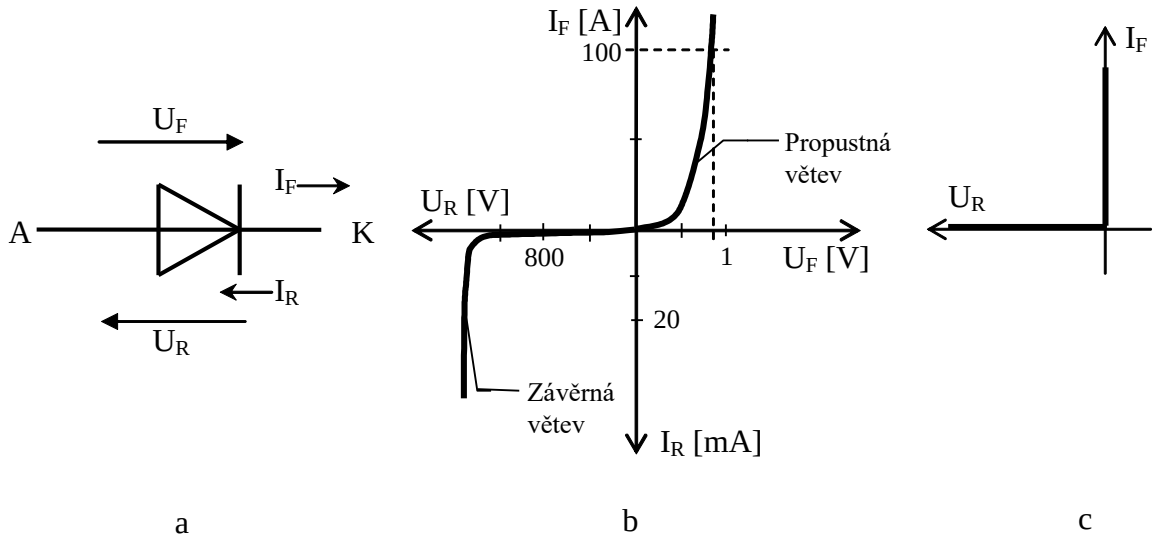
SOUČÁSTKY PRO VÝKONOVOU ELEKTRONIKU

1. Diody

Polovodičová dioda je nelineární dvojpól založený na principu jednoho PN přechodu s usměrňujícím účinkem. V současné době se vyrábějí diody pro proudy až do 5 kA a pro závěrná napětí až 6 kV.



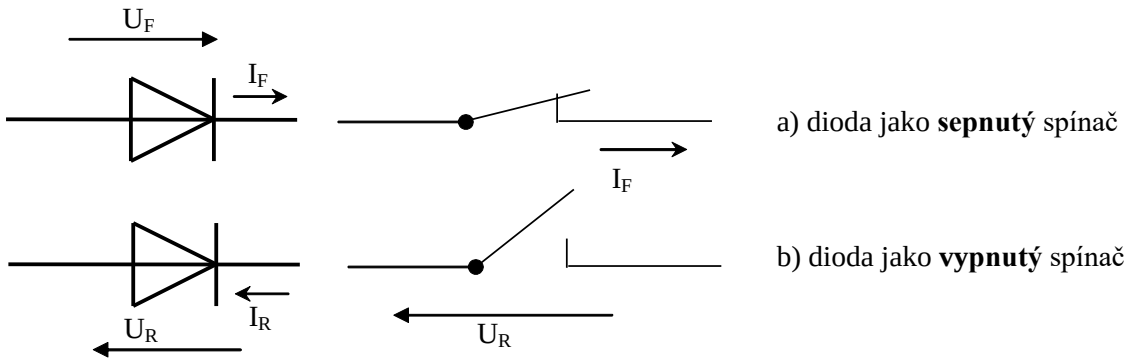
Obrázek 1 – Dioda – značka (a), V-A charakteristika (b), idealizovaná V-A charakteristika (c)

Připojením napětí U_F na diodu tak, že kladný pól je připojen na anodu A a záporný na katodu (K), je dioda v propustném stavu. Znamená to, že na diodě je velmi malé napětí (kolem 1 V), velikost proudu I_F je dána vlastnostmi obvodu. Naopak, pokud připojíme na anodu diody záporné napětí U_R, je dioda v závěrném směru. Proud I_R procházející diodou je v tomto směru velmi malý (řádově mA). Naopak na diodě je určité napětí, jehož velikost je dána parametry obvodu.

Z volt – ampérové charakteristiky diody[1] vyplývá, že měřítka napětí a proudů jsou v jednotlivých kvadrantech odlišná. Jinak by charakteristika přešla do přímkové části.[2] Použitím stejných měřítek pak získáváme tzv. idealizovanou charakteristiku.

[1] Dále již jen V-A charakteristika.
[2] Napětí v propustném stavu je 1 V, v závěrném směru pak až tisíce voltů. Sjednocením měřítek vyjde, že 1 V nejde zakreslit a charakteristika se přemění v kolmici na základní osu. Obdobně se

Využití idealizované V-A charakteristiky bude pro toto skriptum dominantní. Ukazuje hlavní funkci diody – **polovodičový bezkontaktní spínač.** V propustném směru si diodu můžeme představit jako sepnutý spínač, v závěrném směru naopak jako spínač vypnutý (viz. obrázek 2). V propustném stavu pak není na diodě napětí, v závěrném směru neprotéká diodou proud. Protože nejsou probírány dynamické stavy diody, předpokládá se proces sepnutí či vypnutí diody za okamžitý.



Obrázek 2 – Dioda jako bezkontaktní spínač

2 Tyristory

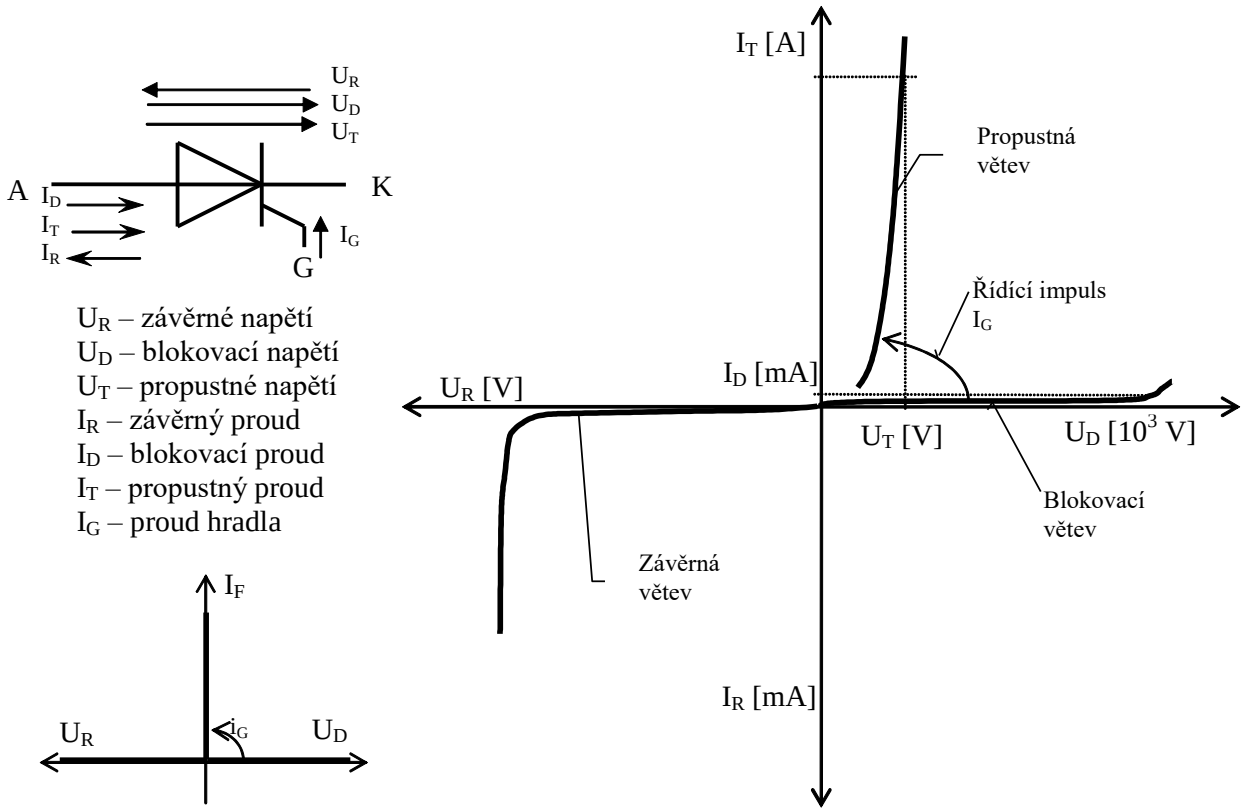
Tyristory patří mezi součástky s tzv. řízeným spínáním. Jde o součástky, kdy za určitých podmínek pomocí zapínacího pulzu můžeme součástku sepnout.

a) Triodový zpětně závěrný tyristor

Je mezi tyristory nejrozšířenější, v praxi se pro tento typ používá obvykle zkrácený název tyristor. Velikosti napětí a proudů jsou obdobné jako u diod.

---

mění charakteristika u proudu sjednocením mA a 10^2 A do jednoho měřítka v závěrném směru.



Obrázek 3 – Tyristor – značka, V-A charakteristika, idealizovaná V-A charakteristika

V-A charakteristika tyristoru se skládá ze 3 částí: závěrné, blokovací a propustné. **Závěrná** část se vyznačuje se velkým odporem, je shodná s charakteristikou diody. **Blokovací** větev charakterizuje stav, kdy je na tyristoru kladné napětí, ale tyristor je nevodivý. Průchod proudu je *blokován* velkým vnitřním odporem. Přivedením proudového impulsu na řídící elektrodu tyristoru G přejde činnost tyristoru na **propustnou** větev charakteristiky. Tyristor vede, proud je úměrný vlastnostem obvodu. Obdobně jako u diody můžeme vytvořit stejnými měřítky idealizovanou V-A charakteristiku a tyristor pak představuje bezkontaktní spínač.

Sepnutí tyristoru je tedy možné při splnění dvou podmínek:

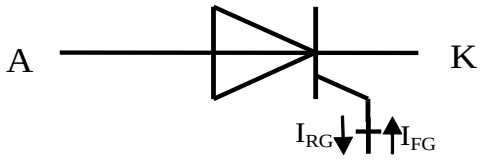
a) tyristor musí být v blokovacím stavu
b) do obvodu G-K tyristoru musí být přiveden proudový impuls

Vypnutí tyristoru je jednoduché a probíhá obdobně jako u diody. Je třeba docílit zániku propustného proudu tyristoru, a navíc ponechat tyristoru určitou dobu na obnovení blokovací schopnosti.

Sepnutí ani vypnutí tyristoru není okamžité. Doba sepnutí i vypnutí je však velmi rychlá a pro potřeby tohoto skripta budeme uvažovat spínání a vypínání tyristoru (a všech polovodičových bezkontaktních spínačů) za okamžité[3].

b) Vypínací tyristor (GTO)

Na rozdíl od předchozího typu je vypnutí umožněno též pomocí vypínacího impulsu. Tento signál má opačný smysl než zapínací a zejména je pro vypnutí tyristoru zapotřebí mnohem větší energie[4].



Obrázek 4 – Značka a proudy řízení GTO tyristoru

Zapínání GTO tyristoru se provádí obdobně jako u klasického tyristoru kladným řídícím impulsem. Strmost zapínacího impulsu musí být větší než u klasického tyristoru. V propustné oblasti se GTO chová podobně jako klasický tyristor, při stejné ploše čipu je ale u GTO menší proudová zatížitelnost.

Vypnutí GTO tyristoru začíná nárůstem vypínacího hradlového impulsu. Jeho velikost je srovnatelná s anodovým proudem tyristoru. GTO tyristory se uplatňují ve střídačích a stejnosměrných měničích velkého výkonu a pro velká napětí[5].

3. Bipolární tranzistory

Tranzistory patří mezi řiditelné součástky. Na rozdíl od tyristorů je pro vodivost součástky potřebné trvalé řídící napětí.

Bipolární tranzistor (z anglického TRANsfer reZISTOR) je aktivní polovodičová součástka skládající se ze tří vrstev s různým typem vodivosti. Funkce bipolárního

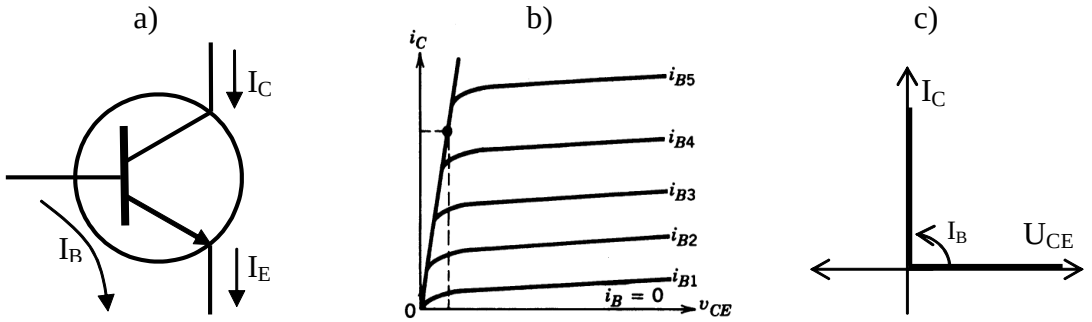
---

[3] Ve skutečnosti je třeba s dobou sepnutí i vypnutí počítat. Průběh zapínání i vypínání je dán tzv. dynamickými vlastnostmi součástek

[4] U dané součástky se velmi často používá termín GTO (gate – turn – off = hradlem vypínatelný)

[5] Postupně jsou GTO vytlačovány dalšími součástkami, zejména pak IGBT tranzistory.

tranzistoru je založena na tom, že přiložené napětí ve vstupním obvodu báze - emitor vyvolá tok elektronů (děr), které v prostoru báze částečně rekombinují. Vlivem velké hustoty nosičů, tenké vrstvy báze (0,5-10 μm) a velkého kolektorového napětí překonají difuzním pochodem závěrně polarizovaný přechod báze - kolektor a vytvoří tak proud mezi emitorem a kolektorem. Je zřejmé, že čím bude větší proud v obvodu báze - emitor, tím bude větší proud kolektoru.



Obrázek 5 – Značka a výstupní V-A charakteristiky bipolárního tranzistoru

Mezi nejdůležitější charakteristiku tranzistoru řadíme výstupní V-A charakteristiku. Ta udává závislost mezi kolektorovým proudem I_C a napětím na výstupu U_{CE} při proudu báze I_B. V praxi výkonových polovodičových měničů užíváme tranzistory v tzv. spínacím režimu. Tranzistor se nachází ve dvou stavech:

a) ve vypnutém stavu, kdy proud báze I_B=0, na tranzistoru je plné napětí U_{CE} a proud kolektoru je minimální,
b) v sepnutém stavu, kdy na tranzistoru je minimální napětí U_{CE} a prochází jím kolektorový proud I_C daný prakticky podílem napájecího napětí U a zátěží.

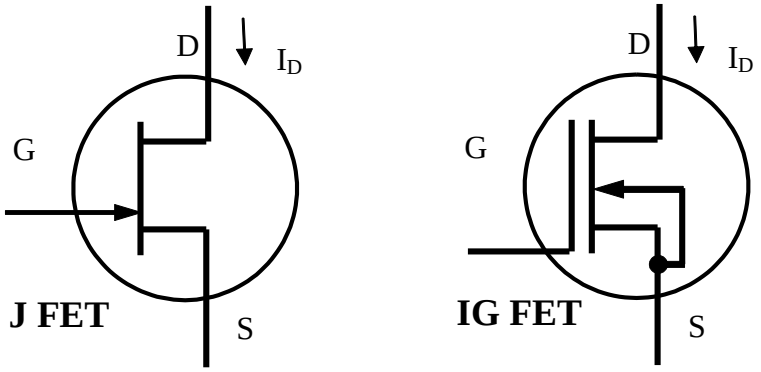
4. Unipolární tranzistory

Průchod kolektorového proudu můžeme ovlivnit také elektrickým polem. Tyto tranzistory se označují jako FET tranzistory[6]. Existují dvě možnosti, jak nechat elektrické pole na proudový kanál působit:

a) pole působí přes závěrně namáhanou vrstvu PN přechodu – označení JFET

[6] Zkratka je z anglického Field Effect Tranzistors – polem řízený tranzistor.

b) pole působí pře zvláštní izolovanou vrstvu IGFET[7].



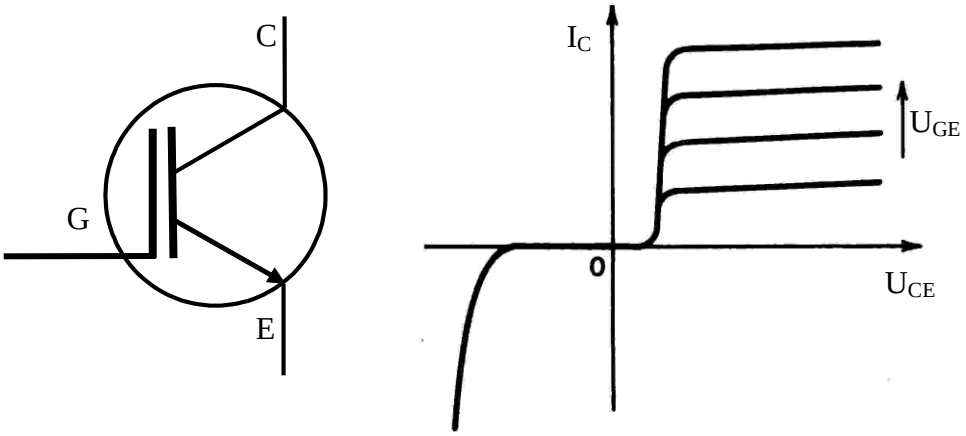
Obrázek 6 – Schématické značky unipolárních tranzistorů

Ve výkonové elektronice se používají zejména tranzistory typu MOS FET. Mají vysoký vstupní odpor a tím je u nich dosaženo snížení řídícího výkonu. Rovněž dynamické vlastnosti jsou lepší než u bipolárních tranzistorů. Nevýhodou je větší zbytkové napětí[8].

5. Bipolární tranzistory s izolovaným hradlem- IGBT

Jedná se o moderní polovodičové součástky, které integrují výhodné vlastnosti bipolárních a unipolárních tranzistorů[9]: proudová a napěťová zatížitelnost je určena bipolární částí, řiditelnost pak unipolární částí. Spínání bipolárního tranzistoru je tedy prováděno nevýkonovým napěťovým signálem. Mají tedy na vstupu téměř nekonečný odpor a malý úbytek napětí v sepnutém stavu.

[7] Izolace je často tvořena vrstvou oxidů, a proto se často označují jako tranzistory MOS FET
[8] Z uvedených důvodů jsou dnes tyto tranzistory nahrazovány tranzistory IGBT.
[9] Velmi často se používá název IGBT – Insulated Gate Bipolar Transistors



Obrázek 7 – Značka a V-A charakteristika IGBT tranzistoru

6. Rozdíly v zapínání a vypínání výkonových polovodičových součástek

U **diody** můžeme způsob zapínání a vypínání ovlivnit pouze vnějšími napěťovými a proudovými podmínkami. *Sepnutí* je možné pouze při kladném napětí na diodě, k *vypnutí* dochází při zániku proudu k nule.

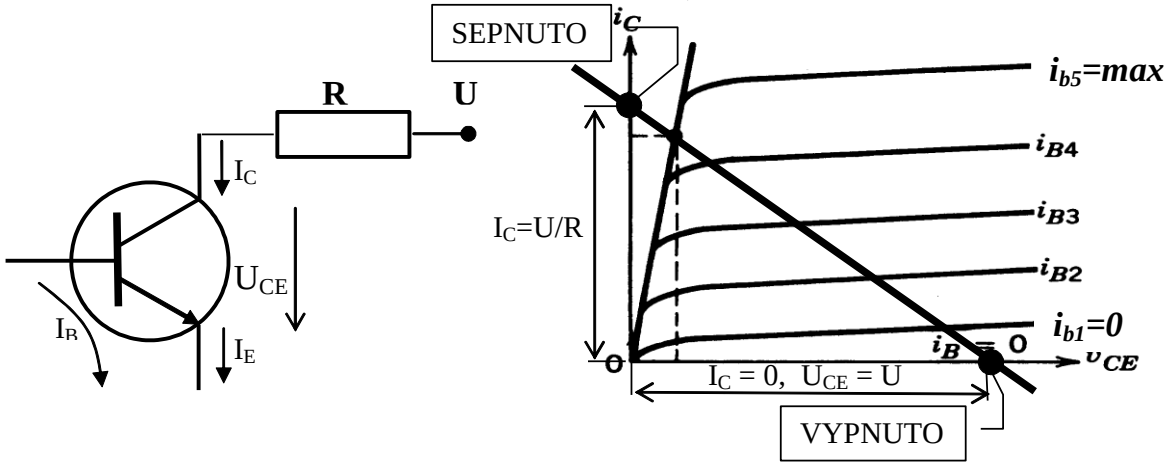
U **tyristoru,** který již řadíme mezi tzv. řiditelné prvky, provádíme sepnutí přivedením napěťového impulsu na řídící elektrodu v případě kladného (blokovacího) napětí mezi anodou a katodou. Po *sepnutí* tyristoru pak nemusí být řídící impuls přítomen a tyristor vede. K *vypnutí* pak je obdobně jako u diody dojde při poklesu proudu k nule a obnovení blokovací schopnosti.

K největší odlišnosti dochází u **tranzistorů**. Tranzistor je na rozdíl od tyristorů plynule řiditelná součástka a tato vlastnost je také nejčastěji využívána v zesilovačích. Z V-A charakteristiky pak plyne, že proudové a napěťové poměry můžeme měnit plynule pomocí proudu báze. Ve výkonové elektronice pak využíváme pouze dvou mezních stavů:

a) na bázi tranzistoru není přítomen řídící signál a tranzistor je vypnutý,

b) na bázi tranzistoru je přítomen maximální řídící signál a tranzistor je sepnutý.

Tranzistor je provozován v tzv. impulzním režimu (obdobně je tento princip využíván v číslicové elektronice). Na rozdíl od tyristoru je nezbytné, aby řídící signál byl přítomen po *celou dobu sepnutí* tranzistoru.



Obrázek 8 – Princip činnosti tranzistoru ve spínacím režimu