

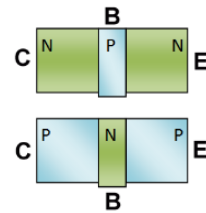
Téma č. 10

Bipolární, unipolární tranzistory, vlastnosti a použití.

- základní konstrukce bipolárního tranzistoru, provedení

Tranzistor je třívrstvá polovodičová součástka, kterou tvoří dvojice přechodů PN.

Bipolární tranzistory jsou polovodičové součástky tvořené třemi polovodiči se dvěma přechody PN poskládané ve struktuře **NPN** nebo **PNP**.

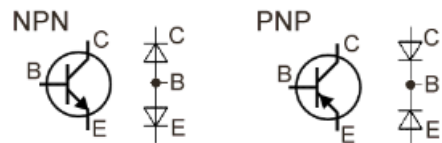


Pracují s **oběma typy majoritních nosičů**-s **elektrony** i s **děrami** -proto **bipolární**.

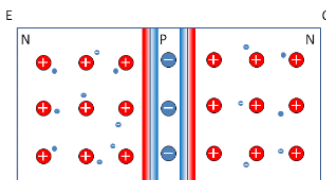
Vývody se označují jako **Kolektor**, **Báze** a **Emitor**.

Bázová vrstva je velmi tenká, emitorová vrstva má vyšší koncentraci příměsí než kolektorová.

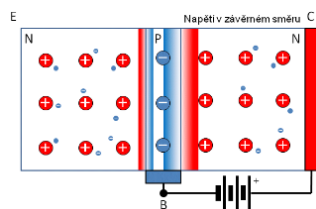
Tranzistory slouží k **zesilování**, **regulaci**, nebo ke **spínání**.



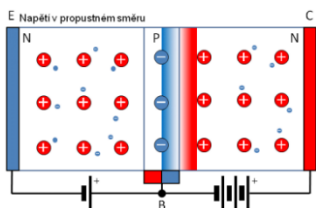
- princip činnosti, tranzistorový jev



Bez vnějších zdrojů se na obou přechodech vytvoří vyprázdňené oblasti.



Na **kolektorový přechod B-C** připojíme napětí v závěrném směru, čímž se zvětší vyprázdňená oblast na tomto přechodu, obvodem protéká jen nepatrný **zbytkový proud** tvořený vlastní vodivostí teplem uvolněných nosičů.



Na **emitorový přechod B-E** připojíme napětí v propustném směru s vyšší hodnotou, než je **difuzní napětí**.

Volné elektrony **proudí** z emitoru otevřeným přechodem **do báze**, odkud jsou **odsávány** do prostoru kolektoru a tvoří **kolektorový proud**, protože pro ně je tento přechod (na rozdíl

od děr v bázi) otevřen.

Jen **malé množství** těchto elektronů **rekombinuje s děrami** v bázi a tvoří **bázový proud**.

U tranzistoru **PNP** je funkce obdobná, jen se obrátí smysl napětí a do kolektoru jsou z báze místo elektronů odsávány díry, které do ní pronikají z emitoru otevřeným přechodem.

Závislost kolektorového proudu na napětí U_{BE} je nazývána tranzistorový jev

- Princip činnosti tranzistoru NPN

Malým **bázovým proudem** I_B procházejícím otevřeným **přechodem báze-emitor** se spustí několikanásobně větší **kolektorový proud** I_C procházející celou **strukturou kolektor-báze-emitor**.

Velikostí bázového proudu lze plynule řídit

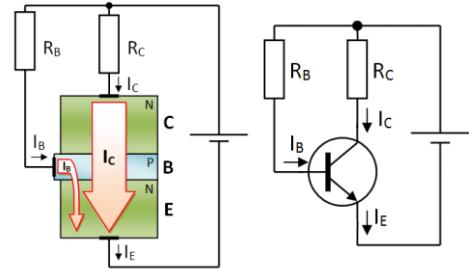
velikost kolektorového proudu (mění se odpor mezi kolektorem a emitorem).

Kolektorový rezistor R_C představuje **zátěž** a omezuje **kolektorový proud** I_C při plně otevřeném tranzistoru. Bázový rezistor nastavuje **bázový proud** I_B , kterým se **otvírá tranzistor** a umožňuje téct kolektorovému proudu. Bázový a kolektorový proud se sečtou a vytékají jako **emitorový proud** I_E .

Poměr kolektorového a bázového proudu se udává jako **proudový zesilovací činitel** h_{21E} (běžné hodnoty 10-500), někdy je označován jako β a v anglických materiálech se používá h_{FE}

$$I_B + I_C = I_E$$

$$h_{21E} = \frac{I_C}{I_B}$$

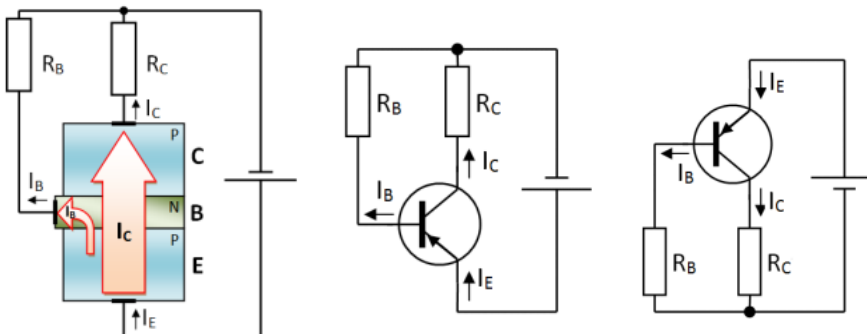


- Princip činnosti tranzistoru PNP

Tranzistor je nutno zapojit tak, aby byly omezeny proudy do kolektoru a báze. Kolektorový rezistor R_C představuje **zátěž** a omezuje **kolektorový proud** I_C při plně otevřeném tranzistoru. Bázový rezistor nastavuje **bázový proud** I_B , kterým se **otvírá tranzistor** a umožňuje téct kolektorovému proudu.

Emitorový proud I_E se rozdělí na bázový a kolektorový

$$I_E = I_B + I_C$$

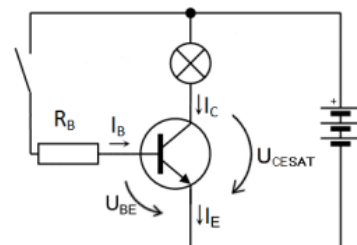


- použití bipolárního tranzistoru jako spínače, regulátoru, zesilovače
- Tranzistor jako spínač

Pokud je **spínač** do báze **rozepnut**, tranzistor je **zavřený** a žárovkou neprotéká proud.

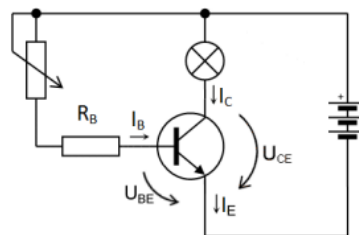
Pokud **sepneme spínač**, malý bázový proud způsobí **otevření** přechodu kolektor-báze a žárovka se rozsvítí velkým kolektorovým proudem. Rezistor R_B **omezuje** bázový proud, aby nedošlo ke zničení přechodu báze-emitor překročením jeho maximálního proudu.

V **sepnutém stavu** je napětí mezi kolektorem a emitorem U_{CESAT} jen **několik desetin voltu** - říkáme, že **tranzistor je v saturaci**. Tím jsou minimalizovány **tepelné ztráty tranzistoru**.

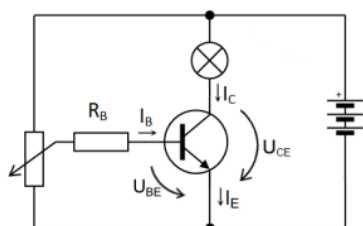


- Tranzistor jako regulátor

Potenciometrem v bázi můžeme velikostí bázového proudu plynule **regulovat odpor přechodu** kolektor-báze neboli velikost kolektorového proudu, a tak měnit jas žárovky. Rezistor R_B opět omezuje maximální proud bázi. V **režimu regulace** dochází k **velkým tepelným ztrátám** na odporu přechodu kolektor-báze, výkonový **tranzistor se musí chladit**. Kolektorový ztrátový výkon se počítá ze vztahu:



$$P_C = U_{CE} \cdot I_C$$



Zapojení potenciometru pro regulaci od **nulového proudu zátěží**.

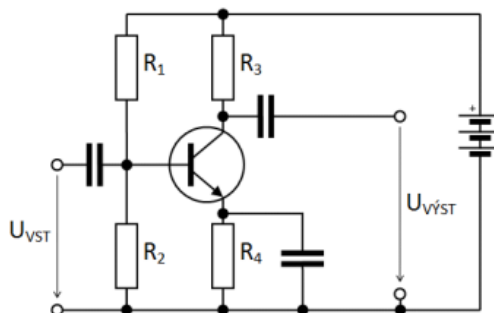
- Tranzistor jako zesilovač

Kondenzátory na vstupu a výstupu oddělují stejnosměrné složky a propouští pouze střídavé signály.

Pomocí rezistorů R_1 , R_2 a R_3 se nastavuje tzv. **pracovní bod tranzistoru** (klidový proud kolektorem při nulovém vstupním signálu).

Rezistor R_4 stabilizuje nastavení pracovního bodu vůči **teplotním změnám**.

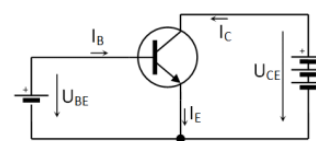
Malé změny bázového proudu vyvolávají **velké změny kolektorového proudu** a tím tranzistor **zesiluje** vstupní signál.



- možné varianty zapojení tranzistoru, vlastnosti

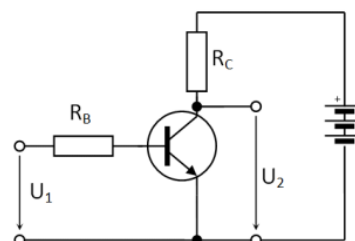
- Zapojení se společným emitorem SE

Ze zdroje U_{BE} (s hodnotou větší jak difuzní napětí) teče **bázový proud I_B** otevřeným přechodem B-E. Zdroj U_{CE} protlačuje přes oba přechody C-B-E **kolektorový proud I_C** , který je **mnohonásobně větší** než bázový proud. Je to nejčastěji používané zapojení, které má největší **výkonové zesílení (desetitisíce)**. V katalogu se pro toto zapojení udává **proudový zesilovací činitel h_{21E}**

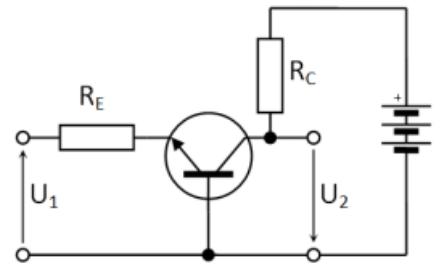


Napět'ové zesílení se pohybuje ve stovkách, ale zapojení **otáčí fázi napětí** (když vstupní napětí roste, výstupní klesá). **Praktické zapojení:**

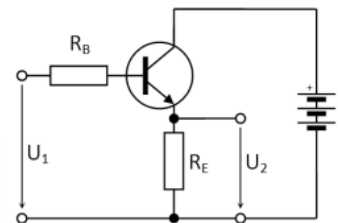
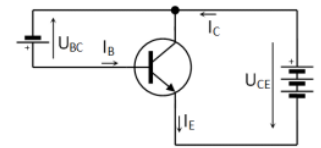
Proudové zesílení je rovněž velké (ve stovkách), výstupní **proud je ve fázi se vstupním**. **Vstupní odpor** je malý až střední (stovky Ω až jednotky $k\Omega$), **výstupní odpor** je velký (desítky $k\Omega$). Zapojení se používá na **běžné zesilovací stupně** nebo jako **spínač/regulátor**.



- Zapojení se společnou bází SB
Napětové zesílení je velké (jako u zapojení SE), výstupní signál je ale **ve fázi** se vstupním. **Proudové zesílení** je vždy **menší než jedna**. **Vstupní odpor** je velmi malý (desítky Ω). **Výstupní odpor** je velmi velký (stovky $k\Omega$ až jednotky $M\Omega$). Zapojení se používá k snímání signálů zdrojů s malým vnitřním odporem (antény, termočlánky).



- Zapojení se společným kolektorem SC
Napětové zesílení je vždy menší než jedna, výstupní napětí je ve fázi s napětím vstupním. **Proudové zesílení** je velké, výstupní proud je v proti fázi oproti vstupnímu. **Vstupní odpor** je velmi velký (stovky $k\Omega$ až jednotky $M\Omega$), **výstupní odpor** je malý (stovky Ω). **Praktické zapojení:** Zapojení se používá buď k snímání signálu ze zdrojů s velkým vnitřním odporem (piezo krystal) nebo k přizpůsobení výstupu zesilovače na malý zatěžovací odpor (např. na koaxiální kabel nebo reproduktor).



- Přehled

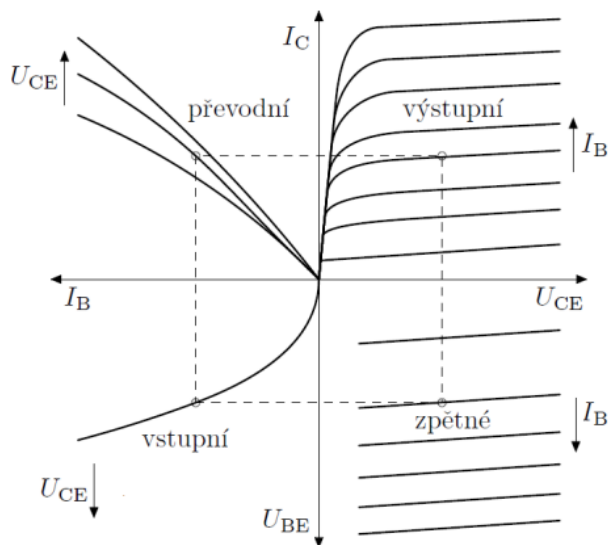
Druh zapojení	SE	SC	SB
Tranzistor PNP			
Tranzistor NPN			
Zesílení proudové napětové výkonové	10 až 200 10 až 100 100 až 2000	10 až 200 0,9 až 0,99 10 až 200	0,9 až 0,995 10 až 100 10 až 100
Impedance vstupní výstupní	10 Ω až 1 $k\Omega$ 10 $k\Omega$ až 100 $k\Omega$	10 $k\Omega$ až 100 $k\Omega$ 100 Ω až 1 $k\Omega$	10 Ω až 100 Ω 100 $k\Omega$ až 1 $M\Omega$
Fázový posun mezi vstupním a výstupním napětím - proudem	180° 0°	0° 180°	0° 0°
Výhody	nejlepší přizpůsobení velké zesílení	vhodný jako měnič impedance	nejvyšší f_{mez} vhodný jako měnič impedance

- přenosová, vstupní, výstupní charakteristika tranzistoru

Přenosová (převodní) charakteristika zobrazuje závislost kolektorového proudu I_C na bázevém proudu I_B a je téměř lineární.

Vstupní charakteristika je prakticky stejná jako u diody v propustném směru.

Ve výstupní charakteristice je vidět, že pro daný bázevý proud při rostoucím napětí mezi kolektorem a emitorem kolektorový proud tranzistoru prudce roste až do **stavu saturace**, pak se už téměř nemění. Tranzistor se chová jako **ideální zdroj proudu**.



- mezní hodnoty tranzistoru

Pro běžnou práci tranzistoru je třeba **dodržovat** výrobcem udané **maximální hodnoty**, aby nedošlo ke zničení jednotlivých přechodů vysokým napětím, vysokým proudem nebo vysokým ztrátovým výkonem. Jedná se především o P_{Cmax} , U_{CEmax} , I_{Cmax} , I_{Bmax} .

- pracovní bod tranzistoru, zatěžovací přímka, velikost zatěžovacího rezistoru vliv bázevého proudu, vliv napájecího napětí

- Zatěžovací přímka – pracovní bod

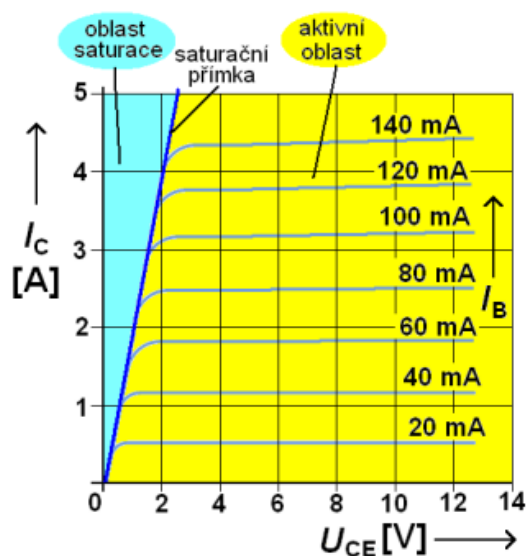
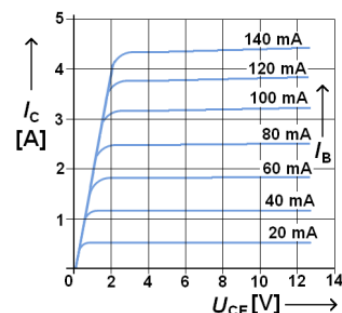
Uvažujme bipolární tranzistor v zapojení SE

Základními charakteristikami tohoto tranzistoru jsou tzv. výstupní charakteristiky.

Výstupní charakteristiky bipolárního tranzistoru lze rozdělit na dvě oblasti.

První oblast je aktivní, kdy je napětí U_{CE} dostatečně velké, volné elektrony, které procházejí přes bázi do kolektoru jsou přitahovány kladným dostatečným napětím kolektoru. **Druhou oblastí je saturace**, kdy je napětí U_{CE} již malé a tranzistor přestává zesilovat.

Hranici mezi oblastmi tvoří **saturační přímka**.

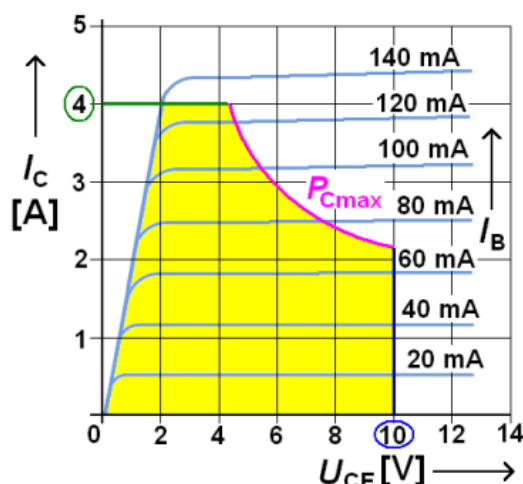


- Optimální pracovní bod tranzistoru

V této výstupní charakteristice tranzistoru je zobrazena aktivní pracovní oblast.

Ta je omezena jednak maximálním napětím U_{CEmax} (10 V), pak také maximálním kolektorovým proudem I_{Cmax} (4 A) a maximální výkonovou kolektorovou ztrátou P_{Cmax} – definuje ji růžová křivka (cca 20 W).

Žlutá oblast definuje bezpečnou oblast, kdy nedojde ke zničení tranzistoru. V této oblasti je třeba volit vhodný pracovní bod.



- Velikost zatěžovacího rezistoru

Do výstupní charakteristiky tranzistoru lze zakreslit **zatěžovací přímku**, která odpovídá hodnotě zatěžovacího rezistoru. Např. pro zelenou zatěžovací přímku je odpor

$$R_{Z1} = \frac{U_N}{I_C(\text{pro } U_{CE} = 0)} = \frac{11}{3} = 3,67 \Omega$$

Nastavíme-li proud báze na hodnotu 80 mA, pak průsečík výstupní charakteristiky pro tento proud a příslušná zatěžovací přímka definují pracovní **bod tranzistoru P₁**,

• Napětí kolektor – emitor je 2 V. Zbytek napětí do hodnoty napájecího napětí musí být na zatěžovacím rezistoru (zatěžovací rezistor a obvod CE tranzistoru jsou v sérii): $U_{RZ} = U_N - U_{CE} = 11 - 2 = 9 \text{ V}$

Kolektorový proud je z grafu 2,45 A, lze jej také dopočítat z úbytku napětí na zatěžovacím rezistoru:

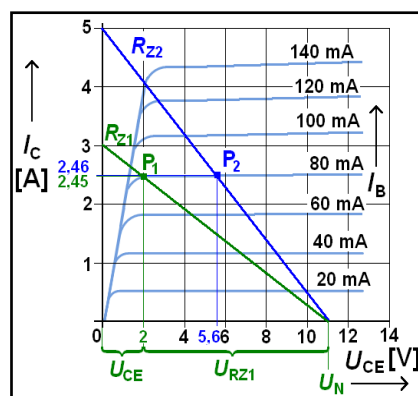
$$I_C = I_{RZ} = \frac{U_{RZ}}{R_Z} = \frac{9}{3,67} = 2,45 \text{ A}$$

Ve výstupních charakteristikách je naznačen i druhý případ, kdy zatěžovací rezistor bude odpovídat tmavě modré zatěžovací přímce. Jeho odpor je:

$$R_{Z2} = \frac{U_N}{I_C(\text{pro } U_{CE} = 0)} = \frac{11}{5} = 2,2 \Omega$$

Pro bázevý proud 80 mA dostaneme pracovní bod P₂, napětí U_{CE} teď bude 5,6 V. Na zátěži bude 5,4 V a kolektorový proud je 2,46 A.

Pro zmenšující se ohmickou hodnotou zátěže roste napětí U_{CE} na tranzistoru, klesá napětí na zátěži a také výkon na zátěži klesá.

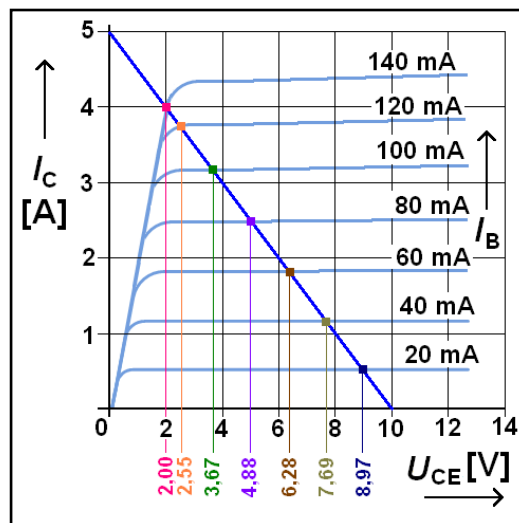


- Vliv velikosti proudu báze

Na této výstupní charakteristice tranzistoru je znázorněn vliv změny bázevého proudu.

Postupné zvyšování bázevého proudu posouvá pracovní bod po zatěžovací charakteristice (od tmavě modrého) k větším kolektorovým proudům. Současně klesá napětí U_{CE} .

Pro $I_B = 140 \text{ mA}$ (růžový pracovní bod) se **dostaneme do saturace, tranzistor je plně otevřen**, další zvyšování bázevého proudu již nezvyšuje I_C , proudový zesilovací činitel β začíná klesat.



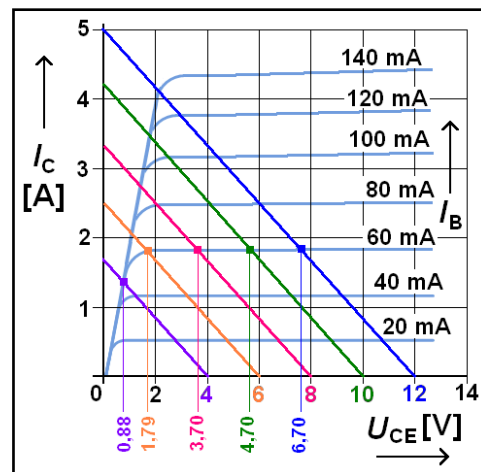
- vliv napájecího napětí

Na této výstupní charakteristice tranzistoru je znázorněn vliv změny napájecího napětí výstupního obvodu.

Zatěžovací odpor zůstává stejný (rovnoběžné zatěžovací přímky).

Postupné snižování napájecího napětí (od 12 V po 4 V) posouvá pracovní bod po zatěžovací charakteristice (bázevý proud je nastaven na 60 mA) k nižším napětí U_{CE} .

Pro napájecí napětí 4 V se již dostáváme do saturace, klesá nejen napětí U_{CE} , ale i kolektorový proud.



- unipolární tranzistory – princip, vlastnosti, označení elektrod

Unipolární tranzistory jsou moderní tranzistory nejvíce používané v integrovaných obvodech. Jejich název zdůrazňuje, že proud prochází tranzistorem prostřednictvím **jednoho typu nosičů elektrického náboje** (elektronů nebo děr).

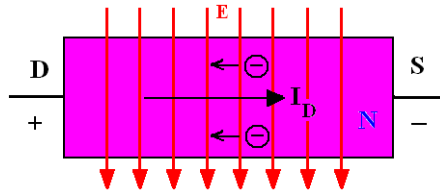
Používá se také označení **FET** – tranzistor řízený elektrickým polem.

Pracují s kanálem jednoho typu vodivosti - N nebo P. Do kanálu jsou přiváděny a procházejí jím nosiče náboje z vnějšího obvodu.

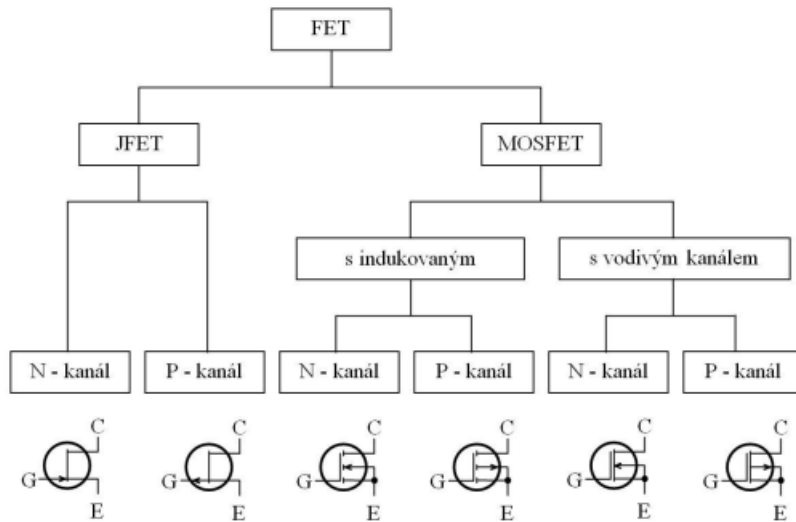
Vodivost kanálu se řídí napětím na řídicí elektrodě – velikostí elektrického pole.

Označení elektrod: D – drain (kanál), S – source (zdroj, rozumí se nosičů), G – gate (hradlo, řídicí elektroda).

Unipolární tranzistory mají velmi **malý úbytek napětí v sepnutém stavu**, ovládají se pouze napětím a **mají velmi velký vstupní odpor** (řádově $M\Omega$).



Základní princip: proud I_D mezi D a S tekoucí kanálem (tok elektronů je opačný) je řízen elektrickým polem z G



- přenosové a výstupní charakteristiky unipolárních tranzistorů JFET, MOSFET
- JFET - (Junction Field Effect Tranzistor)
MOSFET (Metal Oxid Semiconductor Field Effect Tranzistor)
VK – vodivý kanál
IK – indukovaný kanál
Přenosová a výstupní charakteristika

