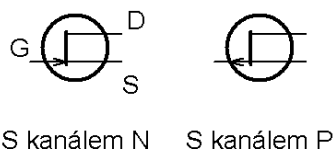


7.12 Unipolárních tranzistory

Unipolární tranzistory mají pouze jeden polovodičový přechod, který tvoří tzv. kanál mezi emitorem a kolektorem. Velikost proudu je závislá pouze na napětí řídicí elektrody, kterým se mění vodivost kanálu. Na rozdíl od bipolárních tranzistorů protéká proud kolektorem i při nulovém napětí na řídicí elektrodě. Jeho velikost se v závislosti na U_G pouze zvětšuje nebo zmenšuje.

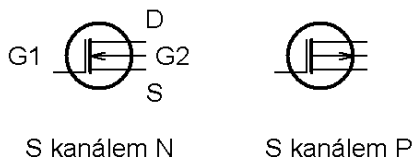
Při výrobě se využívá dvou základních technologií. U tranzistorů J-FET je řídicí elektroda oddělena polovodičovým přechodem, který je vždy pólován v závěrném směru a neprochází jím tedy téměř žádný proud. Technologie MOS-FET využívá kovové řídicí elektrody, oddělené slabou izolační vrstvou oxidu křemičitého (SiO_2). V obou případech hovoříme o tranzistorech řízených elektrickým polem a jejich vstupní odpor je velmi vysoký. To s sebou však přináší riziko zničení tranzistoru elektrostatickým polem. Proto při manipulaci s nimi musíme pracovat velmi opatrně a k pájení přednostně používat mikropájecí.

Tranzistory JFET



G (gate) řídicí elektroda
D (drain) kolektor
S (source) emitör

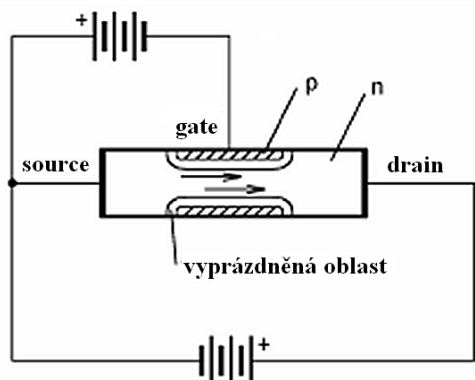
Tranzistory MOSFET



Elektroda G2 bývá obvykle spojena s emitorem, nebývá však u všech tranzistorů vyvedena ven z pouzdra

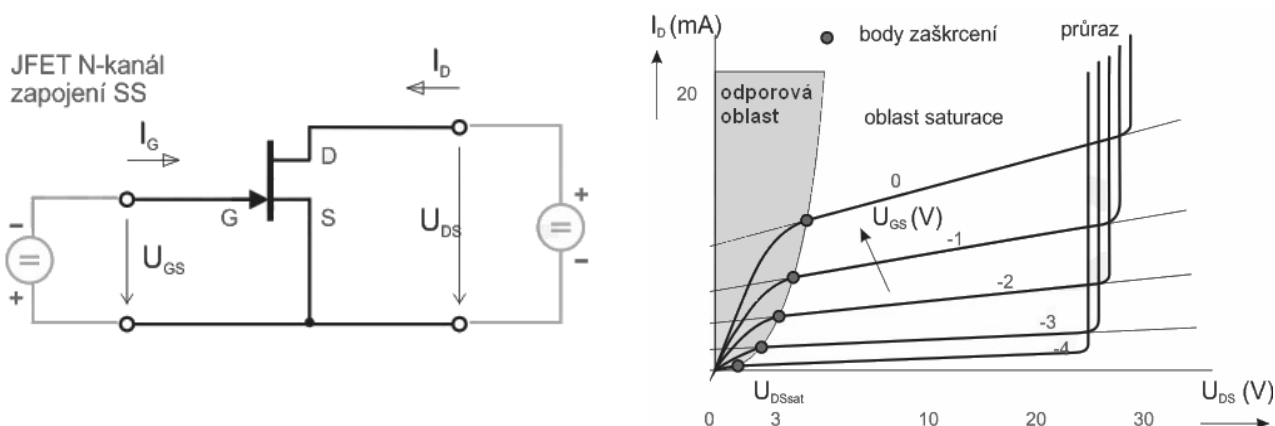
Tranzistor JFET (junction FET)

Princip tranzistoru JFET s kanálem N. Na obrázku je naznačen krystal polovodiče vodivosti N ve tvaru válce nebo hranolu, k jehož krajům jsou připojeny vývody. Vodivost krystalu je dána pohyblivostí volných nosičů náboje (elektronů) a průřezem krystalu, kterým mohou tyto nosiče náboje procházet. Uprostřed krystalu je vytvořena oblast s vodivostí P, která tvoří s již zmíněným krystalem N polovodičový přechod. V okolí přechodu vznikne tzv. vyprázdněná oblast, tj. oblast bez volných nosičů náboje, protože elektrony a díry se vzájemně rekombinují. Tato vyprázdněná oblast zmenšuje průřez krystalu, kterým může procházet proud. Vyprázdněná oblast se zvětší, přivedeme-li na přechod záporné napětí. Od určitého napětí na přechodu proud krystalem prakticky již neprochází.



Napětím na tomto přechodu ovládáme proud procházející krystalem polovodiče. Konce krystalu tvoří vývody drain a source. U tohoto typu tranzistoru jsou vývody zpravidla rovnocenné a lze je zaměnit. Vývod oblasti P přechodu je řídicí elektroda gate. Ve většině aplikací je přechod pólován v závěrném směru a přechodem prochází jen velmi malý zbytkový proud. Komplementární tranzistor JFET s kanálem P bude mít krystal polovodiče typu P a oblast gate s vodivostí N.

Funkce tranzistoru pro zapojení SS (se společným Source).



Pro zjednodušení popisujeme funkci pouze pro N kanál. P kanál funguje analogicky. PN přechod je pod elektrodou G vždy polarizován v závěrném směru. JFET bez přiloženého napětí mezi G a S je otevřený. Záporným napětím mezi Gate a Source lze zaškrtnout kanál a tranzistor "uzavřít", zmenšit tedy vodivost kanálu mezi elektrodami S a D.

Výstupní VA charakteristiky

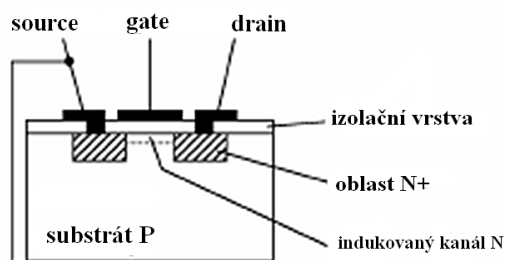
Odporová oblast. Tato oblast se také někdy nazývá také triodová. Pro malá napětí U_{DS} (cca do 1V) funguje tranzistor jako napětím řízený odpor (viz. výstupní VA charakteristika). V blízkosti počátku souřadného systému (v blízkosti nuly) jsou pro všechna U_{GS} křivky téměř lineární (rovné). A přímka ve VA charakteristice odpovídá právě rezistoru. Její sklon (a tedy i odpor kanálu mezi elektrodami S a D) je řízen právě napětím U_{GS} .

Oblast saturace. Pro vyšší hodnoty U_{DS} (cca od 3V) přechází charakteristiky opět do lineárních úsečků. Tomuto místu odpovídají ve výstupních VA charakteristikách tzv. body zaškrcení kanálu. Proud se s rostoucím napětím U_{DS} již téměř nezvyšuje. Pro použití tranzistoru JFET jako zesilovače signálu se používá oblast saturace.

Průraz tranzistoru. K průrazu dochází při překročení maximální hodnoty součtu absolutních hodnot U_{DS} a U_{GS} . Průraz je způsoben příliš vysokým závěrným napětím PN přechodu pod Gate v místě blíže elektrody Drain.

Tranzistoru MOSFET (Metal-Oxide Semiconductor FET)

Princip tranzistoru MOSFET je podobný jako u JFET. Největší odlišností je použití izolované řídicí elektrody. Do krystalu polovodiče s vodivostí jsou blízko sebe nedifundovány dvě oblasti bohatě dotované příměsí N^+ . K těm jsou připojeny vývody drain (D) a source (S) tranzistoru. Povrch krystalu je pokryt tenkou izolační vrstvou SiO_2 (ta se vyrobí oxidací krystalu).



Princip tranzistoru N-MOSFET

Na izolační vrstvě je v prostoru mezi D a S napařena další elektroda tvořící gate (G). Není-li na G přivedeno žádné napětí, neprochází mezi D a S žádný proud. Přivedeme-li na G kladné napětí, vznikne mezi elektrodou a krystalem polovodiče elektrické pole. Kladný náboj se hromadí na G, záporný těsně pod izolační vrstvou a indukuje v polovodiči inverzní vrstvu (kanál) typu N. Tímto kanálem již může proud procházet. Čím je napětí na G větší, tím tlustší je indukovaná vrstva a menší odpor mezi

A a S. U tohoto tranzistoru s kanálem N prochází proud od určitého kladného napětí mezi G a S, při kterém se tvoří inverzní vrstva. Takový tranzistor jen v tzv. obohaceném režimu. Technologicky lze kanál mezi D a S vytvořit difúzí již při výrobě. U takového tranzistoru může procházet proud mezi D a S už při nulovém napětí mezi G a S. Zvětšujeme-li napětí na G, proud se zvětšuje a naopak. Tento tranzistor pak může pracovat v obohaceném ($U_{GS} > 0$) i ochuzeném režimu ($U_{GS} < 0$). Jednou polaritou napětí U_{GS} lze zúžit (uzavřít) a druhou polaritou lze naopak rozšířit.

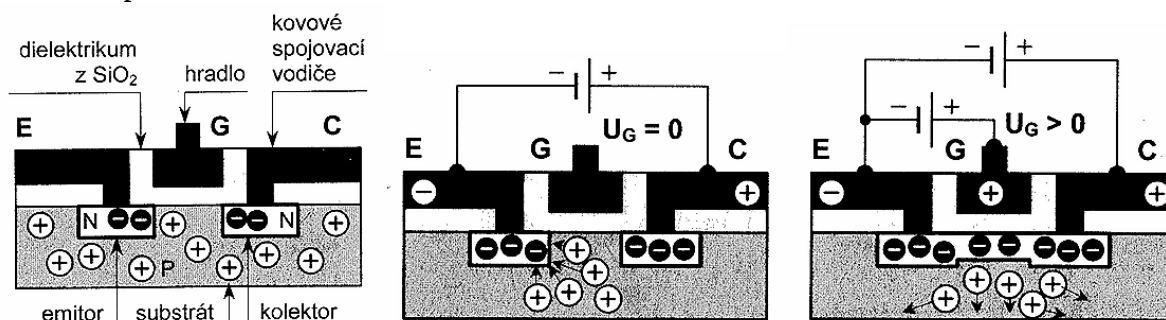
I tranzistory MOSFET se vyrábějí v komplementárním provedení s kanálem vodivosti P.

U tranzistorů MOSFET nelze zaměnit vývody D a S. Vývod S je totiž spojen se základním krystalem polovodiče. Substrát a opačně dotovaná oblast vývodu D tvoří ve struktuře tranzistoru parazitní diodu, která je v závěrném směru připojena mezi D a S. Při běžném provozu tato dioda nijak neovlivňuje činnost tranzistoru, pokud však prohodíme vývody D a S, bude pólována v propustném směru.

Vyhledáním této diody lze identifikovat vývody u neznámého tranzistoru.

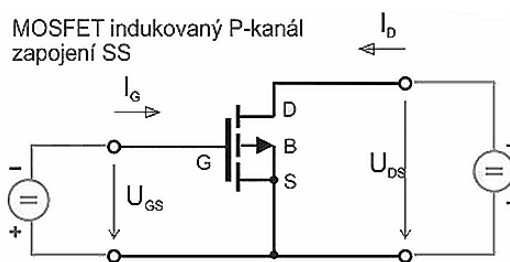
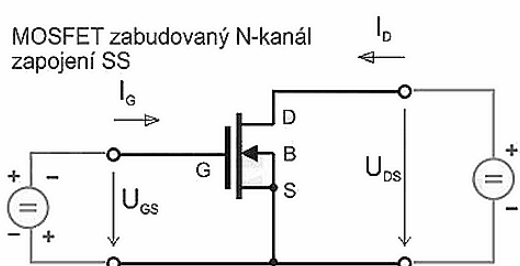
Grafické znázornění principu MOS-FET:

- díry jsou přitahovány k emitoru, od kolektoru jsou odpuzovány, takže proud obvodem neprochází.



- po připojení kladného napětí na hradlo G začne kladné elektrické pole hradla díry pod kovovou elektrodou odpuzovat a mezi kolektorem a emitorem se vytvoří vodivý kanál jímž mohou elektrony procházet. Tranzistor je otevřen. Čím větší U_G tím širší je kanál a tím větší proud protéká.

Příklad zapojení tranzistoru se společným S (source)



Průraz tranzistoru - tranzistor může být proražen (zničen) několika způsoby.

Prvním z nich je tzv. měkký průraz ke kterému dochází vlivem příliš velkého elektrického pole a příliš velkého proudu mezi S a D. K tomuto průrazu dochází tedy při nadměrném zatížení tranzistoru v otevřeném stavu.

Průraz může nastat i pokud je tranzistor uzavřený. Mezi S a D tedy neprotéká téměř žádný proud. Ale při překročení maximálního napětí mezi S a D se prorazí PN přechod mezi D a substrátem - ve výstupních VA charakteristikách označen jako "průraz".

Dalším možným průrazem je průraz dielektrika pod elektrodou G, tzv. průraz hradla. K průrazu hradla stačí náboj v řádech 10^{-10}C , tím se překročí elektrická pevnost dielektrika a elektroda G se trvale propojí se substrátem. Tranzistor lze takto prorazit i nábojem vzniklým při neopatrné manipulaci, dotykem lidské ruky a pod. V integrovaných obvodech se proto gate vstupních tranzistorů chrání rychlými diodami.

Porovnání JFET a MOSFET

Tranzistory JFET jsou určeny pro zpracování malých signálů, výborně se hodí do nf zesilovačů a vf oscilátorů. Tranzistory MOSFET se vyrábějí pro malé i velké proudy. V sepnutém stavu mají velmi malý odpor – malé pouze několik ohmů, výkonové dokonce pouze několik desetin ohmů. To předurčuje jejich použití pro použití ve spínaných zdrojích, impulsních regulátorech apd. Pro svoji podobnost charakteristik s elektronku se např. používají v nf zesilovačích.

Pro úplnost je třeba dodat, že tranzistory MOSFET jsou základním prvkem všech číslicových integrovaných obvodů s velkou hustotou integrace. V operačních zesilovačích jsou integrovány jak tranzistory MOSFET tak i JFET.

Unipolární tranzistory se vyrábí v různých pouzdrech a s různými vlastnostmi, které určují jejich využití. Pro některé své výhodné vlastnosti (vysoký vstupní odpor nebo malý odpor v sepnutém stavu) je však jejich použití opodstatněné.

Příklady několika typů:

2N 3820 - P-FET 20V/ $I_{DSS} > 0,3\text{mA}$ / $U_p < 8\text{V}$ TO92 D G S 7e

BUZ11 - MOS-N-FET-e V-MOS 50V/ 30A/ 75W/ 0,04 Ω m. TO220 G D S D 17p

BUZ 91A - MOS-N-FET-e V-MOS/SMPS 600V/ 8,0A/ 150W TO220 G D S D 17p

Vybrané charakteristiky BUZ11

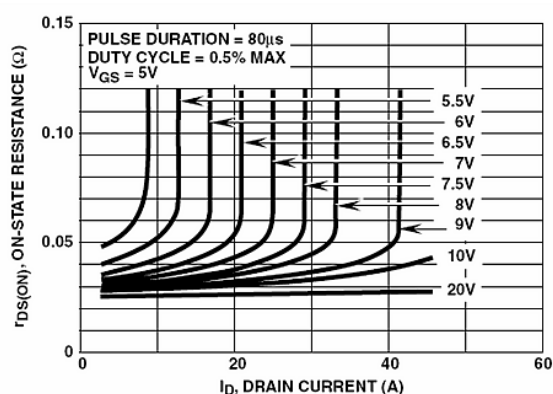
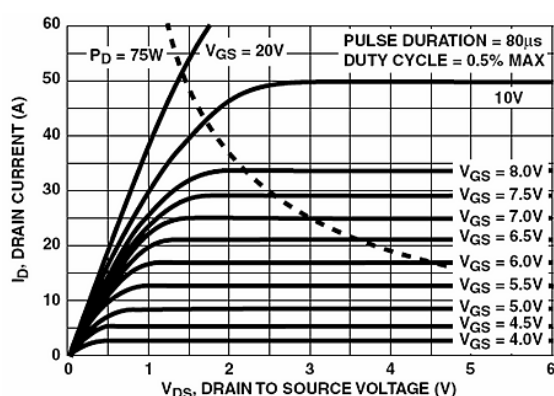
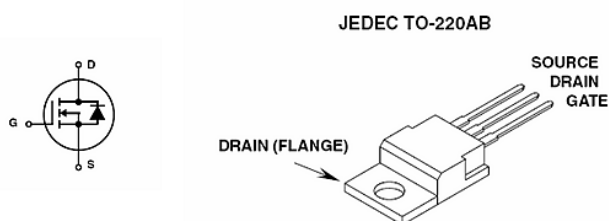


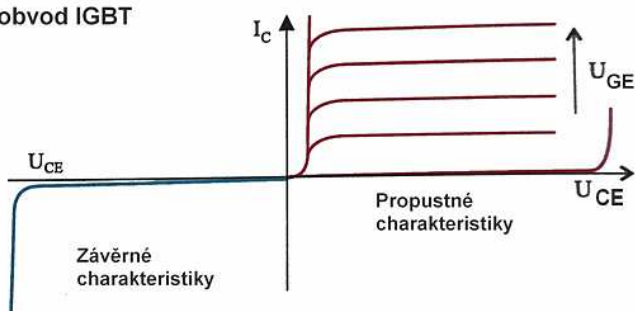
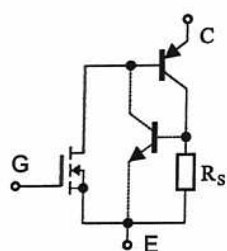
FIGURE 7. DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs GATE VOLTAGE AND DRAIN CURRENT



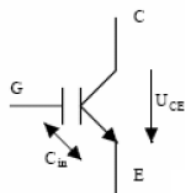
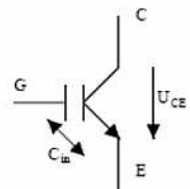
Tranzistory IGBT (Insulated Gate Bipolar Tranzistor)

Jsou určeny pro spínání velkých proudů při vysokém napájecím napětí. Využívá ve své konstrukci princip bipolární a princip unipolární. IGBT jsou dnes dostupné v několika napětových třídách od 600V do 4500V. Mezní hodnoty proudů jsou od několik desítek A do jednotek kA.

Zjednodušený náhradní obvod IGBT



V-A charakteristiky IGBT



Zdroj: Dílenská příručka – Elektronika I