналот разликуваме N-канален FET и P-канален FET.
- Кога нема напон на гејтот, или кога е гејтот кратко споен со сорсот, низ FET-от не тече струја на дрејнот.

3.11. СТАТИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА FET

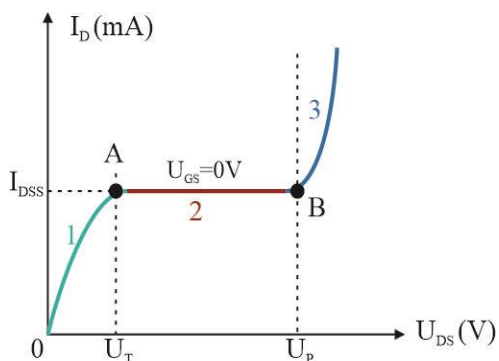
Најзначајни статички карактеристики на FET-от се излезната карактеристика $I_D=f(U_{DS})$ и преносната к-ка $I_D=f(U_{GS})$, при што со I_D е означена излезната струја на дрејнот, со U_{DS} излезниот напон меѓу дрејн и сорс и со U_{GS} влезниот напон меѓу гејт и сорс. Тие можат да се снимаат со колото дадено на слика 3.30.



Слика 3.30: Електрично коло за снимање на статичките карактеристики на FET

Гејтот се поларизира со еднонасочниот извор U_G кој обезбедува влезен напон $U_{GS}<0$, додека со еднонасочниот извор U_D излезен напон $U_{DS}>0$. Во колото тече струјата I_D со насока од дрејнот кон сорсот.

Излезната карактеристика која претставува зависност на две излезни големини, излезната струја I_D од излезниот напон U_{DS} , $I_D=f(U_{DS})$ за $U_{GS}=0$ ќе има изглед како на слика 3.31.

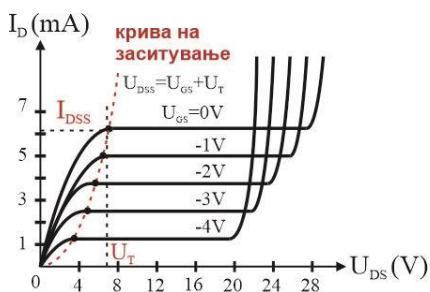


Слика 3.31: Излезна карактеристика на FET

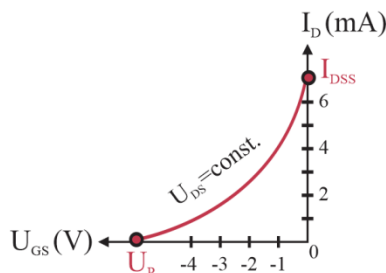
За мали напони U_{DS} , каналот се однесува како отпорност, што придонесува карактеристиката да има линеарен тек. Тој дел го дефиниравме како **подрачје на активна отпорност** (означена со 1 на сликата). Со зголемувањето на напонот U_{DS} се зголемува инверзната поларизација на PN-спојот гејт-дрејн и се проширува бариерата.

За вредноста U_T на напонот U_{DS} каналот е максимално стеснет, а неговиот отпор е максимален. На карактеристиката тоа е точката А и таа го дефинира напонот при кој двете бариери речиси се допираат. Струјата I_D во каналот има вредност I_{DSS} и не се менува со зголемување на напонот U_{DS} . На карактеристиката тоа е делот означен со 2 кој го дефиниравме како **подрачје на заситување** или подрачје на **константни струи**.

Третиот дел од карактеристиката, означен со 3, е **подрачје на пробив** и започнува од точката В. Во оваа точка напонот U_{DS} ја надминува вредноста на пробивниот напон на PN-спојот и струјата на дрејнот нагло се зголемува. Пробивот е од областа на Зенеров ефект, што значи реверзибилен и може да се врати во претходната состојба, ако се ограничи струјата со отпорност во надворешното коло на дрејнот.



Слика 3.32: Фамилија струјно-напонски карактеристики



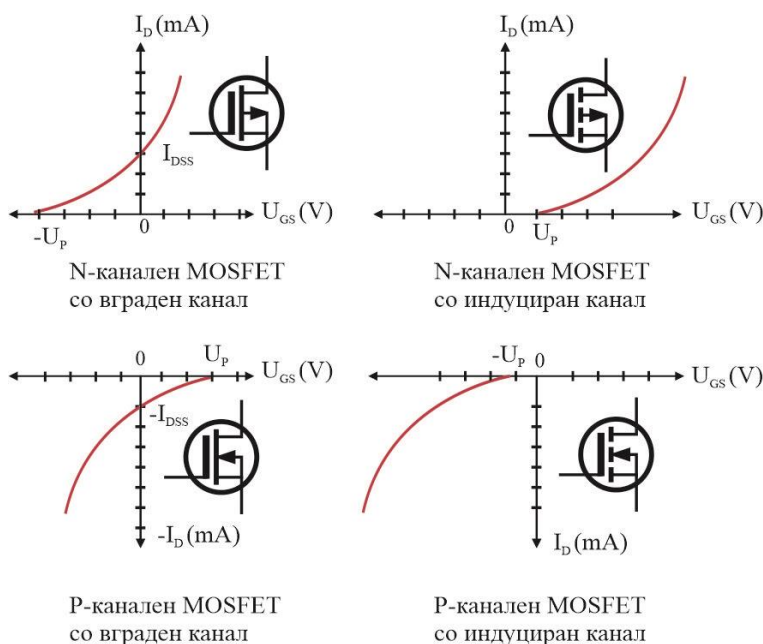
Слика 3.33: Преносна карактеристика на FET

На слика 3.32 се дадени комплетните карактеристики $I_D=f(U_{DS})$ за $U_{GS}=const$. Подрачјето на активна отпорност на карактеристиките е одделено

од подрачјето на заситување со кривата на заситување, нацртана со испрекинатата линија.

Преносната карактеристика на FET во спој со заеднички сорс се дефинира како зависност на излезната струја I_D од влезниот напон U_{GS} при константен излезен напон U_{DS} , $I_D=f(U_{GS})$ за $U_{DS}=const.$ е дадена на слика 3.33.

Преносната карактеристика на MOSFET се дефинира на идентичен начин како кај FET-от. На слика 3.34 се прикажани преносните карактеристики на видови MOSFET-и.



Слика 3.34: Преносни карактеристики на MOSFET

Големините на овие параметри се даваат во каталози, на пр., за BF245 изнесуваат (табела 3.2):

Табела 3.2: Каталожки податоци за униполарен транзистор BF245

Ознака	Тип	Куќиште	I_{DSS} (mA)	при U_{GS} (V)	при U_{DS} (V)	U_P (V)	при U_{DS} (V)	при I_D (nA)
BF245A	N	TO-92	2 до 6,5	0	15	-0,4 до -2,2	15	10
BF245B	N	TO-92	6 до 15	0	15	-1,6 до -3,8	15	10
BF245C	N	TO-92	12 до 25	0	15	-3,2 до -7,5	15	10



Анализирај ги карактеристиките на MOSFET со вграден канал 3N138 врз основа на каталожки податоци кои можеш да ги пронајдеш истражувајќи на интернет!

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- $I_D=f(U_{DS})$ за $U_{GS}=const.$ претставува излезна карактеристика на униполарен транзистор.
- Во подрачјето на активна отпорност униполарниот транзистор се однесува како отпорник, струјата на дрејнот линеарно се зголемува со зголемувањето на напонот меѓу дрејнот и сорсот.
- Во подрачјето на заситување или подрачје на константни струи струјата на дрејнот во каналот има константна вредност I_{DSS} и не се менува со зголемување на напонот U_{DS} .
- Во подрачјето на пробив напонот U_{DS} ја надминува вредноста на пробивниот напон на PN-спојот и струјата на дрејнот нагло се зголемува.
- $I_D=f(U_{GS})$ за $U_{DS}=const.$ претставува преносна карактеристика на униполарен транзистор.

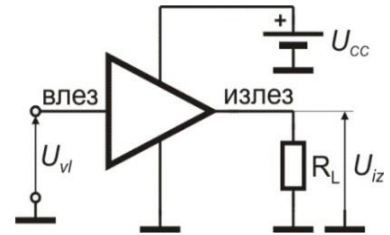
3.12. ТРАНЗИСТОР КАКО ЗАСИЛУВАЧ

Сè што се случува во природата, а може да се дефинира со непрекинато променливи параметри, како што се температура, притисок, интензитет на светлината и друго, може да се претвори во електричен напон или струја. Таков напон или струја, која на одреден начин се менува со времето, се вика **електричен сигнал**. За добивање на електричниот сигнал се користат соодветни видови сензори или претворувачи, како што е, на пример, фотодиодата или фототранзисторот. За да може сигналот од сензорот да се користи за мерење или за некоја друга управувачка задача, тој треба да се засили на ниво потребно за извршување на бараната функција. Конкретно за фотодиодата, струјата од редот неколку стотици наноампери треба да се зголеми на ниво од неколку ампери, а тоа е речиси сто милиони пати. Такво засилување се прави со електронски уреди – засилувачи.

Транзистори

Суштината на засилувањето е во тоа што не се зголемува влезната струја и влезниот напон, туку мала промена на влезниот напон и струја предизвикува голема промена на излезниот напон, што се толкува како засилен влезен напон или струја. Транзисторскиот засилувач не произведува нова електрична енергија, енергијата од еднонасочниот извор за напојување тој ја претвора во енергија на засилениот сигнал на излезот.

Со засилувачите се засилува напон, струја или моќност, а во некои случаи сигналот се претвора од напонски во струен или обратно. Во општ случај, тие се прикажуваат со триаголник, како на слика 3.35, кога нивната конструкција нема важност за прикажување на функцијата на целото коло.

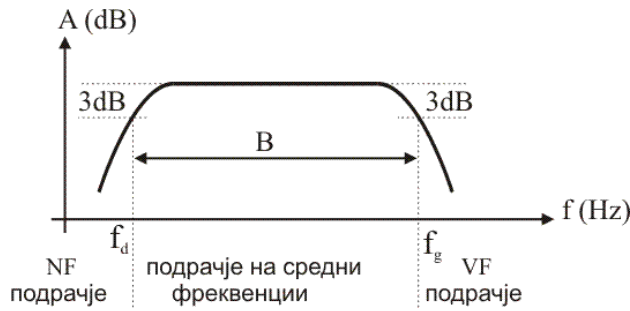


Слика 3.35: Општа шематска ознака на засилувач

Во случај кога нè интересира засилување на напон, на влезот од засилувачот се носи влезниот сигнал U_{vl} , а на неговиот излез се добива сигнал U_{iz} со иста форма, но со зголемена вредност. За да функционира засилувачот потребна му е енергија што ја добива од еднонасочниот извор на напон. Влезниот и излезниот напон најчесто се мерат во однос на едниот крај од изворот кој што се означува со симболот \perp . Тој претставува референтна точка во колото со потенцијал $0V$ и се нарекува **маса**. Функцијата на колото е да ја зголеми амплитудата на влезниот напон земајќи енергија од изворот и да ја предаде на потрошувачот – претставен со отпорникот R_L . Математички гледано, засилувачот го пресликува влезниот сигнал врз потрошувачот множејќи го со некоја (константна) вредност. Таа вредност всушност е засилувањето на засилувачот.

Многу важна карактеристика на засилувачот е неговата амплитудна и фазна карактеристика. Иако засилувањето беше претходно дефинирано како константна вредност, во практиката не е така.

Имено, ако на влезот се донесат наизменични напони со исти амплитуди и различни фреквенции, на излезот ќе се добијат наизменични напони со истите фреквенции, но со различни амплитуди и различни фази што значи дека засилувањето зависи од фреквенцијата. Зависноста на засилувањето од фреквенцијата се нарекува **амплитудно-фреквенциска карактеристика** (или само амплитудна карактеристика) (слика 3.36).



Слика 3.36: Амплитудна карактеристика на засилувач

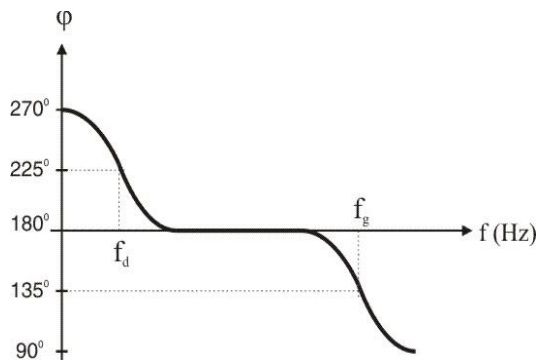
Ниеден реален засилувач не може да го засили влезниот сигнал во неограничен фреквенциски опсег. Во колото на засилувачот, освен транзисторот, кој има ограничувања во однос на фреквенциите кои може да ги засилува, постојат и капацитивности и индуктивности, кои го прават засилувањето зависно од фреквенцијата.

При некои високи фреквенции, засилувачот веќе нема да биде во состојба да дава иста амплитуда на излезниот сигнал, како при средните фреквенции.

За **горна гранична фреквенција** f_g на засилувачот се смета фреквенцијата за која засилувањето опаѓа за фактор 0,707 (или се вели опаѓа за 3dB), во однос на засилувањето при средните фреквенции. До паѓање на засилувањето доаѓа и при ниските фреквенции, а на сличен начин се дефинира и **долната гранична фреквенција** f_d . Разликата меѓу горната и долната гранична фреквенција:

$$B = f_g - f_d \dots \dots \dots (3.17)$$

се нарекува **пропусен опсег** на засилувачот. Сигналите со фреквенции во овој опсег ќе бидат засилени без изобличување. Изобличувањето се манифестира со разлика во обликот меѓу излезниот и влезниот сигнал и се јавува кај сигналите што содржат фреквенции надвор од пропусниот опсег на засилувачот. Така, на пример, ако се засили музика преку телефонски засилувач, таа ќе биде изобличена. Тоа ние го чувствуваме како „сиромашен звук“ бидејќи низ засилувачот нема да бидат засилени ниту ниските фреквенции (басовите) ниту високите фреквенции (чинелите).



Слика 3.37: Фазна карактеристика на засилувачот

За горната гранична фреквенција фазната разлика се намалува за 45° , а за долната се зголемува за 45° . Со зголемувањето и со намалувањето на фазната разлика во однос на 180° се јавуваат фазни изобличувања на сигналот.

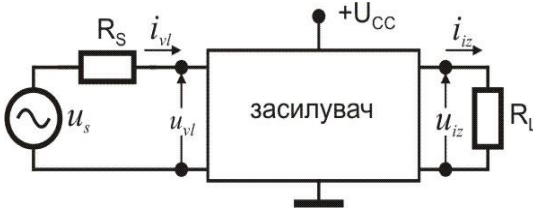
Човечкото уво не е чувствително на фазните изобличувања и во аудио-системите таа нема поголемо значење, но кај видео-засилувачите и кај импулсните засилувачи има големо значење.

Засилувачите можат да се поделат на засилувачи на мали и засилувачи на големи сигнали. Засилувачите на мали сигнали се најчесто на почетокот на засилувачката каскада, а големите на крајот. Според видот на засилувањето имаме засилувачи на напон, засилувачи на струја и засилувачи на моќност. Според ширината на фреквенцискиот опсег, засилувачите се делат на: широкопојасни, теснопојасни или селективни, нискофреквенциски, високофреквенциски и на засилувачи на еднонасочен сигнал.

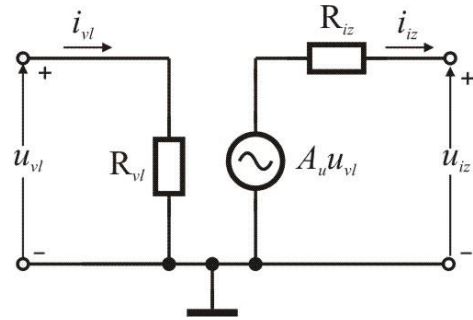
3.13. ПАРАМЕТРИ НА ТРАНЗИСТОР

Засилувачите можат да бидат едноставни склопови со еден транзистор, но и сложени структури од голем број транзистори, кондензатори, калемии и други компоненти. Сепак, нивното поведение во однос на сигналот може да се прикаже поедноставено со помош на едноставно електрично коло наречено четворопол. Компонентите од кои е составен четворополот всушност се параметрите на засилувачот. Напонскиот засилувач претставен преку

четворопол, заедно со изворот на сигнал и потрошувачот се прикажани на слика 3.38.



Слика 3.38: Блок-шема на основен засилувач



Слика 3.39: Еквивалентна шема на засилувач

На влезот од засилувачот се приклучува изворот на сигналот U_S со сопствениот отпор R_S , а на излезот отпорот на оптоварувањето R_L .

Засилувачот од слика 3.38 се еквивалентира со шемата прикажана на слика 3.39.

Влезната отпорност (R_{vl}) се дефинира како однос на влезниот напон и влезната струја:

$$R_{vl} = \frac{U_{vl}}{I_{vl}} (\Omega) \dots \dots \dots (3.18)$$

Напонското засилување (A_U) се дефинира како однос на излезниот напон и влезниот напон при отворен излез:

$$A_U = \frac{U_{iz}}{U_{vl}} \dots \dots \dots (3.19)$$

За струен сигнал имаме **струјно засилување (A_I)** како однос на излезната спрема влезната струја:

$$A_I = \frac{I_{iz}}{I_{vl}} \dots \dots \dots (3.20)$$

а за **засилување на моќност (A_P)** имаме количник на моќностите на наизменичните сигнали на излезот P_{iz} и на влезот P_{vl} на засилувачот:

$$A_P = \frac{P_{iz}}{P_{vl}} = \left| \frac{U_{iz} \cdot I_{iz}}{U_{vl} \cdot I_{vl}} \right| = |A_U \cdot A_I| \dots \dots \dots (3.21)$$

Засилувањето може да се изрази со логаритамска единица децибел (dB) како:

$$A_U(dB) = 20 \log \left| \frac{U_{iz}}{U_{vl}} \right|, \quad A_I(dB) = 20 \log \left| \frac{I_{iz}}{I_{vl}} \right|, \quad A_P(dB) = 10 \log \left| \frac{P_{iz}}{P_{vl}} \right| \dots \dots \dots (3.22)$$

Коефициентот на корисното дејство η се дефинира како однос на средната моќност (средна вредност на моќноста во една периода) на наизменичниот сигнал, предаден на потрошувачот и на моќноста што се зема од изворот за напојување, изразена процентуално како:

$$\eta = \left| \frac{P_k}{P_o} \right| \cdot 100(\%) \dots \dots \dots (3.23)$$

Излезната отпорност се дефинира со:

$$R_{iz} = \frac{U_2}{I_{iz}} (\Omega) \text{ при } U_S=0 \text{ и } R_L \rightarrow \infty \dots \dots \dots (3.24)$$

Излезната отпорност се одредува така што влезниот наизменичен извор се премостува, се отстранува потрошувачот R_L на излезот од засилувачот, и на негово место се приклучува напонскиот извор U_2 .

Излезното коло во шемата на слика 3.39, всушност, претставува приказ на засилувачот во однос на потрошувачот според Тевененовата теорема.

Од влезната отпорност се бара да има поголема вредност, со што помалку ќе го оптоварува генераторот на сигналот или претходниот засилувачки степен.

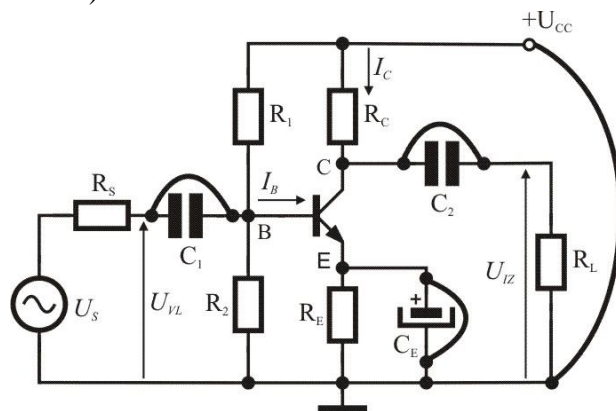
Засилувачот е електронски склоп кој треба да ја зголеми амплитудата на сигналот. Ако сигналот е претставен како напон, тогаш се дефинира напонско засилување на засилувачот како однос на излезниот наспроти влезниот напон на сигналот.

Кога напонското засилување е позитивно, излезниот и влезниот напон се во фаза, а кога е негативно, тие се во противфаза, односно фазно поместени за 180° .

Засилувачот би бил идеален доколку има стабилно засилување со константна вредност, кое не зависи од фреквенцијата, не внесува шум во излезниот сигнал и не зависи од температурата.

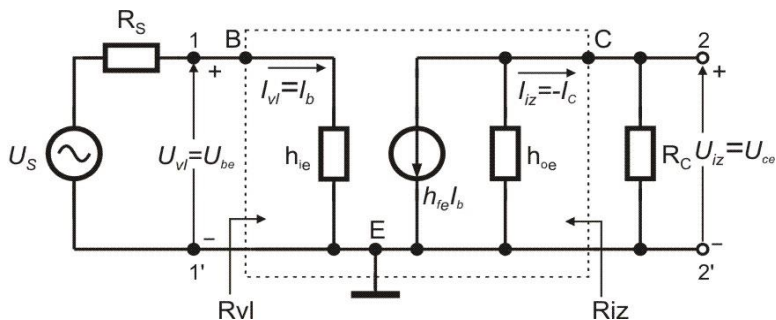
3.13. 1 ОДРЕДУВАЊЕ НА ПАРАМЕТРИ НА ТРАНЗИСТОР ВО СПОЈ СО ЗАЕДНИЧКИ ЕМИТЕР

За одредување на засилувањето ќе користиме еквивалентна шема на транзисторскиот засилувач на наизменични напони и струи на транзистор во спој со заеднички емитер, од слика 3.38 во режим на мали сигнали и средни фреквенции. Во подрачје на средни фреквенции сите капацитивности во колото имаат многу мала импеданса и во еквивалентната шема за наизменичен режим на работа кондензаторите се претставуваат како куса врска, како и изворот за напојување (слика 3.40).



Слика 3.40: Шема на засилувач со транзистор со кратко споени кондензатори и кратко споен извор за напојување

Со замена на транзисторот со упростената шема со h -параметри се добива шемата на засилувачот како на слика 3.41.



Слика 3.41: Еквивалентно коло на засилувач со заеднички емитер

Во шемата не е внесен изворот за еднонасочен напон U_{CC} , кој претставува краток спој за наизменичната струја. Изоставен е параметрот h_{re} поради неговата мала вредност. Исто така, изоставени се отпорниците R_1 и R_2 поради

тоа што нивните вредности се многу поголеми од вредноста на параметрот h_{ie} , отпорникот R_E , кој е премостен со кондензаторот C_E за наизменичната компонента на сигналот и отпорникот R_C за засилувачкиот степен да не биде оптоварен и пресметката да биде поедноставна. Кондензаторите C_1 , C_2 и C_E поради малата импеданса се претставуваат како куса врска. Знаците „+“ и „-“ на стрелките кои се означени на напоните ја претставуваат поларизацијата на наизменичниот напон во еден момент, во кој се гледаат сите наизменични напони во колото за да се знае дали се меѓусебно во фаза или во спротивна фаза.

Да воочиме дека излезниот напон во колото на слика 3.41 се добива на паралелната врска од отпорностите R_C и $1/h_{oe}$. Ако нивната еквивалентна отпорност ја означиме со:

$$R_{ek} = \frac{R_C \cdot \frac{1}{h_{oe}}}{R_C + \frac{1}{h_{oe}}} = \frac{R_C}{1 + h_{oe}R_C} \dots\dots\dots (3.25)$$

тогаш за излезниот напон ќе се добие:

$$U_{iz} = -h_{fe}I_b \cdot R_{ek} , \dots\dots\dots (3.26)$$

а за влезниот напон важи:

$$U_{vl} = h_{ie}I_b . \dots\dots\dots (3.27)$$

Оттука **напонското засилување** ќе изнесува:

$$A_u = \frac{U_{iz}}{U_{vl}} = \frac{-h_{fe}I_b R_{ek}}{h_{ie}I_b} = -h_{fe} \frac{R_{ek}}{h_{ie}} . \dots\dots\dots (3.28)$$

Од сликата, исто така е видно дека излезната струја изнесува:

$$I_{iz} = \frac{U_{iz}}{R_C} = -\frac{h_{fe}I_b R_{ek}}{R_C} , \dots\dots\dots (3.29)$$

додека влезната струја е $I_{vl}=I_b$, од каде за **струјното засилување** се добива:

$$A_i = \frac{I_{iz}}{I_{vl}} = \frac{-h_{fe}I_b R_{ek} / R_C}{I_b} = -h_{fe} \frac{R_{ek}}{R_C} . \dots\dots\dots (3.30)$$

Засилувањето на моќноста соодветно ќе биде:

$$A_p = \frac{P_{iz}}{P_{vl}} = \frac{U_{iz}I_{iz}}{U_{vl}I_{vl}} = A_u A_i = h_{fe}^2 \frac{R_{ek}^2}{h_{ie}R_C} \dots\dots\dots (3.31)$$

За повеќето транзисторски засилувачки кола отпорноста $1/h_{oe}$ е многу поголема од отпорноста R_C (барем неколку десетици пати). Во тој случај од неравенството $1/h_{oe} \gg R_C$ следува $h_{oe}R_C \ll 1$, што значи дека именителот во (3.25) може да се замени со 1, а $R_{ek} \approx R_C$. Оттука е јасно како ќе гласат изразите за засилувањата.

Напонското засилување соодветно ќе биде:

$$A_u \approx -\frac{h_{fe}}{h_{ie}} R_C \dots\dots\dots (3.32)$$

Струјното засилување соодветно ќе биде:

$$A_i \approx -h_{fe} \dots\dots\dots (3.33)$$

а за **засилувањето на моќноста** се добива:

$$A_p \approx \frac{h_{fe}^2 R_C}{h_{ie}} \dots\dots\dots (3.34)$$

Влезната отпорност на засилувачот се одредува под услов излезниот напон U_{iz} да е еднаков на нула, па се добива:

$$R_{vl} = \frac{U_{vl}}{I_{vl}} = h_{ie} \dots\dots\dots (3.35)$$

Излезната отпорност се одредува под услов влезното коло да е отворено, нема да тече струјата I_b што повлекува струјниот генератор $h_{fe}I_b=0$:

$$R_{iz} = \frac{U_{iz}}{I_{iz}} = \frac{1}{h_{oe}} \dots\dots\dots (3.36)$$

Поради малата вредност на параметарот h_{oe} , излезната отпорност на засилувачот може да се смета дека е бесконечно голема ($R_{iz} \rightarrow \infty$). Тоа значи дека на шемата од слика 3.41 параметарот h_{oe} може да се изостави.

Напонското засилување е линеарно зависно од вредноста на отпорот на оптоварувањето и обично има голема вредност. Струјното засилување на засилувачот е еднакво на струјното засилување на транзисторот, влезниот отпор на засилувачот е еднаков на влезниот отпор на транзисторот, а излезниот е обратно пропорционален на излезната спроводливост на транзисторот.

3.14. ТРАНЗИСТОР КАКО ПРЕКИНУВАЧ



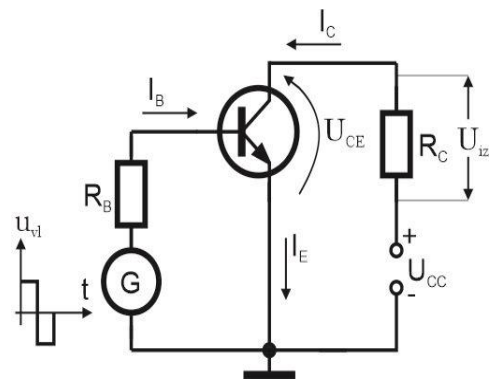
Транзисторот е во подрачје на заситување кога и емитерскиот и колекторскиот PN-спој се директно поларизирани а во подрачје на исклучување кога двата PN-споја се инверзно поларизирани.

Следејќи го принципот на работа на диодата, видовме дека таа функционира и како прекинувач, отворен кога диодата е инверзно поларизирана, а затворен кога е директно поларизирана. Тоа се должи на карактеристиката на PN-спојот. Сепак, таа не може да изврши една од неопходните функции во дигиталните логички кола, а тоа е инверзија на сигналот, односно промена од 0 на 1 или од 1 на 0.

Транзисторот, исто така, може да се донесе во услови на работа како прекинувач со можност за инвертирање на сигналот. Транзисторот како прекинувач наоѓа широка примена во изработката на интегрирани дигитални кола, разни уреди за автоматика и во колата на импулсната техника.

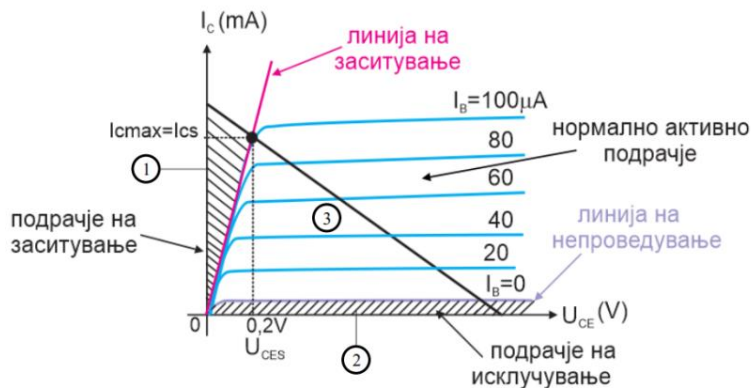
Режимот исклучен се дефинира со инверзна поларизација на емитерскиот и на колекторскиот спој. Во овие услови транзисторот се однесува како **отворен прекинувач**. Подрачјето на заситување е одредено со директна поларизација на двата споја, а транзисторот се однесува како **затворен прекинувач**. Овие две состојби исклучен и заситување се од примарна важност за транзистор како прекинувач. Кога е во состојба исклучен, излезната струја има многу мала јачина, а отпорноста меѓу излезните краеве има голема вредност. Во состојба на заситување, излезната струја има голема јачина, а излезната отпорност мала вредност.

Во прекинувачките кола вообичаено се користи транзистор во спој со заеднички емитер (слика 3.42). Во колото на базата е приклучен извор на напон со правоаголна форма G , со кој се менува поларизацијата на базата и режимот на работа на транзисторот.



Слика 3.42: Транзистор како прекинувач

Дијаграмот на излезните карактеристики е даден на слика 3.43 на кој се маркирани три подрачја: 1-подрачје на заситување, 2-подрачје на исклучување/неспроведување и 3-нормално активно подрачје.



Слика 3.43: Дијаграм на работни подрачја

Подрачје на неспроведување-исклучување

При негативен влезен напон и спојот база-емитер е инверзно поларизиран па низ базата течат инверзните струи на заситување на двата PN-споја. Бидејќи тие струи при собна температура се многу мали можат да се занемарат, при што струјата во базата има вредност 0. Со тоа, подрачјето на исклучување на транзисторот во излезните карактеристики е претставено со хоризонталната линија $I_B = 0$.

Подрачје на заситување

Условите за воспоставување на режимот на заситување се нешто посложени и бараат двата споја на транзисторот да бидат директно поларизирани. Транзисторот се донесува во состојба на затворен прекинувач, односно во состојба на заситување со рамниот дел на побудниот импулс со позитивна вредност на напонот. Базата станува попозитивна од емитерот и емитерскиот спој е директно поларизиран. Во колото база емитер протекува струја I_{BS} , а во колото колектор емитер протекува струја I_{CS} .

Состојбата на заситувањето се карактеризира со мали напони $U_{CE(SAT)}$ на колекторот (околу 0,2V кај силициумските транзистори). Во графикот на излезните карактеристики таа претставува скоро вертикална линија во која се слеваат хоризонталните линии (означена со линија на заситување на сликата).

Транзистори

Во колото ќе протече колекторската струја на заситување:

$$I_{CS} = \frac{U_{CC} - U_{CE(SAT)}}{R_C} \dots\dots\dots(3.37)$$

Од карактеристиките може да се види и базната струја при која транзисторот бил доведен во подрачјето на заситување. За неа сè уште важи релацијата за нормалното активно подрачје:

$$I_{BS} = \frac{I_{CS}}{\beta} \dots\dots\dots(3.38)$$

На таа вредност одговара соодветна позитивна вредност на импулсот во влезното коло. Ако импулсот има поголема вредност, тогаш и базната струја ќе биде поголема, додека колекторската струја не може понатаму да се зголемува. Во тој случај велиме дека транзисторот влегува подлабоко во заситување, а равенството станува неравенство:

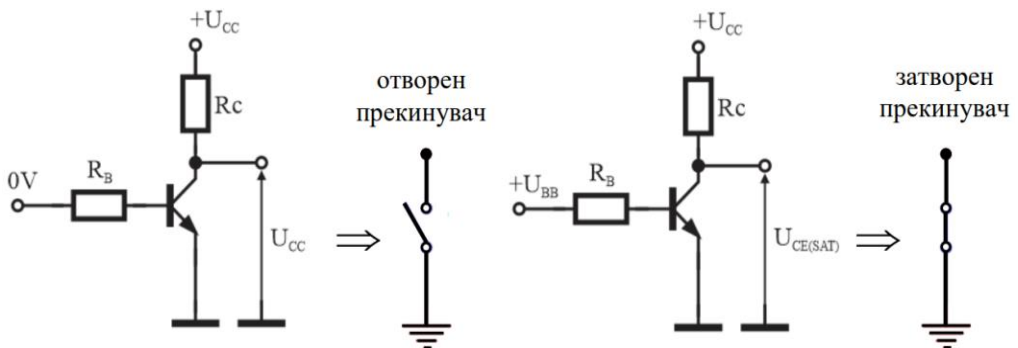
$$I_{BS} \geq \frac{I_{CS}}{\beta} \dots\dots\dots(3.39)$$

Отпорноста на транзисторот во заситување се пресметува според релацијата:

$$R_{SAT} = \frac{U_{CE(SAT)}}{I_{CS}} \dots\dots\dots(3.40)$$

и има мала вредност (неколку десетини ома). Со тоа се задоволени барањата на затворен прекинувач: да пропушта доволно голема струја за активирање на надворешно коло, да има мал пад на напон и мал отпор на краевите на прекинувачот, за загубите на прекинувачот да бидат мали.

На слика 3.44 е прикажана еквиваленцијата на транзисторот како прекинувач.



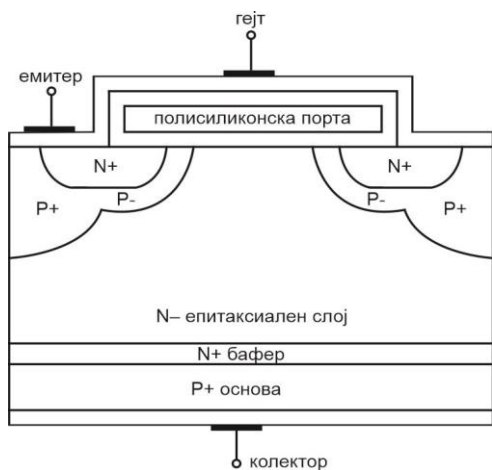
Слика 3.44: Еквиваленција на транзистор како прекинувач

3.15 IGBT – ТРАНЗИСТОР СО ИЗОЛИРАН ГЕЈТ

Добивањето на потребната моќност за погон на разни уреди и машини сè повеќе се базира на прекинувачкиот принцип со примена на полупроводнички елементи. Еден идеален прекинувач треба да ги задоволува следните барања:

- да има нулта отпорност или нулти пад на напон на неговите краеве во вклучена состојба;
- да има бесконечно голема отпорност во исклучена состојба;
- многу голема брзина на преклопување;
- да нема потреба од дополнителна енергија за негово функционирање.

Биполарните транзистори имаат мали загуби на спроведување (мал напон на заситување) а MOSFET транзисторите имаат голема брзина на преклопување. Со комбинација на нивните карактеристики се добива оптимален полупроводнички прекинувач – IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors) транзистор. Биполарниот транзистор со изолирана порта - IGBT се карактеризира со голема влезна отпорност и голема брзина на вклучување и исклучување со што го заменува MOSFET-от во сите примени со високи напони каде е потребна висока ефикасност.



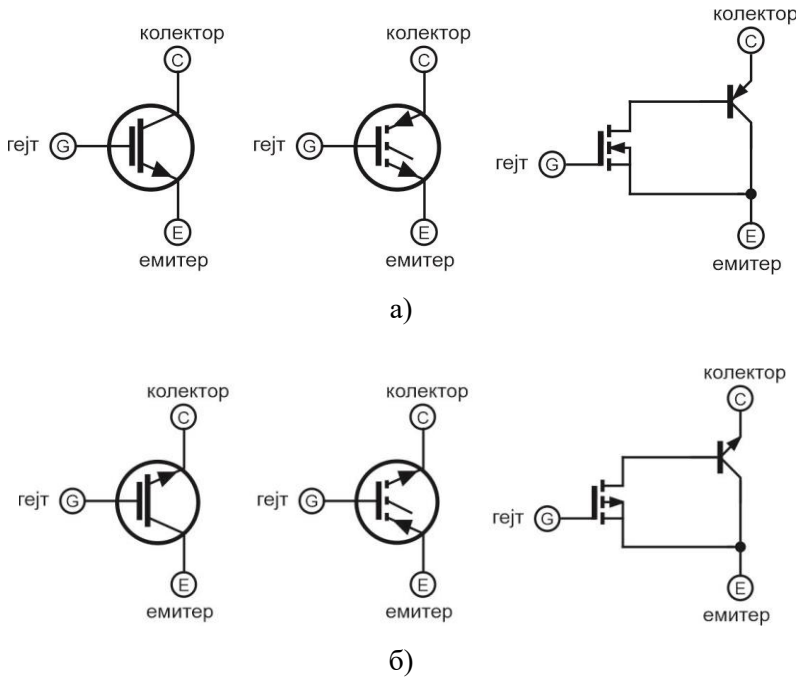
Слика 3.45: Структура на IGBT транзистор

IGBT транзисторот има четиристопанска структура P-N-P-N (слика 3.45). Се добива со идентична постапка за изработка на MOSFET-от, со промена на основата како и одредени чекори во процесот на изработка.

IGBT транзистор претставува моќен транзистор со три електроди: емитер, колектор и база, кој примарно се користи како електронски прекинувач. На слика 3.46 се прикажани шематски симболи на N-канален и P-канален IGBT транзистор. Поради изолираниот гејт има голема влезна отпорност и напонска

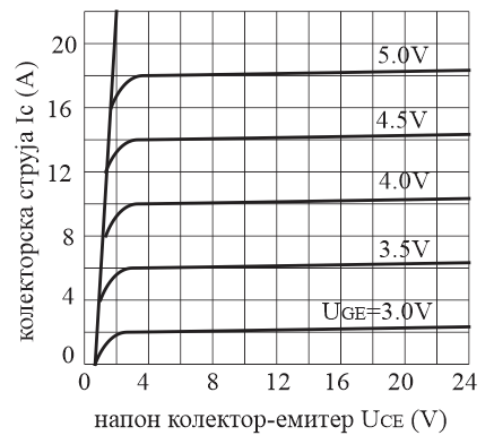
Транзистори

побуда. Неговата спроводливост постојано се регулира преку гејтот. Струјата протекнува меѓу електродите колектор-емитер (C-E), додека гејтот (G) го контролира уредот. Бидејќи IGBT транзисторот е напонски контролиран уред, потребен е само мал напон на гејтот за да се одржи спроводливоста низ уредот, односно да протекнува струја.



Слика 3.46: Шематски симболи на а) N-канален и б) P-канален IGBT транзистор

На слика 3.47 се дадени струјно-напонските карактеристики ($U_{CE}-I_C$) на N-канален IGBT транзистор. Графикот е доста сличен со карактеристиките на биполарниот транзисторот, со таа разлика што овде како параметар не е струјата на базата, туку напонот помеѓу гејт-електродата и емитерот U_{GE} .



Слика 3.47: Струјно-напонска карактеристика

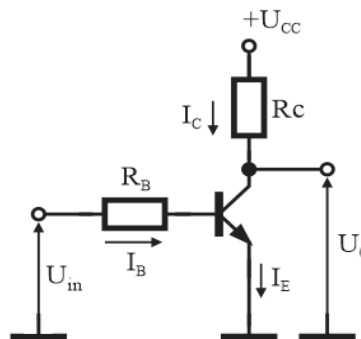
Кога напонот помеѓу гејтот и емитерот е под вредноста на граничниот напон протекува мала струја и тогаш напонот помеѓу колекторот и емитерот е еднаков на напонот на напојување. Се вели дека транзисторот работи во подрачје на запирање. Ако се зголемува напонот помеѓу гејтот и емитерот над вредноста на граничниот напон, IGBT влегува во нормално активно подрачје на работа. Во ова подрачје струјата низ колекторот е линеарна во скоро целото подрачје на колекторската струја.

IGBT транзисторите се градбен дел од фреквенциските претворувачи со кои се обезбедува промена на брзината и насоката на вртење, константен момент на оптоварување и потребната заштита на моторот со кој се управува. Поради големата брзина на преклопување и високата ефикасност, IGBT-транзисторите наоѓаат широка примена особено како прекинувачки уреди со поголема моќност, како, на пример, кај електромоторни погони со променлива фреквенција, електрични возила, возови, придушници, климатизери и сл.

3.16. ТРАНЗИСТОРСКИ ЛОГИЧКИ КОЛА

Логичките кола реализираат едноставни прекинувачки функции со една или повеќе променливи (влезови) а имаат само еден излез. Во понатамошниот текст ќе биде анализиран инверторот-логичкото коло „НЕ“ во изведба со биполарни и униполарни транзистори, односно во CMOS технологија која е најзастапена поради едноставност (економичност) на изведбата, голема брзина, голема густина на пакување и мала потрошувачка.

Основната конфигурација на инвертор содржи отпорници R_C и R_B и еден NPN-транзистор (слика 3.48).



Слика 3.48: Коло на инвертор со транзистор

Транзистори

Сè додека влезниот напон е помал од напонот на спроведување на емитерскиот спој, транзисторот се наоѓа во подрачје на исклучување, не тече колекторска струја и за излезниот напон се добива $U_O = U_{CC} = U_{OH}$.

Со зголемување на влезниот напон поголем од вредноста на спроведување на емитерскиот спој, транзисторот преминува во спроводна состојба и работи во активен режим на работа. Со понатамошно зголемување на влезниот напон, излезниот напон се намалува сè додека транзисторот не влезе во заситување и за излезниот напон се добива $U_O = U_{CE(SAT)} = U_{OL}$.

Од спроведената анализа се заклучува дека колото работи како инвертор, односно, при ниво на логичка нула на влез, на излез се добива ниво на логичка единица:

$$U_{in} < 0,7V \Rightarrow U_{OH} = U_{CC}$$

додека при ниво на логичка единица на влез, на излез се добива ниво на логичка нула:

$$U_{in} \geq 0,7V \Rightarrow U_{OL} = U_{CE(SAT)} \approx 0,2V$$

Колекторската струја во транзисторот во услов на заситување се одредува со изразот:

$$I_{CS} = \frac{U_{CC} - U_{CE(SAT)}}{R_C} \dots\dots\dots(3.41)$$

додека базната струја со:

$$I_{BS} = \frac{I_{CS}}{\beta} \dots\dots\dots(3.42)$$

Минималната вредност на напонот на влезна логичка единица се одредува од изразот:

$$U_{INH} - R_B I_B - U_{BE} = 0 \quad U_{INH} = U_{BE} + \frac{R_B}{R_C} \cdot \frac{U_{CC} - U_{CE(SAT)}}{\beta} \dots\dots\dots(3.43)$$

Типична вредност за овој напон е 2V.

На слика 3.49 се прикажани табела на вистинитост (а) и графички симбол на НЕ логичко коло (б). На високо напонско ниво одговара логичка 1 а на ниско, логичка 0.

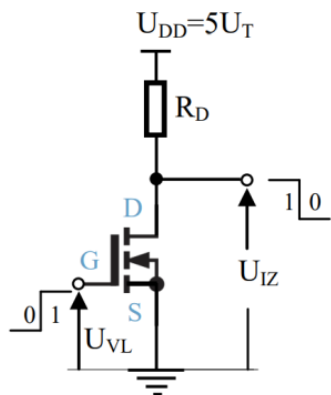
влезно напонско ниво	излезно напонско ниво
0	1
1	0

а)



б)

Слика 3.49: НЕ коло а) табела на вистинитост; б) графички симбол

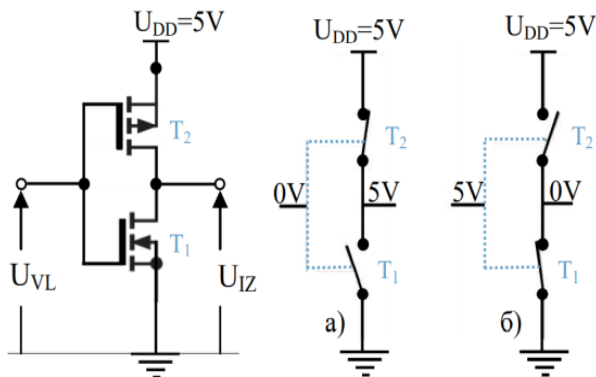


Слика 3.50: Инвертор со N-канален MOSFET

За изработка на инвертори со униполарни транзистори се употребуваат N-канални MOSFET транзистори (слика 3.50), поради поголемата брзина при премин од едно во друго подрачје, во однос на P-каналните MOSFET-и. При влезни напони $U_{VL} < U_T$ (ниско влезно напонско ниво), транзисторот T_1 е закочен и не спроведува, излезниот напон ќе биде еднаков со напонот U_{DD} , што значи дека на излез се добива високо напонско ниво.

За влезни напони $U_T < U_{VL} < U_{DD}$ (високо влезно напонско ниво), транзисторот T_1 спроведува во омското подрачје, на излез се добива ниско напонско ниво.

CMOS инверторот (слика 3.51) е составен од еден N-канален и еден P-канален MOSFET кои имаат иста вредност на напонот U_T но со спротивен знак.



Слика 3.51: CMOS инвертор

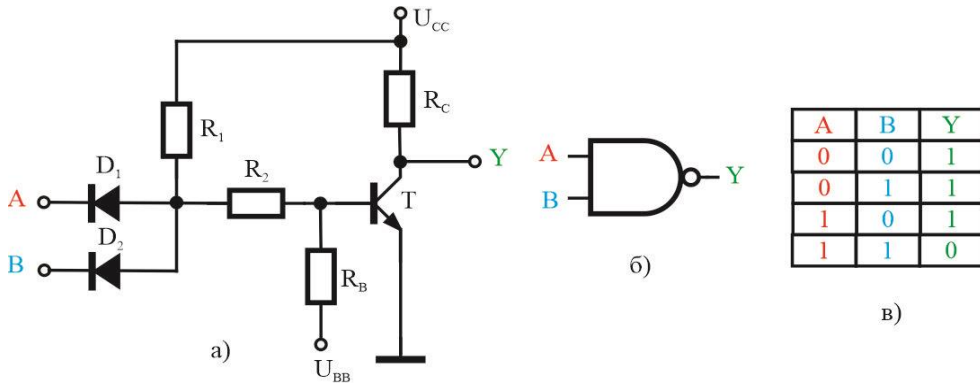
Анализа на колото:

1. $U_{VL} = 0 \text{ V}$, T_1 исклучен, T_2 во омско подрачје, $U_{IZ} = U_{DD} = 5 \text{ V}$ (слика 3.51а).
2. $U_{VL} = U_{DD}$, T_1 во омско подрачје, T_2 исклучен, $U_{IZ} = 0 \text{ V}$ (слика 3.51б).

Преминот од една состојба во друга е побрз во однос на претходните изведби на инвертор.

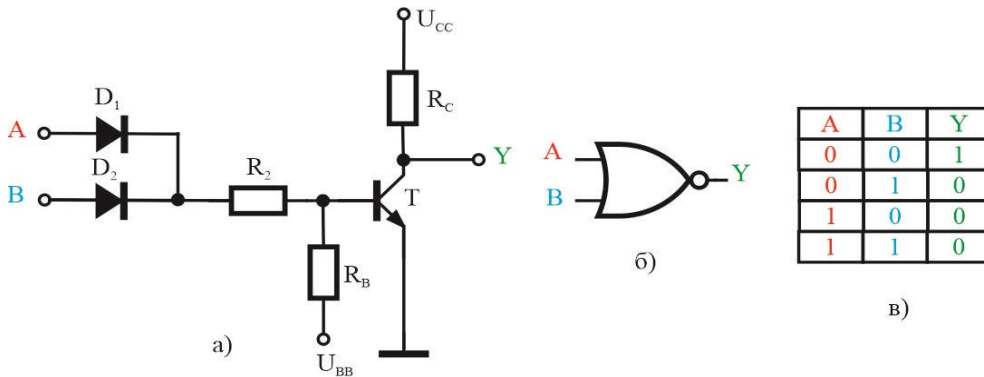
Во диодно-транзисторска логика DTL основно коло е НИ логичко коло кое на слика 3.52 а) е реализирано со два влеза А и В.

Транзистори



Слика 3.52: а) електрична шема; б) симбол и табела на вистинитост на НИ логичко коло

На слика 3.53 е прикажана изведба, симбол и табела на вистинитост на НИЛИ логичко коло.



Слика 3.53: а) електрична шема; б) симбол и табела на вистинитост на НИЛИ логичко коло

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Транзисторот работи како засилувач при директна поларизација на емитерскиот и инверзна поларизација на колекторскиот PN-спој.
- Транзисторот се наоѓа во нормално активно подрачје при директна поларизација на емитерскиот PN-спој и инверзна поларизација на колекторскиот PN-спој, Во нормално активно подрачје транзисторот работи како засилувач на струја, напон или моќност.
- Подрачјето на заситување е одредено со директна поларизација на двата споја, а транзисторот се однесува како затворен прекинувач.
- Режимот исклучен се дефинира со инверзна поларизација на колекторскиот и емитерскиот PN-спој, а транзисторот се однесува како

отворен прекинувач.

- Кога транзисторот работи како инвертор, при ниво на логичка нула на влез, на излез се добива ниво на логичка единица и обратно.

Прашања за утврдување на знаењата од Модул 3



1. Дефинирај го поимот транзистор.
2. Какви видови транзистори постојат?
3. Нацртај ја шематската ознака на NPN-транзисторот.
4. Колку електроди има транзисторот и како се нарекуваат?
5. Како се создава струјата при поларизацијата на NPN-транзисторот?
6. Каква насока имаат внатрешните полиња E_1 и E_2 во PNP-транзисторот во однос на NPN-транзисторот?
7. Кои се подрачјата на работа на транзисторот?
8. Кои носители ја создаваат струјата во NPN-транзисторот?
9. Како се создава струјата I_{CEO} во транзисторот?
10. Како се создава струјата I_{CBO} во транзисторот?
11. Која е основната релација за транзисторот според „Еберс-Молов модел“.
12. Дефинирај статички и динамички режим на работа на транзисторот.
13. Кои големини се влезни, а кои излезни кај транзисторот во спој со заеднички емитер?
14. Како се дефинира излезна, влезна преносна и директно преносна карактеристика?
15. Кои се најважните параметри на транзисторот?
16. Што претставува β ?
17. Од што зависи положбата на работната правата на транзисторот и како се одредува?
18. При кој режим на работа транзисторот функционира како засилувач?
19. Напиши го системот со h-параметри на транзисторот и дефинирај го секој параметар поодделно.
20. Нацртај еквивалентна шема на транзистор со h-параметри за мали сигнали.
21. Во кои режими на работа може да се најде транзисторот како прекинувач?
22. Каква е поларизацијата на емитерскиот и колекторскиот спој на транзисторот кога е во заситување?
23. Колкава е излезната струја кога транзисторот е во прекин?

Транзистори

24. Нацртај ја излезната карактеристика на транзисторот и означи ја областа на неспроведување.
25. Во кој режим на работа транзисторот се однесува како затворен прекинувач?
26. Во кој режим на работа транзисторот се однесува како отворен прекинувач?
27. Дефинирај фреквенциска карактеристика на засилувачот.
28. Нацртај фазна карактеристика на засилувачот и дефинирај ги долната и горната гранична фреквенција.
29. Како се одредува пропусниот опсег на засилувачот?
30. Какви видови засилувачи постојат според видот на засилувањето?
31. Како се делат засилувачи според ширината на фреквенцискиот опсег?
32. Како се дефинира струјното засилување на засилувачот?
33. Напиши равенка со која ќе го претставиш напонското засилување на засилувачот.
34. Дефинирај го коефициентот на корисно дејство.
35. Напиши релации со кои се дефинира влезната и излезната отпорност.
36. Која е разликата помеѓу биполарните и униполарните транзистори?
37. Кои видови униполарни транзистори постојат?
38. Нацртај ги симболите на n-канален и p-канален FET и означи ги изводите.
39. Објасни што се случува со каналот при поларизација на FET-от.
40. Нацртај ја статичката излезна карактеристика на FET и објасни ги нејзините области.
41. Како се нарекува напонот при кој доаѓа до прекин на проток на струја низ каналот на JFET-от?
42. Во кое подрачје на работа на JFET-от струјата на дрејот линеарно се зголемува со зголемување на напонот меѓу дрејот и сорсот?
43. Кои видови на MOSFET постојат?
44. При кои влезни напони на инверторот со N-канален MOSFET на излез се добива логичка „1“.
45. Во кои подрачја на работа се наоѓа N-каналниот MOSFET кога работи како прекинувач?
46. Што се добива на излез од инвертор при влезно ниво на логичка нула?
47. Што претставува IGBT?
48. Каде се применува IGBT транзисторот?

ТЕМАТСКО УТВРДУВАЊЕ

**I Прашања со заокружување
(Заокружи ги точните одговори)**

1. Главни носители на електричниот полнеж во PNP-транзисторот се:
 - а) електроните
 - б) празнините
 - в) донорите
 - г) акцепторите
2. Мерната единица на h_{fe} параметарот е:
 - а) неименуван број
 - б) A
 - в) V
3. Споредни носители на електричниот полнеж во PNP-транзисторот се:
 - а) електроните
 - б) празнините
 - в) донорите
 - г) акцепторите
4. Зависноста на струјата I_C напонот U_{ce} при константна струја I_B кај транзистор во спој со заеднички емитер е претставена со:
 - а) преносната карактеристика
 - б) влезната карактеристика
 - в) излезната карактеристика
5. Кај транзисторот во спој со заедничка база влезна струја е:
 - а) I_C
 - б) I_B
 - в) I_E

6. Излезната карактеристика на транзистор во спој со заеднички емитер е претставена со:

- а) $I_C = f(U_{CE})$ за $I_B = const.$
- б) $I_B = f(U_{BE})$ за $U_{CE} = const.$
- в) $U_{BE} = f(U_{CE})$ за $I_B = const.$

7. При која поларизација на транзисторот тој работи како засилувач?

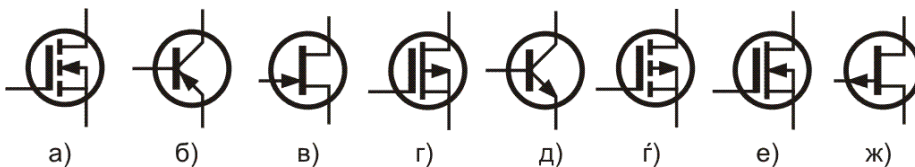
- а) Двата PN-споја директно поларизирани
- б) Емитерски спој директно а колекторски инверзно поларизиран
- в) Двата PN-споја инверзно поларизирани

8. Со кој израз е дадена зависност на струите во транзисторот?

- а) $I_E = I_B + I_C$
- б) $I_B = I_E + I_C$
- в) $I_C = I_B + I_E$

II Прашања со поврзување

9. Поврзи ги електричните симболи со видовите транзистори:



- 1. NPN-транзистор _____
- 2. PNP-транзистор _____
- 3. FET од N-тип _____
- 4. FET од P-тип _____
- 5. N-канален MOSFET со индуциран канал _____
- 6. P-канален MOSFET со индуциран канал _____
- 7. N-канален MOSFET со вграден канал _____
- 8. P-канален MOSFET со вграден канал _____

10. Поврзи го параметарот со релацијата:

- | | |
|---|--|
| 1. Излезна спроводливост | а) $h_i = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1}$ за $\Delta U_2=0$. |
| 2. Коефициент на напонска повратна спрега | б) $h_r = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2}$; за $\Delta I_1=0$. |
| 3. Коефициент на струјно засилување | в) $h_f = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1}$; за $\Delta U_2=0$. |
| 4. Влезна отпорност | г) $h_g = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1}$; за $\Delta U_2=0$. |

11. Поврзи поларизацијата на транзисторот со подрачјето на работа!

- | | |
|--|------------------------------------|
| 1. $U_B=4\text{ V}$, $U_C=10\text{ V}$, $U_E=8\text{ V}$ | а) подрачје на заситување _____ |
| 2. $U_B=9\text{ V}$, $U_C=3\text{ V}$, $U_E=6\text{ V}$ | б) подрачје на исклучување _____ |
| 3. $U_B=-1\text{ V}$, $U_C=2\text{ V}$, $U_E=1\text{ V}$ | в) нормално активно подрачје _____ |

III Прашања со дополнување

12. Кога транзисторот е во состојба на заситување, излезната струја има _____ јачина, а излезната отпорност _____ вредност.

13. Кога емитерскиот и колекторскиот спој се инверзно поларизирани, транзисторот се наоѓа во режим на _____.

14. Транзисторот во нормално активно подрачје се поларизира така што емитерскиот спој ќе биде _____ поларизиран, а колекторскиот _____ поларизиран.

15. Со релацијата $I_D = f(U_{DS})$ за $U_{GS} = \text{const.}$ дефинирана е _____ карактеристика на MOSFET во спој со заеднички сорс.

16. Транзисторот е во заситување во случај на _____ поларизација на спојот база-емитер и _____ поларизација на спојот база-колектор.

17. За логичко ниво „1“ на влез на инвертор со униполарен транзистор, на излез се добива логичко ниво _____.

МОДУЛАРНА ЕДИНИЦА 4 ТИРИСТОРИ



Со изучување на содржините од оваа модуларна единица ученикот ќе стекне основни знаења за тиристорите и ќе може:

- да дефинира тиристори;
- да разликува видови тиристори;
- да распознава графички симболи на видови тиристори;
- да објаснува поларизација на тиристорот;
- да црта струјно-напонска карактеристика на тиристорот;
- да анализира примена на тиристори;
- да го објаснува значењето на тиристорот во електроенергетиката;
- да презентира примена на тиристори во различни електрични кола.

4.1 ПОИМ И ПОДЕЛБА НА ТИРИСТОРИ



Диодата е полупроводничка компонента составена од еден PN-спој и две електроди, транзисторот е составен од два PN-споја и три електроди, додека тиристорот од најмалку три PN-споја и најмалку две електроди.

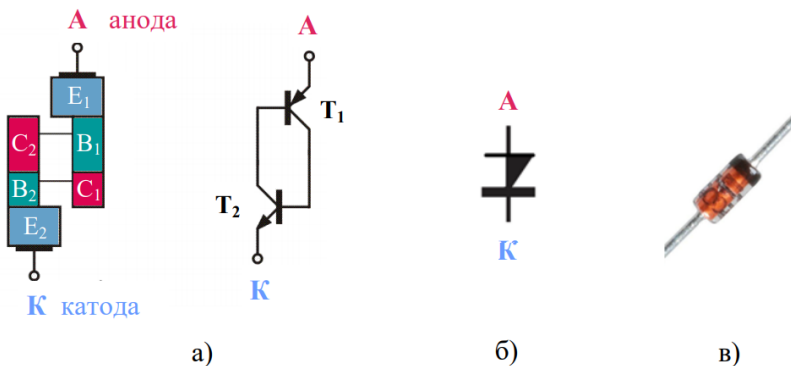
Тиристорите се група елементи со конфигурација од четири или повеќе полупроводни материјали, наредени така да прават најмалку три PN-споеви и имаат најмалку два извода. Меѓусебно, тиристорите се разликуваат според бројот на изводите, насоката на спроведувањето и формата на статичките карактеристики.

Во табела 4.1 се прикажани видовите тиристори според бројот на изводите и насоката на спроведувањето.

Табела 4.1: Поделба на тиристорите

ТИРИСТОРИ	Диоден (со 2 извода)	Триоден (со 3 извода)
еднонасочен	Динистор (Шоклиева Диода)	SCR - тиристор
двонасочен	Дијак	Тријак

Елементот со структура и еквивалентна шема како на слика 4.1 а) претставува еднонасочен диоден тиристор, наречен **динистор** или Шоклиева диода. Неговите изводи се означени со **А-анода** и **К-катода**. Графичкиот симбол и реалниот изглед на Шоклиевата диода се прикажани на слика 4.2 под б) и в), редоследно.

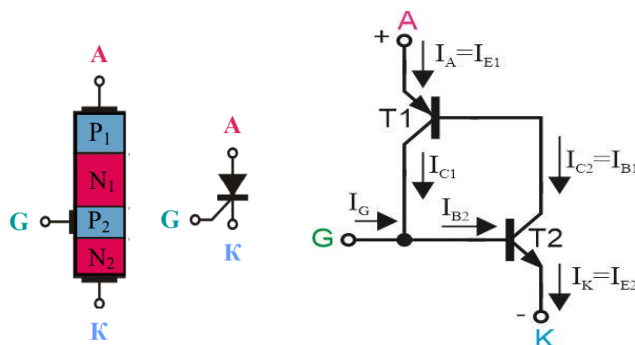


Слика 4.1: Динистор - Шоклиева диода а) структура и еквивалентна шема, б) симбол и в) физички изглед

Со додавање на уште еден извод, приклучен на средниот P-слој на структурата од слика 4.1, се добива еднонасочен триоден тиристор со три изводи, познат како **SCR** (**Silicon Controlled Rectifier**) – контролиран силициумски насочувач или едноставно **тиристор**, како што најчесто се среќава во практиката.

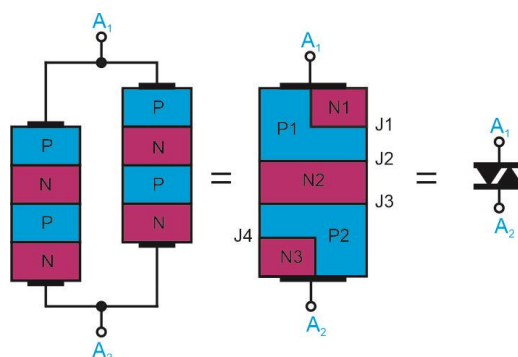
Неговите приклучоци се означени како **A-анода**, **K-катода** и **G-гејт** или порта (слика 4.2). Анодата и катодата имаат иста улога како и кај диносторот, а гејтот има улога на управувачка електрода за вклучување на тиристорот.

Тиристорите имаат голема примена во индустриската електроника и автоматика за контрола на моќноста на големи потрошувачи, а во секојдневниот живот за регулација на јачината на светлото на електричните светилки, како и за регулација на брзината на електричните мотори во разни апарати во домаќинствата.



Слика 4.2: Структура, графички симбол еквивалентна шема на тиристорот

Со паралелно врзување на два диностора, поставени во спротивни насоки, се добива диоден двонасочен тиристор, наречен **дијак** (**Diode Alternating Current switch**). Структурата и графичкиот симбол на дијакот се дадени на слика 4.3.



Слика 4.3: Структура и графички симбол на дијак

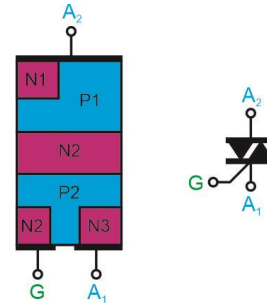
Направен на една силициумска плочка, дијакот претставува елемент со петслојна NPNPN-структура со два извода **анода 1 (A1)** и **анода 2 (A2)** кои можат да бидат означени и со MT1 и MT2. Низ дијакот тече струја во двете насоки меѓу анодите A1 и A2. Има примена во кола за вклучување на тиристори

Тиристор

и триаци формирајќи тригер импулси.

Со врзување два тиристора во паралела, свртени спротивно, слично на врзување на два динистора, се добива триоден двонасочен тиристор, познат како **тријак** (**Triode Alternating Current switch**), кој спроведува во двете насоки. Неговата структура и шематскиот приказ се дадени на слика 4.4.

Тријакот спроведува во двете насоки а неговите изводи се означуваат како **анода 1 (A₁)**, **анода 2 (A₂)** и управувачка електрода **гејт (G)**. Струјата која протекува низ тријакот тече меѓу двете аноди (A₁-A₂), додека управувачка електрода-гејтот служи за негово вклучување.



Слика 4.4: Структура и симбол на тријак

Во табела 4.2 се дадени каталожки податоци за модели на тријак кои се користат за регулирање на брзината на моторот во машини за перење алишта, вакуум чистачите и други уреди во домаќинството.

Табела 4.2: Дел од каталожки податоци за параметрите на видови тријак

Ознака/модел	V_{DRMS} [V]	I_{TRMS} [A]	I_{TSM} [A]	I_{GT} (max.) [mA]
BCR3LM-12LB	600	3	30	20
BCR5LM-12LB	600	5	50	20
BCR10LM-12LB	600	10	100	30
BCR3LM-14LB	700	3	30	30
BCR16LM-14LB	700	16	160	30

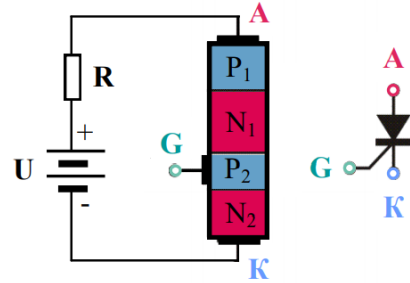
НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Тиристорите се група елементи со конфигурација од четири или повеќе полупроводни слоеви.
- Динистор е четирислоен тиристорски елемент со три PN-слоеви и со два изводи (анода и катода).
- Директно поларизируваниот динистор има состојба на неспроведување при мали напони анода – катода.
- За напони поголеми од напонот на вклучувањето, динисторот е во состојба на директно спроведување.
- Инверзно поларизируваниот динистор се однесува како обична диода.
- Тиристорот или контролиран силициумски насочувач е елемент со три изводи: анода, катода и гејт.

4.2 СТРУЈНО-НАПОНСКА КАРАКТЕРИСТИКА НА ТИРИСТОР

Тиристорот е директно поларизиран при приклучување на анодата на позитивниот пол на изворот U , а катодата на негативниот, како што е поврзан на слика 4.5.

Вклучување на тиристорот, односно негово побудување (окинување) може да се направи на два начина: со зголемување на напонот меѓу анодата и катодата U_{AK} над вредноста на напонот на вклучувањето U_{BO} , или со приклучување позитивен напон на гејтот. Во практиката секогаш се применува вториот начин.



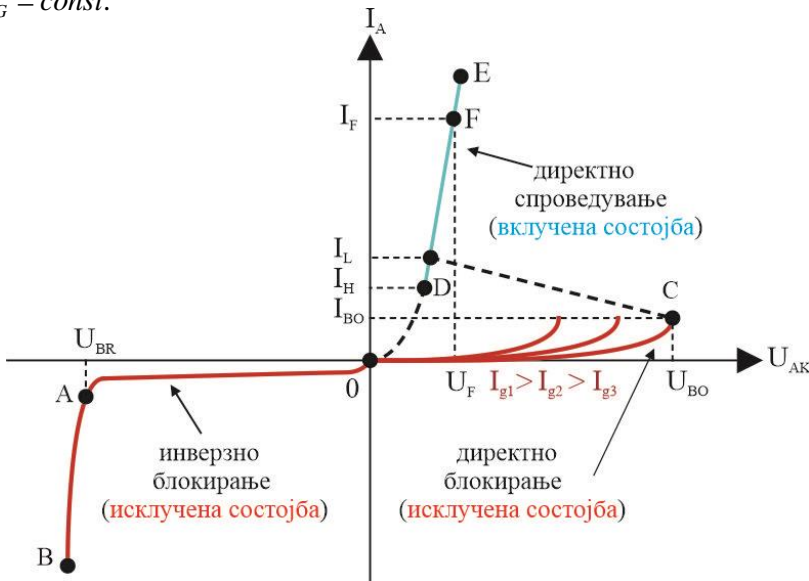
Слика 4.5: Поларизација на тиристорот

Тиристорите имаат две струјни кола: **влезно (управувачко)** и **излезно (главно) струјно коло**, па според тоа и две струјно-напонски карактеристики.

а) Излезни статички карактеристики

Со зависноста на струјата низ тиристорот од напонот на неговите краеве за различни вредности на струјата на гејтот I_G се дефинираат неговите статички карактеристики (слика 4.6). Математички тие се изразуваат со релацијата:

$$I_A = f(U_{AK}) / I_G = const.$$



Слика 4.6: Статичка карактеристика на тиристорот

Тиристори

За мали вредности на напонот на изворот U , струјата низ тиристорот е мала, така што може да се каже дека е непроводен (дел од карактеристиката од точка 0 до точка C). Тој се наоѓа во **состојба на директно блокирање** (исклучена состојба). Кога напонот на краевите на тиристорот ќе ја надмине вредноста на напонот на пробив U_{BO} (**B**reakover **V**oltage), тој ќе се најде во **состојба на директно спроведување** (вклучена состојба).

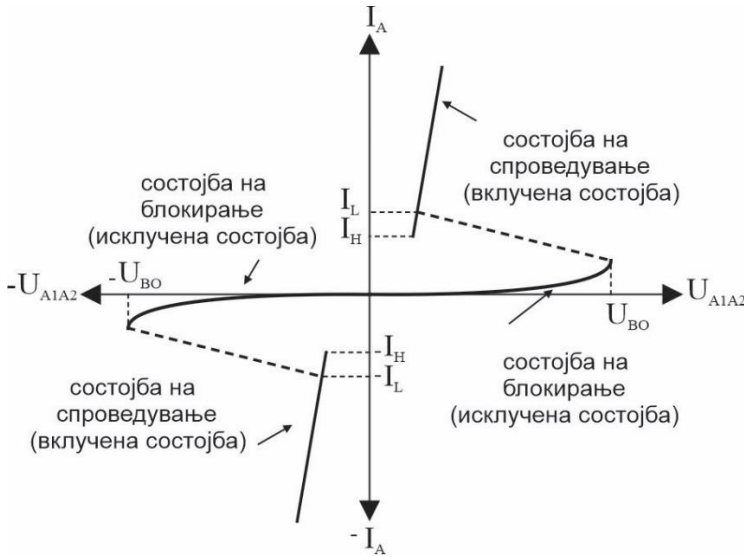
Во состојба на спроведување (делот од точката D до точката E), тече голема струја и има мал пад на напон на тиристорот. Струјата низ него може да се ограничи со приклучување на надворешна отпорност R . Пробивањето во ова подрачје не значи и негово оштетување. Во оваа состојба тиристорот може да остане сè додека струјата не падне под минималната вредност, одредена со **струјата на држење** I_H (holding current).

Како заклучок, директно поларизираниот тиристор може да се најде во една од двете состојби: состојба на спроведување и состојба на директно блокирање. Нема работен режим меѓу вклучена и исклучена состојба, што значи дека не може да се користи како засилувачки елемент, тој е или вклучен или исклучен.

Состојба на инверзна поларизација има кога анодата е приклучена на негативниот, а катодата на позитивниот пол на изворот. Кога инверзниот напон ќе стане поголем од U_{RB} (**R**reverse **B**reak), а тоа е напонот на пробив во инверзната насока, делот на карактеристиката од точката A до точката B, доаѓа до **пробив на тиристорот** и негово уништување.

Кога е приклучен на еднонасочен напон, дијакот се однесува како стандарден динистор, тој ќе спроведува во една насока од позитивниот кон негативниот крај на напонот на изворот. Ако ги свртиме краевите на дијакот, тој пак ќе спроведува, што значи дека неговите краеве не се однесуваат како анода и катода. Бидејќи дијакот спроведува во двете насоки, неговите краеве се обележуваат со A_1 и A_2 .

Како и сите други тиристори, дијакот ќе почне да спроведува откако напонот на неговите краеве ја достигне вредноста на пробивниот напон. По тоа тој се разликува од стандардните диоди, кои стануваат спроводни при вредности на напонот од околу 0,6 V, за дијакот тој изнесува околу 30-35 V. Струјно-напонската карактеристика на дијакот е дадена на слика 4.7.



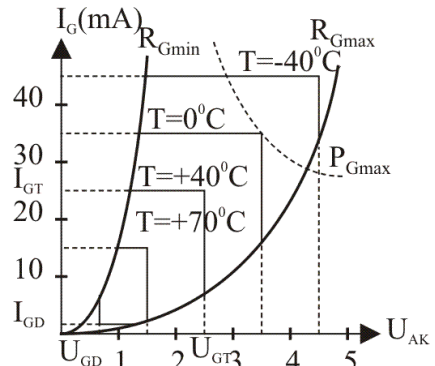
Слика 4.7: Струјно-напонска карактеристика на дијакот

И тријакот се носи во спроводлива состојба ако се овозможи течење на струјата на гејтот. Струјата на гејтот може да има иста или спротивна насока со главната струја. Главната струја се смета за позитивна ако тече од анодата 2 кон анодата 1, а негативна ако тече од анодата 1 кон анодата 2. Струјно-напонската карактеристика на тријакот е идентична со струјно-напонската карактеристика на дијакот.

б) Влезни статички карактеристики

Овие карактеристики ја покажуваат зависноста на струјата на гејтот од напонот меѓу гејтот и катодата U_{GK} . Вклучувањето на гејтот е можно само ако струјата на гејтот е позитивна, односно кога влезното коло е поларизирано позитивно.

Влезната карактеристика има иста форма како карактеристиката на обична диода. Но, сите тиристоры од ист тип немаат иста влезна карактеристика, постои голема разлика во карактеристиките на влезните кола и поради тоа тие се прикажуваат како на слика 4.8. Граничните криви одговараат на примероци со минимална и максимална отпорност на гејтот за дадениот тип на тиристор.



Слика 4.8: Влезна статичка карактеристика на тиристорот

4.3 ПОБУДУВАЊЕ НА ТИРИСТОР

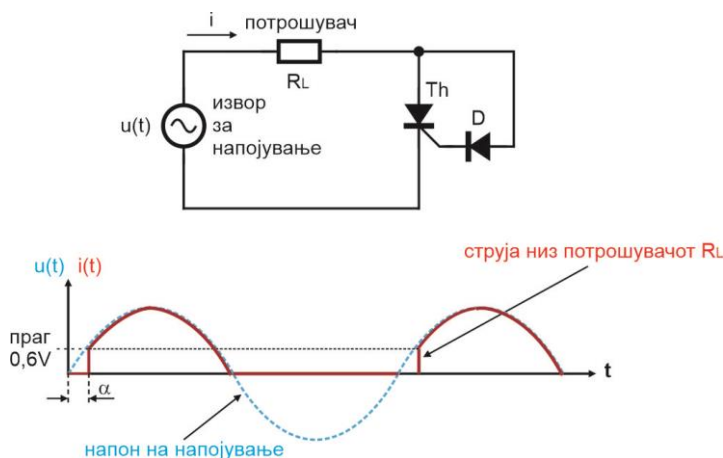
Од претходно изложениот принцип на работа на тиристорот следува дека побудувањето на тиристорот (или окинување) може да се направи на два начина: **со зголемување на напонот меѓу анодата и катодата над вредноста на напонот на вклучувањето U_{Bo}** , или со **приклучување позитивен напон на гејтот**. Во практиката секогаш се применува вториот начин.

Побудниот напон може да биде: еднонасочен, наизменичен или импулсен. Од овие три начини, најчесто се применува побудување со позитивни струјни импулси.

Принципот на побудување на тиристор ќе биде објаснет преку пример на негова примена како **регулатор на електрична моќност**.

Наспроти фактот дека тиристорот е еднонасочен елемент, тој наоѓа најголема примена во управувањето со напојувањето со наизменичен напон. Приклучен во коло за напојување на некое оптоварување со наизменичен напон, тој ќе функционира само за време на позитивната полупериода на напонот. Без окинување на гејтот и при напон којшто е доста под напонот на пробивањето, тиристорот нема да спроведува. Окинувањето може да се контролира со аголот на спроведување α , агол при кој на тиристорот му се доведува окиден струен импулс со кој тиристорот преминува од состојба на блокирање во состојба на спроведување.

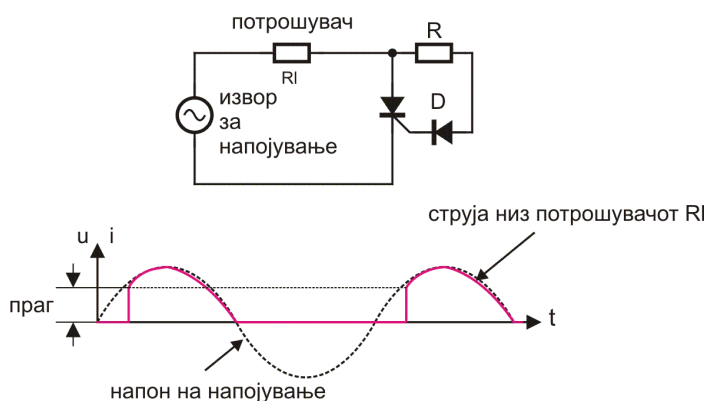
На слика 4.9 гејтот и анодата на тиристорот се поврзани преку една стандардна насочувачка диода. Диодата е потребна да се сопре течење на инверзна струја преку гејтот кај тиристори со вграден отпорник гејт – катода.



Слика 4.9: Тиристорот во коло на наизменична струја

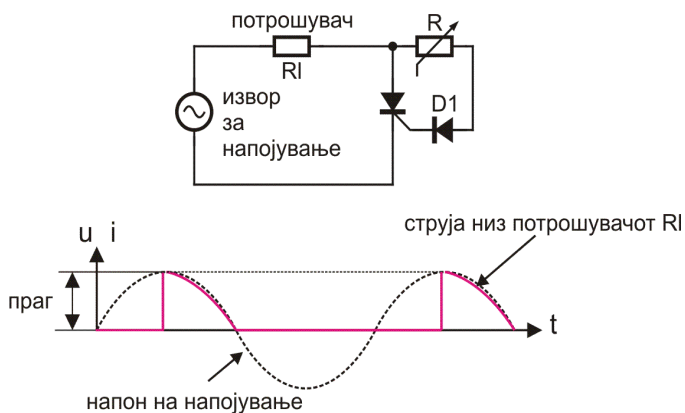
Прагот на окинувањето и донесувањето на тиристорот во спроводна состојба се постигнува кратко време по почнувањето на секоја позитивна полупериода. Тоа е времето за кое напонот за напојување ја достигнува онаа вредност при која почнува да тече струјата на гејтот.

Моментот на окинување може да се задоцни со приклучување отпорник во колото на гејтот (слика 4.10). Со падот на напонот на тој отпорник се намалува напонот на гејтот и окинувањето на тиристорот се одлага сè додека напонот на напојувањето не ја достигне претходната вредност при која настапило окинувањето на тиристорот, зголемена за падот на напонот на отпорникот. Со поголем степен на отсекување на синусниот полубран, добиено со задоцнето окинување на тиристорот, оптоварувањето добива помала средна моќност.



Слика 4.10: Окинување на тиристорот преку отпорник

Ако се направи серискиот отпорник во колото на гејтот да биде променлив (слика 4.11), се регулира испорачаната моќност на потрошувачот по желба.

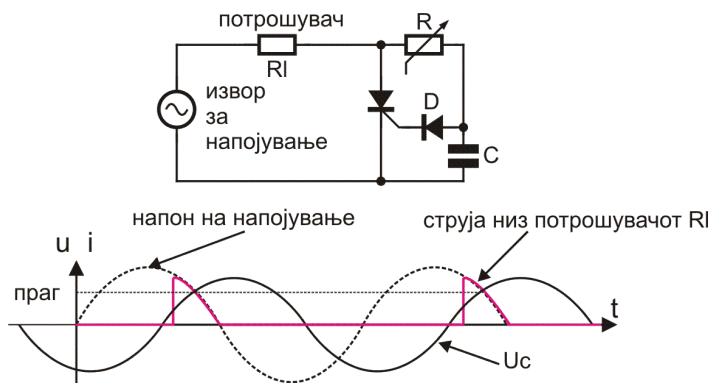


Слика 4.11: Регулација на моќност на потрошувач со тиристорот

Тиристиори

Со зголемувањето на вредноста на отпорот се подига нивото на прагот на окинувањето и помала моќност се испорачува на потрошувачот. Спротивното се случува со намалувањето на отпорот. За жал, оваа регулација е ограничена само на првата половина на полупериодата, до нејзиниот максимум. Колку и да го зголемуваме прагот на окинување (аголот α), регулацијата не може да се пренесе во другата половина на полупериодата.

Решението се наоѓа во додавање кондензатор во колото, со кој се поместува фазата на окинувачкиот бран (слика 4.12).



Слика 4.12: Поместување на фаза на окинувачки бран

Напонот на кондензаторот, како што се гледа и од дијаграмот, фазно е поместен за 90° во однос на напонот на напојувањето. Тоа важи за отпорно оптоварување, а за друг вид оптоварување, индуктивно или комбинирано, фазата се поместува меѓу 0 и 90° . Со фазното поместување, кратењето на полупериодата на струјата се постигнува подоцна од максималниот напон на изворот за напојување.

Во практиката, формата на напонот на кондензаторот е покомплексна од овде прикажаната, синусоидата е поизобличена секогаш кога тиристорот спроведува. Овој начин на окинување на тиристорот задоволува за едноставни примени како што е регулација на светлина.



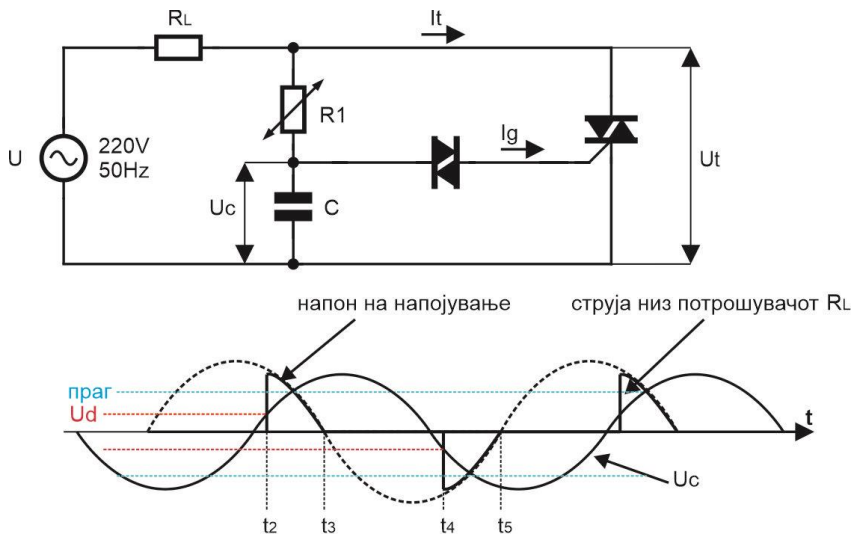
Анализирај електрични шеми во кои тиристорот е применет како регулатор на електрична моќност!

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Тиристорот се побудува со позитивен напон на гејтот.
- Тиристорот може да се исклучи ако се прекине анодното коло, или ако се намали напонот анода – катода под вредноста на напонот на вклучувањето на тиристорот.
- При директна поларизација и тиристорот има две стабилни состојби: состојба на директно неспроведување (исклучена состојба) и состојба на директно спроведување (вклучена состојба).
- Тиристорот има најголема примена во управувањето со напојување со наизменичен напон.

4.3.1 ПОБУДУВАЊЕ НА ТРИЈАК

Основен принцип на окинување на тријакот е со фазно поместување, слично како и кај тиристорот. Едно такво коло е прикажано на слика 4.13, идентично коло од слика 4.12, во кое тиристор е заменет со тријак а диода со дијак. Напонот на кондензаторот U_c во почетниот момент расте сè до вредноста U_d , до моментот t_2 кога дијакот станува спроводен. Од моментот t_2 до t_3 низ тријакот и потрошувачот тече струја I_t која престанува да тече во моментот t_3 , кога наизменичниот напон на изворот за напојување има вредност нула.

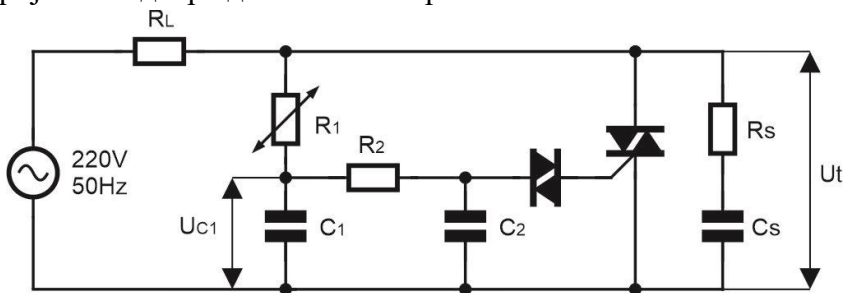


Слика 4.13: Принцип на работа на тријак

Тиристор

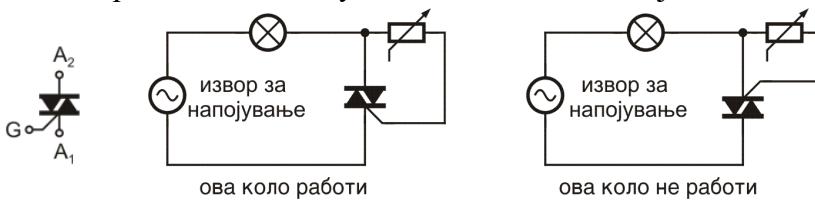
За време на негативната полупериода, во моментот t_4 , повторно доаѓа до пробивање на дијакот, но сега во спротивната насока, се побудува тријакот и протекува струја низ тријакот и потрошувачот од моментот t_4 до t_5 .

Тријакот не се побудува симетрично за двете полупериоди на напонот на изворот, не се окинува точно на истото напонско ниво. Како последица се јавува голем број на хармонични фреквенции. Состојбата нешто ја подобрува присуството на дијакот. Подобрување се добива и со дополнително фазно поместување на напонот U_{C1} со елементите R_2 и C_2 како што е изведено во колото, дадено на слика 4.14. За потрошувачи со индуктивен карактер се ставаат елементите R_s и C_s за да не дојде до губење на контролата. Со нив се филтрираат многу брзи непожелни напонски скокови коишто можат да го окинат тријакот надвор од секаква контрола.



Слика 4.14: Дополнително фазно поместување на напонот за окинување

Изводите анода 1 и анода 2 меѓусебно не може да се заменат поради потребната поларизација на спојот G-A₂ за вклучување на тиристорот, што се гледа од две едноставни конструкции на слика 4.15, од кои едната работи а другата не. Поради поедноставување се изоставени дијакот и кондензаторот.



Слика 4.15: Приклучување на анодите на тријакот

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Дијакот се користи најчесто во придружба на друг тиристорски елемент.
- Основен принцип на окинување на тријакот е со фазно поместување.

4.4 ПРИМЕНА НА ТИРИСТОРИ

Основната функција на тиристорите е да управуваат со струја низ потрошувачот со голема јачина со помош на мала струја во побудното коло.

Малата отпорност и пад на напон, а со тоа и мали загуби на моќност во спроводна состојба и многу големата отпорност и издржливост на големи напони во неспроводна состојба, ги прават тиристорите погодни за употреба како **бесконтактни прекинувачи** во кола за регулација на струјата и моќноста, особено за големи потрошувачи.

Освен за прекинувачи, овие компоненти се користат и **за континуирана регулација на електричната моќност**, како што се насочувачи, инвертори (за претворање на еднонасочната во наизменична струја) или фреквенциски претворувачи за континуирана регулација на брзината на електромоторите.

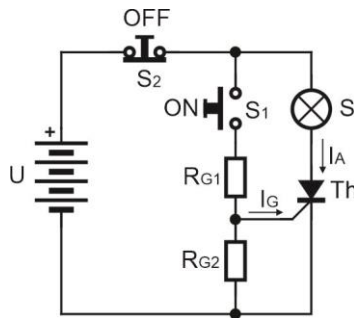
Само за споредба, одредени типови транзистори можат да работат со моќности над 500 W, со струја поголема од 50 A и напон поголем од 500 V. За разлика од нив, **тиристорите можат да работат со моќност поголема од 250kW, со струја над 1000 A и со напон над 2500 V**. Карактеристично е што побудната моќност за активирање на транзистор е поголема од онаа што е потребна за тиристор со иста излезна моќност. Неповолноста на тиристорите е помалата брзина на прекинување и поради тоа тие не можат да се користат за прекинување и регулација на сигнали со високи фреквенции.

Тиристорите имаат голема примена во **индустриската електроника и автоматика за контрола на моќноста на големи потрошувачи**, како што се електромотори, грејачи, електрични рефлектори, а во секојдневниот живот за регулација на јачината на светлото на електричните светилки, за регулација на брзината на електричните мотори во разни апарати во домаќинствата, за регулација и автоматика на полнење акумулаторски станици и многу други примени.

Тријакот се користи за поедноставни примени со мала моќност, најмногу во апарати за домаќинство, разни електрични алати за регулација на брзината.

4.4.1 ПРИМЕНА НА ТИРИСТОР КАКО ПРЕКИНУВАЧ ВО КОЛО СО ЕДНОНАСОЧНА СТРУЈА

Тиристорот може да се користи како бесконтактен прекинувач во коло за регулација на струјата низ потрошувач.



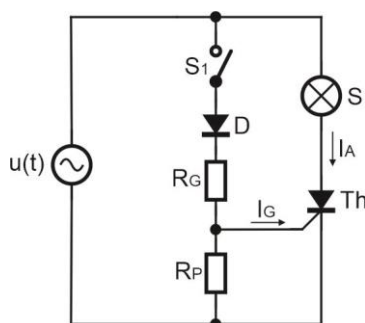
Слика 4.16: Коло за регулација на јачината на осветлувањето на електричните светилки со тријак

На слика 4.16 е прикажано едноставно струјно коло за вклучување и исклучување тиристор, со кој се регулира јачината на осветлувањето на електрична светилка, но може да се користи и како управувачко коло за вклучување мотор, грејач или некој друг еднонасочен потрошувач. Со еднонасочниот извор на напон U , тиристорот е директно поларизиран и се вклучува со кратко затворање на нормално отворениот тастер „ON“, S_1 . Тастерот го поврзува приклучокот на гејтот на тиристорот со еднонасочниот извор за напојување U преку отпорот R_{G1} , овозможувајќи протекување на струјата I_G со насока кон гејтот. Колото е вклучено дури и кога ќе се ослободи притисокот на тастерот S_1 . Кога тиристорот се наоѓа во состојба „**вклучен**“ (спроводлив) овозможува протекување струја низ потрошувачот затворајќи го кругот низ изворот за напојување. Една од главните предности на користењето тиристор како прекинувач во еднонасочно коло е тоа што со мала струја на гејтот, може да се контролира многу поголема анодна струја. Отпорникот R_{G2} има улога да ја намали чувствителноста на гејтот со што се спречува лажно активирање на уредот. Тиристорот останува во вклучена состојба сè додека не се ресетира со прекинување на напојувањето и намалување на струјата на анодата под минималната вредност на струјата на задржување на тиристорот (I_H). Отворајќи го нормално затворениот тастер „OFF“, S_2 , се прекинува струјното коло, притоа се намалува струјата што тече низ тиристорот до вредност нула, со што го принудува да се исклучи. Тиристорот е „**исклучен**“ сè до моментот на повторно вклучување со сигнал на гејтот. Сепак, еден од

недостатоците на овој дизајн на тиристорско коло е механичкиот нормално затворен „OFF“ тастер S_2 кој треба да биде доволно голем за да може да ја „издржи“ струјата која тече низ тиристорот и светилката кога ќе се отворат тастерите. Овој недостаток се надминува со замена на тиристорот со голем механички прекинувач.

4.4.2 ПРИМЕНА НА ТИРИСТОР КАКО ПРЕКИНУВАЧ ВО КОЛО СО НАИЗМЕНИЧНА СТРУЈА

Тиристорот приклучен во коло кое се напојува со наизменичен напон, ќе функционира само за време на позитивната полупериода на наизменичниот напон (состојба на спроведување), додека за време на негативната полупериода не спроведува (состојба на блокирање). Со доведување на струен импулс на гејтот, тиристорот преминува од состојба на блокирање „OFF“ во состојба на спроведување „ON“.



Слика 4.17: Коло за регулација на јачината на осветлување на електрични светилки со тријак

Недостатокот на колото за регулација на осветлувањето на електричните светилки со тријак (слика 4.16) е надминат со изведбата прикажана на слика 4.17. Колото се напојува со наизменичен напон, без примена на тастерот „OFF“. Во колото е приклучена диодата D која има улога да не спроведува за време на негативната полупериода ($I_G=0$). За време на позитивната полупериода, тиристорот е директно поларизиран. Сè додека прекинувачот S_1 е отворен, тиристорот е „исклучен“. За време на негативната полупериода, тиристорот е инверзно поларизиран и ќе остане „исклучен“, без разлика на состојбата на прекинувачот S_1 .

Тиристор

Ако прекинувачот S_1 се затвори за време на директна поларизација на тиристорот, протекува струјата I_G која го вклучува тиристорот. Со вклучување на тиристорот протекува струја I_A низ светилката и таа свети. Тиристорот сега е во состојба „**вклучен**“ за времетраењето на позитивната полупериода и автоматски ќе премине во состојба „исклучен“ кога ќе заврши позитивната полупериода, односно кога струјата на анодата ќе падне под вредноста на струјата на задржување на тиристорот (I_H).

Во текот на следната негативна полупериода, тиристорот е во состојба „**исклучен**“ сè до следната позитивна полупериода кога процесот се повторува и тиристорот повторно спроведува сè додека прекинувачот е затворен.

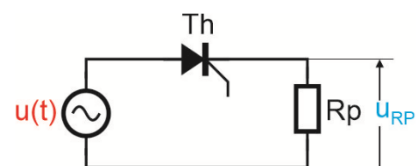
Тогаш во оваа состојба светилката ќе добие само половина од достапната моќност од изворот на наизменична струја бидејќи тиристорот дејствува како насочувачка диода и спроведува струја само за време на позитивните полупериоди кога е директно поларизиран.

Очигледно, оваа конфигурација на колото не може да обезбеди повеќе од 50% моќност на светилката, бидејќи тиристорот не спроведува за време на негативните полупериоди кога е инверзно поларизиран.

4.4.3 ПРИМЕНА НА ТИРИСТОРИ ВО УПРАВУВАНИ НАСОЧУВАЧИ

Доколку во колото на насочувачот диодите се заменат со тиристори се добива управувано насочувачко коло. Тиристорот спроведува во оној момент кога напонот на неговите краеве е позитивен, односно кога анодата на тиристорот е на повисок потенцијал од катодата и кога на неговиот гејт се донесе импулс за побудување. Исклучувањето на тиристорот се врши при поминување на напонот низ нула. Големината на излезниот напон се управува со промена на аголот на доведување на импулсот на гејтот α .

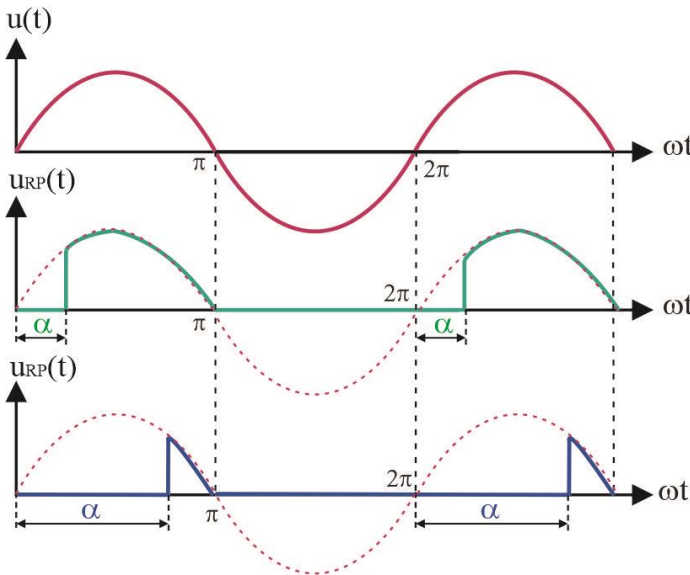
На слика 4.18 е прикажано коло на еднофазен полубранов насочувач во кое за време на негативната полупериода на влезниот сигнал тиристорот е инверзно поларизиран и не спроведува, односно во колото не потекува струја, нема пад на напон на потрошувачот R_p .



Слика 4.18: Полубранов управуван насочувач

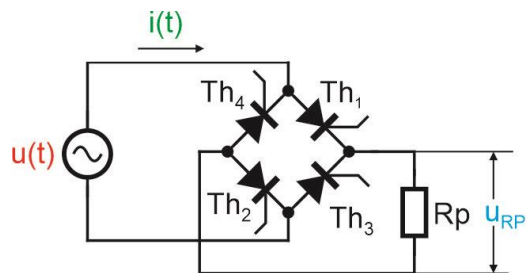
За време на позитивната полупериода, моментот на вклучување на тиристорот зависи од големината на аголот на спроведување α .

На слика 4.19 се прикажани брановите облици на влезниот синусен напон $u(t)$ и напонот на потрошувачот $u_{Rp}(t)$ за два различни агли на спроведување α . Во зависност од аголот на спроведување се добиваат различни средни вредности на напонот на потрошувачот, односно струјата низ него. На поголем агол α одговара помала средна вредност на излезните големини.



Слика 4.19: Бранови облици на влезниот и излезниот напон на полубрановиот управуван насочувач

На слика 4.20 е прикажана шема на поврзување на еднофазен управуван насочувач со четири тиристори во мостна врска. За време на позитивната полупериода на влезниот напон $u(t)$, спроведуваат тиристорите Th_1 и Th_2 кои овозможуваат протекување струја низ потрошувачот R_p ($i_{Th1}=i_{Th2}$). Тиристорите Th_3 и Th_4 спроведуваат струја ($i_{Th3}=i_{Th4}$) за време на негативната полупериода.



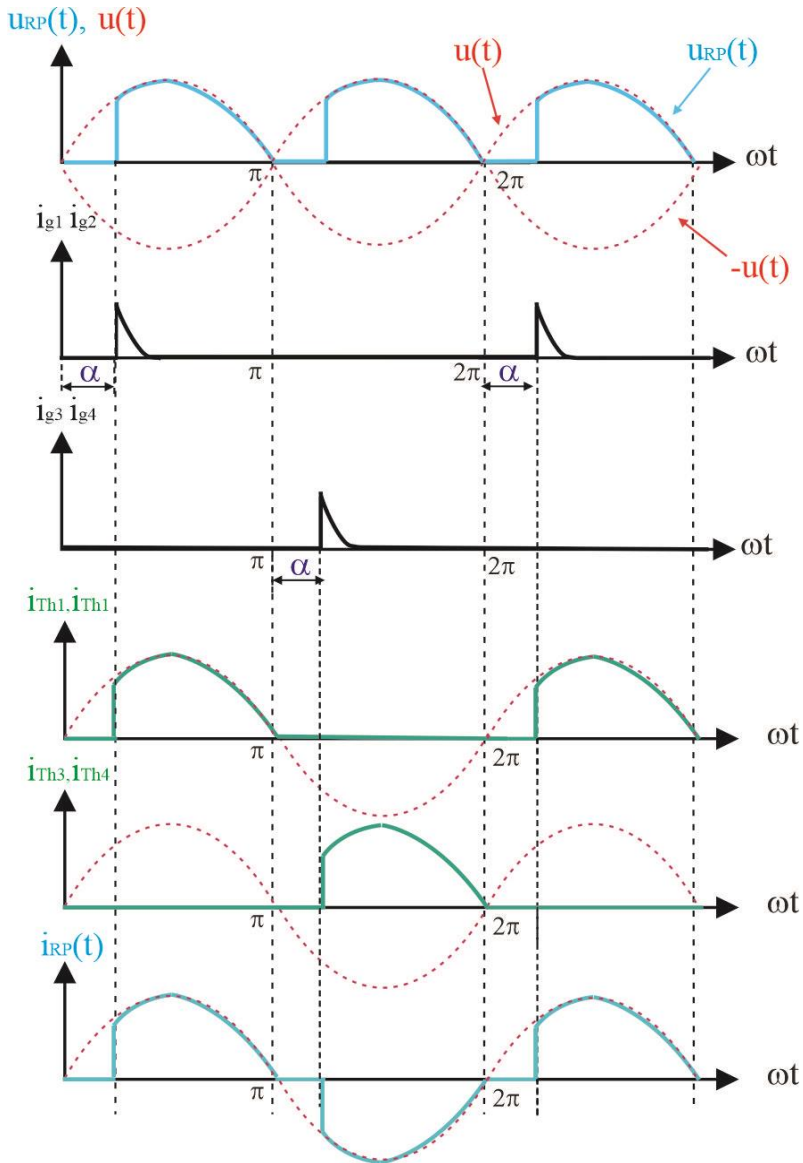
Слика 4.20: Целобранов управуван насочувач

Тиристорни

Низ потрошувачот протекува струја i_{RP} која може да се изрази како:

$$i_{RP} = i_{Th1} - i_{Th3}$$

На слика 4.21 се прикажани брановите форми на влезниот напон $u(t)$ и напонот на потрошувачот $u_{RP}(t)$, струите за побудување на тиристорите (i_{g1} , i_{g2} , i_{g3} и i_{g4}) и струите низ нив (i_{Th1} , i_{Th2} , i_{Th3} и i_{Th4}), како и струјата низ потрошувачот i_{RP} .



Слика 4.21: Бранови облици на напони и струи на целобранов управуван насочувач

Прашања за утврдување на знаењата од Модул 4



1. Кои електронски елементи содржат најмалку три PN-споеви и имаат најмалку два извода?
2. Како се нарекува управувачката електрода на тиристорот?
3. Како се нарекува диодниот двонасочен тиристор?
4. Како се нарекува триодниот двонасочен тиристор?
5. Објасни ја конфигурацијата на тиристорите.
6. Објасни го принципот на работа на динисторот преку шематската конфигурација.
7. Што се случува во состојбата на инверзна поларизација на динисторот?
8. Дефинирај ги состојбите на директно блокирање, директно спроведување и инверзно блокирање на динисторот.
9. Како се добива структурата на тиристорот?
10. Каква е улогата на гејтот кај тиристорот?
11. Како се исклучува тиристорот?
12. Дефинирај ги состојбите на директно блокирање, директно спроведување и инверзно блокирање на тиристорот.
13. Како се побудува тиристорот?
14. Зошто се става диода во колото на гејтот?
15. Како се задоцнува окинувањето на тиристорот?
16. Што се добива со регулација на задоцнувањето на окинувањето?
17. Што претставува дијак?
18. Во што се разликува дијакот од стандардните диоди?
19. Како изгледа струјно-напонската карактеристика на дијакот?
20. Како може да се дефинира тријакот?
21. Која е разликата помеѓу тријакот и тиристорот?
22. Зошто во колото на гејтот се употребува дијак?
23. Зошто не можат изводите анода 1 и анода 2 меѓусебно да се заменат?
24. Кои електронски компоненти се користат како бесконтактни прекинувачи во кола за регулација на струјата и моќноста?
25. Како зависи средната вредност на излезните големини кај управуван насочувач од аголот на спроведување α ?

ТЕМАТСКО УТВРДУВАЊЕ

I Прашања со заокружување
(Заокружи ги точните одговори)

1. Како се означуваат изводите на тиристорот?
 - а) А-анода, К-катода и G-гејт
 - б) G-гејт, D-дрејн и S-сорс
 - в) Е-емитер, В-база и С-колектор

2. Кој електронски елемент се користи за регулација на моќни еднонасочни мотори во електронската индустрија?
 - а) Диода
 - б) Тиристор
 - в) Транзистор

3. Тиристор, кој нема гејт, е:
 - а) еднонасочен тиристор
 - б) дијак
 - в) тријак

4. Полупроводнички елемент составен од четири полупроводнички слоеви, три PN-споја и три изводи претставува:
 - а) Тиристор
 - б) Дијак
 - в) Тријак

5. Тиристорот е во исклучена состојба кога се наоѓа во:
 - а) Директно спроведување
 - б) Директно блокирање
 - в) Инверзно блокирање

6. Петослојна структура со три извода која спроведува во двете насоки е:
 - а) Тиристор
 - б) Дијак
 - в) Тријак

7. Електродата која има улога на управувачка електрода за вклучување на тиристорот е:

- а) Анода
- б) Катода
- в) Гејт

II Прашања со поврзување

8. Поврзи ги шематските симболи со елементите:



а)

б)

в)

- 1. Тиристор _____
- 2. Дијак _____
- 3. Тријак _____

III Прашања со дополнување

9. Електронските елементи со конфигурација од четири или повеќе полупроводни материјали, наредени така да прават најмалку три PN-споеви и имаат најмалку два извода се нарекуваат _____ .

10. Карактеристиките кои ја покажуваат зависноста на струјата на гејтот од напонот меѓу гејтот и катодата U_{GK} се нарекуваат _____ карактеристики.

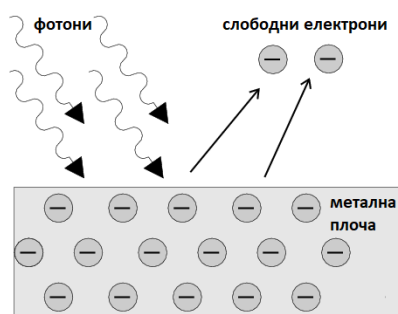
11. Двонасочен тиристор кој спроведува во двете насоки се нарекува _____ .

12. Дијакот има _____ PN-споја.

13. Двонасочен триоден тиристор кој спроведува во двете насоки се нарекува _____ .

14. Статичка карактеристика на тиристорот се дефинира како зависноста на _____ низ тиристорот од _____ на неговите краеве за различни вредности на _____.

МОДУЛАРНА ЕДИНИЦА 5 ТЕРМИСТОРИ И СПЕЦИФИЧНИ ЕЛЕКТРОНСКИ ЕЛЕМЕНТИ



Со изучување на содржините од оваа модуларна единица ученикот ќе стекне основни знаења за термистори и специфични електронски елементи и ќе може:

- да разликува видови термистори;
- да разликува видови специфични електронски елементи;
- да објаснува принцип на работа на термистор;
- да објаснува принцип на работа на фотоотпорник;
- да објаснува принцип на работа на фототранзистор;
- да објаснува принцип на работа на фотогенератор;
- да објаснува принцип на работа на варистор;
- да применува термистори како сетилни електронски елементи;
- да практикува специфични електронски елементи.

5.1 ТЕРМИСТОР



Отпорноста на полупроводните материјали зависи од температурата. Термисторите се еден вид отпорници изработени од полупроводен материјал.

Термисторите претставуваат група температурно осетливи отпорни елементи, од каде што и потекнува нивниот назив, составен од кратенки на зборовите „**термички (thermal)**“ и „**отпорни (resistor)**“. Постојат два вида термистори: NTC и PTC. **NTC (Negative Temperature Coefficient)** се термистори со негативен температурен коефициент, што значи дека нивниот отпор се намалува со зголемувањето на температурата. Поради тоа, тие се користат како температурни сензори. **PTC (Positive Temperature Coefficient)** се термистори со позитивен температурен коефициент, при што нивниот отпор се зголемува со зголемувањето на температурата. Оваа карактеристика овозможува нивна примена во кола за регулација на електричната струја.

Зависноста меѓу отпорноста на термисторот и температурата има линеарен карактер и може да се изрази како:

$$\Delta R = k\Delta T \dots\dots\dots(5.1)$$

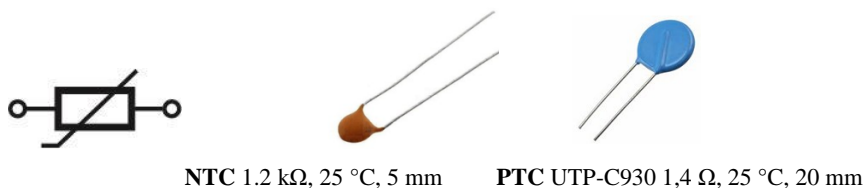
каде што:

ΔR - промена на отпорноста

ΔT - промена на температурата

k -температурен коефициент на отпорот.

Електричниот симбол на термисторот е даден на слика 5.1.



Слика 5.1: Електричен симбол и реален изглед на термисторот

Температурниот коефициент k на термисторот претставува релативна промена на отпорот при промена на температурата за 1К (келвин). Овој коефициент е во зависност од **линеарниот температурен коефициент α** .

Отпорот на термисторот се одредува според формулата:

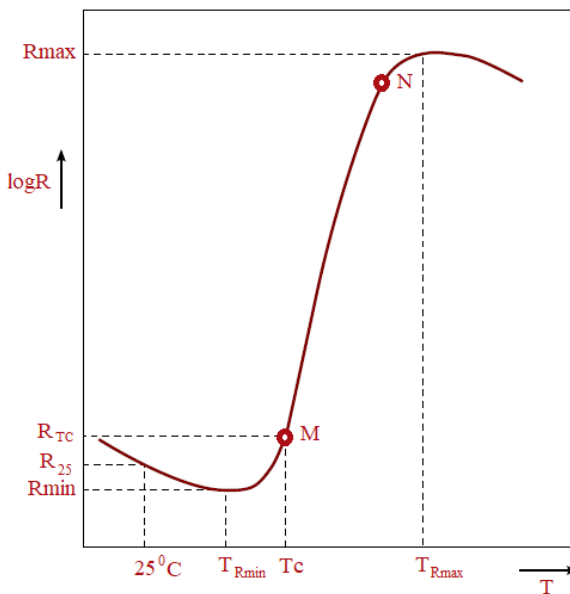
$$R(T) = R(T_0)(1 + \alpha\Delta T) \dots \dots \dots (5.2)$$

Во оваа формула со R е претставена отпорноста на термисторот при мерената температура T , T_0 е референтна температура, а ΔT е разликата меѓу температурите T и T_0 . Со α е претставен линеарниот температурен коефициент.

5.1.1 NTC-ТЕРМИСТОРИ

Термисторите со негативен температурен коефициент достигнуваат најголем развој и примена во средината на минатиот век. Како претворувачи на температурата во електрична информација, се карактеризираат со голема осетливост. Најголема примена наоѓаат во електричните мерења на температурата, во медицината, биологијата, геологијата и др.

Карактеристиката на зависност на отпорот од температурата на NTC-термистор е прикажана на слика 5.2. Со зголемување на температурата до вредноста означена на графикот со T_c , отпорноста се намалува во незначителна мера. Во областа од точката M до точката N , отпорноста расте по експоненцијален закон, а над точката N забавува и достигнува максимум и повторно опаѓа. NTC-термисторите се произведуваат од оксиди на железо, хром, манган, кобалт, никел, бакар и др. Со комбинирање на неколку видови оксиди се прави смеса од која со процес на синтерување на температура над $1000\text{ }^\circ\text{C}$ се формираат отпорници со форма на топка, диск или цилиндар. Максималната работна температура изнесува од $300\text{ }^\circ\text{C}$ до $350\text{ }^\circ\text{C}$, а во поново време се изработуваат термистори и за температура од $700\text{ }^\circ\text{C}$ до $1000\text{ }^\circ\text{C}$. Во областа на ниски температури, термисторите се применуваат до неколку десетици Келвинови степени.

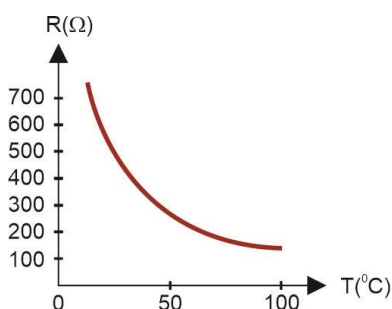


Слика 5.2: Карактеристика на зависност на отпорот од температурата

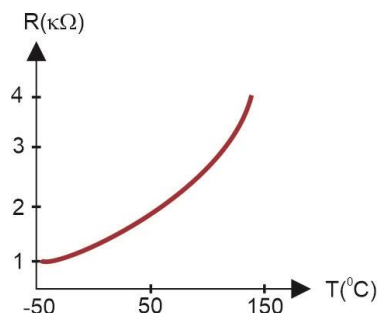
5.1.2 РТС-ТЕРМИСТОРИ

Термисторите со позитивен температурен коефициент не се користат за мерење на температурата. Сензори со РТС-термистор за одредена температура даваат дискретни сигнали. Опсегот на мерењето на РТС-термисторот е тесен, а осетливоста е десет пати поголема во однос на NTC-термисторот. Материјал за производство на РТС-термистори е бариум-титанат, кој спаѓа во материјали со феромагнетни својства. Бариум-титанат претставува изолатор, а неговата отпорност се намалува со внесување донорски примеси.

Карактеристиката на зависност на отпорот од температурата, до 100°C е дадена на слика 5.3.



Слика 5.3: Карактеристиката на зависност на отпорот од температурата на NTC-термистор



Слика 5.4: Карактеристиката на зависност на отпорот од температурата на силициумските отпорни РТС-сензори

Силициумските отпорни РТС-сензори имаат релативно тесен опсег на мерење (од -50°C до 150°C). Во овој опсег работат голем број уреди од прехранбена индустрија, климатизација, метеорологија, домашни уреди, автомобили и др. Нивната карактеристика е дадена на слика 5.4. Термисторите се изработуваат од ситни делови на специјални керамички материјали (разни метални оксиди), а во поново време за нивното производство се користат и силициум и германиум.

Промената на електричниот отпор на термисторот може да биде предизвикана од промената на температурата на околината или поради течење на струја во самиот термистор. Термисторите како температурни сензори се користат како електроди осетливи на топлината на околината во која се наоѓаат. Тие ја мерат температурата на околината преку електрични импулси. Исто така, тие учествуваат во контролирање на топлината, така што прават уредите на кои

се приклучени да се греат побавно. Термисторските сензори обично се составени од повеќе пластови од полупроводнички материјали поврзани со телото на термисторот. Овие материјали претставуваат отпор во колото во кое е приклучен термисторот и така ја регистрираат топлината создадена со струјата. Термисторите имаат голем отпор за мали температурни промени и најголем број од нив се направени од оксиди на манган, кобалт, никел и бакар. Освен со овие материјали, за производство на термисторите се користи и силициумот и германиумот.

Термисторите се користат за заштита на електронските кола од преоптоварување до кое доаѓа кога „ладен“ уред се вклучува за да се постигне постепено затоплување.

Како температурни сензори, тие работат со голема прецизност во релативно мал температурен опсег, во споредба со другите температурни сензори. Термисторските сензори се среќаваат во дигитални термометри, телефони, автомобили, стерео и ТВ-уреди. Нивните мали димензии овозможуваат нивна примена во многу други уреди за автоматска контрола и управување во науката и индустријата.

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Термисторите претставуваат температурно осетливи отпорни елементи.
- Кај NTC (Negative Temperature Coefficient) термисторите отпорот се намалува со зголемување на температурата.
- Кај термисторите со позитивен температурен коефициент отпорот се зголемува со зголемување на температурата.
- Температурниот коефициент k на термисторот претставува релативна промена на отпорот при промена на температурата за 1К.



Во ист координатен систем нацртај карактеристика на зависност на отпорот на температурата на NTC и PTC-термистор. Анализирај ги и спореди ги карактеристиките. Што заклучуваш?

5.2 ВИДОВИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИ ЕЛЕМЕНТИ

Оптоелектроника, која се нарекува фотоелектроника, е гранка на електрониката во која полупроводничките елементи се применуваат за емитирање, детекција и контрола на светлината. Со примена на фотоелектричните елементи, електричните сигнали се претвораат во светлина или обратно. Основна единица за осветленост е лукс (lx) која се дефинира како еден лумен на квадратен метар ($1\text{lx}=1\text{lm}/\text{m}^2$), каде со лумен (lm) се мери светлосниот флукс Φ .

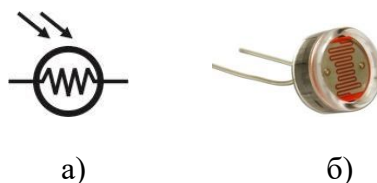
Примената на фотоелектричните елементи е многу голема како: мерач на дебелина на материјалите, детектори на положба, автомати за вклучување на улично осветлување и светлечки реклами, уреди за автоматско отворање врата, детектори за откривање чад, детектори на светлина, мерење интензитет на светлина и др.

Фотоелектричните елементи може да се поделат во две групи:

- **Фотодетектори** – ја претвораат енергијата на светлосното зрачење во електрична енергија, односно ги менуваат своите електрични својства под дејство на светлината. Во оваа група спаѓаат: фотоотпорници, фотогенератори, фототранзистори, фотодиоди и др.
- **Фотоелектронски извори на светлина** – директно ја претвораат електричната енергија во светлосно зрачење. Тие претставуваат полупроводнички елементи кои под одредени услови емитираат светлина. Во оваа група спаѓаат: LED диоди, течни кристали, ласери и др.

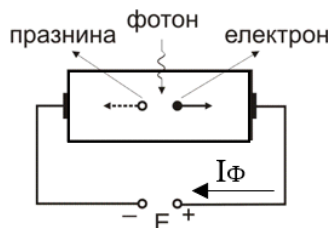
5.2.1 ФОТООТПОРНИЦИ

Фотоотпорниците се електронски елементи изработени од полупроводнички материјали. Основната карактеристика на фотоотпорниците е промена на нивната електрична отпорност при промена на светлосниот флукс кој паѓа на нивната површина. За фотоотпорникот најчесто се користи ознаката **LDR** (**L**ight **D**ependent **R**esistors). На слика 5.5 се прикажани електричниот симбол и реалниот изглед на фотоотпорникот.



Слика 5.5: Фотоотпорник а) електричен симбол и б) реален изглед

Кога е ставен во електрично коло со извор за напојување, низ фотоотпорникот протекува струја I_{Φ} пропорционална на вредноста на неговиот отпор (слика 5.6).



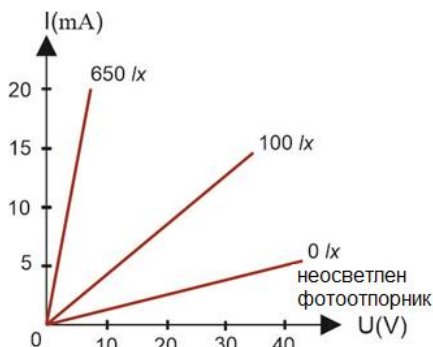
Слика 5.6: Фотоотпорник во електрично коло

Ако фотоотпорникот не е осветлен, во колото во кое се наоѓа тече струја $I_{\Phi 0}$ која се нарекува „струја на темно“. Кога на површината на фотоотпорникот паѓа светлина, светлосните кванти – фотони ја предаваат својата енергија на атомите на полупроводниот материјал од кој е направен отпорникот и предизвикуваат раскинување на валентните врски, создавајќи еднаков број на слободни електрони и празнини.

Слободните електрони и празнините паѓаат под влијание на електричното поле на изворот за напојување, создадено во отпорникот. Слободните електрони се насочуваат кон позитивниот, а празнините кон негативниот крај на напонот на отпорникот, со што се создава струја пропорционална на промената на светлосниот флукс. Оваа струја се додава на „струјата на темно“ и се добива вкупната струја на фотоотпорникот. Тоа значи дека промената на светлосниот флукс предизвикала промена на отпорноста на фотоотпорникот и на тој начин е претворена во електричен сигнал.

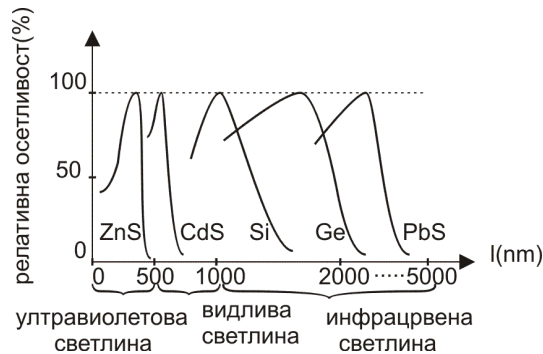
На слика 5.7 е дадена зависноста на струјата низ фотоотпорникот од напонот на неговите краеве (изворот E, слика 5.6) при различни осветлувања.

Слика 5.7: Струјно-напонска карактеристика на фотоотпорник



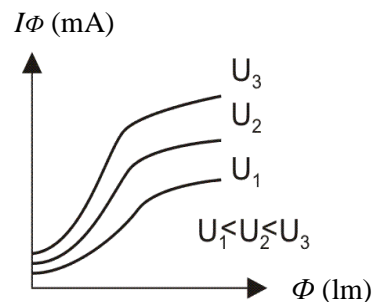
Процедурата на производство на фотоотпорникот се состои во нанесување фотоосетлив полупроводнички материјал на подлога од керамичка плочка. Нанесувањето се прави со таложее испарлив материјал или со синтерување полупроводнички прав на висока температура. На краевите на плочката се ставаат метални контакти и на нив се прицврстуваат изводи со кои отпорникот се поврзува во електричното коло. Така добиената плочка се става во пластично или во метално куќиште со вграден просирен дел од стакло или пластика кој ја пропушта светлината да паѓа на фотоосетливата површина.

Фотоотпорниците се прават од неколку вида полупроводнички материјали, секој со сопствена спектрална карактеристика. Фотоотпорници од цинк–сулфид имаат најголема осетливост во областа на ултравиолетовото зрачење, оние од германиум и оловен сулфид во областа на инфрацрвеното зрачење, силициумските за зрачење од околу 1000 nm, а кадмиум–сулфидните во областа на видливото зрачење (слика 5.8).

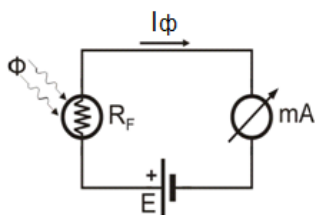


Слика 5.8: Спектрални карактеристики на фотоотпорникот за различни полупроводнички материјали

Зависноста на струјата I_Φ од светлосниот флуks за разни вредности на напонот на фотоотпорникот е прикажана на слика 5.9. Оваа карактеристика не е линеарна, таа покажува струјно заситување за големи вредности на светлосниот флуks.



Слика 5.9: Дијаграм за осетливоста на фотоотпорникот



Слика 5.10: Електрична шема на светломер

Фотоотпорниците се применуваат во едноставни инструменти за мерење на осветленоста т.н. светломери (слика 5.10) и како детектори на светлината во разни алармни и командни уреди.



Врз основа на каталожки податоци изработи табела со параметри на термисторите PGM1200-MP, PGM2005-PP, PGM5506-MP, PGM5659D и нивна примена!

5.2.2 ФОТОТРАНЗИСТОРИ

Фототранзисторот е биполарен транзистор со колекторска струја пропорционална на светлосниот флуks, кој паѓа на површината на колекторскиот спој. Неговата специфичност е во тоа што на горната страна има светлопропусен (просирен) слој, во кој може да биде вградена и леќа со цел да му се зголеми осетливоста.

Карактеристиката на релативната осетливост на фототранзисторот, дефинирана како однос на фотострујата I_ϕ за која и да е бранова должина на светлината наспроти максималната вредност $I_{\phi max}$ е дадена на слика 5.11. Таа покажува како фототранзисторот реагира на светлина со разни бранови должини.



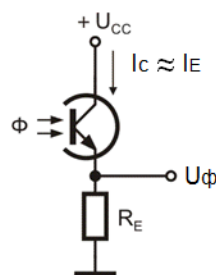
Слика 5.11: Карактеристика на релативна осетливост на фототранзистор

Најголема осетливоста фототранзисторите имаат за светлина со бранова должина околу 800-900 nm.

Кој и да е биполарен моќен транзистор со метално куќиште може да се направи да стане фототранзистор, ако му се пресече горниот дел на куќиштето

и така отворен се изложува на сончева светлина или на светлина на отворен пламен. Светлината треба да паѓа на колекторскиот PN-спој, којшто е инверзно поларизиран и има најголема ширина.

Начинот на приклучувањето на фототранзисторот во електрично коло е прикажан на слика 5.12. Колекторот е врзан на позитивниот крај на изворот U_{CC} , емитерот преку отпорникот R_E на негативниот крај, а базата не е вклучена во надворешното коло, таа е слободна.



Слика 5.12: Фототранзистор во електрично коло

За овој начин на поларизација, зоната на попречување на колекторскиот спој е многу поширока од онаа на емитерскиот спој. Со светлина создадените парови електрони–празнини во зоната на попречување во колекторскиот спој се разделуваат, електроните се упатуваат кон колекторот, а празнините кон емитерот. Нивното движење ја претставува фотострујата, која на отпорникот R_E создава излезен фотонапон. Фотострујата I_ϕ е составена од две компоненти: едната е резултат на светлината што паѓа на фототранзисторот, а другата е инверзната струја I_{CEO} од колекторот кон емитерот. Кога транзисторот не е осветлен, ќе тече само инверзната струја и таа ја претставува струјата на „темно“. Нејзини типични вредности се движат околу 10nA и таа се зголемува со зголемувањето на температурата.

Физичкиот приклучок на базата може да се остави отворен, а може да се користи и за поларизација да се добие стабилно ниво на сигналот.

Фототранзисторите најчесто се употребуваат во прекинувачки кола, каде што нивната нелинеарност не создава проблеми.

Табела 4.1: Каталожки податоци на неколку видови фототранзистори

Ознака	I_C (mA) при осветлување од 1 kLux, и $U_{CE}=5V$	I_{CEO} (μA)	U_{inv} (V)
BPV22	5,7	0,1	20
BPX70	0,1 - 0,7	0,1	20
BPX72	0,5 - 3	0,1	20
BPX381	0,4 - 3,2		50
BPX431	1,6 - 12,5		50

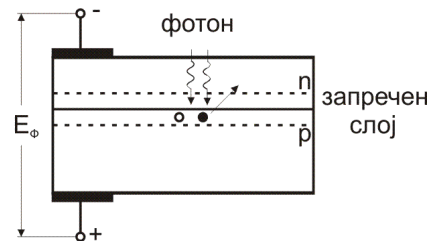
НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Фотодиодата ја претвора светлосната радијација во електричен сигнал, пропорционален на јачината на светлината која паѓа на диодата. Таа работи во режим на инверзна поларизација.
- Фототранзисторот е биполарен транзистор со колекторска струја пропорционална на светлосниот флукс, кој паѓа на површината на колекторскиот спој.
- Кога фототранзисторот не е осветлен, ќе тече само инверзната струја и таа ја претставува струјата на „темно“.
- Фототранзисторите најчесто се употребуваат во прекинувачки кола, каде што нивната нелинеарност не создава проблеми.

5. 2.3 ФОТОГЕНЕРАТОРИ

Полупроводнички елементи со способност да ја претвораат енергијата на светлосното зрачење директно во електрична се нарекуваат фотогенератори. Составени се од еден PN-спој и имаат два извода.

Пресек на фотогенераторот е претставен на слика 5.13. Запречниот слој има многу мала ширина (околу 20 nm), додека површината на PN-спојот е зголемена, со цел поголема апсорпција на фотони од светлосниот зрак. P и N-областите се со поголема концентрација на слободни носители на електричниот полнеж.

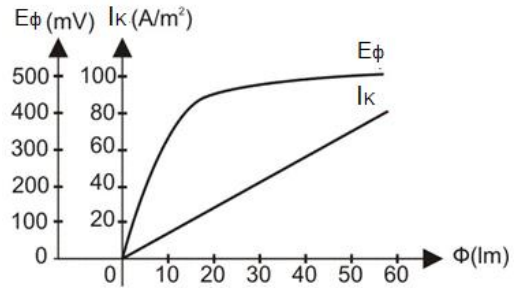


Слика 5.13: Структура на фотогенераторот

Фотогенераторите работат без надворешен извор за напојување. Фотоните од светлинскиот зрак што паѓа на површината на PN-спојот од фотогенераторот ја предаваат својата енергија на валентните електрони со што се создаваат парови електрон-празнина. При тоа се зголемува бројот на споредните носители во запречниот слој од PN-спојот. Контактната потенцијална разлика создава електростатско поле кое им овозможува на споредните носители слободно да се движат низ запречниот слој и го напуштаат, додека главните носители остануваат во своите области. При тоа во

P и во N-областите се создава многу голема концентрација на главните носители, која индуцира електромоторна сила E_{Φ} на изводите на фотогенераторот. Оваа електромоторна сила E_{Φ} се нарекува напон во празен од кога на изводите на фотогенераторот не е приклучен отпорник. Ако се приклучи отпорник, низ него ќе протече електрична струја пропорционална на светлосниот флукс кој паѓа на површината на фотогенераторот.

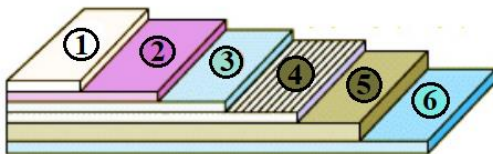
На слика 5.14 се дадени светлосните карактеристики на фотогенераторот кои претставуваат зависност на напонот во празен од, E_{Φ} , и струјата на краток спој, I_K , од светлосниот флукс Φ .



Слика 5.14: Светлосни карактеристики на фотогенераторот

Фотогенераторите се нарекуваат **соларни (фотоволтаични) ќелии**, бидејќи енергијата од сончевото зрачење директно ја претвораат во електрична. Тие се основен градбен елемент на секој соларен систем.

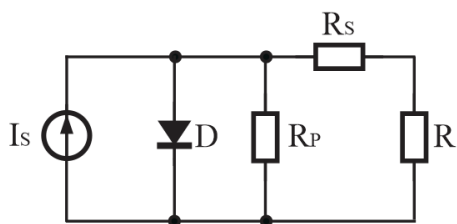
Структурата на соларната ќелија е прикажана на слика 5.15. Првиот слој претставува заштитно стакло (SiO_2) со кое ќелијата се заштитува од надворешни влијанија. Под него се наоѓа антирефлексен слој кој ја намалува рефлексијата на светлината и обезбедува поголем степен на искористување на соларната ќелија, односно обезбедува продор на поголема светлосна енергија до полупроводниот слој. Под дејство на светлосната енергија, во полупроводниот слој се создава многу голема концентрација на главните носители, која индуцира електромоторна сила на контактите на соларната ќелија.



- 1 – стакло
- 2 – антирефлексен слој
- 3 – мрежа електрични контакти
- 4 – полупроводен слој N-тип
- 5 – полупроводен слој P-тип
- 6 – подлога за контакт

Слика 5.15: Напречен пресек на соларна ќелија

Покрај физичките загуби во соларните ќелии, како што се рекомбинација на полнежот и рефлексija од предната површина, постојат и други, наречени цулови загуби кои се јавуваат како топлотна енергија при движењето на електроните. Несовршените врски на контактите на површината се главен извор на отпорни загуби. Овие загуби може да се претстават со отпорник. Бидејќи овој отпор дисипира енергија пред да излезе од ќелијата, во моделот на соларната ќелија ќе биде прикажан како отпорник во серија (или вграден) со потрошувачот R_S , како што е прикажано на слика 5.16.



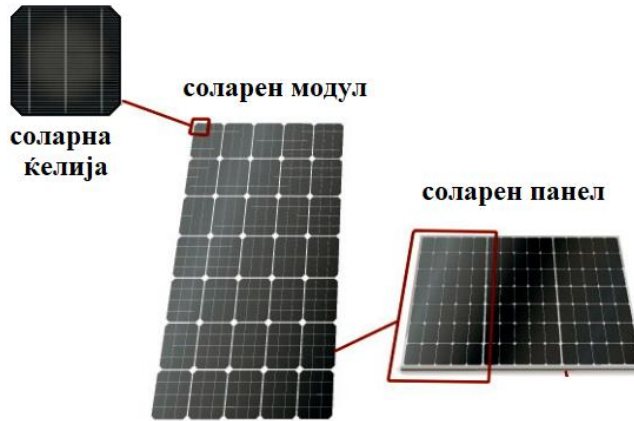
Слика 5.16: Модел на соларна ќелија

Поради несовршеноста во полупроводниците во P-тип или N-тип можно е несакано движење на електроните, краток спој, наместо посакувано низ потрошувачот. Овој ефект во моделот на соларната ќелија ќе биде претставен како отпорност R_p паралелно поврзана со потрошувачот R .

Примената на соларните ќелии како алтернативни, обновливи извори на електрична енергија е во пораст и има значајна улога во енергетските системи. Соларните ќелии се основен дел на многу современи производи, од мали уреди до големи системи за напојување со електрична енергија. Бидејќи индивидуална соларна ќелија произведува околу 1-2 W електрична енергија, односно напон околу 0,5 V, нејзината индивидуална примена е ретка. За да се добие поголема излезна моќност, соларните ќелии се поврзуваат во поголеми единици кои се нарекуваат модули. При сериско поврзување се постигнува зголемување на напонот додека струјата останува иста. Доколку е потребна поголема струја соларните ќелии се поврзуваат паралелно и во тој случај напонот не се менува. Со комбинирање на паралелни и сериско поврзување на соларните ќелии се добива поголема моќност. Со сериско и паралелно поврзување на повеќе модули се добива соларен панел. Бројот на модулите во еден панел се дефинира во зависност од потребната моќност. Со меѓусебно поврзување на соларните панели и помошни компоненти (регулатори, батерии, инвертери, носечки конструкции) се добива соларен систем со кој се обезбедува значително поголема моќност (слика 5.17).

Соларните системи можат да бидат:

- „**off grid**“ – самостојни извори на енергија и
- „**on grid**“ – поврзани со дистрибутивната мрежа.



Слика 5.17: Хиерархија во соларниот систем

Фотонапонските системи со батерија за акумулирање на произведената електрична енергија се поволни во услови кога не се достапни други извори на енергија. Тие се основен извор на електрична енергија во космичките летала.

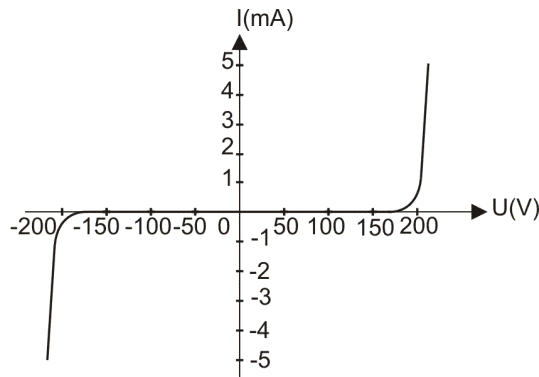
НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Фотогенератори се фотоелектрични елементи со способност енергијата на светлосното зрачење да ја претвораат директно во електрична енергија.
- Фотогенераторите се нарекуваат соларни ќелии бидејќи енергијата од сончевото зрачење ја претвораат во електрична енергија.
- За да се добие поголема излезна моќност, соларните ќелии се поврзуваат во поголеми единици кои се нарекуваат модули.
- Со сериско и паралелно поврзување на повеќе модули се добива соларен панел.

5.2.4 ВАРИСТОРИ

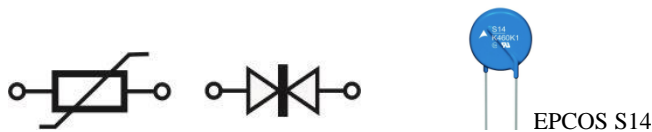
Варисторите се електронски компоненти со специфични карактеристики. Називот варистор е кратенка од англискиот израз за променлив отпор (**V**AR**I**able res**I**STOR), што означува дека неговиот отпор се менува со промена на напонот на неговите краеве.

Таа промена е нелинеарна и неговата струјно-напонска карактеристика (слика 5.18) ни малку не личи на карактеристиката на стандардните отпорници.



Слика 5.18: Струјно-напонска карактеристика на варисторот

Варисторите се нарекуваат и како **VDR**-отпорници, кратенка од **V**oltage **D**ependent **R**esistor. Електрично, тие се однесуваат како две зенер диоди споени со катодите и нивната шематска ознака се среќава во форма како на слика 5.19.



Слика 5.19: Шематска ознака и реален изглед на варисторот

Кога на краевите на варисторот ќе дојде до голема напонска промена, како што е, на пример, напонскиот шилец, таа предизвикува голема промена на неговата импеданса. Во нормални услови, варисторот се однесува како отворено коло во кое не тече струја. Во услови на зголемен напон, тој станува високоспроводлив и на тој начин го придушува напонскиот скок на релативно сигурно ниво. Варисторот ја апсорбира енергијата на зголемениот напонски скок и така ги заштитува останатите компоненти во колото.

Варисторот е составен од цинк оксид со додаток на мали количества бизмут, кобалт, манган и други метални оксиди. Структурата на телото на варисторот е составена од компактна маса честички на цинк-оксид кои меѓусебно се допираат и така се здобиваат со полупроводнички карактеристики на еден PN-спој. Множество од овие случајно ориентирани споеви е еквивалентно на мрежа од по две диоди споени со катодите, секој пар диоди во паралелна врска со многу други парови диоди. Овие споеви се распоредени по целиот волумен на телото на варисторот. Тие го прават варисторот неспроводен при нормален работен напон и нелинеарен кога е во спроводна состојба.

Во состојбата на спроведување, апсорбираната енергија се распределува на целото тело на варисторот, што го прави поиздржлив и поотпорен во однос на другите PN-структури, како, на пример, Зенер диодата. Електричните особини на варисторот се одредени со физичките димензии на неговото тело, кое се изработува во разни форми (диск, цилиндар или цевка). Моќноста се одредува со волуменот, работниот напон со дебелината на телото или со должината на патеката на струјата, а струјата се одредува со површината, нормална на нејзината насока. Варисторите се изработуваат за наизменични напони од 2,5 до 6000 V. Најмногу се користат за заштита на комуникациски линии (телефонски, коаксијални и др).

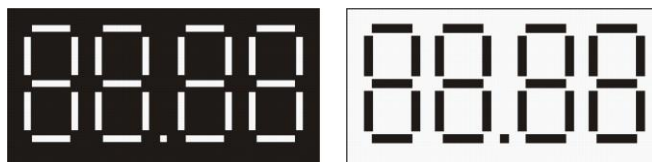
5.2.5 ДИСПЛЕЈ СО ТЕЧЕН КРИСТАЛ



Течен кристал - LCD (Liquid Crystal Display) претставува материја која на одредена температура има особини и на течност и на кристал. Таа може да се прелева од едно место на друго, а светлината ја прекршува во разни насоки исто како кристалот. Таква особина имаат некои органски хемиски материи (група холестерини). Молекулите на тие материи имаат издолжена форма на стапчиња. Едниот крај на молекулите е со позитивен, а другиот со негативен полнеж, а самата молекула е неутрална. Поради тоа, тие се нарекуваат поларни молекули. Ако се најдат во електрично поле, молекулите се насочуваат во насоката на полето.

Течните кристали работат на принципот на одбивање и нееднакво прекршување на светлина од надворешен извор. Тие не се активни извори на светлина.

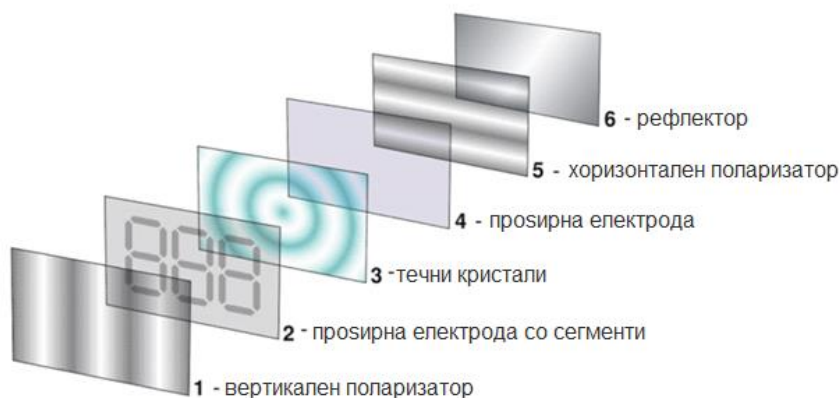
Дисплејот може да биде со темни карактери на светла заднина или со светли карактери на темна заднина (слика 5.20), односно со принцип на динамичка дисперзија на светлината или со принцип на ефект на електрично поле.



Слика 5.20: Видови на LCD дисплеи

Конструкцијата на дисплејот со течен кристал е составена од две стаклени плочи и тенок слој на течен кристал меѓу нив. Надворешната страна на долната стаклена плоча е прелиена со метален слој од алуминиум или никел и претставува огледало. Таа е поврзана со негативниот крај на напојувањето. На внатрешните страни на двете стаклени плочи, на иста позиција, се направени сегменти со кои се формираат карактерите на дисплејот. Сегментите се оформени од просирен спроводен материјал, како што е оловниот оксид, и се споени со соодветни метални контакти на рабовите на плочите.

Молекулите на течниот кристал се распоредени во слоеви (слика 5.21). Сите молекули во еден слој се со иста ориентација. Секоја соседна молекула од следниот слој е завртена за одреден агол и така се добива низа молекули со форма на спирала.



Слика 5.21: Распоред на молекулите во течниот кристал

Еден сегмент на течниот кристал е составен од еден вертикален поларизатор, прва просирна електрода (сегмент), повеќе слоеви на течни кристали, втора просирна електрода (сегмент), хоризонтален поларизатор и рефлектор. Светлосните зраци што доаѓаат до вертикалниот поларизатор, осцилираат во сите насоки. Преку поларизаторот поминуваат само оние што осцилираат во вертикална насока. Овој вертикално поларизиран светлосен зрак поминува преку првата просирна електрода и навлегува во низата спирално поставени молекули на течниот кристал. Во секој слој на течниот кристал тој станува завртен на десно сè до последниот слој, од каде излегува со хоризонтална поларизација и поминува преку втората просирна електрода и хоризонталниот поларизатор сè до рефлекторот. Одбиениот светлосен зрак од рефлекторот се враќа по истата патека, поминува преку хоризонталниот поларизатор, се завртува со слоевите на течниот кристал сè до вертикалната положба, поминува преку вертикалниот поларизатор и излегува на истата страна со влезниот светлосен зрак. На овој начин, кога на патот на светлината нема никакви пречки, се добива светла заднина.

Кога на металните сегменти се приклучува мал напон од 3 до 5 V, меѓу нив се создава електрично поле и молекулите на течниот кристал се подредуваат во насоката на тоа поле. Така наредени, тие повеќе не го свртуваат светлосниот зрак, не му ја менуваат рамнината на поларизацијата и тој со вертикална поларизација доаѓа до хоризонталниот поларизатор. Светлосен зрак со вертикална поларизација не може да помине преку хоризонталниот поларизатор и тој се губи во течниот кристал како во дупка. На местото на сегментот нема вратен светлосен зрак и тој станува темен.

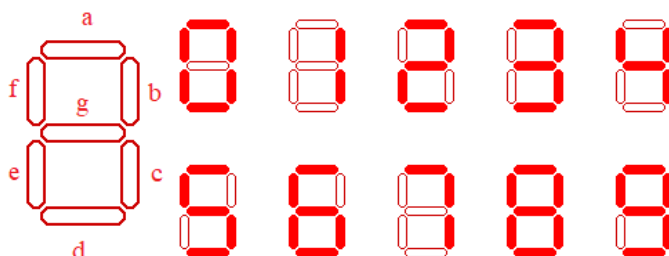
Дисплеј со течни кристали работи на наизменичен напон со фреквенција од 30 до 300 Hz. Тој има импулсна форма со амплитуда меѓу 1 и 18 V и се прави со дигитални кола. Еднонасочен напон може да прави електролиза на течниот кристал и да му го скратува работниот век на дисплејот. Густината на струјата на дисплејот е многу мала, околу $\frac{1nA}{cm^2}$, што значи мала потрошувачка. Тоа го прави дисплејот со течни кристали употреблив за минијатурни уреди, како што се рачни часовници, за кои нема место за батерии со поголем капацитет. Најмногу се користи за преносни калкулатори, дигитални часовници, дигитални мерни инструменти и екрани за монитори и ТВ-приемници.

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Седумсегментен LED дисплеј претставува индикатор, составен од седум сегменти, осветлени со LED диоди.
- Еден сегмент на течниот кристал е составен од еден вертикален поларизатор, прва просирна електрода (сегмент), повеќе слоеви на течни кристали, втора просирна електрода (сегмент), хоризонтален поларизатор и рефлектор.
- Дисплеј со течни кристали се користи за преносни калкулатори, дигитални часовници, дигитални мерни инструменти и екрани за монитори и ТВ-приемници.



Пополни ја табелата со седумсегментен код за дисплеј со заедничка катода! Даден е пример за кодот на цифрата 0 и 1. За дисплеј со заедничка анода кодот е комплементен.



Цифра	a	b	c	d	e	f	g
0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	1	1	0	0	0	0
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							

5.2.6 ОПТОКАПЛЕРИ

За создавање нови електронски елементи често се практикува техника на комбинирање основни, веќе постоечки елементи. **Комбинација на LED диода со фототранзистор** дава нов елемент, наречен оптокаплер или оптоизолатор, со кој се овозможува пренос на сигнали меѓу системи кои немаат галванска врска. Има многу ситуации кога треба на ефикасен начин да се пренесе сигнал со податоци од еден систем во друг со помош на елемент кој нема да прави директна „омска“ или галванска врска. Тоа се случува кога изворот на сигналот и колото што треба да го прими се наоѓаат на многу различно напонско ниво. Таков е примерот на пренос на податоци од микропроцесор, кој работи со еднонасочен напон од 5 V, а кој управува со тријак приклучен на наизменичен напон од 220 V. Меѓу микропроцесорот и тријакот не смее да има таква врска за да се заштити микропроцесорот од оштетување.

Друга состојба е кога изворот на сигналот е оддалечен од колото за прием и меѓу нив постои кабелска врска (на пример, на телефакс или модем). Во овој пример постои и проблем на разлика на потенцијалот на заземјувањето, како и собран попатеен шум и напонски шилци од електрични празнења и удари од гром.

Една од можностите е да се користи електромагнетен релеј, но колку и да е минијатурен тој сепак е масивен во споредба со другите електронски елементи. Од друга страна, тоа е електромеханички елемент кој има мала брзина и недоволна сигурност во работата.

Друга можност е примена на трансформатор, но и тој има слични недостатоци како и релејот.

Овие недостатоци се отстрануваат со примена на оптокаплери. Нивната работа се базира на принцип на детекција на емитувана светлина. Во оптокаплерот се користи светлински зрак од LED диода за пренос на сигналот или на податоците до фототранзисторот со што се постигнува извонредна изолација.

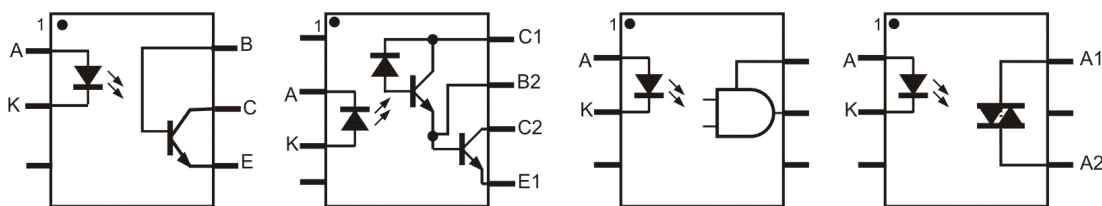
Светлинскиот зрак на LED диодата ја менува јачината под влијание на влезниот сигнал, а фототранзисторот ја детектира таа промена и ја претвора повторно во електричен сигнал.

Оптокаплерот е комбинација на LED диода како оптички предавател и фототранзистор како оптички приемник. Тие се разделени со прозирна или транспарентна бариера со која се блокира какво и да е течење на електрична струја меѓу нив, а е овозможено преминување на светлинскиот зрак од предавателот кон приемникот. Сè тоа е ставено во куќиште на интегрирано коло со 6 или 8 изводи и на тој начин е заштитено од влијанието на надворешната амбиентална светлина. Симболот на оптокаплерот е прикажан на слика 5.22.



Слика 5.22: Електричен симбол на оптокаплер

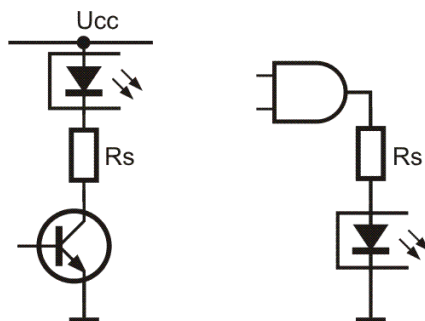
Врските на LED се изведуваат на едната страна, а на фототранзисторот на другата страна на интегрираното коло. Со тоа се зголемува физичката разделеност во поголема мера и се овозможува оптокаплерот да издржи разлики од 500 до 7500V. На местото на приемникот може да се користи фотодиода, фототранзистор, фототранзисторски пар во Дарлингтонова врска, логичка порта или светлински активиран дијак. Симболите на овие комбинации се дадени на слика 5.23.



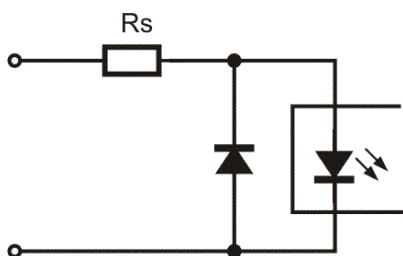
Слика 5.23: Електрични симболи на некои видови оптокаплери

Оптокаплерот користи прекинувачки принцип на работа. Тој може да работи со дигитални податоци и управувачки сигнали, а за пренос на аналогните сигнали се користи фреквенциска или импулсно-широчинска модулација.

LED диодата од оптокаплерот се приклучува преку транзистор или преку логичка порта, како на слика 5.24.



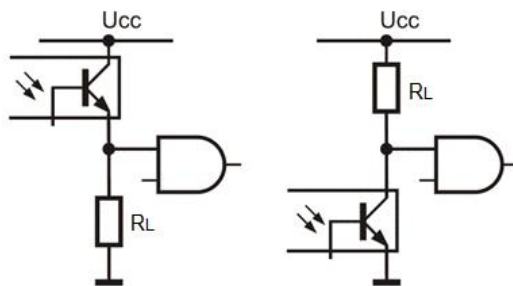
Слика 5.24: Приклучување на влезот на оптокаплетот



Слика 5.25: Заштита на LED од преголем инверзен напон

Таа може да биде спроводна за високо или ниско логичко ниво. Со сериски отпорник R_s се одредува нивото на струјата на спроведување на LED диодата и таа се движи во опсег од 1 mA до 100 mA, при што напонот на LED изнесува 1,2 до 1,3 V. Заштита на LED диодата од преголем инверзен напон кој може да ја уништи, се прави со паралелно приклучување на стандардна диода (слика 5.25).

Излезот од оптокаплетот може да биде на високо или на ниско логичко ниво, кога во фототранзисторот е спроведен, па според тоа се одредува и начинот на неговото приклучување (слика 5.26). Фототранзисторот се приклучува во серија со отпор на оптоварувањето, а неговата база останува неприклучена. Излезот може да биде во фаза или со спротивна фаза од влезот. Ако се приклучи спојот база колектор како излез, се добива оптокаплет со фотодиода. Основна карактеристика на овој спој е зголемена брзина на прекинување, а со тоа и зголемен пропусен опсег до 30 MHz на сметка на намален степен на ефикасност.



Слика 5.26: Приклучување на излезот на оптокаплетот

Прашања за утврдување на знаењата од Модул 5



1. Дефинирај го поимот термистор.
2. Какви видови термистори постојат?
3. Како се дефинира температурниот коефициент на термисторот?
4. Каде имаат најголема примена NTC-термисторите?
5. Каде се применуваат PTC-термисторите?
6. Како се изразува зависноста меѓу отпорноста на термисторот и температурата?
7. Нацртај ја карактеристиката на зависност на отпорот од температурата кај NTC-термисторите и објасни ја.
8. Какви видови термистори постојат?
9. Што се случува во термисторот при промена на температурата на околината?
10. Што се случува во фотоотпорникот кој е приклучен во електрично коло со извор за напојување, кога на неговата површина ќе падне светлина?
11. Кога низ фотоотпорникот тече „струја на темно“?
12. Кои фотоотпорници имаат најголема осетливост во областа на видливото зрачење?
13. Каде се применуваат фотоотпорниците?
14. Со што е пропорционална колекторската струја на фототранзисторот?
15. Дефинирај ја карактеристиката на релативната осетливост на фототранзисторот.
16. Од кои компоненти е составена фотострујата?
17. Каде се употребуваат фототранзисторите?
18. Кои полупроводнички елементи се нарекуваат фотогенератори?
19. Објасни го принципот на работа на фотогенераторот.
20. Дефинирај ги светлосните карактеристики на фотогенераторот и нацртај го дијаграмот.
21. Каде се применуваат фотогенераторите?
22. Дефинирај го поимот варистор.
23. Нацртај ја струјно-напонската карактеристика на варисторот.
24. Од што зависат електричните особини на варисторот?
25. За какви напони се изработуваат варисторите?
26. Каде се применуваат варисторите?
27. Од што е составен еден сегмент на течниот кристал?
28. Каде се применува дисплејот со течен кристал?

ТЕМАТСКО УТВРДУВАЊЕ

I Прашања со заокружување

(Заокружи ги точните одговори)



1. Елементите кај кои со промена на температурата се менува нивната отпорност се:

- а) фотоотпорници
- б) фотодиоди
- в) термистори

2. Елементи кои се користат како температурни сензори се:

- а) фотогенератори
- б) термистори
- в) фотодиоди

3. Елементи кои се користат во инструменти за мерење на осветленоста се:

- а) фотодиоди
- б) фотоотпорници
- в) фототранзистори
- г) фотогенератори

4. Полупроводнички елементи со способност да ја претвораат енергијата на светлосното зрачење директно во електрична се нарекуваат:

- а) фотогенератори
- б) фотоотпорници
- в) фототранзистори
- г) термистори

5. Како составен дел од инверторите се употребуваат:

- а) фотодиоди
- б) термистори
- в) фотоотпорници

II Прашања со поврзување

6. Поврзи ги електричните симболи со елементите:



а)



б)



в)

1. Фотодиода _____
2. Фототранзистор _____
3. Термистор _____

7. Поврзи ги специфичните електронски елементи со нивната примена како:

- | | |
|-------------------|---|
| 1. Термистори | а) Светломери _____ |
| 2. Фотогенератори | б) Температурни сензори _____ |
| 3. Фотоотпорници | в) Соларни ќелии _____ |
| 4. Варистори | г) Заштита на комуникациски линии _____ |

8. Поврзи ги специфичните електронски елементи со нивниот принцип на работа!

- | | |
|-----------------|--|
| 1. Фотодиода | а) Претворање на електрична енергија во светлосна енергија _____ |
| 2. LED диода | б) Промена на отпорноста со промена на температурата _____ |
| 3. Фоторезистор | в) Претворање на светлосна енергија во електрична енергија _____ |
| 4. Оптокаплер | г) Оптички приемник _____ |

III Прашања со дополнување

9. Кај NTC-термисторите со зголемување на температурата нивниот отпор се _____.

10. Кај кои елементи електричната струја/отпорност зависи од промената на температурата? _____.

11. Електронските елементи чии електрични својства зависат од промената на енергијата на светлосното зрачење се нарекуваат _____.

12. Со пораст на осветлувањето на фоторезисторот, струјата низ него се _____.

МОДУЛАРНА ЕДИНИЦА 6 ЕЛЕКТРОНСКИ СКЛОПОВИ И УРЕДИ



Со изучување на содржините од оваа модуларна единица ученикот ќе стекне основни знаења за електронските склопови и уреди и ќе може:

- да препознава електронски склопови и уреди;
- да анализира шеми на поврзување електронски склопови и уреди;
- да одбира електронски склопови и уреди во согласност со спецификацијата за инсталација на безбедносен систем;
- да поврзува електронски елементи, електронски склопови и уреди;
- да конфигурира софтвер за безбедносни системи;
- да архивира изработени материјали;
- да постапува во согласност со барањата за примена на прописите и МКС-стандардите за заштита на околината и заштитата при работа;
- да организира и да одржува сопствено работно место.

ВОВЕД

Енергетската електроника е подрачје на електрониката кое се занимава со елементите и склоповите во однос на производството, преносот и дистрибуцијата на електрична енергија. Според видот на електричниот сигнал, електрониката се дели на аналогна и дигитална електроника. Во аналогната електроника сигналот може да ја има која било вредност во определеното подрачје, додека во дигиталната електроника сигналот може да има само две вредности.

6.1 ВИДОВИ ЕЛЕКТРОНСКИ СКЛОПОВИ И УРЕДИ

Елементите и склоповите кои се произведуваат масовно и за услови кои им одговараат на луѓето, припаѓаат во категоријата на потрошувачка електроника. Елементите и склоповите на професионалната електроника се предвидени за работа во потешки услови и нивната издржливост и стабилност се на повисоко ниво.

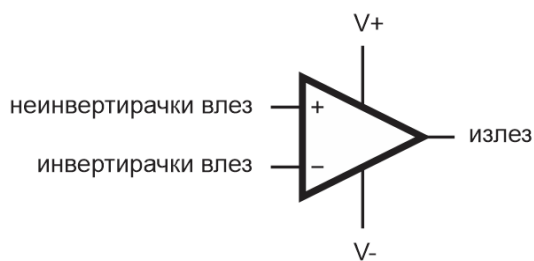
Електронските уреди се составени од електронски склопови, а **електронски склопови** се одреден вид на електронски елементи кои се поврзани во струјни кругови за извршување одредена функција (на пример, генерирање на сигнал, засилување на сигнал итн). Склоповите може да бидат изработени од поединечни елементи или во интегрирана изведба.

Електронските склопови може да се поделат во три основни групи:

- Засилувачки кола;
- Генераторски кола;
- Регенеративни кола.

Засилувачките кола на влезот добиваат сигнали со одредена форма коишто треба да ги засилат. Притоа, формата на сигналот не се менува, туку само се зголемува неговата амплитуда. Во процесот доаѓа до одредени промени, кои се сметаат за изобличување на сигналот. За намалување на изобличувањата се применува негативна повратна врска, односно реакција. Тоа претставува враќање на сигналот од излезот на влезот од засилувачот, но со спротивна фаза.

Типичен пример за засилувачко коло е **операциониот засилувач**. Тој е еден од основните електронски склопови во аналогната електроника.



Слика 6.1: Операциски засилувач

Вообичаено, изведен е во еден чип. Тој е повеќестепен напонски засилувач со директна повратна врска, со диференцијален влез и со многу големо засилување.

Генераторските кола имаат задача да создаваат сигнали без какво било влијание од надворешни сигнали. Во оваа група се сите видови **осцилатори**. Осцилаторите се склопови кои на излез даваат наизменичен напон без влезен сигнал. Напонот од напојувањето на осцилаторот се смета како влезен напон, којшто осцилаторот го претвора во наизменичен. За нивната работа се применува позитивна реакција, враќање на сигнал од излезот кон влезот со иста фаза, со што се обезбедува одржување на осцилациите.

Излезниот напон може да има синусна или несинусна форма, на пример, правоаголен сигнал, пилест, итн. Осцилаторите за синусен напон се нарекуваат **хармониски осцилатори**, а за несинусен напон се нарекуваат **релаксационски осцилатори**. Постојат три вида хармониски осцилатори: RC осцилатори, LC-осцилатори и осцилатори со кристал од кварц. Релаксационски осцилатори се: генератор на правоаголен напон и функциски генератор.

Регенеративните кола се генератори на одредени видови сигнали, но за нивната работа е потребен надворешен (влезен) сигнал, со кој треба да започне процесот на создавање на новиот сигнал. Излезниот сигнал не мора да е сличен со влезниот сигнал.

Во регенеративните кола се применува позитивна реакција.

Регенеративните склопови во аналогната електроника може да се формираат со еден или со два активни елементи – **транзистори**, кои работат како прекинувачи и со дополнителни елементи за работа на транзисторите и за негативната реакција. Во дигиталната електроника мултивибраторите се изведуваат со логички склопови.

Електронските регенеративни кола, составени од два прекинувачки елементи и со позитивна реакција, се викаат **мултивибратори**. Мултивибраторите се склопови со две различни состојби. До промена на состојбата на мултивибраторот може да се дојде на два начини: со надворешен сигнал и без надворешен сигнал.

Состојбата која може да се промени единствено со дејство на надворешен сигнал се нарекува **стабилна состојба**, а состојбата која се менува без дејство на надворешен сигнал се нарекува **квазистабилна состојба**.

Според комбинациите на состојби кои ги имаат, постојат три видови мултивибратори:

- **Бистабилни мултивибратори** – со две стабилни состојби;
- **Моностабилни мултивибратори** – со една стабилна и една квазистабилна состојба;
- **Астабилни мултивибратори** – со две квазистабилни состојби, се користат и како генераторски кола.

6.2 ПРЕТВОРУВАЧИ

Енергетската електроника пред сè се занимава со напојувањето и неговото претворување (конверзија) на контролиран начин. Најважен дел од оваа област е контролата на напојувањето и карактеристиките на прекинувачите, коишто го овозможуваат претворањето.

Функцијата на претворање ја вршат статичките **претворувачи на напојување**. Претворувачите се потребни за претворање на наизменичната струја од мрежата во друга форма, на пример, во механичка моќност или DC еднонасочно напојување за полнење на батерии.

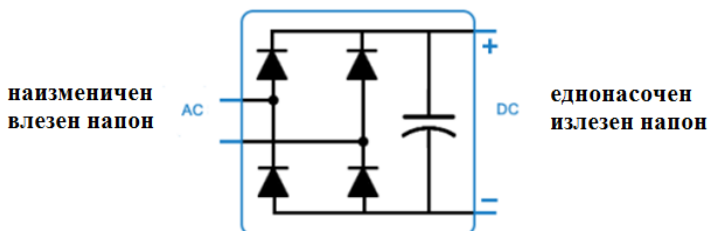
Претворувач е секој електронски склоп кој одредена форма на напојување ја претвора во која било друга форма. Зависно од видот на претворувачот, тој може да ја смени природата на напојувањето (од AC во DC), може да ги промени карактеристиките на струјата или напонот или неговата фаза или фреквенцијата.

Претворувачите се поделени на шест видови кола, кои се користат во енергетската електроника:

- Диодни насочувачи
- AC во DC-претворувачи (управуван насочувач)
- AC во AC-претворувачи (регулатор на наизменичен напон)
- DC во DC-претворувачи (DC чопери)

- DC во AC-претворувачи (инвертори)
- Статички прекинувачи

Диодните насочувачи ја претвораат наизменичната струја во еднонасочна. Влезниот напон може да биде еднофазен или трифазен, а излезниот е стабилен еднонасочен напон.



Слика 6.2: Диоден насочувач

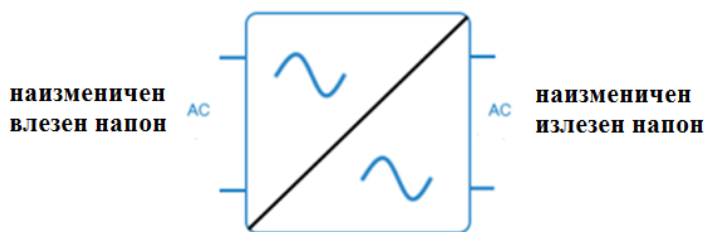
AC во DC (AC/DC) претворувачите го претвораат влезниот AC наизменичен сигнал во DC еднонасочен излезен сигнал со употреба на управувани прекинувачи – тиристори. Од оваа причина, овие претворувачи се познати и како управувани насочувачи. Во колото од слика 6.3 наместо диоди се користат четири тиристори.



Слика 6.3: Графички симбол и коло на AC/DC претворувач

Влезниот напон може да биде еднофазен или трифазен.

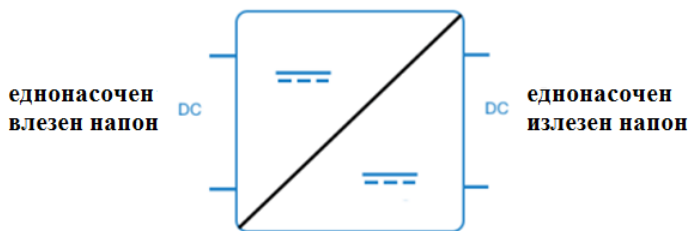
AC во AC (AC/AC) претворувачите го претвораат фиксниот наизменичен напон на влезот во променлив наизменичен напон на излезот. На слика 6.4 е прикажан еднофазен AC/AC претворувач.



Слика 6.4: Графички симбол на AC/AC претворувач

Многу често кај овие претворувачи се користи тријакот. Со промена на времето на спроведување на тријакот се управува излезниот напон на претворувачот. Затоа, овие претворувачи уште се нарекуваат и регулатори на напон.

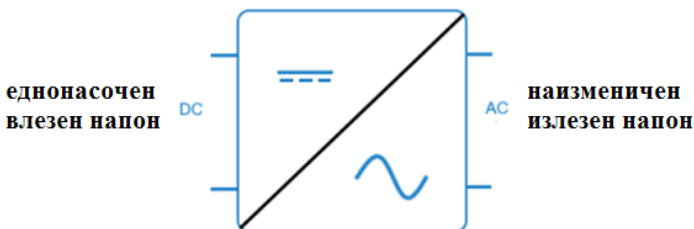
DC во DC (DC/DC) претворувачите го претвораат или го менуваат нивото на напонот од влезот од еднонасочна во еднонасочна форма на излезот. Овие претворувачи уште се нарекуваат и чопери или транзисторски чопер или регулатор за вклучување.



Слика 6.5: Графички симбол на DC/DC претворувач

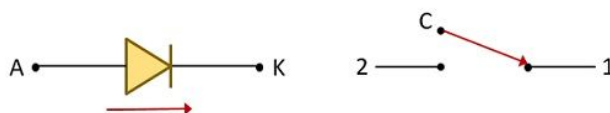
Напонот на излезот од претворувачот може директно да се управува со промена на времето на спроведување на управуваниот прекинувач.

DC во AC (DC/AC) претворувачите ја претвораат влезната еднонасочна големина во наизменична големина на излез. Овие претворувачи се познати и како **инвертори**. Постојат многу различни видови инвертори, но најчесто користат четири прекинувачи или тиристоры. Прекинувачите формираат два пара, индивидуално управувани од прекинувачкото коло. Секој пар се вклучува во еден временски интервал. Ова наизменично вклучување на прекинувачите, односно тиристорите, обезбедува протекување на наизменична струја низ товарот (потрошувачот). Ритамот на прекинување го менува еднонасочниот DC влезен напон во наизменичен AC напон на излезот. Излезниот напон во колото може директно да се управува со промена на времето на спроведување на прекинувачот во прекинувачкото коло.



Слика 6.6: Графички симбол на DC/AC претворувач

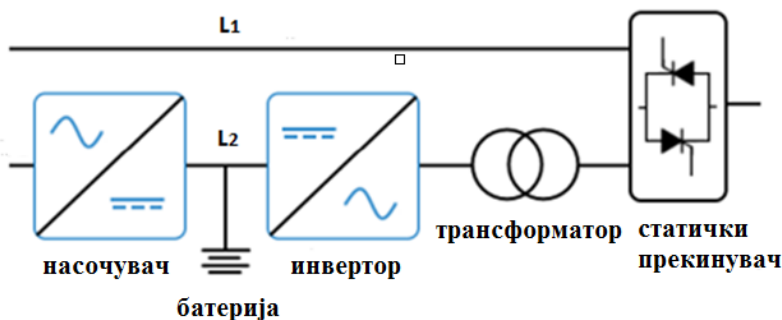
Статички прекинувачи се вид на претворувачи кои го поврзуваат товарот (потрошувачот) со изворот и обезбедуваат нагло префрлување од еден на друг товар.



Слика 6.7: Графички симболи на неуправуван и управуван статички прекинувач

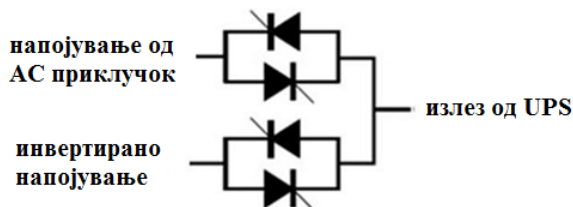
6.2.1 УРЕД ЗА НЕПРЕКИНАТО НАПОЈУВАЊЕ

Во **UPS-от** (**Un**interruptible **P**ower **S**upply), или во превод, уред за непрекинато напојување, има голем број на различни фази на претворање во каскада, кои произведуваат различни нивоа на излезен напон, слика 6.8.



Слика 6.8: Статички прекинувач во UPS уред

Постојат две линии за напојување L1 и L2. L1 линијата е од AC приклучокот директно кон статичкиот прекинувач, а насочувачот ја полни резервната батерија од линијата L2. При итни случаи, кога нема напојување на L1, батеријата го напојува товарот преку инверторот и низ трансформаторот. Напојувањето на прекинувачите може да биде и AC и DC. На слика 6.9 е даден поедноставен приказ на уред за непрекинато напојување.



Слика 6.9: Приказ на UPS

Овие прекинувачи се познати како статички или DC-прекинувачи.

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Засилувачките кола вршат засилување на влезните сигнали.
- Генераторските кола создаваат сигнали на излез без какво било влијание од надворешни сигнали.
- Постојат три видови мултивибратори: астабилни, моностабилни и бистабилни.
- Претворувач е секој електронски склоп кој одредена форма на напојување ја претвора во која било друга форма.
- Претворувачите се поделени на шест видови кола.
- Диодните насочувачи ја претвораат наизменичната струја во еднонасочна.
- АС/DC-претворувачите го претвораат влезниот наизменичен сигнал во еднонасочен излезен сигнал.
- АС/АС-претворувачите го претвораат фиксниот наизменичен напон на влезот во променлив наизменичен напон на излезот.
- DC/DC-претворувачите го претвораат или го менуваат напонот од влезот од еднонасочна во еднонасочна форма.
- DC/АС-претворувачите ја претвораат влезната еднонасочна големина во наизменична големина на излез.
- UPS е уред за непрекинато напојување.

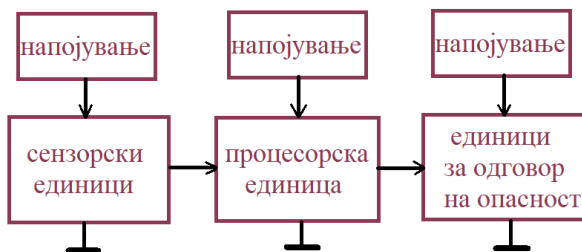
6.3 АЛАРМНИ СИСТЕМИ

Секој систем кој обезбедува одреден степен на заштита од една или повеќе опасности или закани (физички напади, кражба, несакан човечки или животински упад, откажување на машина, опасност од пожар, електричен шок, итн.) се нарекува безбедносен систем.

Електронски алармен систем е оној систем, во кој активностите зависат од електронски склопови и уреди, но секогаш во комбинација со дополнителни елементи од електричен, односно електромеханички вид.

Сите алармни системи се состојат од основни елементи, прикажани на слика 6.10. Овде се присутни повеќе **сензорски единици**, кои генерираат некаков електричен одговор кон процесорската единица при регистрација на опасност. Излезниот сигнал од сензорите се праќа до процесорската единица, а

потоа се активира алармот или одреден електромеханички склоп или уред за затворање.



Слика 6.10: Основни елементи на електронски систем за заштита

Според сликата, секоја единица има сопствено напојување, но во практика два или повеќе елементи користат заедничко напојување.

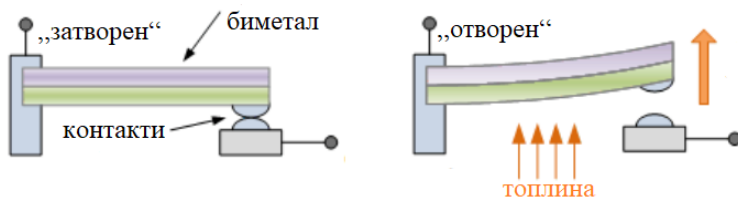
6.3.1 ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧКИ СЕНЗОРИ

Прекинувачите се наједноставни и најшироко применувани електро-механички сензори. Видовите на прекинувачи прикажани се на слика 6.11.



Слика 6.11: Видови прекинувачи

Термостатите се прекинувачи кои се активираат со температурата и обично се изработуваат со биметал.



Слика 6.12: Термостат

Биметалната лента се состои од два слоја метални материјали со различен температурен коефициент, што предизвикува нејзино извиткување пропорционално со температурата.



Слика 6.13: Видови термостати



Слика 6.14: Прекинувач на притисок

На овој начин, биметалната лента може да создаде контакт со друга површина или да го прекине контактот. Во практиката се користат два вида на термостати: фиксни и променливи, слика 6.13.

Прекинувачи на притисок се користат на позиции кои се скриени на пример под килим, слика 6.14. Се однесуваат како нормално-отворен прекинувач кој го затвора лицето кое гази врз таа површина.

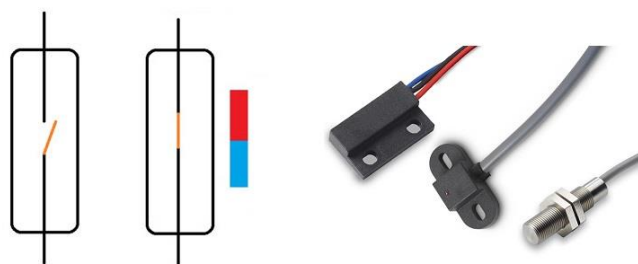
Прекинувачи со клуч се електрични прекинувачи кои се деактивираат со поставување клуч во лежиштето на механизмот. Овие прекинувачи имаат повеќе пинови (најчесто пет) и секој мора да се постави во одредена позиција со клучот, за тој да може да функционира.

Временски прекинувачи се прекинувачи чија состојба (отворена или затворена) се управува со времето, односно со временски механизам.



Слика 6.15: Графички симбол и реален изглед

Рид (Reed) прекинувачи се најупотребувани електромеханички сензорски елементи, кои се активираат во соодветно магнетно поле. Најкорисни се за одредување растојание во безбедносните системи.



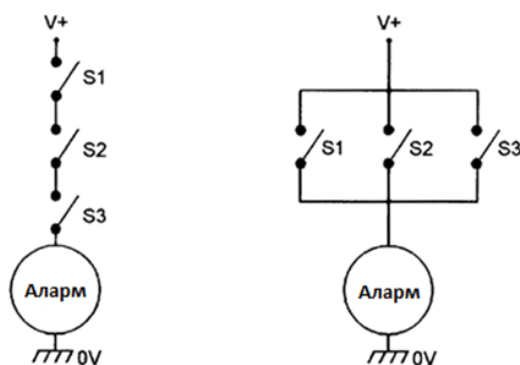
Слика 6.16: Графички симбол и реален изглед на рид прекинувач

Прекинувачот се состои од пар магнетни елементи со спротивен поларитет, затворени во стаклена обвивка исполнета со заштитен гас. Спротивните магнетни полиња од двата елементи ги држат на растојание, па во тој случај се однесува како нормално-отворен прекинувач. Но, доколку постои надворешно магнетно поле, внатрешното поле се губи (се поништува) и прекинувачот се затвора.

Рид релејот се користи на ист начин како и обичните релеи, но има десет пати поголема осетливост.

6.3.2 ОСНОВНИ ПРЕКИНУВАЧКИ КОЛА ВО АЛАРМНИ СИСТЕМИ

Неколку прекинувачки сензорски елементи можат да се употребат за звучна активација на аларм. Доколку прекинувачите се поврзани во сериска врска, звучниот аларм ќе се активира само ако сите прекинувачи се затворени во исто време. Во случај кога прекинувачите се во паралелна врска, звучниот аларм ќе се активира ако еден од прекинувачите е затворен.



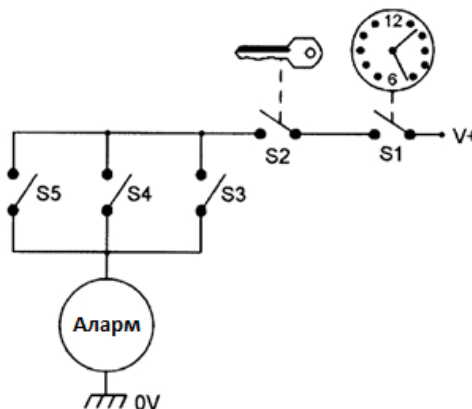
сериско прекинувачко коло за аларм

паралелно прекинувачко коло за аларм

Слика 6.17: Сериско и паралелно прекинувачко коло за активација на аларм

Во повеќето практични изведби на алармни системи се користат комбинирани врски на прекинувачи. На слика 6.18 е даден алармен систем кој се активира со прекинувач со клуч S2 и временски прекинувач S1 во сериска

врска. Откако системот е активиран, звучниот аларм ќе се активира со затворање на кој било од паралелно поврзаните прекинувачи (од S3 до S5).



Слика 6.18: Едноставен алармен систем со комбинирана врска на прекинувачи

6.3.3 ЕЛЕКТРИЧНИ СЕНЗОРИ

Термисторите, за разлика од електромеханичките термостати, немаат појава на магнетен хистерезис. Погодни се за употреба во алармните системи поради нивната прецизност во регистрирање на температурни промени. Се користат заедно со електронско прекинувачко коло кое се активира ако температурата ја надмине вредноста која е нагодена на термисторот. Термисторите, вообичаено, имаат работна температура во опсег од -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$.

Термопарови се формираат со спојување на два различни метали, а притоа се создава термоелектричен напон. Тоа се уреди кои се користат за мерење температура.



Слика 6.19: Видови термопарови

Варисторите се пасивни елементи чија отпорност се менува со промената на светлината, која паѓа на нивната површина. И имаат многу практични примени во безбедносните системи.

Микрофони се акустичко-електрични претворувачи. За примена во електронските системи за заштита мора да имаат мали димензии, но голема осетливост.

6.3.4 ЕЛЕКТРОНСКИ ЕЛЕМЕНТИ НА АЛАРМЕН СИСТЕМ

Секој електронски систем за заштита содржи еден или повеќе сензорски елементи кои генерираат електричен излезен сигнал при регистрација на „опасност“. Тој излезен сигнал се испраќа до процесорската единица. Таа единица ги активира алармните единици или создава електромеханичка реакција или затворање.

Покрај процесорската единица, најважни елементи на секој електронски систем за заштита се сензорските елементи, податочниот линк и единицата за активација на аларм.

Електронскиот алармен систем се состои од контролен уред, тастатура, сензори, сирена и специјални светлосни или вибрациони сигнални уреди, доколку тоа е неопходно.



Слика 6.20: Елементи на алармен систем

Контролниот уред е „мозокот“ на алармниот систем и обично се поставува во ормарче, кое не е на видливо место. При активација на некој сензор, тој го праќа сигналот до контролниот уред. Контролниот уред ја активира звучната

сигнализација и комуникацискиот уред, во случај да располага со таква опција. Контролниот уред безжично го вклучува или го исклучува системот преку уредот за активација. Во него се вклучени и извор за напојување и резервна батерија.

Тастатурата, или уредот за активација, може да се управува со клуч или, најчесто, со дигитална тастатура. Со претходно внесената шифра се активира и деактивира системот. Повеќето тастатури имаат и копче за „паника“ или нумеричка секвенца која го активира алармот и го известува центарот. Ова копче или нумеричка секвенца функционира без разлика дали алармниот систем е вклучен или исклучен.

Сирената е електронски уред кој емитува гласен звук доколку се активира од контролниот уред, односно во случај ако е регистриран упад или доколку е притиснато копчето за паника. Сирената се поставува на видлива или на сокриена позиција.

Светлосната сигнализација, или флеш светлото, може да биде со леќи во различни бои, за индикација на различни појави. Флеш светлото полесно привлекува внимание отколку сирената и овозможува полесна локација на позицијата која го активирала алармот. Флеш светлата обично се користат во комбинација со уред за вибрација или пејџер.

Сензори за врата се магнетни прекинувачи кои го активираат алармниот сигнал кога вратата се отвора, се разбира доколку алармниот систем е вклучен. Истиот вид на сензори (наречени и контакти) можат да се употребат и за прозорците. Прекинувачот се монтира на вратата, а магнетот на рамката од вратата во линија со прекинувачот. На овој начин, прекинувачот се наоѓа во затворена состојба. Кога вратата ќе се отвори, прекинувачот се одвојува од магнетот, односно прекинувачот преминува во отворена состојба, што предизвикува контролниот уред да го активира алармниот сигнал кој сигнализира упад.



Слика 6.21: Магнетни прекинувачи

Сензорите за врата се монтираат на сите влезови (врати) во приземниот дел од објектот или пак, до оние врати до кои може да се пристапи. Од причина што овие сензори постојано ја менуваат состојбата (вратите се користат постојано), како и од причина што се изложени на различни временски услови, тие мора да бидат редовно проверувани со цел нивно правилно функционирање. Нивната периодична замена е неопходна со цел алармниот систем да работи правилно.

Сензорите за стакло, или акустичките сензори се поставуваат за надзор на прозорците, кои може да бидат скршени при упад. Тие се неопходни, особено во простории со повеќе прозорци. Се поставуваат во една единица на неподвижна позиција, насочени кон стаклените површини кои треба да ги заштитуваат. Тие ги регистрираат звуците со високи фреквенции, ги филтрираат и доколку опсегот на фреквенции одговара на кршење стакло, го активираат алармот.



Слика 6.22: Сензор за стакло и негово поставување

Сензорите за вибрација, од друга страна, го регистрираат типичниот бран кој се јавува при кршење на стакло. Ако процесорот го детектира овој бран, алармот се вклучува.

Постојат и т.н. **двојни сензори** - акустични и вибрациски во единствена единица, кои овозможуваат најмалку „лажни“ аларми, бидејќи кај нив се неопходни и двата сигнали за активација на алармот. Се поставуваат на цврста и стабилна позиција.

Сензорите за движење сигнализираат упад во некој простор. Обично се поставуваат на цврста и стабилна позиција или на таван и се нагодуваат за различни голмини на просторот, кој треба да го покриваат.

Има неколку типови на сензори за движење и нивниот избор зависи од просторот кој треба да го заштитуваат. Во повеќето комерцијални услови (простор за живеење) се користат **пасивни инфрацрвени сензори** (познати и

како **PIR**-Passive Infrared). Главата на сензорот обично е поделена на сектори или зони, кои покриваат одредени подрачја.

PIR сензорите ја детектираат промената на термалната радијација која се јавува при влез на некое лице во подрачјето кое тие го покриваат. Тие ги примаат „топлите“ слики преку регистрирање на контрастот меѓу топлата слика и постудената заднина. Кога PIR сензорот ќе ја регистрира промената во радијацијата во однос на претходно нагодената вредност, тој праќа сигнал кон процесорот за евалуација и доколку процесорот одлучи соодветно, се активира алармниот сигнал.



Слика 6.23: PIR сензор

Микробрановите сензори се дизајнирани да го покријат подрачјето со електрично поле и се програмирани да ги препознаваат фреквенциите кои се најблиску до движењето на човекот. При појава на движење кое го нарушува полето, процесорот одлучува врз основа на претходно внесените вредности. Доколку одлучи соодветно, се активира алармниот сигнал.



Слика 6.24: Микробранов сензор

Ултразвучните детектори се сензори на движење кои емитираат ултразвук во подрачјето што го заштитуваат, а регистрираат одреден рефлектиран бран од околината. Доколку постои упад во просторијата, полето на бранот се нарушува и рефлектираниот сигнал ја дава таа информација на сензорот, кој го активира алармот.



Слика 6.25: Ултразвучен сензор и негов принцип на работа

Има и т.н. **двојни детектори**: PIR/микробранови и PIR/ултразвучни, кои користат комбинација на сензори заради намалување на бројот на „лажни“ аларми, бидејќи за активација на алармот е неопходно до процесорот да пристигнат сигнали и од термалната промена и од движењето.

Фотоелектричните детектори (наречени бимови) имаат широка употреба во објекти од типот: гаражи, магацини, училишта или канцеларии. Системот се состои од предавател кој користи LED диода и приемник кој користи фотоелектрична ќелија.



Слика 6.26: Фотоелектрични детектори

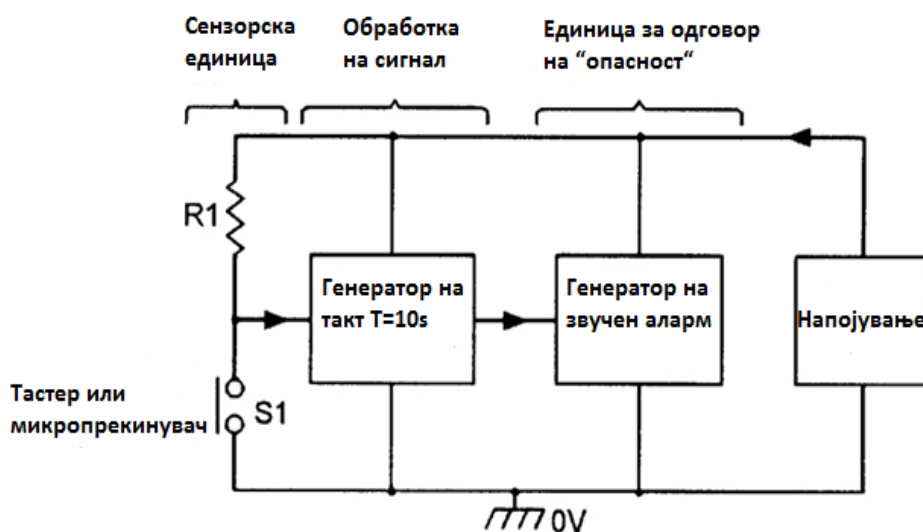
Светлината од предавателот до приемникот формира „мрежа“, која доколку биде прекината, односно приемникот не може да прими барем 90% од светлината од предавателот во одреден период на време, се активира алармот. Овие системи бараат редовно одржување.

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Алармен систем е систем кој содржи електронски, електрични и електромеханички елементи и обезбедува одреден степен на заштита од една или повеќе опасности или закани.
- Сензорските единици генерираат електричен одговор кон процесорската единица при регистрација на опасност.

- Прекинувачите се наједноставни и најшироко применувани електромеханички сензори.
- Термостатите се прекинувачи кои се активираат со температурата и обично се изработуваат со биметал.
- Прекинувачи со клуч се електрични прекинувачи кои се деактивираат со поставување клуч во лежиштето на механизмот.
- Временски прекинувачи се прекинувачи чија состојба (отворена или затворена) се управува со времето.
- Рид прекинувачи се најупотребувани електромеханички сензорски елементи, кои се активираат во соодветно магнетно поле.
- Електрични сензори во алармни системи се термистори, термопарови, варистори и микрофони.
- Електронскиот алармен систем се состои од контролен уред, тастатура, сензори, сирена и специјални светлосни или вибрациони сигнални уреди.
- Сензори за врата и прозорци се магнетни прекинувачи кои го активираат алармниот сигнал кога вратата или прозорецот се отвора.
- Сензори за движење се PIR сензори, микробранови сензори, ултразвучни и фотоелектрични детектори.

6.3.5 ЕЛЕКТРОНСКО СВОНЧЕ

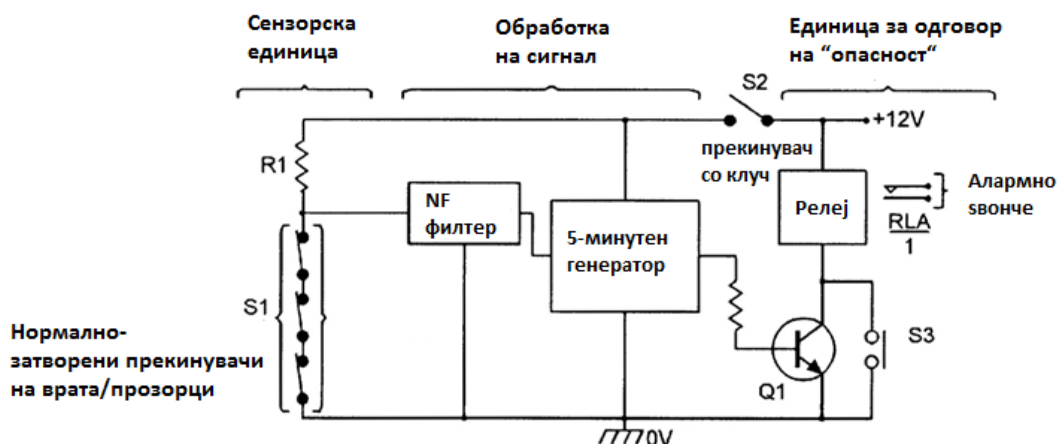


Слика 6.27: Електронско свонче или сигнализација за влез во продавница

Без разлика како ќе се користи, како електронско свонче или како сигнализација за влез во просторија (продавница), колото функционира на истиот принцип. Кога прекинувачот S1 ќе се затвори, тој го активира генераторот на такт, кој по 10s го вклучува генераторот на звучен аларм. Активноста на звучниот аларм се повторува сè додека прекинувачот S1 е затворен.

6.3.6 ДОМАШЕН АЛАРМЕН СИСТЕМ

Алармниот систем се активира со прекинувачот S2 со клуч, а S1 сензорите се состојат од одреден број нормално-затворени прекинувачи (обично рид или магнетни прекинувачи), поврзани во сервиска врска и со вратата или прозорецот, кои се заштитуваат. Прекинувачот S1 се отвора при отварање на вратата или прозорецот или при нивното кршење.



Слика 6.28: Едноставен домашен алармен систем

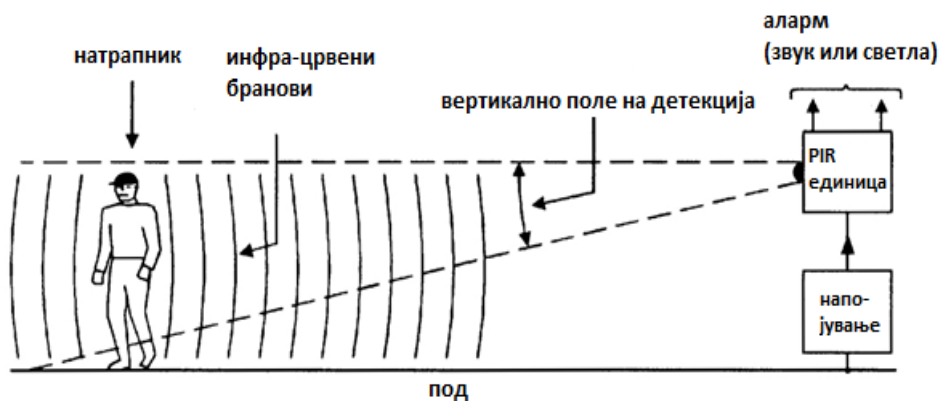
Ниско-пропусниот филтер го активира генераторот на такт со задоцнување од 200ms, а тој го вклучува релејот преку транзисторот Q1. Релејот, преку своите контакти, го активира алармното свонче.

Од моментот на активација, алармното свонче ќе се исклучи по истек на 5-минутниот временски период, или, пак, се исклучува со S2 прекинувачот со клуч.

Тестирањето на алармот може да се изврши со S2 прекинувачот со клуч или без него, преку притискање на прекинувачот S3, кој директно го затвора релејот.

6.3.7 СИСТЕМ ЗА ДЕТЕКЦИЈА НА ДВИЖЕЊЕ СО PIR СЕНЗОРИ

На слика 6.29 е прикажан модерен систем за детекција на движење со пасивен инфрацрвен PIR сензор, кој може да се користи автоматски со огласување на аларм или со вклучувања на светла, при регистрација на влез во подрачјето кое е покриено со инфра-црвени зраци. PIR сензорите вообичаено имаат максимален домет од 12 m, вертикален агол од 15° и хоризонтален агол од 90° до 180°.



Слика 6.29: Детекција на движење со PIR сензори

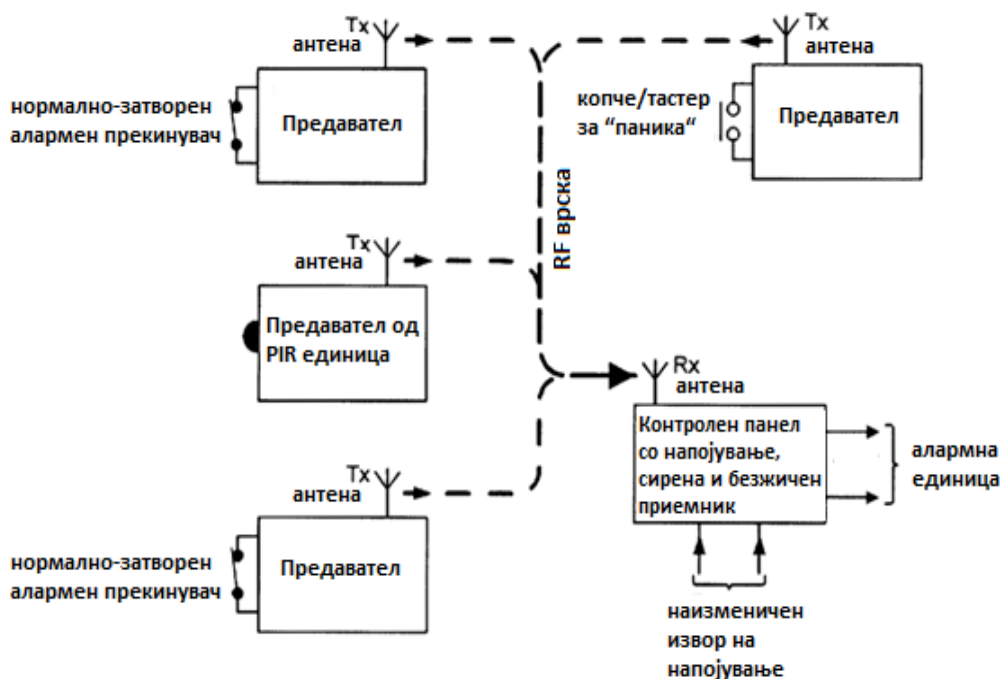
PIR единицата детектира и мали инфрацрвени радијации, генерирани од човековото тело, но реагира со аларм само кога изворот на топлина навлегува длабоко во полето на детекција. Повеќето сензори се отпорни на „лажни“ аларми, некогаш вклучуваат и надворешен нормално-затворен релеј, кој се отвора при детекција на натрапник или доколку напојувањето откаже или пак е отстрането. Ваквите единици мора да имаат батерија од 12 V и работат со струи од 20 mA. PIR единиците имаат многу широка примена во безбедносните системи.

6.3.8 БЕЗЖИЧЕН АЛАРМЕН СИСТЕМ

Центар на безжичниот алармен систем е контролниот панел (уред), во кој се сместени безжичен приемник со декодер и контролна логика, како и моќна мини-сирена. Неговиот излез може да ја активира сирената или светлосната сигнализација.

Детекторските елементи (сензорите) имаат мал RF (радио-фреквентен) предавател и антена за испраќање кодиран сигнал во услови на опасност. Сите

сензори се обезбедени со батерија, која е, најчесто, со животен век од шест месеци.



Слика 6.30: Безжичен алармен систем

Повеќето домашни алармни системи може да се користат за набљудување на четири до шест зони (подрачја) со соодветни сензорски елементи. Најчесто се користат три типа сензорски елементи:

- **Контактни прекинувачи** – праќаат сигнал кога еден или повеќе сервиски поврзани нормално-затворени прекинувачи ќе се отворат; покриваат простории со секаква големина;
- **PIR** – праќаат сигнал кога постои движење од човек во полето кое го покриваат; покриваат подрачја со ограничена големина;
- **Тастери за „паника“** – праќаат сигнал кога е притиснато соодветното копче и се користат за заштита од неочекуван физички напад или закана; функционираат само ако е во домет на комуникацискиот опсег на приемникот од контролниот панел.

Сите овие сензорски елементи, исто така, праќаат сигнали кон контролниот панел, како предупредување за откажување на батеријата, за постоење интерференција итн.

6. 4 БЕЗБЕДНОСНИ СИСТЕМИ

Безбедносните системи се состојат од мерки кои организацијата ги превзема за заштита на сопственоста, животот, материјалите и просторот од пожар, штета, неовластен влез, кражба и какви било други нечесни, илегални или криминални активности. Архитектите и инженерите задаваат решенија кои се ефикасни, но и исплатливи. Тие решенија се однесуваат на вработените, клиентите и на другите корисници на објектот.

Постојат различни безбедносни системи и технолошки решенија:

- CCTV системи за видео надзор
- Системи за контрола на пристап
- Алармни системи
- Против – пожарни системи

Секако, возможно е и сите овие решенија да се имплементираат во еден **интегриран безбедносен систем**.

6.4.1 ВИДЕО-НАДЗОР

Видео надзор или **CCTV** (Closed-circuit television) е употреба на видео-камери за покривање на одредено подрачје, кои го предаваат сигналот кон одредена локација и го прикажуваат на одреден број монитори. CCTV се разликува од дифузната телевизија, во тоа што сигналот не се пренесува за неопределен број на корисници, туку само од точка-до-точка или од точка-до-повеќе точки, преку употреба на жичени водови или безжично.

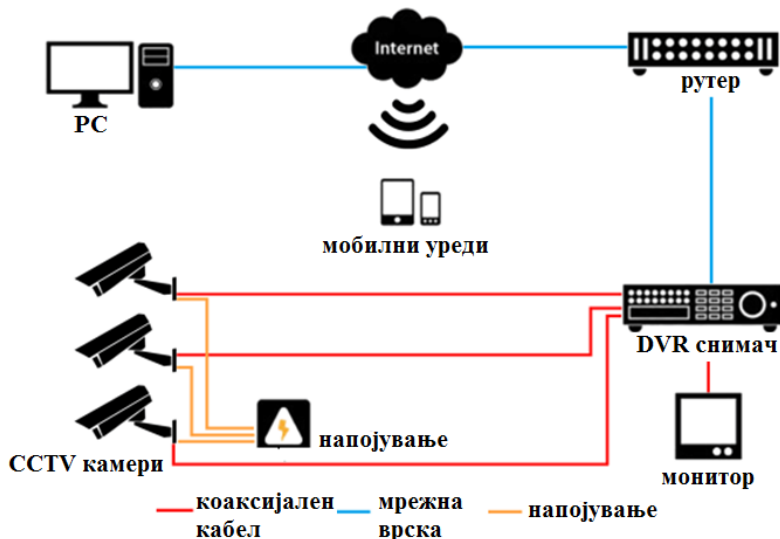
Целта на овој систем е да обезбеди надзор заради заштита на луѓе, добра и системи. Се користи главно како безбедносен систем, обезбедувајќи надзор над поголемо подрачје без временско ограничување, што не е возможно да се реализира од човечкиот фактор.

Се користат за обезбедување објекти - продавници, супермаркети, магацини, видео-надзор на јавни простори за превенција и решавање на криминал, мониторинг на сообраќај, спортски настани, во училиштата, домовите итн.

Задача на системот за видео-надзор е да ги пронајде, да ги обработи и да ги зачува податоците кои се однесуваат на безбедноста на просторот, кој

системот го покрива. Често, системот за видео-надзор се користи како дополнително средство, односно, користи видео-покривање на подрачјето во комбинација со алармен систем или систем за контрола на пристап.

Системот за видео-надзор го сочинуваат една или повеќе камери поврзани во мрежа, преку која видео и аудио-информациите се испраќаат до одредена централна позиција. Информациите не се јавно достапни. Тие можат да бидат само набљудувани или зачувани на одреден медиум за чување на податоци.



Слика 6.31: Видео-надзор со аналогни камери



Слика 6.32: Видео-надзор со дигитални (IP-Internet Protocol) камери

Системите за видео-надзор имаат повеќе компоненти, во зависност од задачата која треба да ја извршуваат. Нивни главни компоненти се:

- Камери;
- Леќи;
- Пренос на податоци;
- Напојување;
- Осветление.

6.4.1.1 СОФТВЕР ЗА ВИДЕО-НАДЗОР

Со оглед на целите на системите за заштита и напредокот во технолошкиот развој на нивните компоненти, тие денес се неминовност. Нивното дизајнирање вклучува одредени пресметки и параметри, кои се користат при избор на компоненти со соодветни карактеристики.

Основни параметри за дизајнирање систем за видео-надзор се: леќи на камерите, длабочина на поле, агол на покривање, параметри за идентификација на лица, капацитет на податоци, пад на напон по должина на линијата, простор (медиум) за складирање на податоците и брзина и проток на интернет линијата, за да може да ги опслужи сите приклучени камери.

За извршување на пресметките се користат софтверски алатки. Тие, освен за пресметка на параметрите на компонентите од системот, се користат и за моделирање на објекти. Постојат **он – лајн алатки** кои се отворени за јавноста, а се поставени од производителите на компонентите. Но, постојат и **професионални софтверски алатки**, кои мора да се инсталираат на локален сметач пред нивна употреба.

6.4.1.2 ОН-ЛАЈН СОФТВЕРСКИ АЛАТКИ ЗА ДИЗАЈНИРАЊЕ НА ССТВ БЕЗБЕДНОСЕН СИСТЕМ

За дефинирање на параметрите на поединечните компоненти од безбедносниот систем може да се употребат следните бесплатни он – лајн алатки:

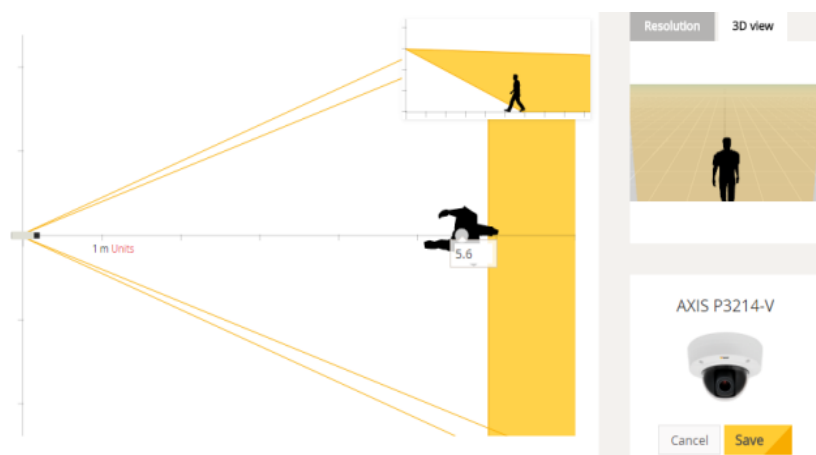
Калкулатор за фокусна должина на леќа – За да се обезбеди одреден квалитет на слика и да се пресмета фокусната должина на леќата од камерата, во калкулаторот се внесуваат следните параметри: резолуција (број на пиксели на

метар должина), ширина и висина на видното поле и растојанието од леќата. Можна е и обратната постапка, да се внесе фокусната должина, а да се пресметаат сите гореспоменати параметри.

Слика 6.33: Калкулатор на фокусна должина на леќа

Дизајнер на безбедносен систем – Со оваа алатка се дизајнира CCTV систем. Овозможува додавање камери, опрема за снимање, дополнителни елементи или мрежни елементи од неговата листа со компоненти. За секоја додадена компонента постои можност да се специфицираат нејзините параметри.

Овој дизајнер, на пример, овозможува да се види „погледот“ од камерата: нејзиниот агол, висина и растојание од набљудуваниот објект или лице. Може да произведе и фотографија, со цел да се провери нејзиниот квалитет за внесените параметри. Се пресметува и големината на фотографијата, па соодветно се избира и уред за снимање, но се пресметува и капацитетот на медиумот за складирање на информациите.



Слика 6.34: Дизајнер на безбедносен систем

Калкулатор за капацитет на хард диск (HDD) – По внесување на сите параметри на системот, калкулаторот го пресметува неопходниот капацитет на хард драјвот за зачувување на снимките од камерите. Неопходни се следните параметри: резолуција на камерите, честотата (фреквенцијата) на фотографии, бројот на камери и временскиот период за снимање.

Калкулатор за пад на напон – Го пресметува падот на напонот по должина на линијата за пренос на сигналите и податоците. Неопходно е да се внесат вредностите за напонот на изворот за напојување, струјата, должината на кабелот и слабеењето на метар должина за наведениот вид на кабел во соодветните полиња (слика 6.35) и со притискање на копчето Calculate Voltage Drop се добива падот на напонот.

Initial Voltage	AC / DC	Current (Amps)	Cable Length (ft)	Cable Gauge
12 Volt	DC	.5	100	18

Calculate Voltage Drop

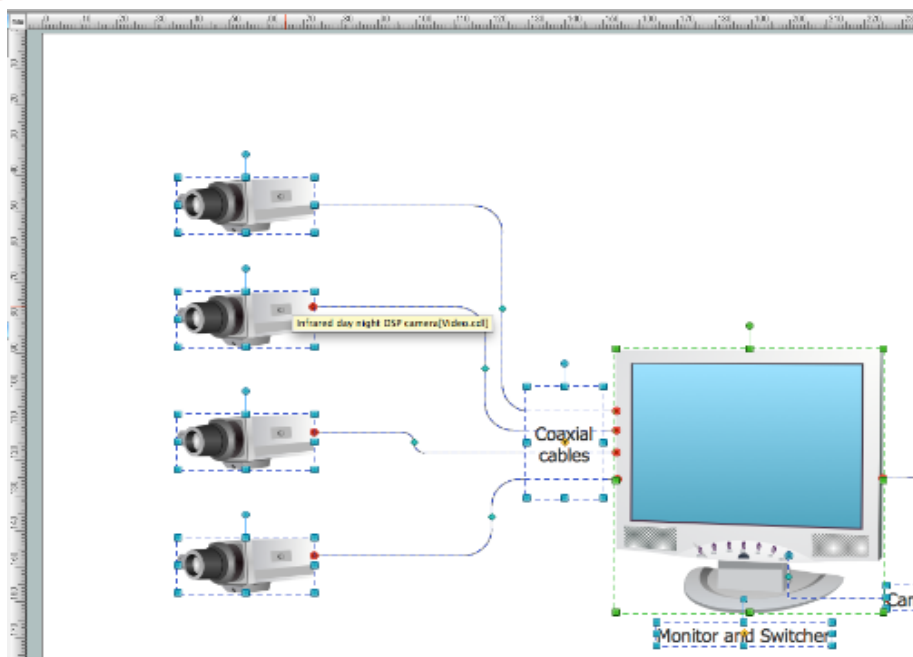
Total Voltage Drop = 0.64
Voltage at Camera = 11.36 Volts

Слика 6.35: Калкулатор за пад на напон

Калкулатор за поддршка со Гугл мапи (GM-Google Maps) – Оваа алатка овозможува прикажување на видното подрачје од камерата на мапа и квалитетот на нејзината фотографија. Ги користи информациите и пресметките од Гугл мапите врз основа на внесените параметри, а камерата може да биде поставена каде било во светот.

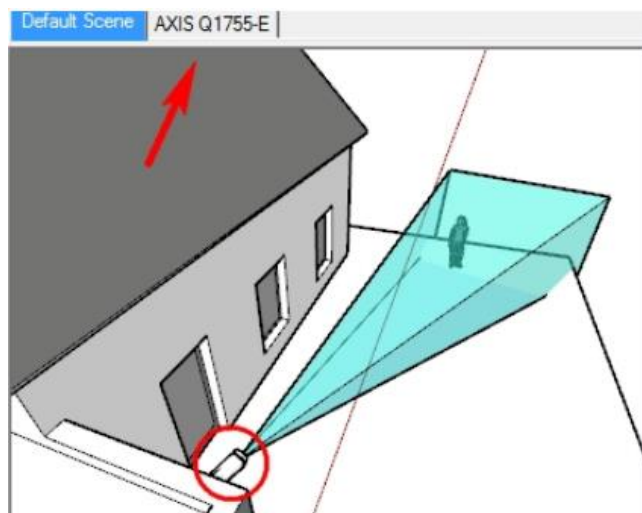
6.4.1.3 КОМПЈУТЕРСКИ СОФТВЕР ЗА ДИЗАЈНИРАЊЕ БЕЗБЕДНОСЕН СИСТЕМ

Microsoft Visio е едноставна 2Д алатка, која може да креира CCTV систем за заштита. Програмата вклучува однапред дефинирани блокови, но во нив може да се вклучат и дополнителни елементи од библиотеката, која е на располагање. Блоковите се меѓусебно поврзани со точки за поврзување. Податоците од поединечните блокови можат да се поврзат со останатите MS програми, како што се MS Excel или MS SQL. Алатката Microsoft Visio е достапна и он-лајн.



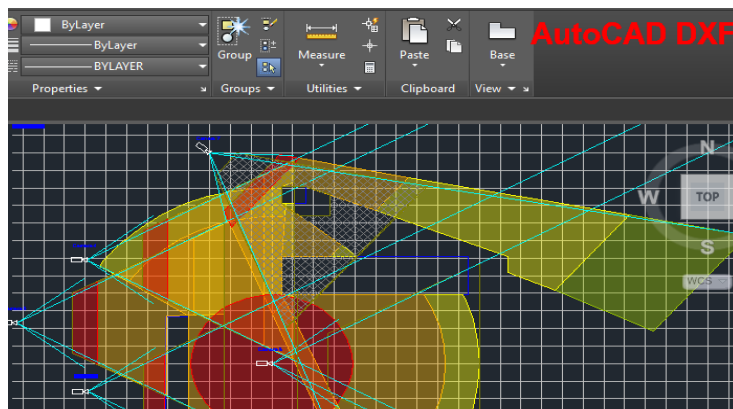
Слика 6.36: Работна површина во Microsoft Visio

SketchUp е програма за 3Д моделирање и овозможува моделирање на какви било предмети од ентериерот или за целиот објект. Цртањето е полесно отколку во професионалниот софтвер CAD. Оваа алатка има голема библиотека, со голем број на објекти – мебел, дрва, опрема итн. Креираните модели можат да се пренесат во многу други програми, но и во CAD системи.



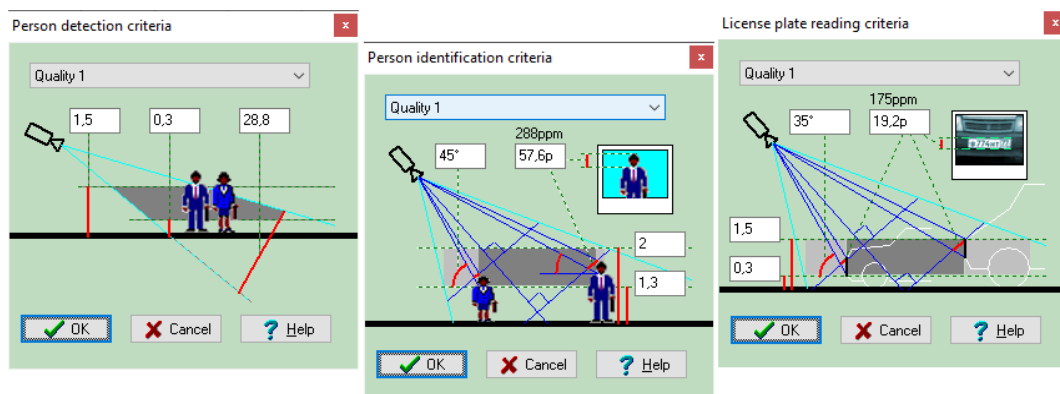
Слика 6.37: SketchUp

AutoCAD е професионален софтвер кој поддржува 2Д и 3Д моделирање. За CCTV системите се користи 2Д моделирање. Главно се користи за поставување на локациите за каблите и компонентите на системот. Овде може да се употреби и опцијата за мерење растојание, заради пресметка на вкупната должина на кабел во безбедносниот систем.



Слика 6.38: Надзор во AutoCad

CCTVCAD е софтвер за дизајнирање на CCTV систем со вклучени пресметки, кои се неопходни за избор на соодветни компоненти за системот. Тој може да пресметува фокусна должина на леќа за камерите, агол на видното поле, да одредува параметри за детекција и идентификација на лица, читање на регистерски таблички на возила. Може да пресметува и длабочина на полето, пад на напонот, како и неопходната осветленост на просторот кој го заштитува.

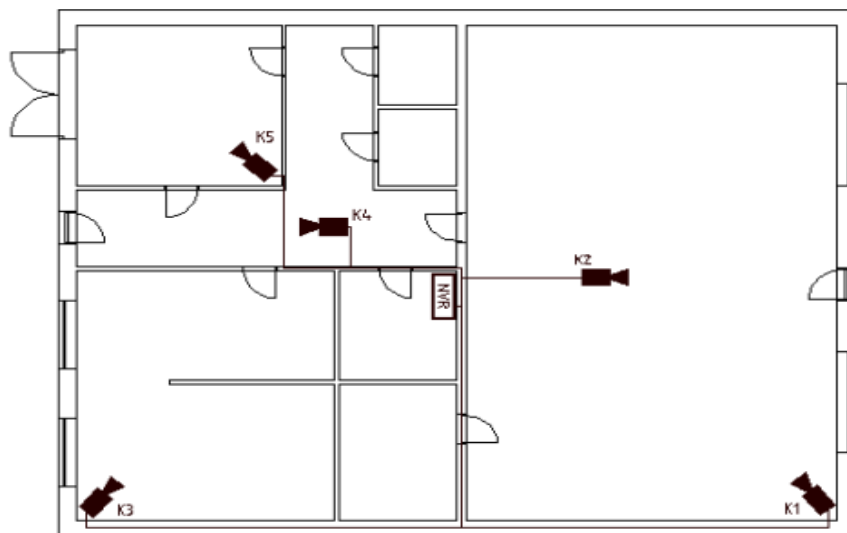


Слика 6.39: Пресметки на димензии во хоризонтална проекција за детекција и идентификација на луѓе и читање на регистерски таблички на возила во CCTVCAD

Во CCTVCAD програмата може да се врши 2Д и 3Д моделирање.

6.4.1.4 КОНФИГУРИРАЊЕ И ДИЗАЈНИРАЊЕ НА ССТV БЕЗБЕДНОСЕН СИСТЕМ

JVSG е професионален софтвер за дизајнирање на ССТV систем за видео-надзор, па начинот на конфигурирање на софтверот неопходен за еден ССТV систем ќе го објасниме преку неговите фази за изработка.



Слика 6.40: Изглед на објекти дизајнирани во JVSG околина

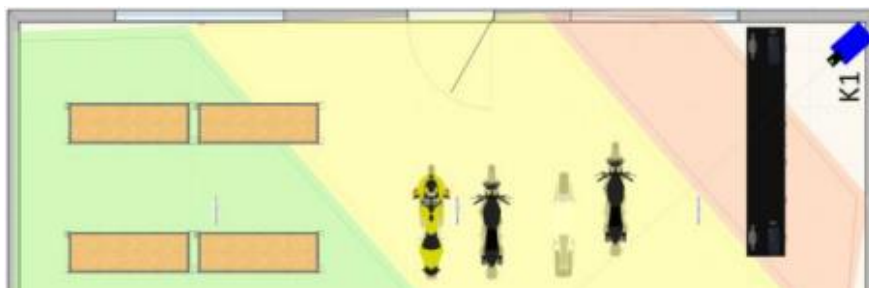
Потребно е да се познаваат димензиите и распоредот на објектите во просторот за кој се дизајнира безбедносен систем. Објектите, кои се креираат во AutoCAD, се внесуваат како позадина врз која се врши моделирањето во оваа програма.



Слика 6.41: Модел на просторија дизајнирана во JVSG околина

Конфигурирање на CCTV се врши според следниот редослед:

1. **Избор на камери и нивна локација во JVSG студио** – Доколку, на пример, за видео надзор се потребни пет IP (дигитални) камери (K1 до K5 од слика 6.40), и тие треба да се поврзат со NVR (Network Video Recording) снимач во ормарче во контролната просторија, поврзувањето се врши со помош на кабел од впредени парици. Се дефинираат локациите за поставување на камерите, според елементите од просторијата, кои треба да се заштитат. Сите камери во своите порти имаат конектор за напојување, па не е потребно посебно напојување за секоја камера.



Слика 6.42: Локација на камера K1

Карактеристиките на камерите се одредуваат врз основа на симулацијата во JSVG околина, која овозможува преглед на „погледот“ од камерата.



Слика 6.43: “Поглед“ од Камера K1 за дадениот модел

2. **NVR снимачот** е поставен во посебна просторија и е обезбеден во случај на прекин на напојување. Во истата просторија е и контролниот панел за алармниот систем, па и овој простор се обезбедува со PIR сензор за движење.

Капацитетот за снимање на NVR снимачот се одредува според бројот на камери (пет) и според честотата на фотографиите во единица време (1s). Снимачот може да се приклучи на интернет мрежа преку WAN (Wide Area Network) порта.

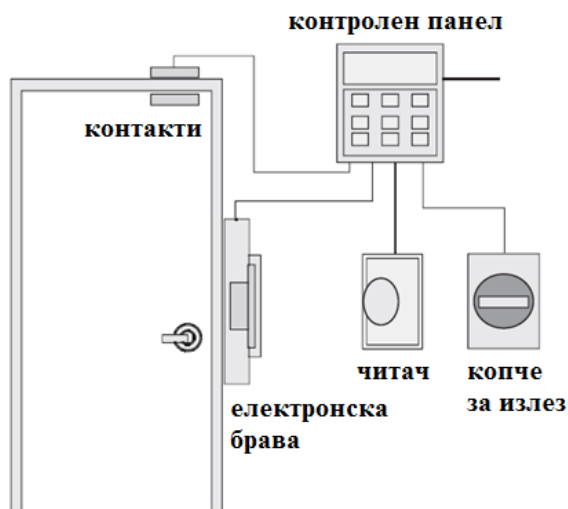
3. **Хард-драјв** е медиум за архивирање на снимените материјали и може да се нагоди за снимање во определен временски период (на пример, последните четири дена, односно 96 часови).

Со пресметка се определува дека хард-драјв со капацитет од 500GB е доволен за претходно поставените параметри. Еден од тие параметри е и дека камерите снимаат со максимален квалитет, само доколку сензорите детектираат движење во нивното видно поле. Во спротивно, тие снимаат со ниска резолуција.

6.4.2 СИСТЕМИ ЗА КОНТРОЛА НА ПРИСТАП

Задача на системите за контрола на пристап е да дозволат или да одбијат пристап за одредени лица во заштитуваниот простор. Просторот може да биде една просторија или целиот објект. Воедно, се врши и контрола и архивирање на пристапот на лицата за кои тој е одобрен.

Контролата на пристап се постигнува со употреба на механички елементи, како што се брави и клучеви или со напредни технолошки решенија.



Слика 6.44: Основни елементи и конфигурација на систем со електронска брава

Едно такво решение е **електричната или електронската брџа**. Може да биде монтирана директно на вратата, во комбинација со електронски контролен панел на самата брџа. Многу почесто решение е електронската брџа да е поврзана на систем за контрола на пристап. Постојат различни изведби, зависно од примената – паркинзи, јавен транспорт, градилишта итн.

Системот за контрола на пристап може да биде изведен со употреба на:

- Шифра (PIN)
- Картичка
- Биометриски карактеристики.

6.4.3 ПРОТИВ-ПОЖАРНИ АЛАРМНИ СИСТЕМИ

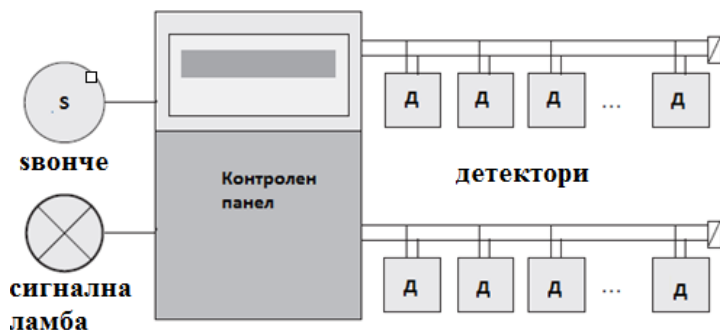
Функција на против – пожарниот алармен систем е да детектира присуство на пожар во просторот кој го заштитува. Системот може да се активира автоматски, рачно или комбинирано. Целта на против – пожарните алармни системи е да ги известат луѓето во објектот за потребата од евакуација во случај на пожар или друг итен случај, да ја извести против – пожарната служба за итна помош и да ги активира останатите поврзани системи со цел спречување на оганот и чадот.

За да се исполнат целите и функцијата на против – пожарните алармни системи, основно правилно е да се изберат и да се постават соодветни детектори.

6.4.3.1 ДЕТЕКТОРИ ЗА ПОЖАР

Алармот за пожар може да се активира рачно или автоматски.

- **Рачното управување** подразбира активирање на соодветни прекинувачи кои се заштитени со стакло, а ги активираат лицата кои го забележале чадот или огнот.
- **Автоматското активирање** подразбира употреба на детектори: топлински, детектори на чад и детектори на оган. Различниот вид на детектори има различна брзина и толеранција за детекција. За подобра заштита се користи комбинација од детектори.



Слика 6.45: Контролен панел со детектори и сигнализација

Топлинските детектори работат на принцип на детекција на промената во амбиенталната температура. Во случај да настане нејзино зголемување над претходно дефиниран праг на детекција, алармниот сигнал ќе се активира.



Слика 6.46: Топлински детектор

Детекторите на чад работат на принцип на детекција на чад во амбиентот и праќаат соодветен сигнал до алармниот систем. Имаат различни механизми и дизајни, но вообичаени се: јонизациските, фотоелектричните и карбон моноксид/карбон диоксид детекторите. Фотоелектричните детектори се, всушност, светлосни сензори. Тие содржат и светлосен извор (инфрацрвена LED диода) и леќа за концентрација на светлината во светлински сноп кон светлосниот сензор. Во отсуство на чад, светлинскиот сноп се движи во права линија, но во присуство на чад светлинскиот сноп се шири и го вклучува алармниот систем.



Слика 6.47: Фотоелектричен детектор на чад

Детекторите на оган директно вршат детекција на огнот со употреба на оптички сензори. Вообичаени детектори на оган се UV (ултравиолетови) детектори, IR (инфрацрвени) детектори и комбинираните UV/IR детектори.



UV детектор

UV/IR детектор

IR детектор

Слика 6.48: Детектори на оган

НЕ ЗАБОРАВИ ДЕКА..!

- Цели на безбедносните системи се заштита на сопственоста, животот, материјалите и просторот од пожар, штета, неовластен влез, кражба и какви било други нечесни, илегални или криминални активности.
- Видео надзор или CCTV е употреба на видео камери за покривање на одредено подрачје.
- Задача на системот за видео надзор е да ги пронајде, да ги обработи и да ги зачува податоците за безбедност на просторот.
- Информациите од системот за видео надзор не се јавно достапни.
- Основни параметри за дизајнирање систем за видео надзор се: леќи на камери, длабочина на поле, агол на покривање, параметри за идентификација на лица, капацитет на податоци, пад на напон, медиум за складирање на податоци, брзина и проток на интернет линија.
- Постојат он-лајн софтверски алатки и компјутерски софтвер за дизајнирање систем за видео надзор.
- За дизајнирање софтвер за видео-надзор е потребно да се познаваат димензиите и распоредот на објектите во просторот.
- Хард драјв е медиум за архивирање снимени материјали од видео надзор.
- Задача на системите за контрола на пристап е да дозволат или да одбијат пристап за одредени лица во заштитуваниот простор.
- Против-пожарниот алармен систем има задача да детектира присуство на пожар во просторот кој го заштитува.

Прашања за утврдување на знаењата од модуларна единица 6



1. Што е електронски склоп?
2. Што е електронски уред?
3. Каква задача имаат засилувачките кола?
4. Колку влезови има операцискиот засилувач?
5. Што е генераторско коло?
6. Какви видови осцилатори постојат?
7. Што се мултивибратори?
8. Кој вид на мултивибратор работи и како генераторско коло?
9. Каква функција имаат претворувачите?
10. Какво претворање вршат AC/DC претворувачите?
11. Кои претворувачи се наречени чопери?
12. Кои претворувачи го регулираат наизменичниот напон?
13. Кои претворувачи се нарекуваат инвертори?
14. Зошто UPS-от се нарекува уред за непрекинато напојување?
15. Каква задача има алармниот систем?
16. Кои се основните елементи на еден алармен систем?
17. Кои електромеханички сензори се применуваат во алармните системи?
18. Кои елементи се користат како електрични сензори?
19. Со какви врски на прекинувачки елементи може да се реализира звучен аларм?
20. Што е уред за активација на алармен систем?
21. Кои сензори се користат како сензори на движење?
22. Каков вид на прекинувачи се сензорите за врата и прозорци?
23. Што подразбира безбедносен систем?
24. Што е видео надзор?
25. Кои се елементите на систем за видео надзор?
26. Каков вид на камери постојат?
27. Какви софтверски алатки постојат за дизајнирање на систем за видео надзор?
28. Што се подразбира под конфигурирање на систем за видео надзор?
29. Што е хард-драјв во видео надзор?
30. Каде се монтира електронската брава?
31. Каква е функцијата на против-пожарните алармни системи?
32. Какви сензори користат детекторите на оган?

ТЕМАТСКО УТВРДУВАЊЕ

I Прашања со заокружување (Заокружи ги точните одговори)



1. Управувани насочувачи се:
 - A. AC во DC-претворувачи
 - B. AC во AC-претворувачи
 - V. DC во DC-претворувачи
 - Г. DC во AC-претворувачи

2. Рид прекинувачи се:
 - A. електрични сензори
 - B. елекромеханички сензори
 - V. електронски сензори

3. Микробрановите сензори во алармен систем се сензори за:
 - A. врата
 - B. звук
 - V. движење

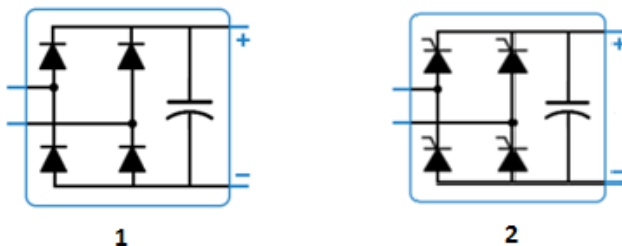
4. Снимените материјали од видео надзор се зачувуваат на:
 - A. флеш меморија
 - B. хард драјв
 - V. диск

5. Фотоелектричните детектори на чад се:
 - A. магнетни сензори
 - B. инфрацрвени детектори
 - V. светлосни сензори
 - Г. ултравиолетови сензори

6. Инфрацрвените детектори се користат за детекција на:
 - A. чад
 - B. кршење прозорец
 - V. оган

II Прашања со поврзување

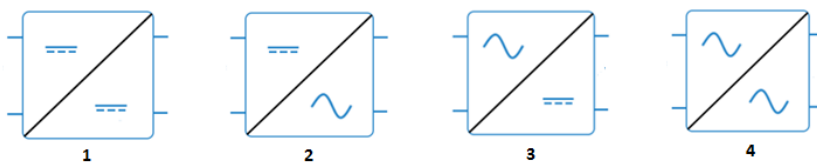
7. Поврзи ги графичките симболи со соодветните електронски склопови:



AC/DC-претворувач _____

Диоден насочувач _____

8. Поврзи ги графичките симболи со соодветните електронски склопови:



AC/AC-претворувач _____

DC/DC-претворувач _____

DC/AC-претворувач _____

AC/DC-претворувач _____

9. Поврзи ги сликите со соодветните сензори:



1



2



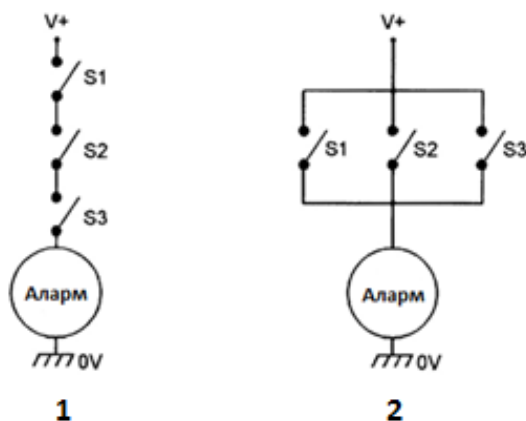
3

Ултразвучен сензор _____

Фотоелектричен сензор _____

Сензор за врата _____

10. Поврзи ги колата со соодветните врски:



Паралелно прекинувачко коло _____

Сериско прекинувачко коло _____

III Прашања со дополнување

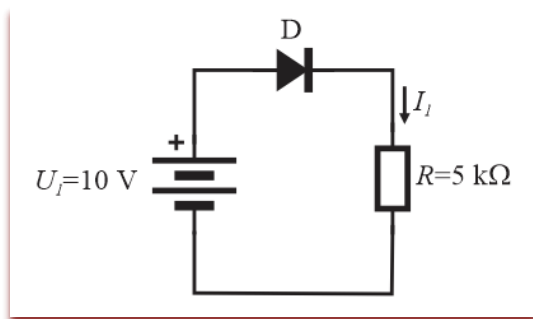
11. Електронските уреди се составени од _____.
12. Осцилаторите за синусен напон се нарекуваат _____, а за несинусен напон се нарекуваат _____.
13. Мултивибраторите се склопови со _____ различни состојби.
14. АС/АС-претворувачите претвораат од _____ напон во _____ напон.
15. DC/DC-претворувачите го менуваат _____ на напон.
16. Електронскиот алармен систем покрај електронски склопови и уреди, користи и елементи од _____ и _____ вид.
17. Прекинувачите на притисок се однесуваат како _____ прекинувач.
18. Временски прекинувачи се прекинувачи чија состојба се управува со _____.
19. Микрофони се _____ претворувачи.

20. Контролниот уред (панел) е _____ на алармниот систем.
21. Сирена е електронски уред кој емитува _____.
22. Сензорите за стакло се _____ сензори.
23. PIR сензорите детектираат промена на _____ радијација.
24. Фотоелектричните детектори се сензори за _____.
25. Системот за видео-надзор е познат под краткиот назив _____.
26. Системот за контрола на пристап може да се изведе со шифра, картичка и со _____.
27. Рачно активирање на аларм за пожар се врши со _____.
28. Топлинските детектори регистрираат промена на _____.

ЗАДАЧИ и решени примери

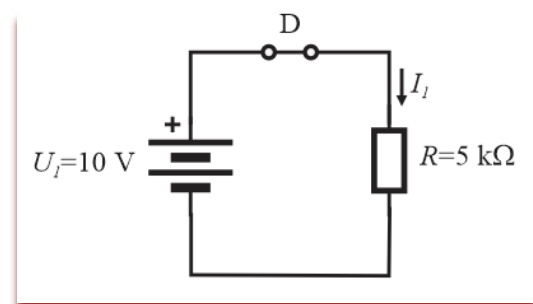
Задачи

1. Пресметај ја јачината на струјата I_1 во диодното коло дадено на сликата, како и падот на напон на краевите на диодата **D** и отпорноста на отпорникот **R** земајќи ја диодата како идеална (да се примени модел на диодата како прекинувач).



Решение:

Прво се дефинира поларизацијата на диодата. Анодата на диодата е приклучена на позитивниот пол на изворот, диодата е директно поларизирана. Земајќи предвид дека диодата е идеална, во колото ќе ја замениме со затворен прекинувач.

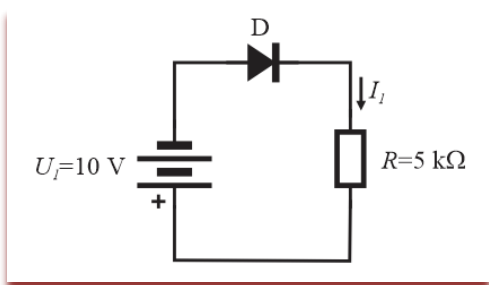


Струјата низ отпорникот, според Омовиот закон, се пресметува со релацијата:

$$I_1 = \frac{U_1}{R} = \frac{10 \text{ V}}{5 \cdot 10^3 \Omega} = 2 \text{ mA}$$

Поради кусата врска на диодата, $U_D=0$, напонот на отпорникот ќе биде еднаков со паралелно приклучениот извор, односно, кој може и да се пресмета според:

$$U_R = R \cdot I_1 = 5 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 10 \text{ V}$$



2. Пресметај ја струјата во диодното коло дадено на сликата, како и падот на напон на диодата и отпорникот земајќи ја диодата како идеална (да се примени модел на диодата како прекинувач).

Решение:

Диодата е инверзно поларизирана, таа се заменува со отворен прекинувач.

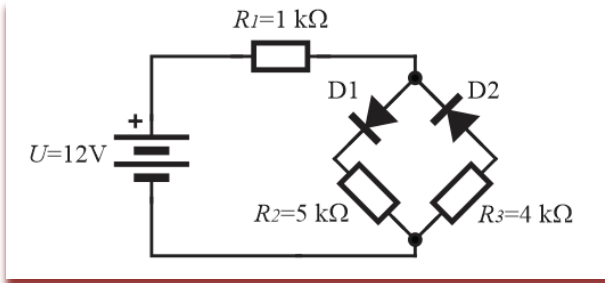
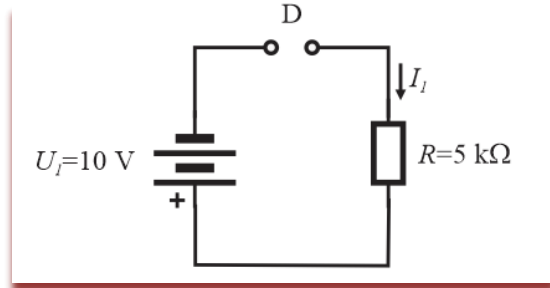
Во колото не протекнува струја, $I_I = 0$.

За падот на напонот на отпорникот R се добива:

$$U_R = R \cdot I_1 = 5 \cdot 10^3 \cdot 0 = 0 \text{ V}$$

додека напонот на краевите на диодата се одредува според:

$$U_D = -U = -10 \text{ V}$$



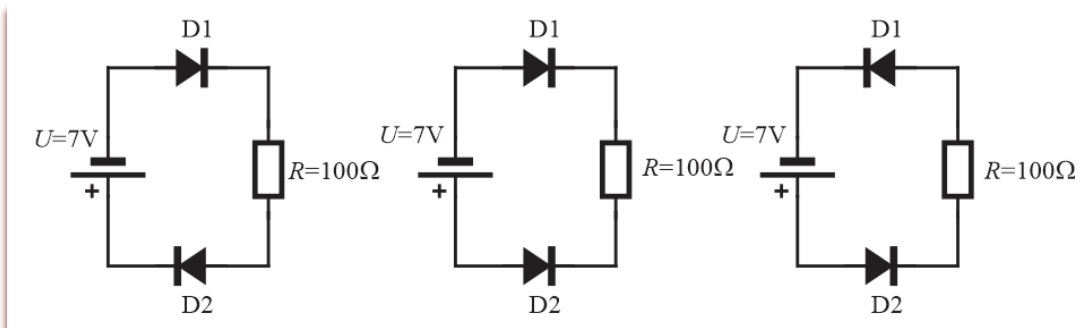
3. На даденото коло од сликата да се пресметаат струите низ диодите D_1 и D_2 (да се примени модел на диодата како прекинувач).

Решение:

Диодата D_1 – директно поларизирана $I_{D1} = 2 \text{ mA}$

Диодата D_2 – инверзно поларизирана, $I_{D2} = 0 \text{ A}$

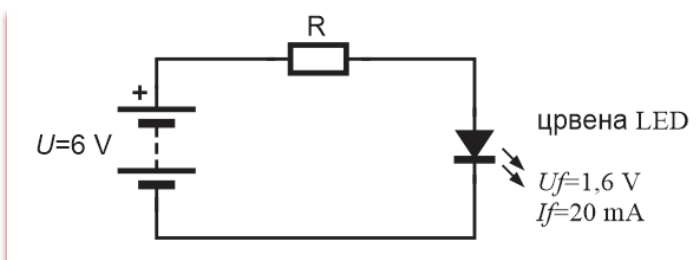
4. Да се пресмета струјата низ отпорникот R за секое коло прикажано на сликата, под претпоставка дека диодите D_1 и D_2 се идеални диоди.



Решение: $I_1 = 0, I_2 = 0, I_3 = 70 \text{ mA}$

Задачи

5. Да се пресмета вредноста на отпорникот R и моќноста која се развива на него, приклучен сериски со црвена LED диода на еднонасочен извор на напон од 6 V .



Решение:

Според начинот на поврзување на диодата со изворот $U=6\text{ V}$ се заклучува дека таа е директно поларизирана. Според каталожки податоци за LED диоди, при струја од 20 mA , напонот на спроведување на црвена LED диода изнесува $1,8\text{ V}$. ($I=I_f$, $U_D=U_f$)

Падот на напонот на отпорникот се пресметува со следната релација:

$$U - U_D - U_R = 0 \quad U_R = U - U_D = 6 - 1,8 = 4,2\text{ V}$$

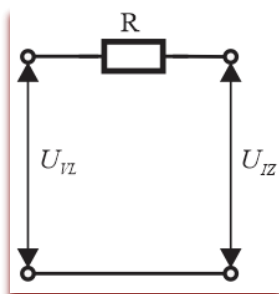
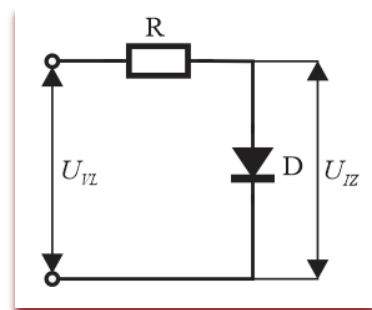
додека неговата отпорност се одредува според изразот:

$$R = \frac{U_R}{I} = \frac{4,2}{20 \cdot 10^{-3}} = 210\ \Omega$$

За моќноста на отпорникот се добива:

$$P_R = U_R \cdot I = 4,2 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 84\text{ mW}$$

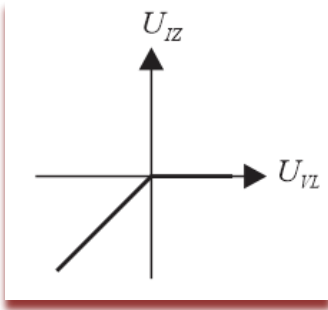
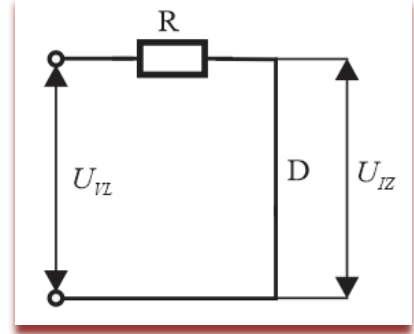
6. На сликата е претставен ограничувач на напон. Да се нацрта преносната карактеристика на колото.



Решение:

Прво се анализира колото кога на неговиот влез ќе се доведат негативни напони ($U_{vl} < 0$). Во тој случај диодата е инверзно поларизирана, се еквивалентира со отворен прекинувач, при што во колото не протекнува струја. ($U_{vz} = U_{vl}$)

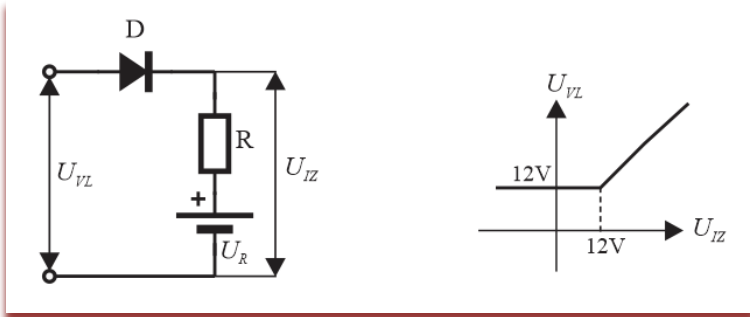
Потоа се анализира колото кога на неговиот влез ќе се доведат позитивни напони ($U_{vL} > 0$). Во тој случај диодата е директно поларизирана, се еквивалентира со затворен прекинувач, при што во колото протекнува струја I . ($U_{iZ} = 0$)



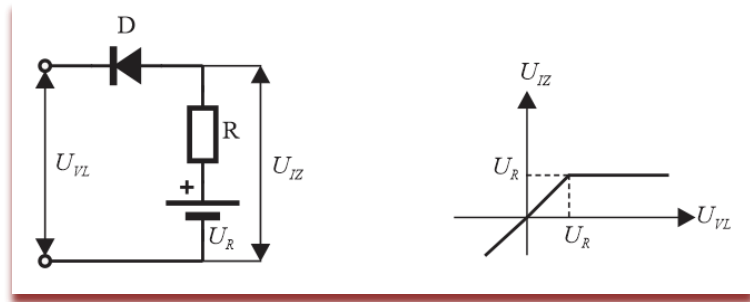
Преносната карактеристика на колото ќе го има следниот облик:

Анализираното коло претставува ограничувач на напон од горе.

7. За секое коло од дадените слики да се нацрта преносната карактеристика ($U_R = 12\text{ V}$).

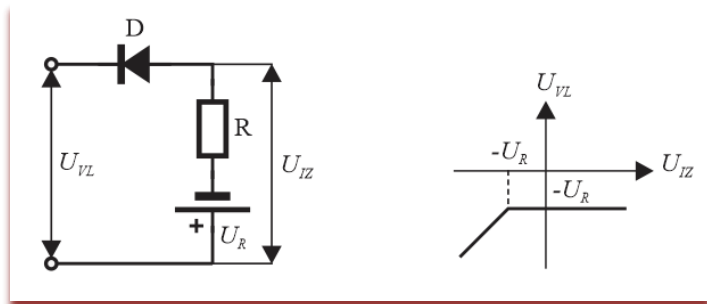


Решение

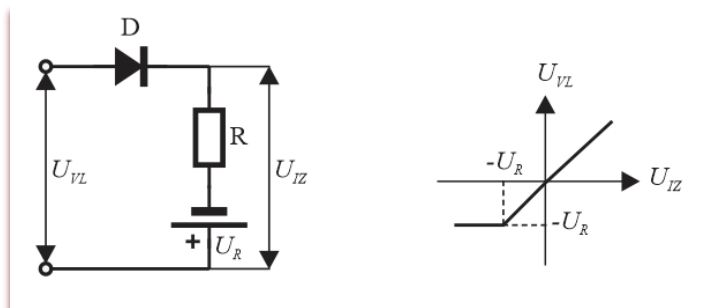


Решение

Задачи



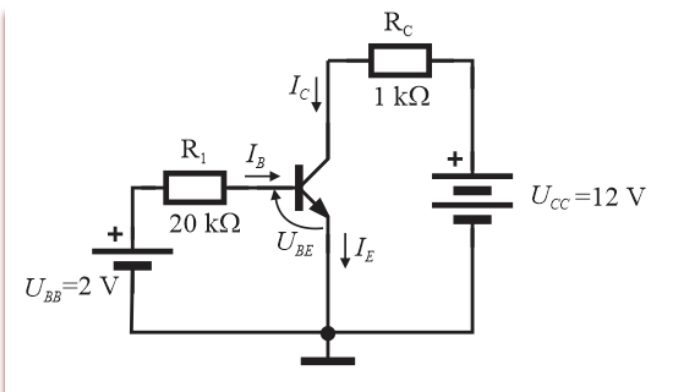
Решение



Решение

8. Транзисторот во колото на сликата има $\beta = 100$.

Емитерскиот спој е директно поларизиран со изворот $U_{BB} = 2 \text{ V}$ и има напон $U_{BE} \approx 0,7 \text{ V}$.



Да се одреди:

- а) струјата на базата I_B ;
- б) колекторската струја I_C ;
- в) напонот на колекторот U_{CE} .

Решение:

а) Струјата на базата се одредува од колото база-емитер:

$$U_{BB} - R_1 \cdot I_B - U_{BE} = 0$$

од каде за базната струја I_B се добива:

$$I_B = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{R_1} = \frac{2 - 0,7}{20 \cdot 10^3} = 65 \mu A$$

б) Колекторската струја се пресметува според:

$$I_C = \beta \cdot I_B = 100 \cdot 65 \cdot 10^{-6} = 6,5 \text{ mA}$$

в) Напонот на колекторот се одредува од колото емитер-колектор:

$$U_{CC} - R_C \cdot I_C - U_{CE} = 0$$

од каде за напонот U_{CE} се добива:

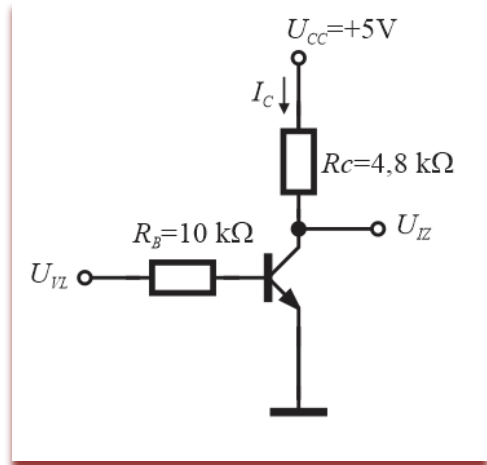
$$U_{CE} = U_{CC} - R_C \cdot I_C = 12 - 1 \cdot 10^3 \cdot 6,5 \cdot 10^{-3} = 5,5 \text{ V}$$

9. На сликата во колото, во кое транзисторот работи како прекинувач, се дадени следните вредности за транзисторот:

$U_{CES} = 0,2 \text{ V}$, $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$ и $\beta = 50$.

а) Одреди ја минималната вредност на влезниот напон со која транзисторот се доведува во заситување;

б) Одреди ја потребната вредност на влезниот напон со која транзисторот се доведува во режим на неспроведување.



Решение:

а) Колекторската струја на транзисторот кога влегува во заситување изнесува:

$$I_{CS} = \frac{U_{CC} - U_{CES}}{R_C} = \frac{5 - 0,2}{4,8 \cdot 10^3} = 1 \text{ mA}$$

Базната струја се пресметува според условот $I_{CS} = \beta \cdot I_B$ од каде:

$$I_B = \frac{I_{CS}}{\beta} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{50} = 0,02 \text{ mA}$$

Минималната вредност на влезниот напон U_{VL} ќе ја одредиме преку:

$$U_{VL} = R_B \cdot I_B + U_{BE} = 10 \cdot 10^3 \cdot 0,02 \cdot 10^{-3} + 0,6 = 0,2 + 0,6 = 0,8 \text{ V}$$

Задачи

За секоја вредност на влезниот напон и базната струја поголеми од пресметаните, транзисторот ќе биде во длабоко заситување. Со исполнување на овој услов се обезбедува примена на секој транзистор од одбраниот тип со широки толеранции на факторот β . Нивото на излезниот напон од 0,2 V се смета за ниско напонско ниво, а транзисторот како затворен прекинувач.

б) Транзисторот ќе биде на граница на неспроведување кога базната струја е нула, напонот база-колектор помал од 0,7 V.

Следи дека влезниот напон е $U_{VI} < 0,7 \text{ V}$, колекторската струја е $I_C \approx 0$, а за напонот на колекторот се добива:

$$U_{CE} = U_{CC} \approx U_{IZ}$$

10. Пресметај ја струјата низ отпорникот R_C кога транзисторот е во заситување.

Решение:

Познато е дека кај транзистор кој се наоѓа во режим на заситување, напонот U_{CE} изнесува 0,2 V. Според тоа, од равенката на колекторското коло:

$$U_{CE} = U_{CC} - R_C \cdot I_C$$

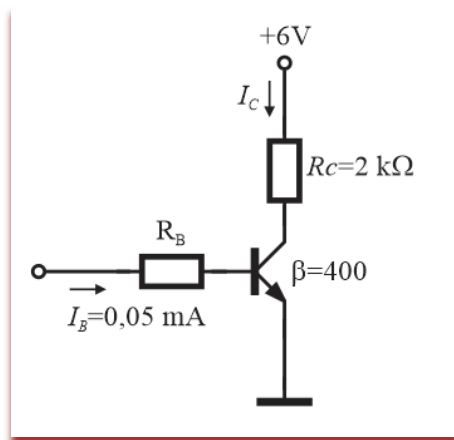
се добива:

$$I_C = \frac{U_{CC} - U_{CE}}{R_C} = \frac{6 - 0,2}{2 \cdot 10^3} = 2,9 \text{ mA}$$

Во колото е дадена вредноста на базната струја I_B па со примена на релацијата меѓу струите:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}, \text{ за } I_C \text{ се добила вредноста: } I_C = \beta \cdot I_B = 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot 400 = 20 \text{ mA}$$

што претставува невозможна состојба во која за напонот U_{CE} би се добила негативна вредност. Тоа ни покажува дека, кога е транзисторот во заситување, колекторската струја не е контролирана од базната струја. Затоа во подрачје на заситување, колекторската струјата мора да ја пресметаме од колекторското коло.

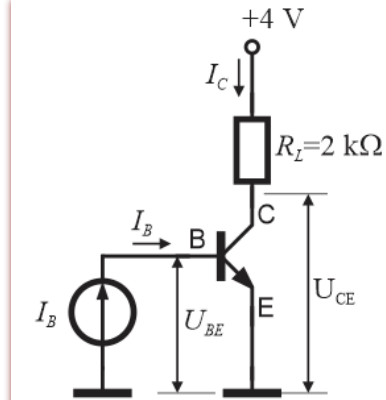


11. Одреди ги U_{CE} и I_C за дадените вредности на I_B и одреди го режимот на работа на транзисторот од колото на сликата.

- а) $I_B = 0$,
- б) $I_B = 20 \mu A$,
- в) $I_B = 60 \mu A$,

Решение:

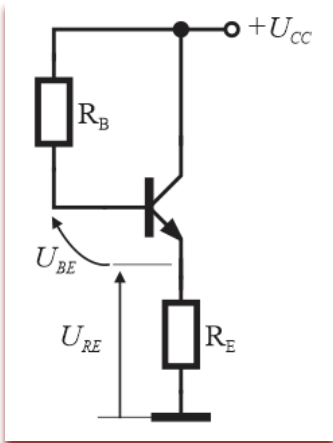
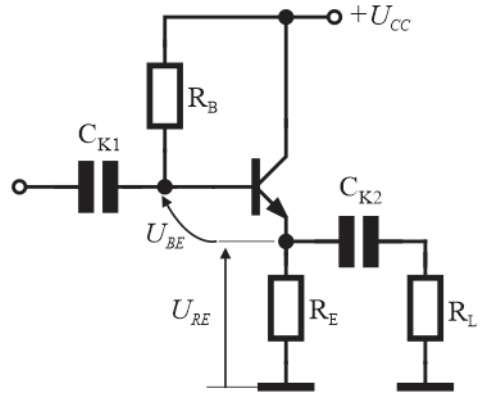
- а) $I_C = 0$, $U_{CE} = +4 V$ неспроведување,
- б) $I_C = 0,8 mA$, $U_{CE} = 2,4 V$ нормално активно подрачје,
- в) $I_C = 2,4 mA$, $U_{CE} = 0,2 V$ на граница на заситување.



12. Да се пресмета вредноста на отпорникот R_E за даденото коло. $U_{CC} = 6V$; $U_{RE} = 2,4 V$; $U_{BE} = 0,6 V$; $\beta = 100$; $R_B = 300 k\Omega$.

Решение:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}; \text{ од каде што за } I_C \text{ се добива:}$$



$$I_C = I_B \cdot \beta$$

$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE} - U_{RE}}{R_B} = \frac{6 - 0,6 - 2,4}{300 \cdot 10^3} = 0,01 \text{ mA}$$

$$I_B = 10 \mu A$$

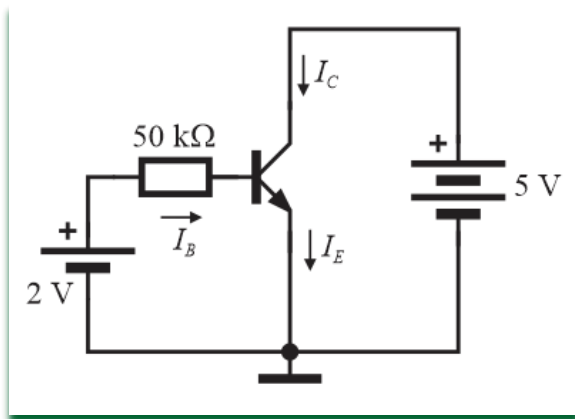
$$I_C = \beta \cdot I_B = 100 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 1 \text{ mA}$$

$$R_E = \frac{U_{RE}}{I_C + I_B} = \frac{2,4}{1 \cdot 10^{-3} + 0,01 \cdot 10^{-3}} = 2,376 \text{ k}\Omega$$

Задачи

13. NPN-транзисторот во колото на сликата има $\beta = 100$, а емитерскиот спој е директно поларизиран при $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$.

- а) Во кој режим работи транзисторот?
- б) Пресметај ја базната, емитерската и колекторската струја.

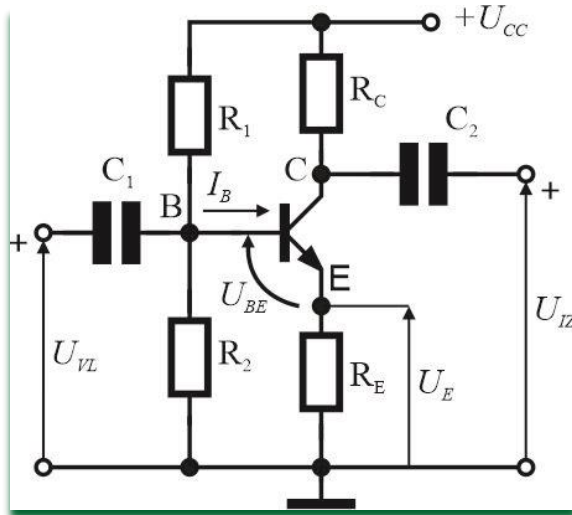


Решение:

- а) $U_{CE} = 5 \text{ V}$, режим на спроведување,
- б) $I_B = 28 \mu\text{A}$, $I_C = 2,8 \text{ mA}$, $I_E = 2,828 \text{ mA}$.

14. За колото на засилувач со заеднички емитер, дадено на сликата, да се одреди емитерската струја ако е дадено:

$R_1 = 3 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_C = 4 \text{ k}\Omega$, $R_E = 1,5 \text{ k}\Omega$, $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$, $U_{CC} = 10 \text{ V}$.



Решение:

Со напонскиот делител R_1 – R_2 се добива напонот на базата U_B :

$$U_B = U_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10 \cdot \frac{1 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^3} = 2,5 \text{ V}$$

Од равенката $U_B = U_{BE} + R_E \cdot I_E$ се добива:

$$I_E = \frac{U_B - U_{BE}}{R_E} = \frac{2,5 - 0,7}{1,5 \cdot 10^3} = 1,2 \text{ mA}$$

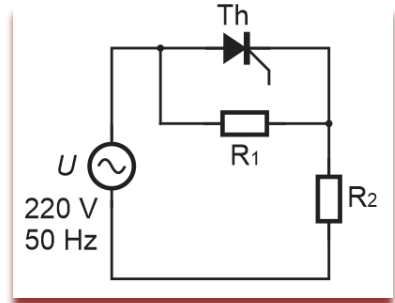
$$I_{R1} = I_{R2} = \frac{U_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{10}{3 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^3} = 2,5 \text{ mA}$$

Се забележува дека во овие пресметки не влегува вредноста на β . Причината е претпоставката која кажува дека струјата I_B не влијае врз вредноста на U_B . Ако претпоставиме вредност 100 за β , добиваме:

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = \frac{1,2 \cdot 10^{-3}}{100 + 1} = 0,0118 \text{ mA} \ll 2,5 \text{ mA}$$

со што се покажува оправданоста на наведената претпоставка.

15. Вкупната моќност на грејач составен од отпорници R_1 и R_2 се регулира со тиристор. Да се пресмета отпорноста на отпорниците R_1 и R_2 за моќност од $P_{min} = 1 \text{ kW}$ до $P_{max} = 2 \text{ kW}$ при промена на аголот на спроведување од $\alpha = 0^\circ$ до $\alpha = 180^\circ$.



Решение:

За $\alpha = 180^\circ$ тиристорот не се вклучува, на редната врска R_1 - R_2 се развива моќност $P_{min} = 1 \text{ kW}$.

$$P_{min} = \frac{U^2}{R_1 + R_2}$$

$$R_1 + R_2 = \frac{U^2}{P_{min}} = \frac{220^2}{1000} = 48,4 \Omega$$

За $\alpha = 0^\circ$ тиристорот е вклучен за време на целата позитивна полупериода, притоа на отпорниците се развива моќност $P_{min} = 2 \text{ kW}$.

Придонесот на отпорникот R_2 во вкупната моќност во позитивната полупериода се одредува според:

$$P_{max+} = \frac{1}{2} \cdot \frac{U^2}{R_2}$$

Придонесот во вкупната моќност на редната врска R_1 - R_2 во негативната полупериода се одредува според:

$$P_{max-} = \frac{1}{2} \cdot \frac{U^2}{R_1 + R_2}$$

Задачи

Вкупната моќност за цела периода се пресметува како збир на моќноста за позитивната и негативната полупериода:

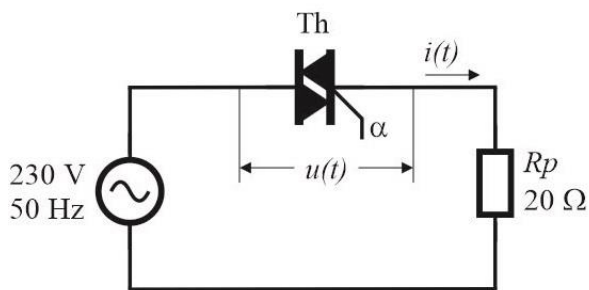
$$P_{max} = P_{max+} + P_{max-} = \frac{1}{2} \cdot U^2 \cdot \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1 + R_2} \right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{U^2}{R_2} + \frac{1}{2} \cdot P_{min}$$

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{U^2}{R_2} = P_{max} - \frac{1}{2} P_{min}$$

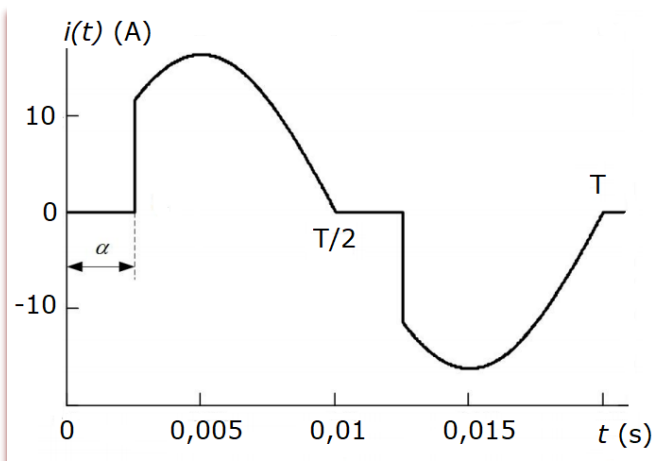
$$R_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{U^2}{P_{max} - \frac{1}{2} \cdot P_{min}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{220^2}{2000 - \frac{1}{2} \cdot 1000} = 16,13 \Omega$$

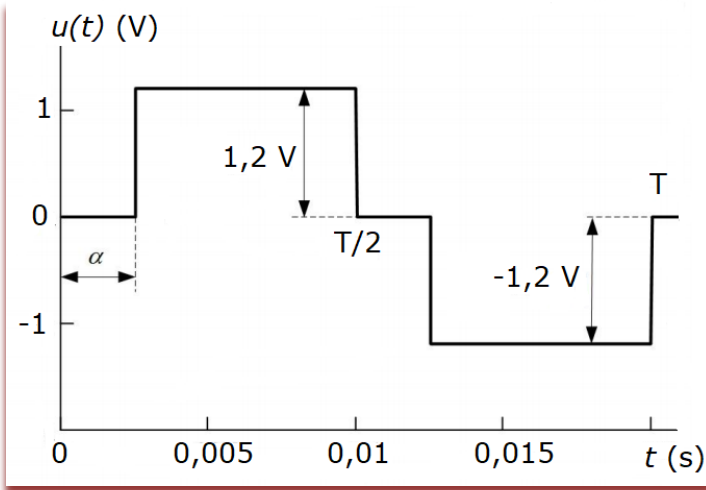
$$R_1 = (R_1 + R_2) - R_2 = 48,4 - 16,13 = 32,27 \Omega$$

16. Тријакот во колото на сликата има пад на напон од 1,2 V. Да се нацртаат временските дијаграми на струјата во даденото коло $i(t)$ и напонот на тријакот $u(t)$!

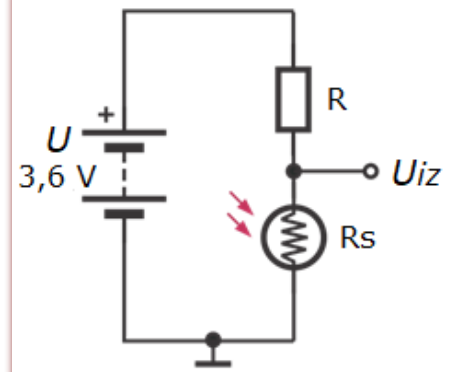


Решение:





17. При пад на осветленоста на амбиентот под одредена вредност, отпорноста на фототпорникот се зголемува на вредност $R_s = 100 \text{ k}\Omega$ за да се добие излезен напон $U_{iz} = 1,2 \text{ V}$. Да се одреди вредноста на отпорникот R сервиски поврзан со R_s .



Решение:

$$U_{iz} = \frac{R_s}{R + R_s} \cdot U$$

$$R + R_s = R_s \cdot \frac{U}{U_{iz}}$$

$$R = R_s \cdot \frac{U}{U_{iz}} - R_s = R_s \cdot \frac{U - U_{iz}}{U_{iz}}$$

$$R = 100 \cdot 10^3 \cdot \frac{3,6 - 1,2}{1,2} = 100 \cdot 2 \cdot 10^3 = 200 \text{ k}\Omega$$

Лабораториски вежби

Во лабораторијата/кабинетот по електроника ќе се користи соодветна опрема за иследување на лабораториските вежби.



1. Извор за напојување – се користи за напојување на електричните кола, кои се предмет на испитување во вежбите, со еднонасочен напон. Нагодениот излезен напон, како и излезната струја, можат да се видат на дисплејот на изворот.

2. Сигнал генератор – генерира различни бранови форми, со нагодување на нивната амплитуда, фреквенција и средна вредност.



3. Осцилоскоп – се користи за визуелно следење на сигналот во временски домен, како и за визуелно следење на функционални зависимости на два сигнала.

4. Универзален инструмент – инструмент со напојување од батерија, кој со конфигурација на приклучоците и соодветна положба на преклопката за мерно подрачје, има функција на волтметар, амперметар и омметар. Треба да се внимава при примена на инструментот како амперметар, во колото да не се поврзува како волтметар.



5. РС-сметач – се користи при компјутерска симулација на работа на електрични кола притоа користејќи соодветен софтвер и компјутерска обработка на добиените резултати.

Потребен алат за реализација на вежбите:



НАСОКИ ЗА РЕАЛИЗАЦИЈА НА ЛАБОРАТОРИСКИТЕ ВЕЖБИ

Ученикот треба да го применува стекнатото теоретско знаење во праксата, да стекне одредени вештини и притоа да применува соодветни техники и методи за да дојде до целта – исправна работа на склопот или уредот. Тој треба да користи и одредени математички пресметки за да може, кога за тоа ќе има потреба, да ги одреди вредностите на неисправните елементи и компоненти и да одбере нови за нивна замена. Притоа, секој од нив ќе треба да биде нагоден на таква вредност, која на уредот кој се испитува ќе му обезбеди оптимална функција. За да се постигне тоа и да се стане вешт техничар кој може релативно лесно да ги решава идните реални проблеми со кои ќе се сретне во праксата, ќе треба доста да се ангажира на часовите по лабораториски вежби и успешно да ги изработува поставените вежби, користејќи различни ресурси и средства.

На часовите по лабораториски вежби ученикот ќе користи палета на инструменти и алати како што се, на пример, дигиталниот мултимер, леткум, клешта и сл.

Учениците ќе стекнуваат вистинско „практично“ искуство со примена на вистински електрични и електронски елементи и компоненти, кои ќе ги поставуваат на експериментални прото-плочки (анг. breadbord) или ќе изработуваат печатени плочки (анг. **Printed Circuit Board, PCB**). Потоа ќе ги поврзуваат елементите и компонентите со спроводници, или бакарни водови, и притоа по потреба ќе употребуваат реални – вистински инструменти како што се на пример универзални мултиметри, осцилоскоп, функциски генератор, како и извори за напојување со вредности кои можат да се нагодуваат, соодветни за ваквата намена.

Додека се изработуваат вежбите, треба да се посвети сериозно внимание на упатството и на насоките кои ќе бидат посочени од страна на наставникот. Задолжително да се запишат најважните од нив. По извршените работни задачи, индивидуални набљудувања и мерења исто така ќе треба да се запишат и од нив ќе треба да се извлечат значајни заклучоци.

Што се однесува до вежбите, тие се систематизирани и зададени во лабораториските вежби, како посебно одвоено множество во рамките на секоја тематска целина.

По завршувањето на секоја вежба е потребно да се предаде извештај кај наставникот, кој се состои од опис на активностите што ги презел ученикот за

време на нејзината изведба. Претставувањето на резултатите треба да биде добро организирано и целосно финализирано.

На крајот од секој извештај, ученикот изготвува краток заклучен дел, во кој се сумираат резултатите и се дискутираат проблемите и решенијата. Целта е да се стигне до фазата на синтеза и да се даде шанса ученикот да разбере кои краткорочни цели се остварени со вежбата на патот до совладување на наставната програма.

ВАЖНО!!!

ЗА ВРЕМЕ НА РЕАЛИЗАЦИЈА НА ЛАБОРАТОРИСКИТЕ ВЕЖБИ УЧЕНИЦИТЕ ДА ПОСТАПУВААТ ВО СОГЛАСНОСТ БАРАЊАТА ЗА ПРИМЕНА НА ПРОПИСИТЕ И МКС-СТАНДАРДИТЕ ЗА ЗАШТИТА НА ОКОЛИНАТА И ЗАШТИТАТА ПРИ РАБОТА:

- ✓ применува правила за соодветно однесување;
- ✓ практикува здрави навики;
- ✓ почитува прописи за заштита при работа;
- ✓ користи заштитни мерки при работа.

Правила за безбедност на учениците и опремата

Струен удар најчесто настапува при допир на спроводни предмети поврзани на напон на градска мрежа, кој се јавува како последица на случаен дефект на инструмент, невнимателно ракување со опремата и инструментите и непридржување на правилата за безбедност.

- Шуко приклучницата на разводната табла и инструментите се места каде треба максимално да се внимава при вклучување и исклучување на мрежно напојување.
- Неизолирани спроводници да **НЕ** се допираат со рака.
- Инструментите кои се користат за реализирање вежби во електрониката, како осцилоскоп, сигнал генератор и извор за напојување се приклучуваат на мрежен напон. Во случај на дефект, металните неизолирани делови на инструментот можат да бидат под напон од 220 V. Поради тоа, треба да се избегнува допир на неизолираните делови од задната страна на инструментите со голи раце.

Механички повреди

Повреди со алат или лабораториски прибор – доколку се користи алат (пинцета, одвртувач, клешта) потребно е да се користи внимателно да не дојде до исеченици, гребаници, оштетување на инструментите, лабораторискиот материјал или гардеробата. Истото важи и за сондите на осцилоскопите и инструментите, шестар, линијар и технички молив.

Повреди при пад или удар – се јавуваат како последица на движење низ училницата/лабораторијата за време на вежбите и постоење механички препреки (ранци, јакни, столови) или невнимателно седење. За да се избегнат овие повреди потребно е јакните и ранците да се сместат на однапред одредено место, столовите да се подредат по завршувањето на вежбите, а за време на вежбите учениците да се однесуваат сконцентрирано и професионално.

При реализација на лабораториските вежби задолжително да се применуваат прописите и МКС-стандардите за заштита на околината и заштита при работата кои се применуваат при работа во електрониката.

МКС стандарди

Постојат различни типови стандарди кои се однесуваат на и вклучуваат барања и/или препораки во однос на производи, системи, процеси или услуги. Стандардите може да претставуваат и начин со кој може да се опишат методите на мерење и испитување, или да се воспостави заедничка терминологија во рамки на еден сектор. Всушност, стандардите претставуваат договорен начин на извршување на работите.

По дефиниција, стандард е документ подготвен со договор и усвоен од страна на признато тело, со кој се обезбедуваат правила, упатства и карактеристики за определени активности или за резултати од тие активности. Целта е да се постигне оптимален степен на уреденост (унифицираност) во определено подрачје.

Стандардите се изработуваат и дефинираат преку процес на споделување знаење и градење консензус помеѓу техничките експерти. Стандардот е документ со доброволна примена, а се состои од технички спецификации кои се засноваат на резултатите од искуството и технолошкиот развој.

Македонскиот стандард може да биде идентичен со европски (EN), меѓународен (ISO/IEC) или некој друг национален стандард (DIN, BS...), но може да биде и само национален стандард, односно изработен од експерти и усвоен како македонски стандард. Тој не мора да е усвоен на европско или меѓународно ниво, но европските тела за стандардизација мора да бидат известени за него.

Во однос на заштитата на околината и заштитата при работа, во нашата држава се применуваат меѓународните стандарди ISO4001 и ISO45001.

ISO4001 е интернационален стандард кој ги дефинира параметрите кои се неопходни за еден функционален систем за управување со заштита на животната средина.

Цели на овој стандард се:

Спречување на штетни влијанија врз животната средина.

Намалување на потенцијални ризици од загадување, намалување на отпад, заштеда на енергија.

Преземање соодветни мерки за заштита на животната средина.

ISO45001 е стандард кој им овозможува на организациите управување со здравствените и сигурносните аспекти на деловните дејности, внимателно водејќи сметка за спречување на незгоди, намалување на ризикот, благосостојба на работникот. Целта на стандардот ISO45001 е спречување или намалување на повредите на работното место и подобрување на работните услови.

Со оглед на областа во која учениците треба да работат, ќе го нагласиме и стандардот ISO50001, кој се однесува на управувањето со енергијата.

ISO50001 стандардот детално ги определува барањата за систем за управување со енергијата, кој на организацијата ѝ овозможува да развие и изведува политики и цели, кои ги почитуваат законските барања и информации за значајните енергетски аспекти.

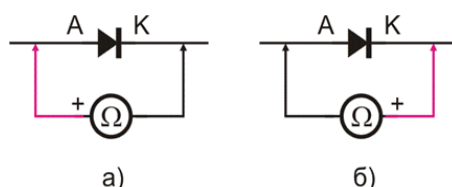
Целта на овој стандард е да помага на организациите да воспостават систем од процедури и постапки кои се потребни за подобрување на енергетската ефикасност.

Системското управување на енергијата најмногу ќе придонесе во намалувањето на трошоците за енергија и намалување на емисиите на гасови кои предизвикуваат ефект на стаклена градина.

ЛАБОРАТОРИСКА ВЕЖБА БРОЈ 1 ИСПИТУВАЊЕ НА ДИОДИ И ТРАНЗИСТОРИ

1⁰ Исправноста на диодите се испитува со универзален инструмент поставен во омско мерно подрачје. Батеријата во инструментот врши директна или инверзна поларизација на диодата во зависност од поврзаноста на испитните сонди. При испитување на исправна диода со аналоген инструмент, поради нејзиното насочувачко дејство, во една насока омметарот треба да покаже мала отпорност, а во другата многу голема отпорност. Исправната диода има мала отпорност при директна поларизација (слика 1 а)), а многу голема при инверзна поларизација (слика 1 б)) каде мерната сонда приклучена на позитивниот пол на инструментот ја покажува катодата К, а сондата на негативниот пол ја покажува анодата А.

Диодата е пробиена ако при мерењето во двете насоки омметарот покаже мала отпорност, односно диодата е во краток спој. Доколку, пак, и во двете насоки отпорноста е многу голема, тогаш таа е во прекин, односно не е исправна.



Слика 1: Испитување исправност на диода

Табела 1: Состојба на диодата во зависност од отпорноста и поларизацијата

Состојба на диодата	Отпорност при директна поларизација	Отпорност при инверзна поларизација
Исправна	мала	многу голема
Пробиена	мала	мала
Во прекин	многу голема	многу голема

2⁰ При одредување на изводите на диодата со дигитален универзален инструмент, при директна поларизација, анодата е оној извод кој е приклучен на позитивниот пол на омметарот (црвената сонда), а катодата е приклучена на негативниот пол на омметарот (црната сонда). При инверзната поларизација изводите се приклучени спротивно.

3⁰ Покрај испитувањето на исправноста на диодата и одредувањето на нејзините полови, со помош на дигитален инструмент може да се испита дали диодата е германиумска или силициумска. Преклопникот на инструментот се поставува на посебно подрачје за испитување на полупроводници – **diode test**, каде што инструментот го мери падот на напонот на диодата при константна тест струја од околу 1 mA. Исправна германиумската диода, при директна



поларизација има напон меѓу анодата и катодата U_{AK} од 200 до 400 mV, а силициумската диода од 500 до 700 mV, додека при инверзна поларизација напонот има многу голема вредност, при што инструментот покажува 1 или OL (пречекорување на мерниот опсег).

Изводите на диодата можат да се одредат и преку кружниот прстен на катодата (слика 2).

Слика 2: Означување на катодата

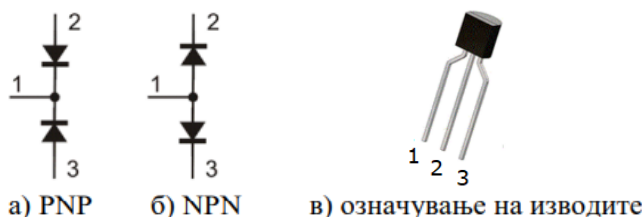
Испитај исправност на пет диоди со универзален инструмент и пополни ја табелата:

Тип на диодата	Отпорност при директна поларизација	Отпорност при инверзна поларизација	Состојба на диодата

- Запиши ги измерените вредности:
- Коментирај ја состојбата на диодата.

Заклучок:

4⁰ Исправноста на биполарниот транзисторот се испитува со помош на еквивалентна шема на транзистор како две диоди со заедничка катода за PNP, или со заедничка анода за NPN видот транзистори (слика 3).



Слика 3: Означување на изводите на транзисторот

Испитувањето се врши со мерење со дигитален мултиметар на мерното подрачје *diode test*. Се мерат напоните и со споредување на местоположбата на мерните сонди и на добиените вредности се определува видот на транзисторот, како што е објаснето во натамошниот текст.

Изводите на транзисторот не се наредени на стандарден начин за секое куќиште. Затоа е потребно да се одреди распоредот на изводите. Изводите на испитуваниот транзистор се обележуваат со 1, 2 и 3 (слика 3 в) и се вршат мерења помеѓу секои два извода во двете насоки. Резултатите се внесуваат во табела според табела 2.

Табела 2: Испитување на изводите на транзисторот

+ Мерна сонда (црвена)	- Мерна сонда (црна)	Резултат добиен на инструментот
на извод 2	на извод 3	OL или 1 - (многу голема вредност)
на извод 3	на извод 2	OL или 1 - (многу голема вредност)
на извод 1	на извод 2	660 mV
на извод 2	на извод 1	OL или 1 - (многу голема вредност)
на извод 3	на извод 1	OL или 1 - (многу голема вредност)
на извод 1	на извод 3	665 mV

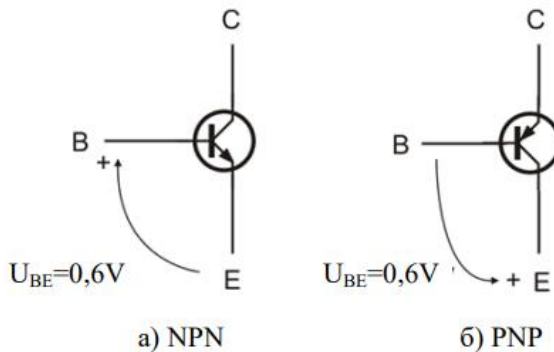
Овие резултати се само еден пример од кој може да се заклучи дека единствените комбинации кои даваат бројни вредности се меѓу изводите 1 и 2 и меѓу изводите 1 и 3. Заедничкиот извод за двете комбинации е изводот 1 и тоа е базата. Помалата бројка меѓу изводот 1 и 2 претставува напон на спроведување на спојот колектор-база, што кажува дека изводот 2 е колектор. Поголмата бројка меѓу изводот 1 и 3 го претставува напонот на спроведување

на спојот емитер-база, што значи дека изводот 3 е емитер.

Црвената мерна сонда (плусот) на инструментот за двете комбинации со измерени вредности е на базата, транзисторот во овој случај е NPN-тип. Кај транзисторот од PNP-тип, поларитетот на сондите ќе биде спротивен од прикажаниот во табела 2.

Ако при мерењето не се добијат резултати слични на овие, тоа значи дека транзисторот е неисправен.

Испитувањето на типот на транзисторот може да се врши и со мерење на напонот помеѓу базата и емитерот U_{BE} , кога транзисторот е во електрично коло со напојување (слика 4). Ако напонот U_{BE} е позитивен (црвената сонда се приклучува на базата), станува збор за транзистор од NPN-тип, ако, пак, е негативен, транзисторот е од PNP-тип. Инструментот да се постави на напонско подрачје.



Слика 4: Напоните база-емитер за NPN и PNP-транзистори

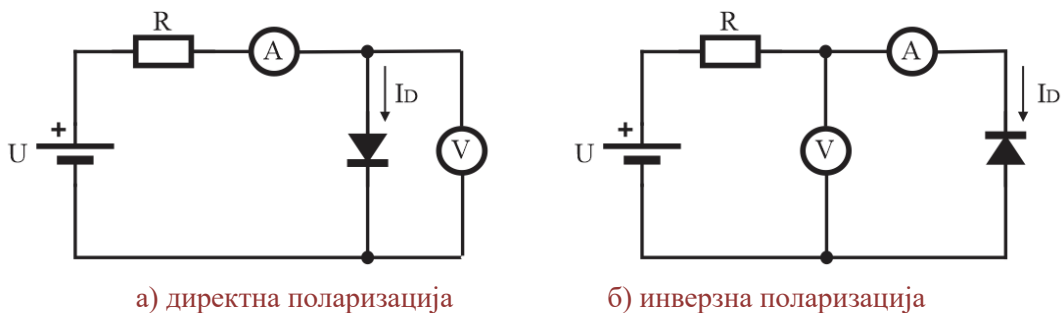
Да се испита исправноста транзистор со универзален инструмент и да се пополни табелата:

+ Мерна сонда (црвена)	- Мерна сонда (црна)	Според резултатите добиени на инструментот за транзистор _____, тој е _____
на извод 2	на извод 3	
на извод 3	на извод 2	
на извод 1	на извод 2	
на извод 2	на извод 1	
на извод 3	на извод 1	
на извод 1	на извод 3	

ЛАБОРАТОРИСКА ВЕЖБА БРОЈ 2

СНИМАЊЕ СТАТИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ДИОДИ

За испитување на струјно-напонската карактеристика на диодата, потребно е да се изврши испитување при директна поларизација и при инверзна поларизација на диодата. Колото за испитување содржи еден волтметар за мерење на напонот, еден амперметар за мерење на струјата, еден извор на променлив еднонасочен напон и еден отпорник за ограничување на струјата во колото. Елементите се монтираат на прото-плочка според шемата прикажана на слика 5 а).



Слика 5: Поврзување на полупроводничка диода во кола за снимање на струјно-напонска карактеристика

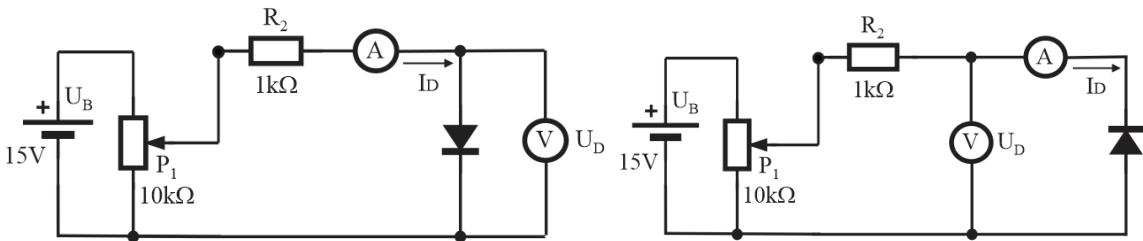
Амперметарот ја мери струјата низ диодата која може да има вредности од редот на mA и A. Со волтметарот го мериме напонот на краевите на диодата кој треба да биде многу мал, најмногу до 2 V. Отпорникот R служи за ограничување на струјата низ диодата. Неговата вредност и моќност се пресметуваат според следните равенки:

$$R = \frac{U_{\max} - U_{D\max}}{I_{D\max}} \approx \frac{U_{\max}}{I_{D\max}} \quad P_R > RI_{D\max}^2$$

Со помош на променливиот извор на напон се менува напонот на диодата U_D во мали чекори и за секоја негова вредност на амперметарот ја отчитуваме вредноста на струјата низ диодата I_D . Мерењето се повторува повеќе пати и резултатите се запишуваат во табела. Од пополнетите вредности од табелата за добиените вредности на напоните и струите се црта график во x - y координатен систем. На x -оската се нанесуваат вредностите на напонот U_D а на y -оската вредностите на струјата I_D во соодветен размер.

Колото за испитување на карактеристиките на диодата при инверзна поларизација е претставено на слика 5 б). Бидејќи повеќето диоди издржуваат голем инверзен напон, а инверзната струја е многу мала, не е потребен отпорникот за заштита. Постапката за испитување на карактеристиката на диодата при инверзна поларизација е иста како и при директна. Со променливиот извор го менуваме напонот на диодата кој го отчитуваме на волтметарот, а со амперметарот ја мериме струјата низ диодата која е од редот на μA . Промените на напонот во почетниот момент може да се големи, но кога струјата ќе почне нагло да расте тоа значи дека е достигната вредноста на пробивниот напон. Сега промените на влезниот напон треба да се мали за да не дојде до пробив на диодата, а, сепак, да се одредат уште неколку точки од графикот. Сите добиени вредности се внесуваат во табела и се црта графикот во инверзниот дел (-x и -y). Од добиениот график можат да се определат карактеристиките на диодата.

За снимање на статичка карактеристика на силициумска диода, користи ги шемите прикажани на слика 6, под а) за директна поларизација на диодата, под б) за инверзна поларизација на диодата.



Слика 6: Коло за снимање на статичка карактеристика на диода $I_D=f(U_D)$

а) во првиот квадрант
(директна поларизација)

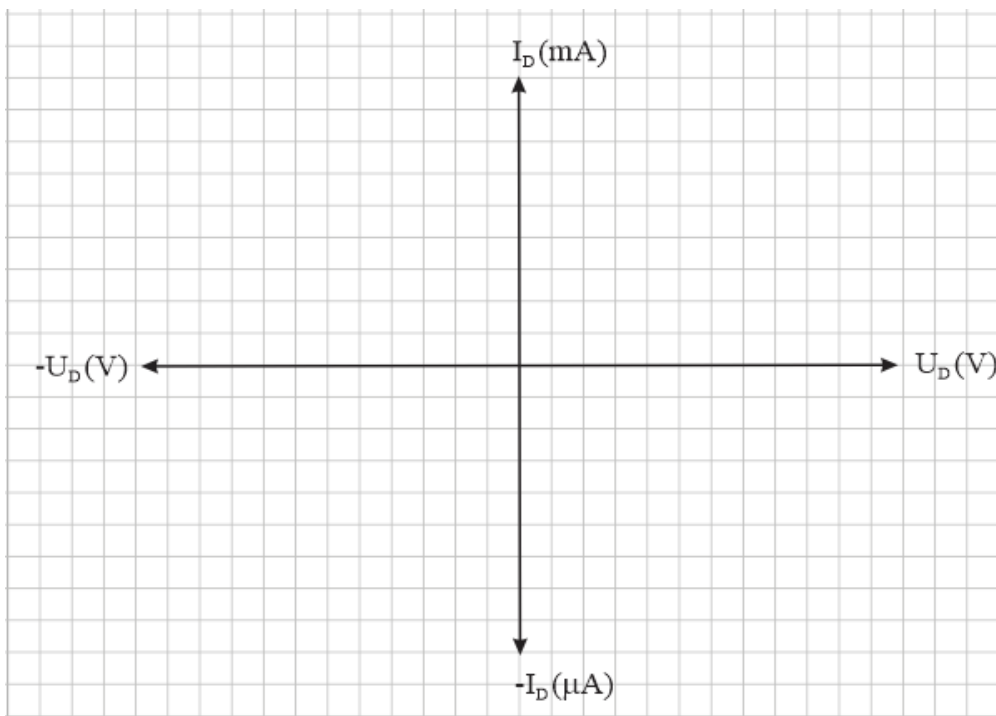
б) во третиот квадрант
(инверзна поларизација)

Со промена на положбата на потенциометарот P_1 го нагудуваш напонот на диодата U_D на зададени вредности од табелата и во истата ги запишуваш соодветните вредности на струјата низ диодата измерени со амперметарот (при директна поларизација во mA , додека при инверзна, во μA).

U_D (mV)-директна	0	100	200	300	400	450	500	550	600	650	700
I_D (mA)-директна											
U_D (V)-инверзна	0	1	3	5	7	9	10	11	12	14	15
I_D (μA)-инверзна											

Добиените резултати внеси ги во координатен систем, на x-оската

нанеси ги вредностите на еднонасочниот напон U_D кои сами си ги задаваме (независна променлива), додека вредноста на струјата низ диодата I_D на у-оската (зависно променлива).



Заклучок:

ЛАБОРАТОРИСКА ВЕЖБА БРОЈ 3 „И“ и „ИЛИ“ ЛОГИЧКИ КОЛА СО ДВА ВЛЕЗА

Диодното „ИЛИ“ логичко коло ја реализира операцијата логичко собирање. Составено е од две диоди D_1 и D_2 , кои преку прекинувачите А и В се поврзани со извор на напојување U_{cc} и потрошувач претставен со отпорник R . Во зависност од комбинациите на прекинувачите се добиваат четири состојби на поларизација на диодите D_1 и D_2 (слика 7).

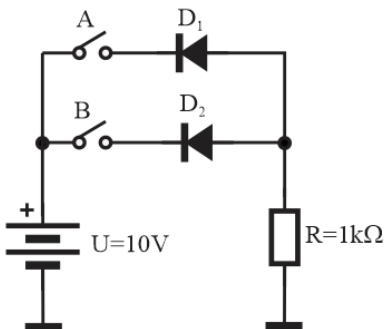
Диодното „И“ логичко коло ја реализира операцијата логичко множење. За разлика од „ИЛИ“ логичкото коло, прекинувачите се поврзани со маса (слика 8).

Потребни елементи:

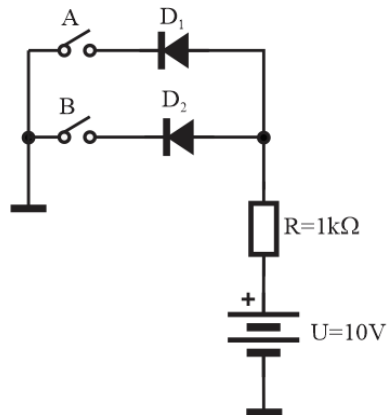
D_1 и D_2 – 2x1N4001 диоди

$R=1\text{ k}\Omega$ – отпорник

$U=10\text{ V}$ – еднонасочен извор на напон



Слика 7: Електрична шема на ИЛИ логичко коло



Слика 8: Електрична шема на И логичко коло

Да се поврзат колата според дадените шеми. (Да се внимава на поларитетот на диодите, катодата е означена со сребрен прстен).

Чекор 1

Да се измери напонот на краевите на отпорникот R и да се запишат добиените резултати во табела за сите комбинации на прекинувачите

Чекор 2

А и В.

Табела за слика 5:

Влезни состојби		Напон на отпорникот R
A	B	
отворен	отворен	
отворен	затворен	
затворен	отворен	
затворен	затворен	

Табела за слика 6:

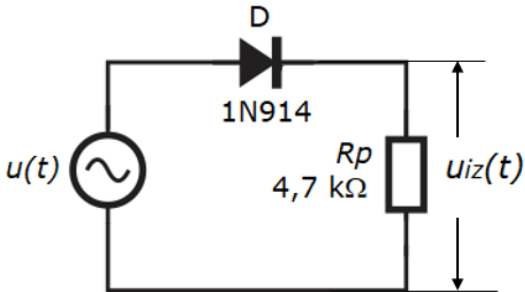
Влезни состојби		Напон на отпорникот R
A	B	
отворен	отворен	
отворен	затворен	
затворен	отворен	
затворен	затворен	

Ако „отворен прекинувач“ го еквивалентираме со логичко „0“ а „затворен прекинувач“ со логичко „1“, „ниско излезно ниво“ со логичко „0“ а „високо излезно ниво“ со логичко „1“, провери ги резултатите според дефинираните логички операции.

Заклучок:

ЛАБОРАТОРИСКА ВЕЖБА БРОЈ 4 НАСОЧУВАЧ СО ЕДНА ДИОДА

За реализација на насочувач со една диода-полубранов насочувач е потребно да се поврзат елементите според дадената шема на слика 9 независно дали се поставуваат на прото-плочка без лемење или се лемат на печатена плочка.



Слика 9: Коло на полубранов насочувач

Каталожки податоци за 1N914:

$I_F = 300 \text{ mA}$, $U_{BR} = 75 \text{ V}$, $P_{DMAX} = 500$

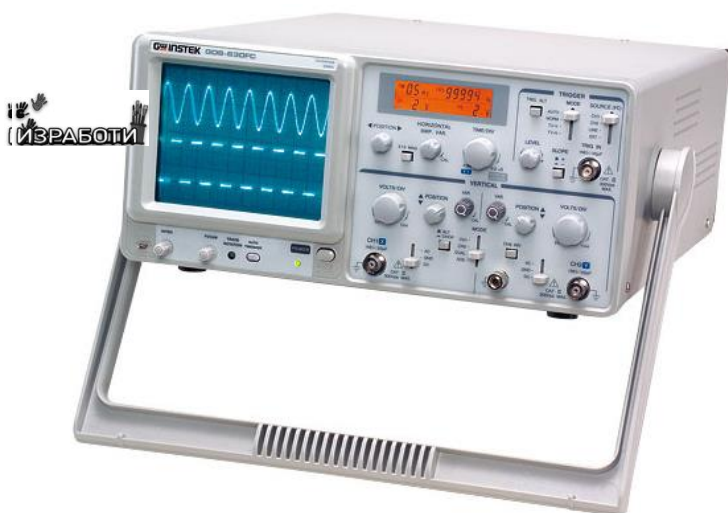
За следење и споредба на напонските облици на влезниот и излезниот напон се користи двоканален осцилоскоп. Влезниот напон се приклучува на едниот канал, додека излезниот на вториот канал. За двата канала да се постави преклопникот V/div на подрачје 500 mV по поделок. Добиените осцилограми за влезниот и излезниот напон да се нацртаат во ист координатен систем и да се означат соодветните големини.

Влезниот синусен напон се добива од функциски генератор. Да се нагоди функцискиот генератор на фреквенција 100 Hz и напон 6 V (од врв до врв).

ИЗРАБОТИ

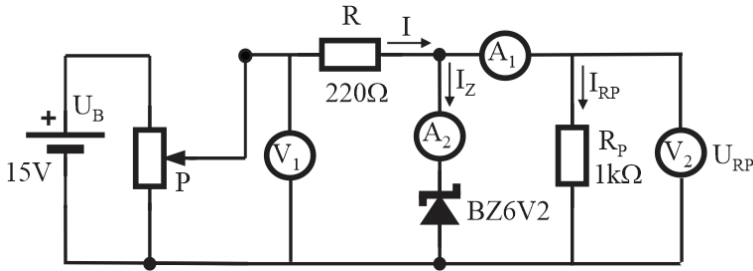
Осцилоскоп претставува електронски инструмент кој овозможува визуелна претстава на периодични, непериодични и случајни бранови форми на електричните сигнали во графичка форма, најчесто како аналитичка функција во зависност од времето. На неговиот екран, во основниот режим на работа се добива осцилограм, тоа е слика на брановата форма на влезната електрична големина. Покрај визуелното следење на бранови форми на електричниот сигнал, со осцилоскоп можат да се мерат: амплитудата, периодата, фреквенцијата, фазната разлика на сигналот; нелинеарните изобличувања; времето на воспоставување на импулсни сигнали и напонски скокови; на индиректен начин може да се мери и еднонасочна и наизменична струја.

Осцилоскопите можат да бидат со еден или со два електронски млаза. Со двомлазен-двоканален осцилоскоп може да се одредува релативен однос меѓу два сигнали кои имаат врска еден со друг.



ЛАБОРАТОРИСКА ВЕЖБА БРОЈ 5 НАСОЧУВАЧ СО ЕДНА ДИОДА

За реализација на стабилизатор на напон со Зенер диода е потребно да се поврзат елементите според дадената шема на слика 10 независно дали се поставуваат на прото-плочка без лемење или се лемат на печатена плочка.



Слика 10: Коло на стабилизатор на напон со Зенер диода

На влез на колото се приклучува извор на еднонасочен напон од 15 V, со потенциометарот P се менува вредноста на напонот U_1 од 0 V до 15 V со чекор од 1 V, додека на излез е приклучен потрошувач R_p чиј напон се мери со волтметарот V_2 . Со милиамперметарот A_1 се мери јачината на струјата низ потрошувачот а со A_2 јачината на струјата низ Зенер диодата. Да се запишат измерените вредности на инструментите во дадената табела.

U_1 (V)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
U_{RP} (V)															
I_{RP} (mA)															
I_Z (mA)															

Нацртај ја зависноста на излезниот напон, излезната струја и струјата низ Зенер диодата од влезниот напон според добиените резултати од мерењата!

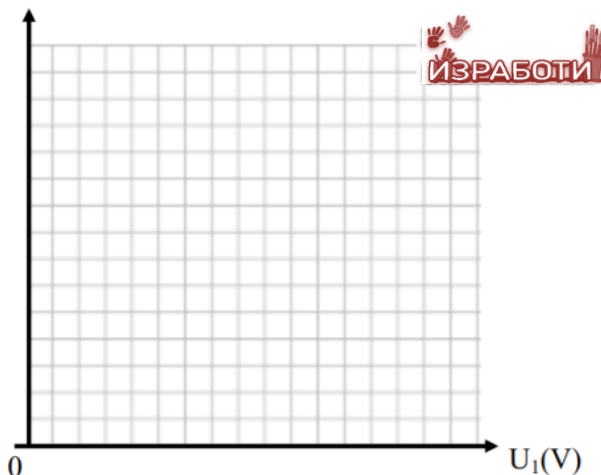
Одреди ја минималната вредност на влезниот напон за која ова коло работи како стабилизатор на напон!

Каталогски податоци за DZ6V2 во подрачје на пробив:

$$U_{MIN} = 5,89 \text{ V},$$

$$U_{MAX} = 6,6 \text{ V},$$

$$P_{DMAX} = 225 \text{ mW}.$$



Ако максималната моќност на дисипација на оваа диода изнесува $P_{DMAX} = 225 \text{ mW}$ колкав е максималниот влезниот напон за кој Зенер диодата нема да прегори?

При фиксиран влезен напон на 15 V, да се менува отпорноста на потрошувачот со вредности зададени во табелата а со волтметарот да се мерат вредностите на излезниот напон.

$R \text{ (k}\Omega\text{)}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	3	5
$U_{RP} \text{ (V)}$												

Одреди ја минималната вредност на отпорноста на потрошувачот за која ова коло работи како стабилизатор на напон!

Заклучок:

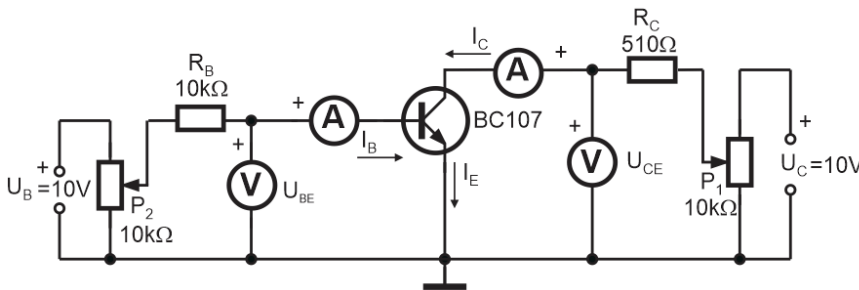
ЛАБОРАТОРИСКА ВЕЖБА БРОЈ 6

СНИМАЊЕ СТАТИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА БИПОЛАРНИ ТРАНЗИСТОРИ

Кај транзисторот во спој со заеднички емитер, четири големини се со јасно изразена меѓусебна зависност. Тоа се: базната струја I_B и напонот база-емитер U_{BE} , како влезни, и колекторската струја I_C и напонот колектор-емитер U_{CE} , како излезни големини. Нивните зависности можат да се претстават графички преку статичките карактеристики на транзисторот. Се испитуваат:

- ⇒ излезната карактеристика $I_C = f(U_{CE})$ за $I_B = const.$;
- ⇒ преносната карактеристика $I_C = f(I_B)$ за $U_{CE} = const.$;
- ⇒ влезната карактеристика $I_B = f(U_{BE})$ за $I_B = const.$

На слика 11 е прикажано колото за испитување на карактеристиките на транзисторот. Постапката за испитување на статичките карактеристики на транзистор е иста како и испитувањето на карактеристиките на полупроводнички диоди.



Напомена:

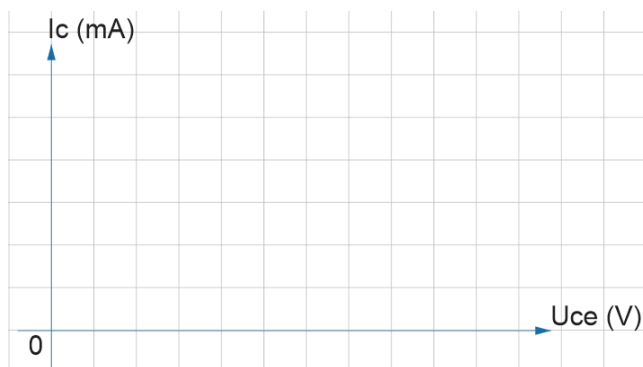
Вежбата може да се реализира и со друг транзисторот!

Слика 11: Коло за снимање на статичките карактеристики на NPN-транзистор

Првата од карактеристиките се мери така што со потенциометарот P_2 се регулира јачината на струјата I_B да биде 0, а со потенциометарот P_1 се менува напонот U_{CE} во чекори од по 1 V, почнувајќи од нула па до 10 V и за секој чекор се забележува вредноста на струјата I_C , при што се води сметка јачината на струјата I_B да не се промени. Потоа следува снимање на следната крива, така што со потенциометарот P_2 се регулира да се добие јачина на струјата I_B од 10 μA , а целата постапка се повторува како и претходно. Со натамошна промена на јачината на струјата I_B на вредности 20 μA , 30 μA се добиваат сите останати криви на дијаграмот.

	U_{CE} (V)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_B = 0$	I_C (mA)											
$I_B = 10 \mu A$	I_C (mA)											
$I_B = 20 \mu A$	I_C (mA)											
$I_B = 30 \mu A$	I_C (mA)											

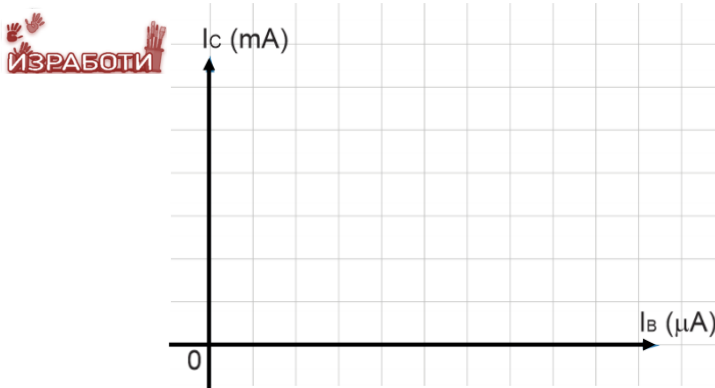
Добиените резултати внеси ги во координатниот систем I_C-U_{CE} и со поврзување на точките ќе ја добиеш кривата $I_C = f(U_{CE})$ за $I_B = 0/10/20/30 \mu A$.



Снимањето на преносните карактеристики може да се прави со истото мерно коло. Напонот U_{CE} се нагодува со потенциометарот P_1 на една вредност, на пример, 2 V, потоа со P_2 се менува базната струја во чекори од по 5 μA и на милиамперметарот се отчитуваат вредностите на колекторската струја. При тоа, да се води сметка вредноста на напонот U_{CE} да не се промени. Ако се промени, се прави прво корекција на тој напон со P_1 , па потоа се чита вредноста на струјата I_C . Следното мерење е со поголема вредност на U_{CE} , како, на пример, 10 V, следното на 15 V итн.

	I_B (μA)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
$U_{CE}=2 V$	I_C (mA)									
$U_{CE}=10 V$	I_C (mA)									
$U_{CE}=15 V$	I_C (mA)									

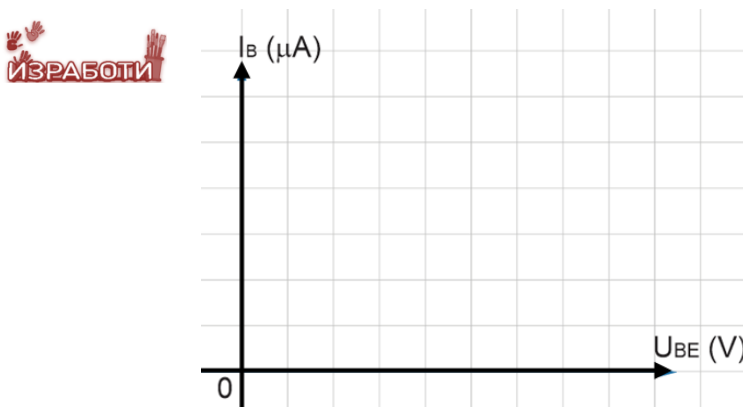
Добиените резултати внеси ги во координатниот систем I_C-I_B



И влезните карактеристики се снимаат со истото коло така што со потенциометарот P_2 се регулира вредноста на напонот U_{CE} на 2 V, а со потенциометарот P_1 се менува напонот U_{BE} , почнувајќи од нула па до 0,7 V и за секој чекор се забележува вредноста на струјата I_B , при што се води сметка напонот U_{CE} да не се промени. Потоа следува снимање на следната крива, така што со потенциометарот P_2 се регулира да се добие напонот U_{CE} од 10 V, а целата постапка се повторува како и претходно. Добиените резултати се внесуваат во координатниот систем I_B-U_{BE} и со поврзување на точките се добива кривата $I_B = f(U_{BE})$ за $U_{CE} = const.$

	U_{BE} (V)	0	0,2	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,62	0,65	0,7
$U_{CE}=2\text{ V}$	I_B (μA)										
$U_{CE}=10\text{ V}$	I_B (μA)										

Добиените резултати внеси ги во координатниот систем I_B-U_{BE} .



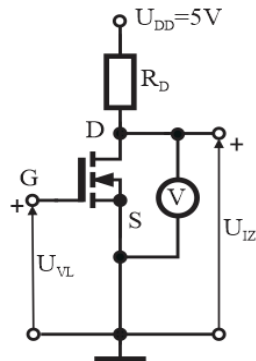
ЛАБОРАТОРИСКА ВЕЖБА БРОЈ 7

СНИМАЊЕ ПРЕНОСНА КАРАКТЕРИСТИКА НА УНИПОЛАРНИ MOSFET ТРАНЗИСТОРИ

На слика 12 е прикажано коло на инвертор со N-канален MOSFET BS170. Влезниот напон U_{VL} се нагодува на вредности зададени во табелата, додека вредноста на излезниот напон U_{IZ} се отчитува на волметар.

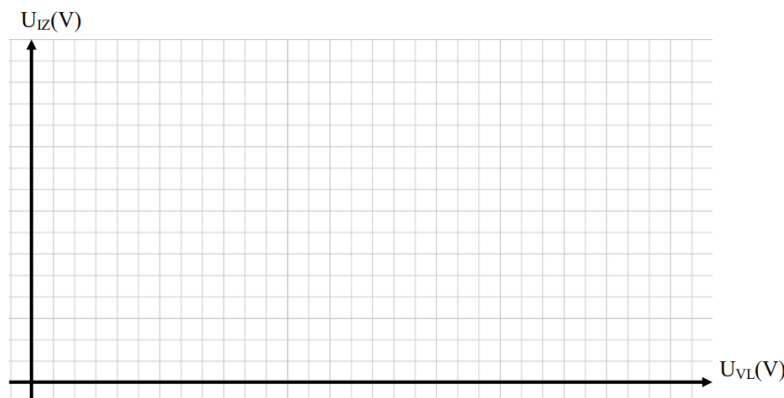
Измерените вредности да се запишат во табелата за различни вредности на отпорникот R_D : 100 Ω , 500 Ω , 1 k Ω , 10 k Ω .

На ист график скицирај ги добиените зависимости на излезниот напон од влезниот за секоја вредност на отпорноста на R_D .



Слика 12: Инвертор со N-канален MOSFET

U_{IN} (V)	0	0,5	1	1,5	2	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	2,9	3	3,5	4	4,5	5
U_{IZ} (V)/ $R_D=100 \Omega$																
U_{IZ} (V)/ $R_D=500 \Omega$																
U_{IZ} (V)/ $R_D=1 \text{ k}\Omega$																
U_{IZ} (V)/ $R_D=10 \text{ k}\Omega$																



Каталожни податоци за N-канален MOSFET со индуциран канал BS170:
 $U_{DS(SAT)}=60 \text{ V}$, $I_D=500 \text{ mA}$, $P_{DMAX}=830 \text{ mW}$.



Од графикот одреди ја вредноста на напонот на спроведување U_T . $U_T= ___ \text{ (V)}$
 Што претставува добиениот график?

ЛАБОРАТОРИСКА ВЕЖБА БРОЈ 8

ПРОЕКТИРАЊЕ ЗАСИЛУВАЧ СО ЗАЕДНИЧКИ ЕМИТЕР

Чекори на реализација:

Првиот чекор е избор на транзистор, нашиот избор е NPN-транзистор BC107. За избраниот транзистор да се одредат карактеристиките користејќи онлајн каталог (datasheet—на пример: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/21963/STMICROELECTRONICS/BC107.html>). Еднонасочниот напон за напојување на колекторот се избира помал од максимално дозволениот напон U_{CEmax} (каталожка вредност 45 V). Избираме напојување од 12 V ($U_{CC}=12$ V). Потоа го одредуваме напонот на отпорникот за стабилизација U_{RE} . За овој напон да нема влијание на засилувањето, неговата вредност се избира од 10 до 30 % од напонот U_{CC} , избираме $U_{RE}=2$ V. Бидејќи најповолна положба на работната точка е на средина на работната права, за напонот колектор-емитер во работната точка U_{CEM} би се добила вредност $U_{CEM}=6$ V. Поради присуството на отпорникот R_E , напонот U_{CEM} се одредува од:

$$U_{CEM} = \frac{U_{CC} - U_{RE}}{2} = \frac{12 - 2}{2} = 5 \text{ V}$$

Според големината на падот на напонот на отпорникот R_C :

$$U_{RC} = U_{CC} - U_{CE} - U_{RE} = 12 - 5 - 2 = 5 \text{ V}$$

Вредноста на отпорникот R_C се движи во граници од 0,5 до 5 k Ω , така што за отпорникот R_C ја избираме вредноста 2 k Ω .

За одредување на вредноста на колекторската струја во работната точка ќе ја користиме релацијата:

$$I_{CEM} = \frac{U_{CEM}}{R_C} = \frac{5}{2 \cdot 10^3} = 2,5 \text{ mA}$$

Вредноста на отпорникот R_E ја одредуваме на тој начин што земаме дека $I_E \approx I_C = 2,5$ mA:

$$R_E = \frac{U_{RE}}{I_E} = \frac{2}{2,5 \cdot 10^{-3}} = 0,8 \text{ k}\Omega$$

Избираме каталожка вредност $R_E=820$ Ω .

Од каталогот ја читаме вредноста на $h_{fe}=110$, со која ја пресметуваме големината на базната струја:

$$I_B = \frac{I_C}{h_{fe}} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{110} = 22,7 \mu\text{A}$$

За напонот на базата ја добиваме вредноста:

$$U_B = U_{RE} + 0,7 = 2,7 \text{ V}$$

Вредноста на отпорниците за поларизација на базата R_1 и R_2 , се одредуваат по претпоставка дека низ нив тече многу поголема струја од базната, така што може да се смета дека $I_1 \gg I_B$, за промената на базната струја да не влијае на поларизацијата на базата. Ќе претпоставиме дека:

$$I_1 = 5 \cdot I_B = 5 \cdot 22,7 \cdot 10^{-6} = 113,5 \mu\text{A}$$

Од изразот: $U_{CC} = (R_1 + R_2) \cdot I_1$

$$\rightarrow R_1 + R_2 = \frac{U_{CC}}{I_1} = \frac{12}{113,5 \cdot 10^{-6}} = 105,7 \text{ k}\Omega$$

Вредноста на отпорникот R_2 ја одредуваме од напонот на базата:

$$R_2 = \frac{U_B}{I_1} = \frac{2,7}{113,5 \cdot 10^{-6}} = 23,7 \text{ k}\Omega$$

Од каталожките вредности за отпорници ја одбираме вредноста $24 \text{ k}\Omega$.

Отпорноста на отпорникот R_1 ја одредуваме од разликата:

$$R_1 = 105,7 \cdot 10^3 - 24 \cdot 10^3 = 81,7 \text{ k}\Omega$$

Избираме каталожка вредност $R_1 = 82 \text{ k}\Omega$.

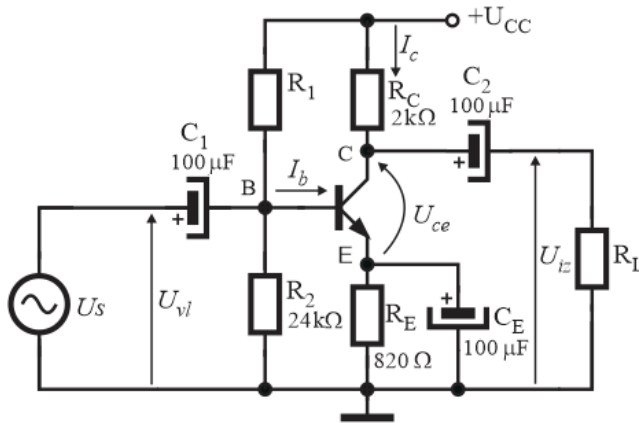
Електролитските кондензатори за спрега C_1 и C_2 се избираат така што нивната реактанса X_C е доволно помала од влезната отпорност на засилувачот или која било отпорност на потрошувачот. Затоа се избираат кондензатори со поголема капацитивност, од редот на десетици μF .

Електролитскиот кондензатор C_E исто така треба да има мала реактанса X_{CE} , за наизменичниот сигнал да не поминува низ отпорникот R_E . Ова практично би се постигнало ако е исполнет условот:

$$X_{CE} = \frac{1}{\omega C_E} \leq \frac{1}{10} R_E = \frac{1}{10} 0,82 \cdot 10^3 = 82 \Omega$$

Во нашиот случај ќе ги земеме сите кондензатори со вредност од $100 \mu\text{F}$.

Електрична шема за реализација



Слика 13: Електрична шема на засилувач во спој со заеднички емитер

1. Добиените елементи да се монтираат на прото-плочка според дадената шема на засилувачот (слика 13)!

Да се внимава на редоследот на изводите на транзисторот при монтирање на прото-плочката и печатената плочка (слика 14)!

Да се внимава на поларитетот на електролитскиот кондензатор, на куќиштето на негативниот приклучок е означен со вертикална сива лента на која е запишан знакот „-“ (слика 15).



Слика 14: Распоред на изводите транзисторот



Слика 15: Означување на електролитскиот кондензатор

2. Со универзален инструмент да се измери еднонасочниот напон U_{CE} , колекторската и базната струја.

$U_{CE} = \underline{\hspace{2cm}}$, $I_C = \underline{\hspace{2cm}}$, $I_B = \underline{\hspace{2cm}}$.

3. На излезните катактеристики да се нацрта работната права!

Крајните точки на работната права се одредуваат од нејзината равенка:

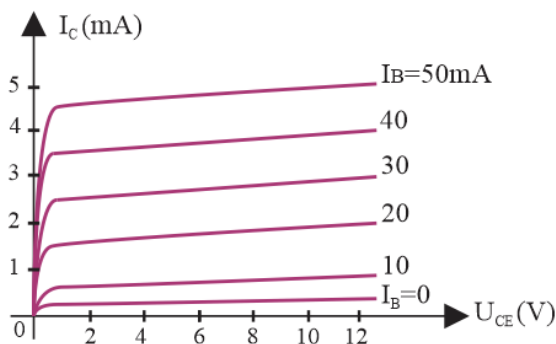
$U_{CC} = U_{CE} + (R_C + R_E)I_C$

За $I_C = 0$ за U_{CE} се добива: $\underline{\hspace{2cm}}$

За $U_{CE} = 0$ за I_C се добива: $\underline{\hspace{2cm}}$

5. Да се одреди положбата на работната точка M!

6. Да се изработи монтажна шема потребна за изработка на печатена плочка.

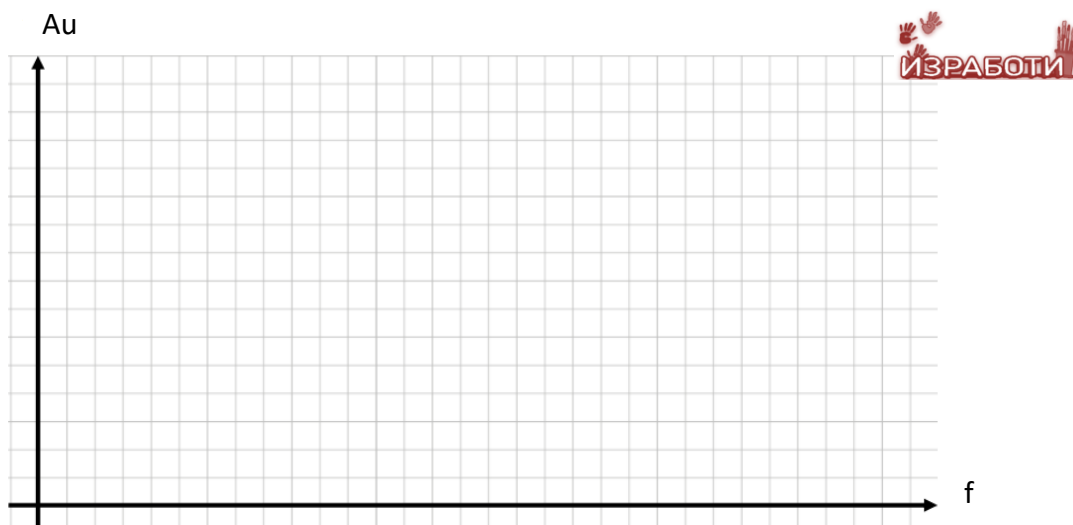


7. Да се изработи печатена плочка, да се монтираат и да се залемат елементите според дадената шема.

8. Да се приклучи тон генератор на влез на засилувачот. Да се нагоди вредноста на влезниот напон на 10 mV. Да се менува фреквенцијата според зададените вредности во табелата и да се измери соодветната вредност на излезниот напон. Резултатите да се запишат во табелата. Да се пресмета напонското засилување.

f (kHz)	0,02	0,05	0,1	0,3	0,5	1	10	50	100	150	200
$\log(f)$	1,3	1,7	2	2,5	2,7	3	4	4,7	5	5,2	5,3
U_{iz} (V)											
$A_U = U_{iz}/U_{vl}$											

7. Да се нацрта зависноста на засилувањето од фреквенцијата.



ЛАБОРАТОРИСКА ВЕЖБА БРОЈ 9

ИСПИТУВАЊЕ И СНИМАЊЕ СТАТИЧКА КАРАКТЕРИСТИКА НА ТИРИСТОР



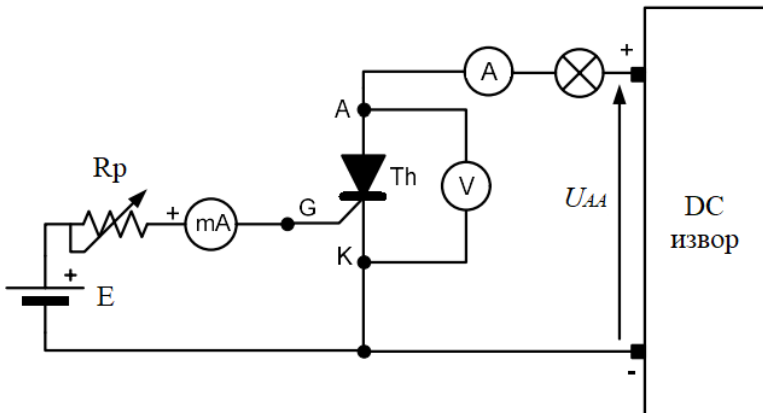
Слика 16: Симбол на тиристор

Приклучоците на симболот на тиристорот се означени како А-анода, К-катода и G-гејт или порта (слика 16). Тиристорот се испитува со мерење на отпорноста помеѓу неговите приклучоци. (А-К и G-К). Отпорноста помеѓу анодата и катодата треба да биде голема во двата смера.

При мерење на отпорноста помеѓу гејтот и катодата треба да се добие отпорност која е различна во зависност од видот на тиристорот. Доколку оваа отпорност е многу голема во двата смера, станува збор за прекин во тиристорот. Добиените резултати да се внесат во дадената табела.

	Th1	Th2	Th3
R_{AK}			
R_{KA}			
R_{GK}			
R_{KG}			
Исправен/неисправен			

На слика 17 е прикажано колото за испитување на карактеристиките на транзисторот со помош на еднонасочен напон. Се нагудува струјата на гејтот и се одржува на зададената вредност. Вредноста на напонот U_{AA} постепено се зголемува додека тиристорот не спроведе. Постапката да се повтори и за други вредности на I_G .



Слика 17: Коло за снимање статичка карактеристика на тиристор

Измерените вредности за напонот помеѓу анодата и катодата U_{AK} и струјата низ нив да се запишат во дадената табела.

Снимање на карактеристиката на тиристорот во состојба на директно блокирање:

Да се нагоди струјата $I_G = \underline{\hspace{2cm}}$ mA и да се одржува на зададената вредност!																
U_{AA} (V)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
I_{AK} (mA)																
U_{AK} (V)																

Снимање на карактеристиката на тиристорот во состојба на директно спроведување: Откога тиристорот ќе спроведе, да се исклучи побудата и напонот U_{AA} постепено да се намалува во чекори зададени во табелата. Измерените вредности за напонот помеѓу анодата и катодата U_{AK} и струјата низ нив да се запишат во дадената табела.

$I_G = \underline{\hspace{2cm}}$ mA, напонот од $U_{AA} = 15$ V да се намалува во дадените чекори!							
U_{AA} (V)	15	13	11	9	7	5	3
I_{AK} (mA)							
U_{AK} (V)							

Снимање на карактеристиката на тиристорот во состојба на инверзно блокирање: Тиристорот не се побудува, управувачкото коло е исклучено, со напонот U_{AA} се нагодуваат инверзните напони зададени во табелата. Измерените вредности за напонот помеѓу анодата и катодата U_{AK} и струјата низ нив да се запишат во дадената табела.

$I_G = 0$ и за напонот U_{AA} да се зададат дадените вредности!								
U_{AA} (V)	0	-2	-4	-6	-8	-10	-12	-14
I_{AK} (μ A)								
U_{AK} (V)								
U_{AA} (V)	-16	-18	-20	-22	-24	-26	-28	-30
I_{AK} (μ A)								
U_{AK} (V)								

7. Да се нацртаат добиените карактеристики.

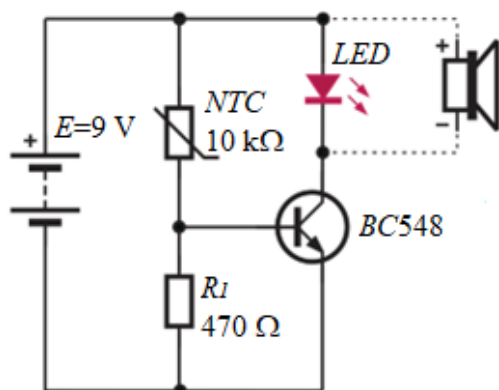


Заклучок:

ЛАБОРАТОРИСКА ВЕЖБА БРОЈ 10

АЛАРМ ЗА ПОЖАР СО NTC ТЕРМИСТОР

На слика 18 е прикажана електрична шема на аларм за пожар. LED диодата, која може да биде заменета со коло за звучна сигнализација на алармот, автоматски ќе биде вклучена при пораст на температурата. Ова електрично коло може да се користи како автоматски контролер на вентилатор, доколку LED диодата се замени со вентилатор. Отпорноста на термисторот на собна температура е наведена од производителот во каталожките податоци, со што може да се избере соодветен термистор за одредена примена.



Потребни елементи:
 NTC 103 термистор (10 kΩ)
 BC 548 NPN транзистор
 $R_1=470 \Omega$ отпорник
 LED диода
 $E=9 \text{ V}$ батерија.

- ⇒ За потребниот термистор да се извадат каталожки податоци!
- ⇒ Користејќи каталожки податоци за BC548 одреди го распоредот на изводите!

Слика 18: Електрична шема за аларм за пожар

- Да се симулира електричното коло во избраната програма за симулација.
- Да се изработи монтажна шема потребна за изработка на печатена плочка.
- Да се изработи печатена плочка, да се монтираат и да се залемат елементите според дадената електрична шема.

⇒ Тестирај го колото на различни температури!

Заклучок:

ЛАБОРАТОРИСКА ВЕЖБА БРОЈ 11

МЕРАЧ НА НИВО НА ТЕЧНОСТ СО РТС ТЕРМИСТОР

На слика 19 е прикажано едноставно коло за мерење на ниво на течност во резервоар. Колото се напојува со еднонасочен извор на напон E . На одредена висина се поставени РТС термистори паралелно поврзани. Сериски со еднонасочниот извор е приклучен инструмент, амперметар, кој се баждари зависно од висинската поставеност на РТС термисторите. Во воздух сите термистори се загреваат, се зголемува нивната отпорност, притоа во колото тече многу мала јачина на струја I . Кога некој од термисторите се потопи во течност, неговата температура опаѓа, што предизвикува скоковит пораст на јачината на струјата I . Покажувањето на амперметарот е пропорционално на нивото на течноста.

Потребени елементи:

$E=30\text{ V}$ извор на еднонасочен напон
 В59001 (или сличен) - РТС термистор

Амперметар.

⇒ Да се извадат каталожки податоци за РТС термисторот!



Слика 19: Коло за мерење ниво на течност

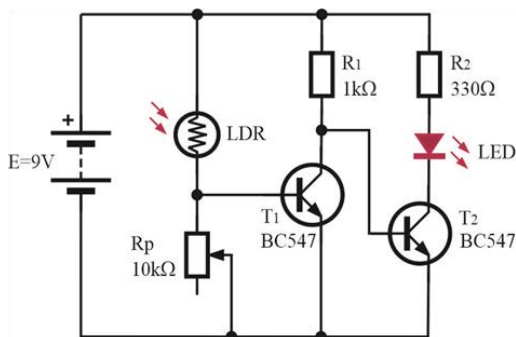
Ниво на течност	Измерена струја
Ниво 1 (R_1)	
Ниво 2 (R_2)	
Ниво 3 (R_3)	
Ниво 4 (R_4)	

Заклучок:

ЛАБОРАТОРИСКА ВЕЖБА БРОЈ 12

СВЕТЛОСЕН СЕНЗОР СО ФОТООТПОРНИК

За градба на едноставен светлосен сензор, како фотоелектричен елемент може да се користи фотоотпорник (LDR) поврзан во електрично коло како што е прикажано на слика 20. Конструкцијата на колото од слика е многу едноставна. Претставува сензор за детекција на темнина, каде LED диодата свети во отсуство на светлина. Потенциометар R_p и фотоотпорникот (LDR) формираат отпорнички делител на напонот на базата на транзисторот T_1 . Кога паѓа светлина со одреден интензитет на LDR отпорникот, неговиот отпор ќе се намали. Притоа, се зголемува струјата на напонскиот делител, притоа транзисторот T_1 ќе спроведува, што доведува до исклучување на транзисторот T_2 . Бидејќи нема излезна струја од транзистор T_2 , LED диодата не свети. Во отсуство на светлината на LDR отпорникот, т.е. под потемни услови, отпорноста на LDR отпорникот многу ќе се зголеми, а струјата низ отпорничкиот делител се намалува, при тоа транзисторот T_1 станува неспроводлив. Тогаш се вклучува вториот транзистор T_2 бидејќи неговиот влез е поврзан со излезот на транзисторот T_1 . Како резултат, LED диодата, која е поврзана со излезот на транзистор T_2 , ќе се вклучи. Електричните кола од овој вид може да се применат во системите за вклучување на улично осветлување.



Слика 20: Светлосен сензор со фотоотпорник

Потребни елементи:

2 x BC547 NPN транзистор

LDR - фотоотпорник

$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ отпорник

$R_2 = 330 \Omega$ отпорник

$R_p = 10 \text{ k}\Omega$ потенциометар

LED диода

$E = 9 \text{ V}$ батерија

⇒ За потребниот фотоотпорник да се извадат каталожки податоци!

- ◆ Да се симулира електричното коло во избраната програма за симулација.
- ◆ Да се изработи монтажна шема потребна за изработка на печатена плочка.
- ◆ Да се изработи печатена плочка, да се монтираат и да се залемат елементите според дадената електрична шема.
- ◆ Тестирај го колото на темно и на светло!
 - ⇒ Користејќи каталожки податоци за BC547 одреди го распоредот на изводите на транзисторите T_1 и T_2 !

ЛАБОРАТОРИСКА ВЕЖБА БРОЈ 13

СВЕТЛОСЕН ПРЕКИНУВАЧ СО ФОТОТРАНЗИСТОР

За градба на едноставен светлосен прекинувач, како фотоелектричен елемент може да се користи фототранзистор поврзан во електрично коло како што е прикажано на слика 21. Фототранзисторот се вклучува кога неговата база е изложена на светлина, при тоа протекува струја од колекторот кон емитерот. Струјниот круг се затвора преку изворот E и отпорникот R_1 . MOSFET-от е исклучен, низ него не протекува струја, и светилката не свети. Во отсуство на светлина, фототранзисторот е исклучен, струјниот круг се затвора преку изворот E , отпорникот R_1 и MOSFET-от, при тоа протекува струја низ светилката. Заклучуваме дека светилката свети во отсуство на светлина.

Потребни елементи:

PT 331C фототранзистор

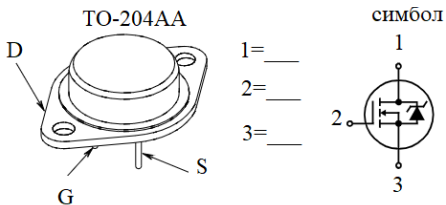
IRF 244 MOSFET

$R=100\text{ k}\Omega$ отпорник

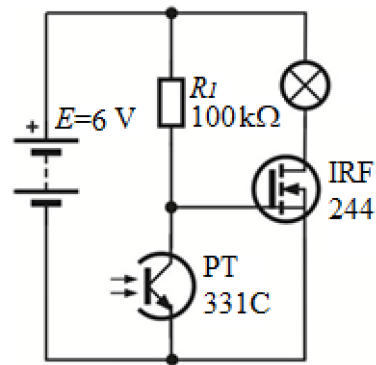
светилка

$E=6\text{ V}$ батерија

За потребниот фототранзистор да се извадат каталожки податоци!



Користејќи каталожки податоци за IRF 244 одреди го распоредот на изводите на MOSFET-от!



Слика 21: Светлосен прекинувач со фототранзистор

- Да се симулира електричното коло во избраната програма за симулација.
- Да се реализира зададената шема и да се демонстрира нејзината функција!
- Да се изработи монтажна шема потребна за изработка на печатена плочка.
- Да се изработи печатена плочка, да се монтираат и да се залемат елементите според дадената електрична шема.

Заклучок:

ЛАБОРАТОРИСКА ВЕЖБА БРОЈ 14

ЕЛЕКТРОНСКИ АЛАРМ ЗА ПРИСТИГНАТА ПОШТА

За градба на едноставен светлосен сензор, како фотоелектричен елемент може да се користи фотоотпорник (LDR) поврзан во електрично коло како што е прикажано на слика 22. Електронскиот аларм сигнализира кога во поштенското сандаче ќе пристигне пошта. Овој уред се монтира во поштенското сандаче, при што мора да се внимава LED диодата и фотоотпорникот да бидат поставени во иста линија на спротивни страни од сандачето. Кога поштарот ќе го стави пликото во сандачето, се прекинува светлината од LED диодата која паѓа врз фотоотпорникот. Ова предизвикува промена на неговата отпорност и преку интегрираното коло NE555 го активира звучникот-базер. Сандачето, односно звучникот, ќе алармира сè додека не се извади поштата (пликото) од него.

Потребни елементи:

Батерија 9 V

$R_1=100\ \Omega$ -отпорник

$R_2=10\ \text{k}\Omega$ -отпорник

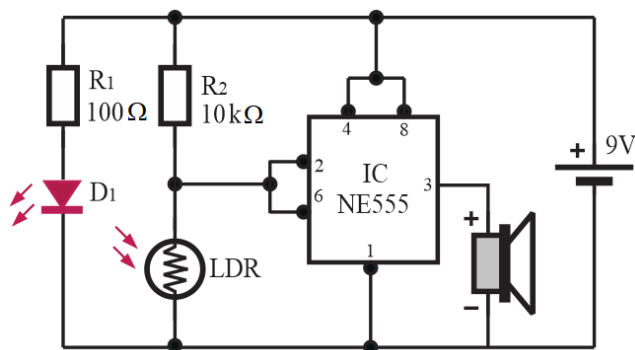
D₁-бела LED диода

NE555-интегрирано коло

LDR-фотоотпорник

Звучник-базер

За потребниот фотоотпорник да се извадат каталожки

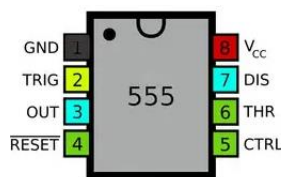


Слика 22: Аларм за поштенско сандаче

Користејќи каталожки

податоци одреди го распоредот на изводите на интегрираното коло NE555!

Пин дијаграм на ИК 555NE555!



1. Да се симулира електричното коло во избраната програма за симулација.
2. Да се изработи монтажна шема потребна за изработка на печатена плочка.
2. Да се изработи печатена плочка, да се монтираат и да се залемат елементите според дадената електрична шема.
3. Да се тестира неговата исправност.

1. Префикси кои се употребуваат во меѓународниот систем на единици

Вредност	Назив	Ознака	Вредност	Назив	Ознака
10^{-24}	јокто	y	10^{24}	јота	Y
10^{-21}	zepto	z	10^{21}	зета	Z
10^{-18}	ато	a	10^{18}	екса	E
10^{-15}	фемто	f	10^{15}	пета	P
10^{-12}	пико	p	10^{12}	тера	T
10^{-9}	нано	n	10^9	гига	G
10^{-6}	микро	μ	10^6	мега	M
10^{-3}	мили	m	10^3	кило	K
10^{-2}	центи	c	10^2	хекто	h
10^{-1}	деци	d	10^1	дека	da

2. Основни SI единици

Физичка величина	Единица		
	Ознака	Назив	Ознака
Должина	l	метар	m
Маса	m	килограм	kg
Време	t	секунда	s
Јачина на струјата	I	ампер	A
Термодинамичка температура	T	келвин	K
Количество супстанција	n	мол	mol
Интензитет на светлина	I_v	кандела	cd

3. Изведени SI единици

Назив на величината	Симбол на величината	Назив на единицата	Симбол на единицата	Дефиниција за единицата
Сила	F	Њутн	N	$\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
Притисок	P	Паскал	Pa	$\text{N}/\text{m}^2=\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$
Енергија	E	Јул	J	$\text{N}\cdot\text{m}=\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$
Густина	ρ	kg на m^3	kg/m^3	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$

СОДРЖИНА

Модуларна единица 1. Елементи во енергетска електроника

Вовед	3
1.1 Класификација на електронски елементи	4
1.2 Диоди	6
1.3. Транзистори	11
1.3.1 Биполарни транзистори	11
1.3.2 Униполарни транзистори	13
1.4 Тиристори	17
1.5 Отпорници со нелинеарна промена на отпорност	20
1.5.1 Термистори	21
1.5.2 Варистори	22
1.6 Фотоелектрични елементи	24
1.7 Интегрирани кола	27
1.7.1 Видови на интеграција	27
1.8 Електронски шеми	30
1.8.1. Коло за вклучување на LED светло со фотоотпорник	31
1.8.2 Прекинувачко коло со тиристор за вклучување на LED	32
1.9 Каталогски податоци	33
Прашања за утврдување на знаење од Модул 1	35
Тематско утврдување	36

Модуларна единица 2. Диоди

2.1 PN – спој	41
2.2 Поларизација на диодата	44
2.3 Струјно напонска карактеристика на диодата	46
2.4 Класификација на диодите	49
2.5 Диодни кола	52
2.5.1 Диодни насочувачи	52
2.5.1.1 Еднофазен полубранов насочувач	54
2.5.1.2 Еднофазен целобранов насочувач	56
2.5.1.3 Повеќефазен насочувач	61
2.5.2 Диодни огарничувачи	63
2.5.3 Диодни стабилизатори на напон	67
2.5.4 Диодни логички кола	70
Прашања за утврдување на знаење од Модул 2	73
Тематско утврдување	75

Модуларна единица 3. Транзистори

3.1 Поим за транзистор	79
3.2 Видови биполарни транзистори	80
3.3 Видови униполарни транзистори	83
3.4 Примена на транзисторите	86
3.5 Поларизација на биполарен транзистор	87
3.6 Статички режим на работа на транзисторот	92

3.6.1	Статички карактеристики на транзисторот	92
3.6.2	Статичка работна точка и работна права на транзисторот	95
3.7	Динамички режим на работа на транзисторот	97
3.7.1	Еквивалентна шема на транзистор со h -параметри	99
3.8	Споеви на биполарен транзистор	102
3.9	Поларизација на униполарен транзистор	104
3.10	Споеви на униполарен транзистор	106
3.11	Статички карактеристики на FET	107
3.12	Транзистор како засилувач	110
3.13	Параметри на транзисторот	113
3.13.1	Одредување на параметрите на транзисторот во спој со заеднички емитер	116
3.14	Транзистор како прекинувач	119
3.15	IGBT - транзистор со изолиран гејт	122
3.16	Транзисторски логички кола	124
	Прашања за утврдување на знаење од Модул 3	128
	Тематско утврдување	130
Модуларна единица 4. Тиристор		133
4.1	Поим и поделба на тиристор	135
4.2	Струјно-напонска карактеристика на тиристорот	138
4.3	Побудување на тиристорот	141
4.3.1	Побудување на тријакот	144
4.4	Примена на тиристорите	146
4.4.1	Примена на тиристорот како прекинувач во коло со еднонасочна струја	147
4.4.2	Примена на тиристорот како прекинувач во коло со наизменична струја	148
4.4.3	Примена на тиристорите во управувани насочувачи	149
	Прашања за утврдување на знаење од Модул 4	152
	Тематско утврдување	153
Модуларна единица 5. Термистори и специфични електронски елементи		155
5.1	Термистор	157
5.1.1	NTC – термистори	158
5.1.2	PTC – термистори	159
5.2	Видови фотоелектрични елементи	161
5.2.1	Фотоотпорници	161
5.2.2	Фототранзистори	164
5.2.3	Фотогенератори	166

5.2.4 Варистори	170
5.2.5 Дисплеј со течен кристал	171
5.2.6 Оптокаплери	175
Прашања за утврдување на знаење од Модул 5	178
Тематско утврдување	179
Модуларна единица 6. Електронски склопови и уреди	181
6.1 Видови електронски склопови и уреди уреди	183
6.2 Претворувачи	185
6.2.1 Уреди за непрекинато напојување	188
6.3 Алармни системи	189
6.3.1 Електро механички сензори	190
6.3.2 Основни прекинувачки кола во алармни системи	192
6.3.3 Електрични сензори	193
6.3.4 Електронски елементи на алармен систем	194
6.3.5 Електронско свонче	199
6.3.6 Домашен алармен систем	200
6.3.7 Систем за детекција на движење со PIR сензори	201
6.3.8 Безжичен алармен систем	201
6.4 Безбедносни системи	203
6.4.1 Видео надзор	203
6.4.1.1 Софтвер за видео надзор	205
6.4.1.2 Он-лајн софтверски алатки за дизајнирање на CCTV безбедносен систем	205
6.4.1.3 Компјутерски софтвер за дизајнирање безбедносен систем	207
6.4.1.4 Конфигурирање и дизајнирање на CCTV безбедносен систем	210
6.4.2 Системи за контрола на пристап	212
6.4.3 Против-пожарни алармни системи	213
6.4.3.1 Детектори за пожар	213
Прашања за утврдување на знаење од Модул 6	216
Тематско утврдување	217
Задачи и решени примери	221
Лабораториски вежби	233

ЛИТЕРАТУРА

1. David Irwin David Kerns: Introduction to Electrical Engineering, Prentice Hall International Editions, 1995
2. Методија Камиловски: Електроника за III година, електротехничка струка, Просветно дело 1995
3. Milman – Halkias: Integrated electronics: analog and digital circuits and systems, 1972
4. Милутин Петковиќ: Електроника, учебник за III степен на занимањата од електротехничката струка со насока слаба струја и автоматика, Просветно дело, 1993
5. Зоран Тасиќ: Електроника II за електротехничките училишта, Просветно дело, 1982
6. Ратко Опачиќ: Електроника I за други разред електротехничке школе, Завод за уџбенике, Београд, 2008
7. Александра Ристиќ: Електроника I за други разред електротехничке школе, Завод за уџбенике, Београд, 2017
8. Наташа Божиновска: Електроника за II година електротехничка струка, МОН, 2010
9. Јани Сервини: Основи на мерењата и логички кола за II година електротехничка струка, МОН, 2010
10. Енергетска електроника - Збирка задачи, Милан Аџиќ, Суботица 2016 год.
11. Тиристорски претварачи, Радојле Радетиќ, Бор 2004 год.
12. Микроелектронски кола, Адел Седра/Кенет Ц. Смит, Арс Ламина, 2009 год.
13. ELECTRONIC DEVICES AND CIRCUIT THEORY, Robert Boylestad/Louis Nashelsky, New Jersey Columbus, Ohio
14. Идустриска електроника, Василија Шарац, Штип, 2012 год.
15. Основи на применета електротехника, Влатко Чингоски, Штип, 2019 год.