

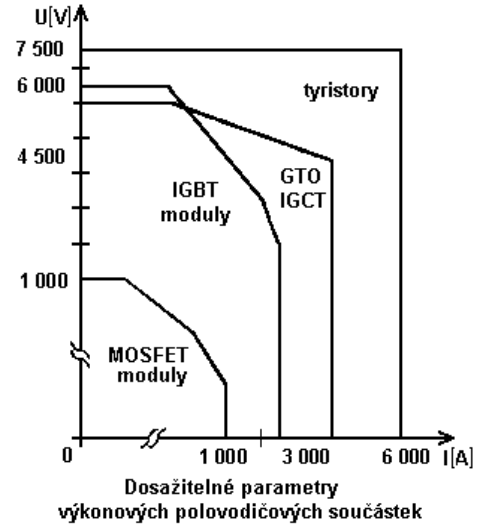
V-1 Výkonové polovodičové součástky

1/4

Výkonové polovodičové součástky (VPS) se tvoří základní výkonové součástky měničů elektrické energie:

- usměrňovačů – řízené nebo neřízené zdroje stejnosměrného proudu napájené ze střídavých zdrojů,
- střídačů a výkonových měničů – zdroje napájení elektrických pohonů.

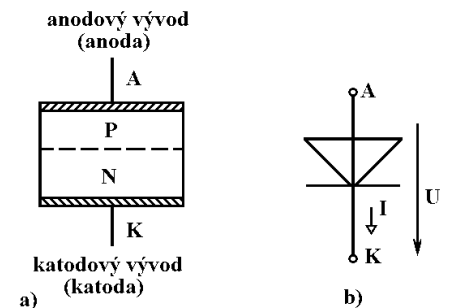
Výkonové polovodičové součástky se vyrábí pouze z křemíku (velká proudová zatížitelnost a malá teplotní závislost). Voltampérové charakteristiky se mění v závislosti na teplotě – při vyšší teplotě a daném napětí je proud součástkou vyšší při teplotě nižší.



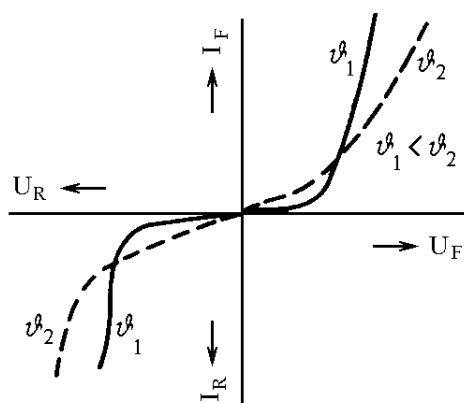
něž

1. Dioda

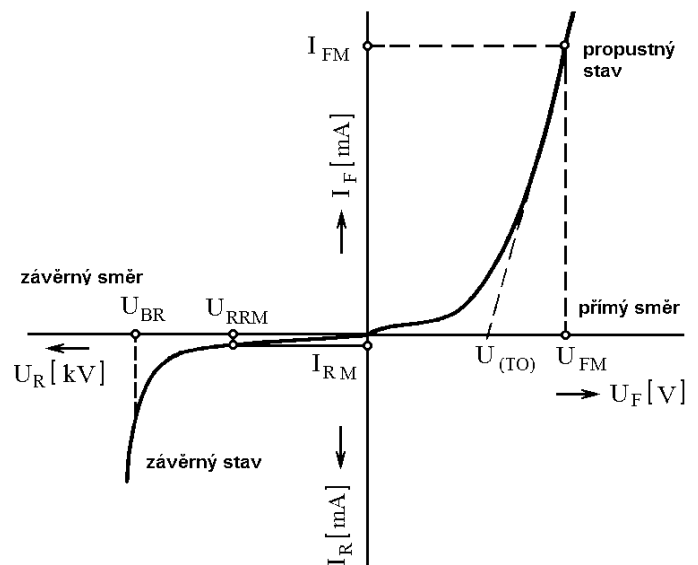
- dvouvrstvá polovodičová součástka s jedním P-N přechodem,
 - vede proud pouze jedním směrem,
 - užívá se k usměrňování střídavých průběhů napětí,
 - kladná elektroda se nazývá **anoda**, záporná **katoda**,
 - při zatížení dosahuje úbytek napětí na P-N přechodu výkonové diody 0,8 až 1,2 V,
 - běžné výkonové diody se používají pro mezní frekvence do 400 Hz, pro vyšší kmitočty se užívají rychlé usměrňovací diody (mají vyšší prahové napětí, větší závěrný proud a nižší průrazné napětí), případně lavinové diody (jsou rychlé),
- Voltampérová (V-A) charakteristika**
- veličiny v propustném směru se označují indexem **F** (angl. **forward** – vpřed):
 - U_{TO} prahové napětí (anl. turn on – zapnout; otevřít) udává napětí, kdy začíná proud růst (0,8 až 1,2 V),
 - I_{FM} - maximální propustný proud (až 3 000 A),
 - U_{FM} úbytek napětí na diodě při I_{FM} (1,5 až 2,5 V),
 - veličiny v závěrném (nepropustném) směru se označují indexem **R** (angl. **reverse** – zpětný):
 - $U_{(BR)}$ - průrazné napětí, při jeho překročení dojde k rychlému nárůstu závěrného proudu a k tepelné destrukci přechodu,
 - U_{RRM} - opakované špičkové napětí, je napětí, kterým lze bezpečně zatížit diodu v závěrném směru zatěžovat (dosahuje až 5 000 V)
 - I_{RM} - maximální hodnota závěrného proudu (dosahuje až stovky mA).



Dioda a) uspořádání přechodů
b) schématická značka s popisem veličin



Závislost voltampérové charakteristiky na teplotě



Voltampérová charakteristika diody

2. Tyristor

- zpětně závěrný triodový tyristor
- čtyřvrstvá polovodičová součástka se třemi P-N přechody a třemi elektrodami,
- vede proud pouze jedním směrem, užívána ke spínání a usměrňování střídavých průběhů napětí,
- kladná elektroda se nazývá **anoda**, záporná **katoda**, řídicí elektroda – **hradlo**,
- k otevření dochází dostatečně dlouhým kladným proudovým impulsem přivedeným na hradlo (vrací se přes katodu) při kladném napětí mezi anodou a katodou,
- stav kdy je mezi anodou a katodou kladné napětí a tyristor je uzavřený se nazývá blokovací,

Voltampérová (V-A) charakteristika

- veličiny v propustném směru se označují indexem T
 - I_{TM} - maximální propustný proud,
 - U_{TM} úbytek napětí na tyristoru při I_{TM} ,
 - I_L - vratný proud, při poklesu proudu obvodem pod tuto hodnotu přejde tyristor z propustného do blokovacího stavu (i při nenulovém proudu hradlem),
 - I_H - přídržný proud, je minimální hodnota proudu, při které se po doznění spínacího proudového impulsu udrží tyristor v propustném stavu (při poklesu přejde do blokovacího stavu),
 - $U_{(BO)}$ - spínací (blokovací) napětí – při jeho překročení přejde tyristor z blokovacího do propustného stavu při nulovém proudu hradla,
 - U_{DRM} - opakovatelné špičkové blokovací napětí – obdoba U_{RRM} pro propustný stav,
- veličiny v závěrném (nepropustném) směru se označují stejně jako u diody:

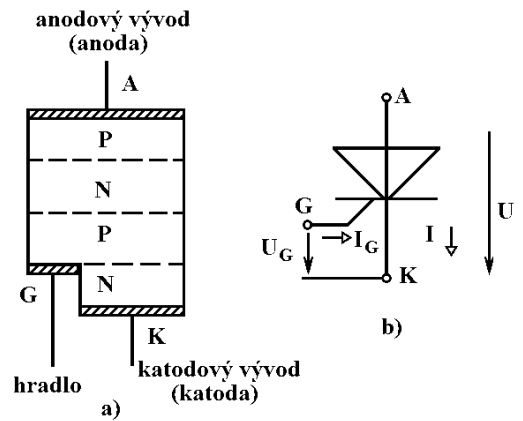
Zapínání tyristoru:

- je přechod z blokovacího do propustného stavu,
- po přivedení kladného impulsu do hradla poklesne napětí z blokovacího napětí U_D na U_T ,
- zapínací dobu t_{gt} (1 až 0,1 μs) se rozumí čas od příchodu řídicího impulsu do poklesu napětí na 0,1 U_D ,
- proud hradlem tyristoru musí procházet nejméně po dobu po do dosažení přídržného proudu I_L ,

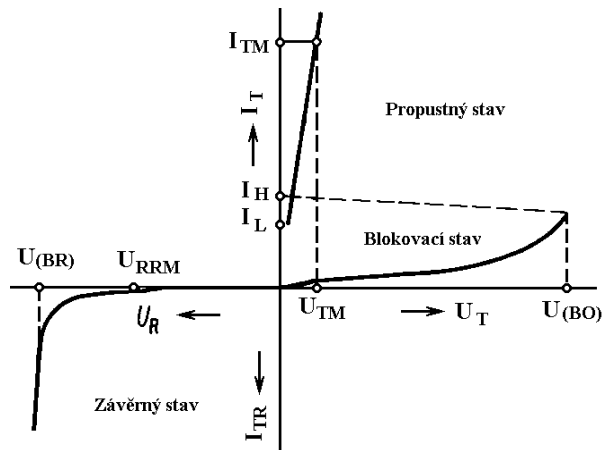
Podmínky sepnutí:

- v okamžiku přivedení proudového impulsu musí být tyristor v blokovacím stavu,
- proudový impuls hradla musí mít dostatečnou délku,
- proudový impuls hradla musí mít dostatečnou amplitudu .

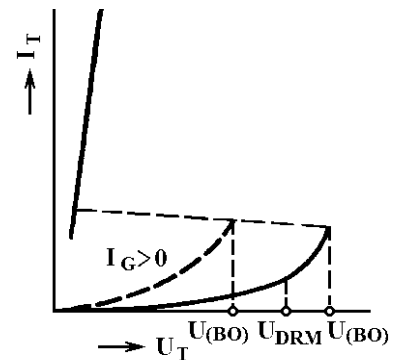
- **K vypnutí tyristoru** dojde při poklesu proudu pod hodnotu vratného proudu (přídržného).
- tyristor se chová jako dioda, u které však řídicím pulzem můžeme zpozdít okamžik sepnutí, okamžik vypnutí však zásahem do řídicí elektrody ovlivnit nelze;
- vlastnosti tyristoru v závěrném směru jsou obdobné jako u diody;
- maximální hladiny proudů a napětí, pro které se vyrábějí výkonové tyristory, jsou 6 000 A a 7 500 V;
- mezní spínací kmitočet se pohybuje v řádech stovek Hz.



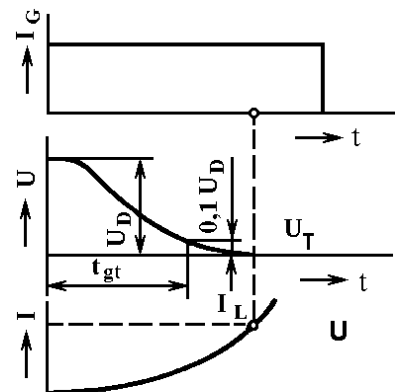
Tyristor a) uspořádání přechodů b) schématická značka s popisem veličin



Voltampérová charakteristika tyristoru



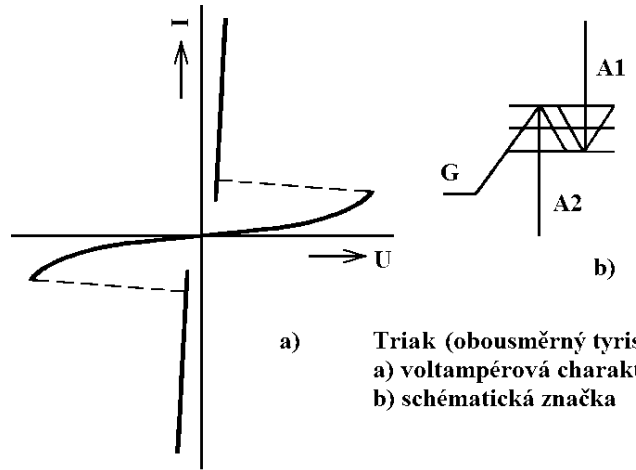
Vliv proudu hradla na průběh blokovací charakteristiky



Průběh zapínání tyristoru

3. Triak

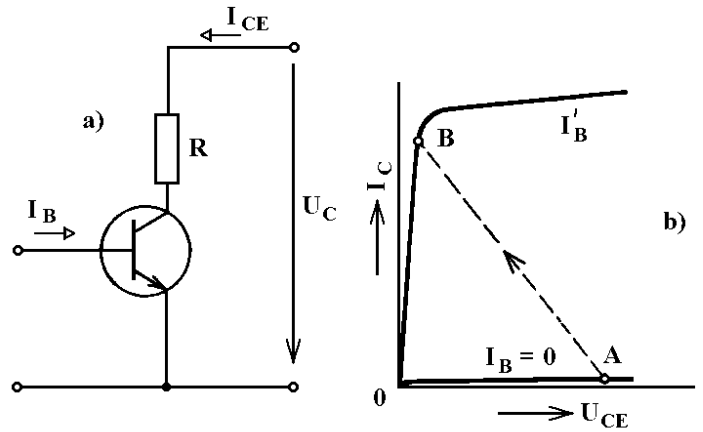
- obousměrný triodový tyristor,
- čtyřvrstvá polovodičová součástka se třemi P-N přechody a třemi elektrodami,
- vede proud oběma směry, umožňuje spínání střídavých průběhů napětí,
- chováním se podobá antiparalelnímu zapojení dvou tyristorů – tomu odpovídá symetrická V-A charakteristika stěná I. i v III. kvadrantu,
- elektrody se označují **A1**, **A2**, řídicí elektroda –**hradlo G**,
- k otevření dochází dostatečně dlouhým kladným proudovým impulsem přivedeným na hradlo (vrací se přes elektrodu A2).



Triak (obousměrný tyristor)
a) voltampérová charakteristika
b) schématická značka

4. Výkonový tranzistor

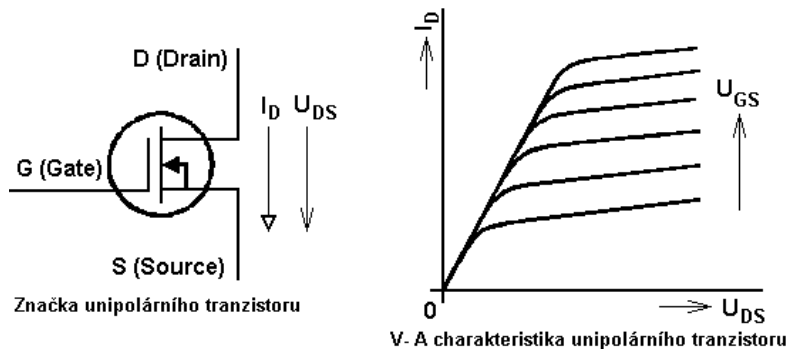
- třívrstvá polovodičová součástka se dvěma P-N přechody a třemi elektrodami pracující ve spínacím režimu – tranzistor pracuje mezi dvěma krajními stavy malý I_C a velký I_C ,
- výhodou je snadné ovládání kolektorového proudu řídicím proudem báze,
- do sepnutého stavu se dostává tranzistor přivedením řídicího proudu do báze tranzistoru, obdobným způsobem dochází k uzavření (vypnutí) při poklesu bázevého proudu na nulu,
- používá se výhradně zapojení se společným emitorem,
- mezní hodnota napětí U_{CE} je 650 až 1 000 V mezní hodnoty kolektorového proudu $I_C \sim 200$ až 500 A, (Darlingtonova dvojice),
- tranzistor je při spínání podstatně rychlejší než tyristor.
- ve výkonové elektronice používají zásadně ve spínacím režimu (pracuje pouze ve dvou stavech jako spínač,,
- sepnutí tranzistoru je vyvoláno proudem báze, přičemž výhodou je možnost vypnutí prvku přerušením tohoto řídicího proudu do báze.,
- další výhodou je dosažitelný spínací kmitočet až 20 kHz,
- nevýhodou výkonových bipolárních tranzistorů je poměrně malá hodnota proudového zesilovacího činitele, který dosahuje řádové hodnoty desítek,
- velký řídicí výkon komplikuje ovládací obvody,
- proudový zesilovací činitel závisí na teplotě, což komplikuje paralelní řazení prvků.



Výkonový tranzistor
a) zapojení se společným emitorem, b) průběh spínání

5. Výkonový unipolární tranzistor

- výkonový unipolární tranzistor (označovaný někdy MOS-FET) se používá pouze ve spínacím režimu v zapojení se společnou elektrodou S (analogie zapojení se společným emitorem u bipolárního tranzistoru),
- řídicí elektroda je řízena polem, \Rightarrow jednoduché ovládání oproti bipolárnímu tranzistoru,
- z elektrického hlediska lze považovat řídicí elektrodu G za kapacitu, jejímž nabitím je tranzistor udržován v sepnutém stavu napětím přiloženým mezi řídicí elektrodu G a elektrodu S;
- spínací kmitočet výkonových dosahuje 20 kHz;
- tyto tranzistory se běžně vyrábějí pro proudy do 100 A a pro napětí do 1000V;
- odpor v sepnutém stavu mívá velikost $5 \div 30 \text{ m}\Omega$;
- v katalogových listech bývá uváděna takzvaná bezpečná pracovní zóna v souřadnicích U_D , I_D , která pro různé doby trvání proudových pulzů uvádí, při jakém napětí a proudu lze daný tranzistor provozovat;
- paralelní řazení výkonových unipolárních tranzistorů nepřináší problémy, jejich sériové řazení však obvykle není možné vzhledem k nestejným vypínacím dobám jednotlivých tranzistorů;
- velmi často se vyrábí s integrovanou zpětnou diodou v jednom pouzdře s výkonovým unipolárním tranzistoru;
- pro jednoduché řízení se tato součástka často používá v pulzních měničích a střídačích pro malé výkony.



V-A charakteristika unipolárního tranzistoru

6. GTO tyristor

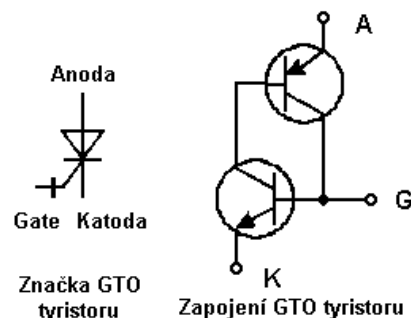
- GTO tyristor (Gate **T**urn **O**ff Thyristor) má stejně jako klasický tyristor čtyři polovodičové vrstvy tři elektrody;
- při zapínání má GTO obdobné vlastnosti jako klasický tyristor, speciální, konstrukcí křemíkové struktury je dosaženo toho, že **zásahem do řídicí elektrody lze GTO vypnout.**

Zapínání:

- při zapínání projde kladný řídicí proudový pulz z báze do emitoru spodního NPN tranzistoru
- tím sepne spodní tranzistor a připojí bázi horního PNP tranzistoru k zápornému pólu, čímž horní tranzistor sepne a jeho proud udržuje trvale v sepnutém stavu i dolní tranzistor i po ukončení vedení proudu v řídicí elektrodě G.

Vypínání:

- na řídicí elektrodu je přiveden záporný proudový pulz, který způsobí vypnutí dolního tranzistoru;
- tím se odpojí od záporného pólu i horní tranzistor a celá struktura se dostane do nevodivého stavu;
- vypínací záporný proudový pulz musí být značný, jeho amplituda dosahuje až 30 % hodnoty hlavního proudu (anoda katoda) – to značně komplikuje řídicí obvody pro GTO tyristor,
- výkon vypínacího pulzu je však podstatně nižší než výkon vypínaného proudu a vzhledem ke krátké době trvání pulzu a k nízké impedanci vypínacího obvodu a je jeho energie malá;
- GTO tyristory se vyrábějí maximálně pro hodnoty proudu cca 3 000 A a napětí 4 500 V;
- spínací kmitočet může být maximálně stovky Hz.



7. IGCT

- IGCT (Integrated Gate Commutated Thyristor) je upravenou strukturou GTO, se kterou je integrován obvod řídicí elektrody;
- řídicí obvody jsou podstatně zjednodušeny a současně se výrazně zkrátí vypínací doba;
- k vypnutí dochází v krátkém okamžiku poté, kdy řídicí vypínací proud dosáhne hodnoty anodového proudu, což musí nastat v čase kratším než 1 μ s;
- nárůst proudu v řídicí elektrodě tak dosahuje až 3000 A μ s⁻¹;
- IGCT dosahuje se vyšší spínací kmitočet než GTO, napětí je poněkud nižší;
- proudovou přetížitelnost je poměrně vysoká, ale v okamžiku přetížení však nesmí dojít k vypnutí;
- díky krátké vypínací době jsou zmenšeny ztráty při vypínání,
- IGCT lze sériově řadit.

8. IGBT

- IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) je v současné době nejpoužívanější výkonová polovodičová součástka;

Princip:

- kaskádní spojení bipolárního a unipolárního tranzistoru;
- proud báze koncového bipolárního tranzistoru je spínán vstupním unipolárním tranzistorem, řídicí signál je napěťový;
- výstupní charakteristiky IGBT $I_C=f(U_C)$ jsou obdobné jako u bipolárního tranzistoru;
- IGBT jsou vyráběny pro proudy do 2 400 A, napětí do 6,5 kV a spínací kmitočet do 20 kHz (u součástek nižších V-A parametrů);
- paralelní řazení je umožněno tím, že odpor sepnutého tranzistoru roste s jeho teplotou;
- sériové řazení je obtížné.

