

Meno a priezvisko:
Škola:
Predmet:
Školský rok/blok:
Skupina:
Trieda:
Dátum:

Škola pre mimoriadne nadané deti a Gymnázium
Fyzika

Teória

Elektrický prúd v polovodičoch fyzikálne základy elektroniky

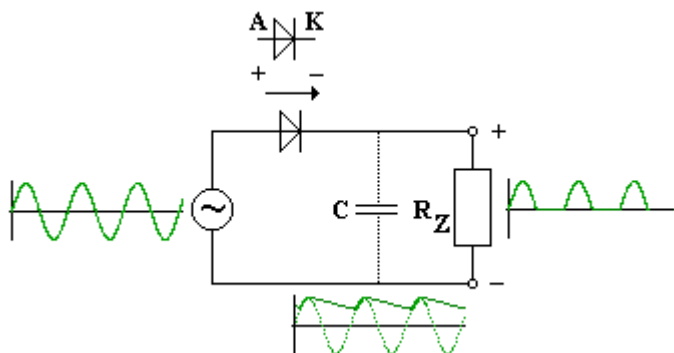
Usmerňovač; tranzistor, tranzistorový jav

1.4 Usmerňovač

Striedavé napätie je možné získavať oveľa jednoduchšie ako napätie jednosmerné. Preto je nutné poznať princíp, ako striedavé napätie „prevedieme“ na napätie jednosmerné. Z polovodičových súčiastok je na tento účel najlepšie použiteľná dióda. Prechádzajúci prúd je totiž závislý na polarite napätia na dióde. Diódou prechádza prúd len vtedy, keď je anóda diódy pripojená ku kladnému pólu zdroja napätia (priepustný smer). Pri opačnej polarite má dióda veľký odpor a prechádza ňou len zanedbateľný prúd.

Prúd, ktorý prechádza diódou v závernom smere je tak malý, že je možné ho vzhľadom k prúdu v priepustnom smere zanedbať.

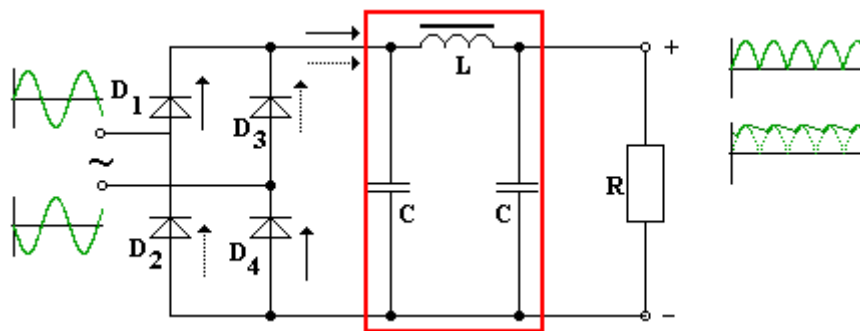
Ak pripojíme do obvodu striedavého prúdu diódu, bude pracovať ako „elektrický ventil“: prechádza ňou prúd len v kladných polperiódach vstupného striedavého napätia, naopak v záporných polperiódach napätia obvodom prúd neprechádza. Výstupné napätie na pracovnom rezistore R_Z je jednosmerné a pulzujúce. Nastalo usmernenie striedavého napätia, pričom sa ale využíva len jedna polovina periódy striedavého napätia. Dióda pracuje ako jednocestný usmerňovač a obvodom prechádza jednosmerný prúd.



Pre praktické použitie usmerňovača je dôležité obmedziť pulzáciu výstupného napätia. Tohoto je možné dosiahnuť pomocou kondenzátora s kapacitou C , ktorý pripojíme paralelne k výstupu usmerňovača. V kladných polperiódach sa kondenzátor nabíja, v záporných polperiódach sa cez rezistor R_Z vybíja. Kondenzátorom sa pulzácia čiastočne vyhladí.

Vyhladenie je tým viac účinné, čím je väčšia kapacita C kondenzátora a odpor rezistora R_Z . Pre $R_Z \rightarrow \infty$ (usmerňovač naprázdno), má usmernené napätie hodnotu zodpovedajúcu amplitúde striedavého napätia.

U jednocestného usmerňovača nie je využitá polovina usmerňovaného napätia. Preto sa v technickej praxi používa usmerňovač so štyrmi diódami v tzv. Graetзовom zapojení.

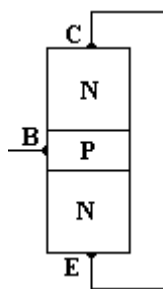


Dvojicami diód D_1 a D_2 ; D_3 a D_4 striedavo prechádza prúd a výstupné napätie pulzuje s dvojnásobnou frekvenciou. K dokonalému usmerneniu pulzujúceho napätia sa používajú zložitejšie filtre s kondenzátormi s veľkou kapacitou a s rezistormi resp. tlmičkami (zakreslené v schéme červeným).

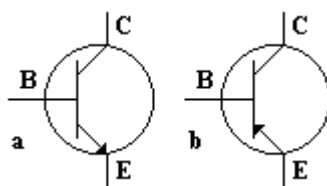
Usmerňovače sú funkčnou časťou veľkého množstva elektronických prístrojov, ktoré sú napájané z elektrickej siete. Diódy sa tiež uplatňujú v meracích prístrojoch, k detekcii signálov v rozhlasových prijímačoch,

1.5 Tranzistor, tranzistorový jav

Tranzistor patrí medzi najdôležitejšie polovodičové súčiastky. Je vytvorený kryštálom polovodiča s dvomi PN prechodmi.



Stredná časť kryštálu je **báza „B“** a prechody PN ju oddeľujú od oblastí s opačným typom vodivosti, ktoré označujeme ako **kolektor „C“** a **emitor „E“**. Oblasť kolektora je spravidla väčšia ako oblasť emitora a prechody sú v malej vzájomnej vzdialenosti, takže objem bázy medzi obomi PN prechodmi je malý.



Podľa typu vodivosti jednotlivých častí označujeme tranzistory ako NPN a PNP. Schématické značky oboch typov sú podobné (vľavo NPN).

Mnemotechnické pomôcka, ako si pamätať, ktorá značka patrí ktorému tranistoru – „NPN-šipka ven!“

Ku kolektoru, báze a emitoru sú pripojené kovové kontakty a elektródy, ktoré majú zhodné názvy. Preto je pre tranzistor charakteristické, že z púzdra, ktoré chráni polovodičový systém, vychádzajú tri vývody. Pomocou nich tranazistor zapájame do elektronických obvodov.

Samotný tranzistor má dva obvody – vstupný a výstupný. Preto by mal mať štyri vývody. Jedna elektróda je však spoločná obom obvodom. Preto rozlišujeme rôzne zapojenia

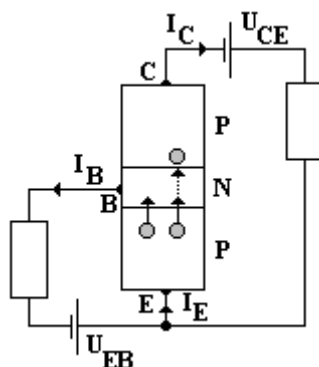
tranzistorov – zapojenie **so spoločnou bázou**, zapojenie **so spoločným kolektorom** (toto zapojenie sa používa málo a pre špeciálne účely) a zapojenie **so spoločným emitorom**.

Tranzistor má dva PN prechody – emitorový prechod medzi E-B a kolektorový prechod medzi B-C. Oba je možné zapojiť dvomi spôsobmi a tak získavame celkom štyri možnosti zapojenia:

1. Oba prechody v priepustnom smere – odpor oboch prechodov je malý, je preto malý i celkový odpor súčiastky a súčiastkou prechádza veľký prúd. Nemožno však realizovať veľké zmeny napätia, takže toto zapojenie je pre zosilňovanie nevhodné.
2. Oba prechody v závernom smere – prechádza malý prúd nezávisle na napätí (odpor prechodov a teda aj celej súčiastky je veľký), teda opäť nevhodné pre praktické zapojenie.
3. Jeden prechod v priepustnom a druhý v závernom smere – jedná sa o dve ekvivalentné možnosti. V tomto zapojení je možné použiť tranzistor ako zosilňovač. To znamená, že tranzistor musí byť skonštruovaný tak, aby mohol kolektorom prechádzať veľký prúd – preto musí mať kolektor väčšiu plochu, aby sa viac ochladzoval. Geometrické usporiadanie kolektora a emitora je preto iné.

Nasledujúci výklad bude pre tranzistor typu PNP, aj keď v praxi sa viac vyskytuje tranzistor typu NPN. Je to z dôvodu, že tranzistor PNP je zrozumiteľnejší výklad. Vysvetlenie tranzistoru typu NPN je analogické.

1.5.1 Zapojenie PNP so spoločným emitorom



Pri zapojení tranzistora so spoločným emitorom (podľa obrázku) je emitorový prechod zapojený v priepustnom smere a kolektorový prechod v závernom smere.

Vysvetlenie činnosti tranzistora v tomto prípade je analogické s vysvetlením činnosti tranzistora v zapojení so spoločnou bázou.

Aj tu platí $I_E = I_B + I_C$, z toho vyplýva $I_E > I_C$ a teda $\Delta I_E > \Delta I_C$. Možno definovať prúdový zosilňovací činiteľ v zapojení so spoločným emitorom $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ pri konštantnom napätí U_{CE} .

Pre prúdový zosilňovací činiteľ je možné napísať vzťah:

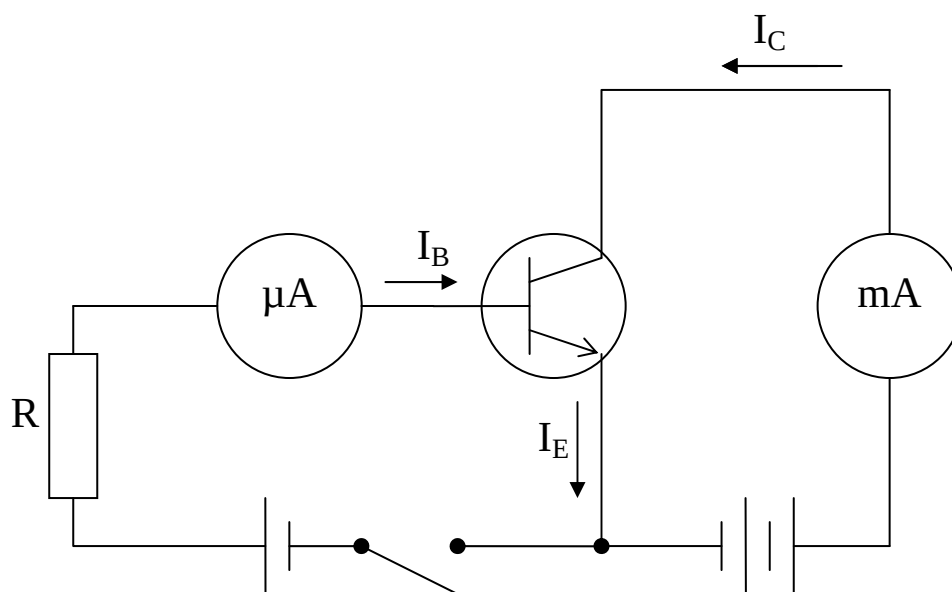
$$\beta = \frac{\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}}{\frac{\Delta I_E}{\Delta I_E}} = \frac{\frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}}{\frac{\Delta I_E - \Delta I_C}{\Delta I_E}} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \gg 1$$

I tu je jasná snaha výrobcov tranzistorov o to, aby v báze dochádzalo k malej rekombinácii, teda $I_B \rightarrow 0$. Preto je β omnoho väčšia ako 1 a nastáva **tranzistorový jav**: malé napätie vzbudzuje v báзовom obvode prúd, ktorý je príčinou vzniku omnoho väčšieho prúdu v kolektorovom obvode.

Prúd prechádzajúci bázou prechádza prechodom báza-emitor, ktorý sa chová ako odbpior (je zapojený v priepustnom smere). Tento prúd je malý, a preto bude malé i napätie na prechode. Prechod zapojený v priepustnom smere má malý odpor (voči odporu prechodu zapojenom v závernom smere), ale aj tak je tento odpor väčší ako odpor ostatných častí obvodu. Napätie sa sústreďí na mieste väčšieho odporu: na prechode báza-kolektor, ktorý je zapojený v smere závernom. Z toho vyplýva, že hodnota koeficientu napäťového zosilnenia $\frac{\Delta U_{CE}}{\Delta U_{EB}}$ je rádovo omnoho väčší ako 1.

Pri zapojení tranzistoru so spoločným emitorom sa zosilňuje napätie a aj prúd. Výkon sa teda zosilňuje viac ako v prípade zapojenia so spoločnou bázou. Preto je zapojenie so spoločným emitorom výhodnejšie a viac používané.

1.5.2 Zapojenie NPN so spoločným emitorom



Základným zapojením tranzistora typu NPN je na obrázku. Najprv zostavíme kolektorový obvod: Kolektor je pripojený cez miliampérmetr ku kladnému pólu zdroja a emitor k pólu zápornému. Kolektorový prechod (prechod medzi bázou a kolektorom) je zapojený v závernom smere a kolektorovým obvodom preto neprechádza prúd – výchylka na miliampérmetri je nulová.

Do zapojenia doplníme obvod bázy. Bázu pripojíme cez mikroampérmetr a rezistor s veľkým odporom ku kladnému pólu druhého zdroja, jeho záporný pól pripojíme k emitoru. **Pretože napätie na prechode medzi bázou a emitorom je orientované v priepustnom smere, začne obvodom bázy prechádzať malý prúd I_B .** V tomto okamihu však zistíme, že prúd začal prechádzať aj obvodom kolektorovým, napriek tomu, že napätie na kolektorovom prechode zostáva orientované v závernom smere. Pritom kolektorový prúd I_C je mnohokrát väčší ako prúd I_B . Nastal tranzistorový jav – takto sa prejavuje základná funkcia tranzistora:

Malé napätie vzbudzuje v obvode bázy prúd, ktorý je príčinou mnohonásobne väčšieho prúdu v kolektorovom obvode.

Tranzistorový jav vysvetlíme zjednodušeným modelom: Prúd bázy I_B je vytváraný elektrónmi, ktoré z emitora prenikajú do oblasti bázy. V jej malom objeme je nedostatok dier, s ktorými by sa elektróny mohli rekombinovať. Súčasne sú elektróny silne priťahované ku kolektor, ktorý má kladný potenciál. Pretože elektróny sú v oblasti bázy menšinovými nosičmi náboja, môžu voľne prechádzať kolektorovým prechodom, ktorý je pre väčšinové nosiče – diery – uzatvorený. To znamená, že z elektrónov, ktoré prichádzajú do bázy, sa len malá časť

rekombinuje (tomu zodpovedá prúd I_B). Väčšina prechádza do kolektora a vytvára výrazne väčší kolektorový prúd I_C .

Pri činnosti tranzistora teda dochádza k zväčšeniu, t.z. k zosilneniu prúdu. Tomu zodpovedá základné použitie tranzistora ako zosilňovacieho prvku v elektronických zariadeniach. Závislosť kolektorového prúdu od bázového prúdu, teda funkcia $I_C = f(I_B)$ je približne lineárna a jej grafom je prevodová charakteristika tranzistora. Základným parametrom tranzistora je prúdový zosilňovací činiteľ β , ktorý charakterizuje zosilňovaciu funkciu tranzistora. Je definovaný vzťahom

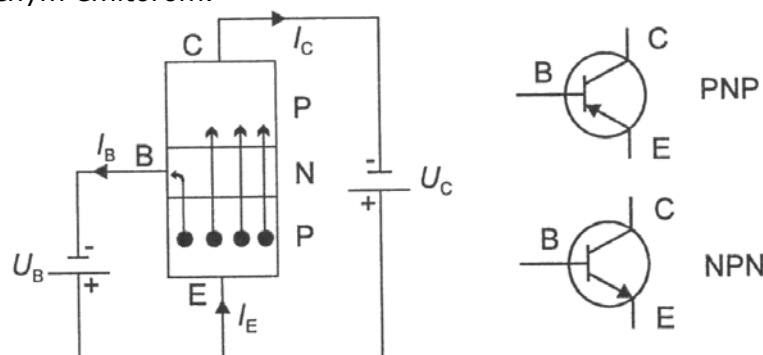
$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \text{ pri konštantnom napätí } U_{CE}$$

Veličina ΔI_C je zmena kolektorového prúdu spôsobená zmenou bázového prúdu ΔI_B pri konštantnom napätí U_{CE} medzi kolektorom a emitorom. Parameter β dosahuje u bežných tranzistorov hodnoty približne 100.

1.5.2 Tranzistorový jav - zapojenie NPN so spoločným emitorom

Tranzistorový jav spočíva v zosilnení prúdu, napätia resp. výkonu, ktoré sa dosiahne pomocou dvoch prechodov PN (NP). Polovodičová súčiastka, ktorá využíva tranzistorový jav sa nazýva **tranzistor**.

Základom tranzistora je doštička polovodiča, v ktorej sú vytvorené dva prechody PN, resp. tri oblasti v poradí P-N-P alebo v poradí N-P-N. Stredná oblasť sa nazýva **báza B**, zvyšné oblasti sú **emitor E** a **kolektor C**. Priechod medzi bázou a emitorom sa nazýva emitorový, medzi bázou a kolektorom kolektorový. Princíp činnosti tranzistora PNP a NPN je rovnaký, preto budeme ďalej uvažovať tranzistor typu PNP. Najpoužívanejším zapojením tranzistora je zapojenie so spoločným emitorom.



Ak pripojíme zdroj napätia medzi kolektor a bázu tak, že emitorový prechod je zapojený v priepustnom smere a kolektorový v závernom smere, bude kolektorový prúd I_C malý. Ale **ak pripojíme zdroj napätia na emitorový prechod tak, aby bol zapojený v priepustnom smere, diery z emitora prejdú do bázy, kde sú minoritnými časticami, teda môžu prejsť kolektorovým prechodom, hoci je v závernom smere**. Báza je vyrobená tak, že jej objem je malý a má malú koncentráciu prímiesí. Potom iba malá časť dier v báze rekombinuje a podieľa sa na bázovom prúde I_B . Prevažná väčšina dier prejde do kolektora a tvorí kolektorový prúd I_C , ktorý je oveľa väčší ako I_B . Podľa 1. Kirchhoffovho zákona platí:

$$I_E = I_C + I_B \text{ resp. } I_B = I_E - I_C \ll I_C$$

Malé zmeny napätia (rádovo desiatín V) ΔU_{BE} medzi emitorom a bázou tranzistora vyvolajú malé zmeny bázového prúdu ΔI_B , ktoré vyvolajú veľké zmeny kolektorového prúdu ΔI_C , čo je podstata použitia tranzistora ako zosilňovača. Charakteristikou tranzistora ako zosilňovača je prúdový zosilňovací činiteľ $\beta = \frac{I_C}{I_E}$ pri $U_{CE} = \text{konšt.}$, kde U_{CE} je napätie medzi kolektorom a emitorom. Bežné tranzistory majú prúdový zosilňovací činiteľ β od 20 do 200.