

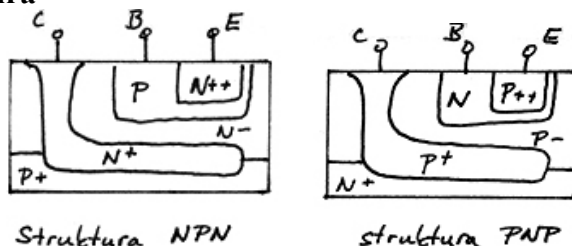
Otázka č. 3 - BEST
Aktivní polovodičové součástky
BJT, JFET, MOSFET, MESFET – struktury, vlastnosti, aplikace
 Vypracovala Kristýna

Tato otázka přepokládá znalost otázky č.1 - polovodiče. Doporučuji ujasnit především pojmy: difúze, difúzní délka, oblast prostorového náboje OPN, průraz přechodu, minoritní a majoritní nosiče náboje, nesymetrická dioda, rozložení nosičů v OPN.

1. Bipolární tranzistor (BJT) 

2 přechody PN na monokrystalu ve vzdálenosti \ll difúzní délka minoritních nosičů monokrystalu. Pokud by vzdálenost byla menší, jednalo by se o dvě samostatné diody... viz princip činnosti.

Struktura



Princip činnosti

1) Aktivní režim

Emitorový přechod (U_{be}) polarizován propustně – emituje nosiče náboje.
 Kolektorový přechod (U_{cb}) polarizován závěrně.

$$U_{be} > U_t, U_{cb} \leq 0$$

Emitorový přechod vstříkne nosiče (díry u PNP) do báze = injekce, tyto nosiče difúzí přecházejí do OPN kolektorového přechodu, ten je polarizován závěrně, nosiče jsou vtaženy. V bázi zrekombinuje jen malé množství injektovaných nosičů, protože její šířka je menší než difúzní délka minoritních nosičů (děr u PNP).

2) Inversní aktivní režim

Prohození báze a kolektoru:

Emitorový přechod (U_{be}) polarizován závěrně.
 Kolektorový přechod (U_{cb}) polarizován propustně.

$$U_{be} < 0, U_{cb} \geq U_t$$

3) Režim uzavření

Emitorový přechod (U_{be}) polarizován závěrně.
 Kolektorový přechod (U_{cb}) polarizován závěrně.

$$U_{be} < U_t, U_{cb} \leq 0$$

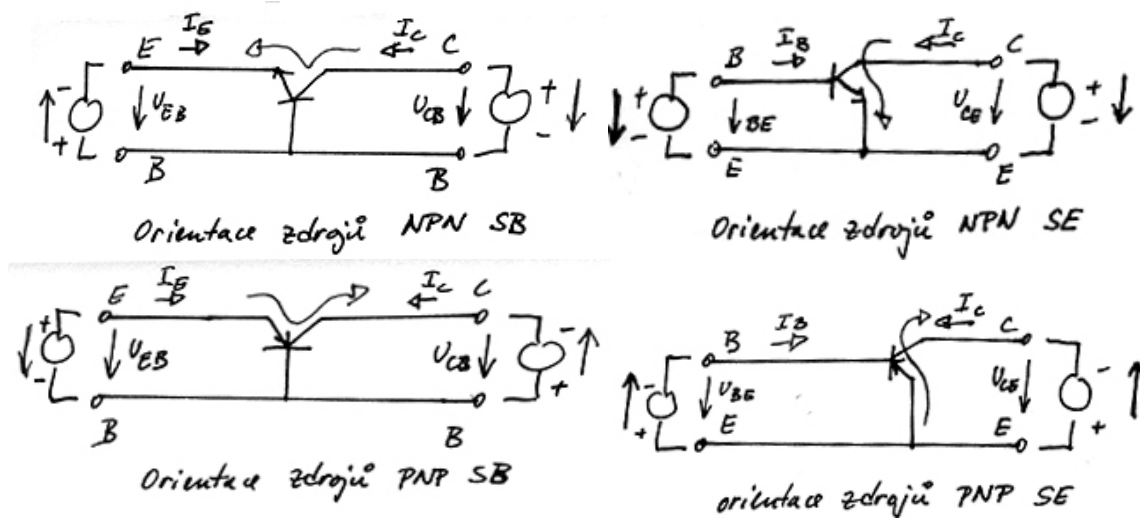
4) Režim saturace

- Emitorový přechod (U_{be}) polarizován propustně.
- Kolektorový přechod (U_{cb}) polarizován propustně.
- $U_{be} > 0, U_{cb} > 0$
- Tranzistorem prochází velký proud.

Zapojení zdrojů

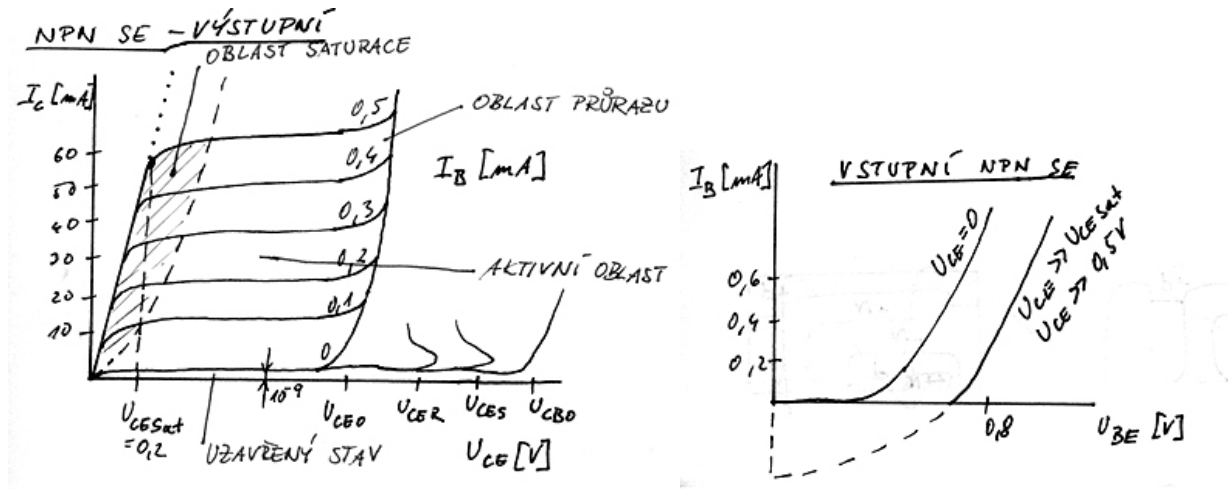
Vychází z podmínky polarizace PN přechodů.

Podle zapojení zdrojů se určuje polarita veličin ve VA charakteristikách. Máme vždy vstupní a výstupní proudy a napětí a jejich formální orientaci. Pokud je zdroj zapojen v opačné polaritě (šipky jsou opačně), objeví se v charakteristikách znaménko minus.

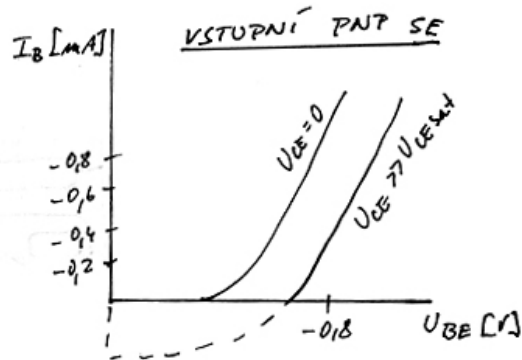
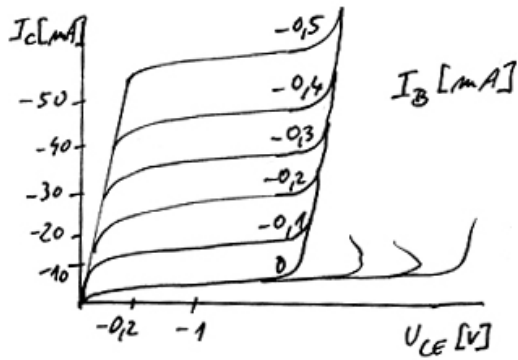


Vstupní a výstupní charakteristiky

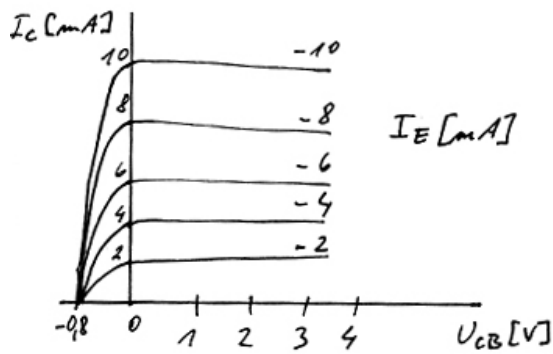
Polarity vycházejí ze zapojení zdrojů. Stačí si zapamatovat, jaká má být polarizace jednotlivých přechodů, pak si nakreslit orientaci napětí a podle toho psát buď kladné nebo záporné napětí. Pozor: $U_{be} = -U_{eb}$.



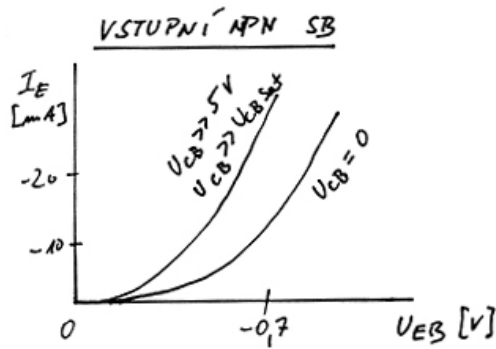
PNP SE. - VÝSTUPNÍ



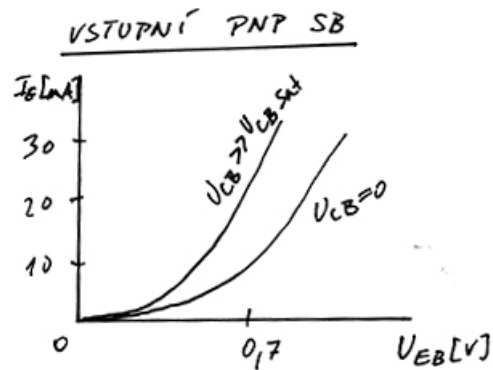
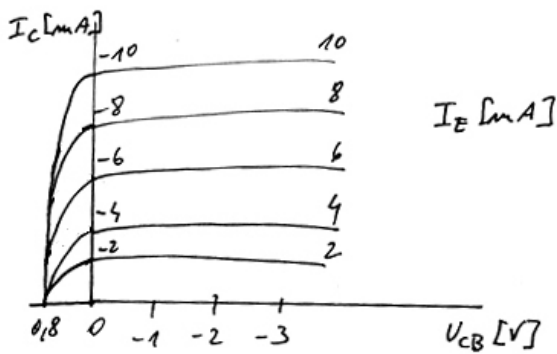
VÝSTUPNÍ NPN SB



průřez se neuvádí, v této obl. se SB nepoužívá.
 $|I_E| \approx |I_C|$



VÝSTUPNÍ PNP SB



Průrazy

Stykový průraz: roste závěrné napětí kolektorového přechodu, rozšiřuje se OPN až se dostane k OPN emitorového přechodu.

Lavinový průraz: průraz kolektoru, může přejít v tepelný

Diferenciální parametry

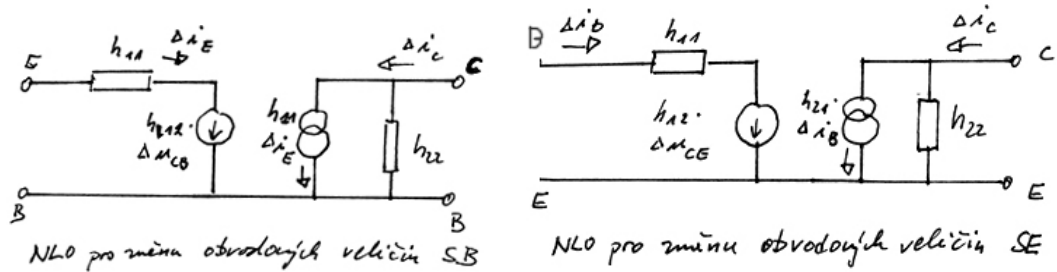
$$h_{11} = \left. \frac{\partial u_1}{\partial i_1} \right|_{P_0} \quad h_{12} = \left. \frac{\partial u_1}{\partial u_2} \right|_{P_0} \quad h_{21} = \left. \frac{\partial i_2}{\partial i_1} \right|_{P_0} \quad h_{22} = \left. \frac{\partial i_2}{\partial u_2} \right|_{P_0}$$

u_1, i_1 – vstupní veličiny (záleží na zapojení – viz zapojení zdrojů)

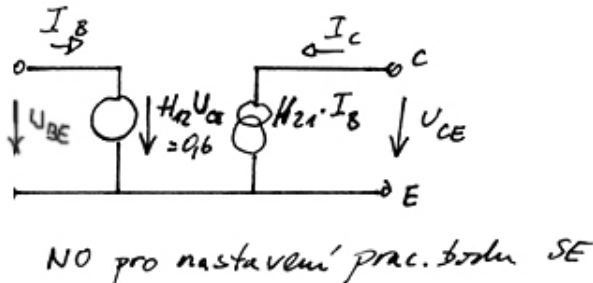
u_2, i_2 – výstupní veličiny

Náhradní obvody

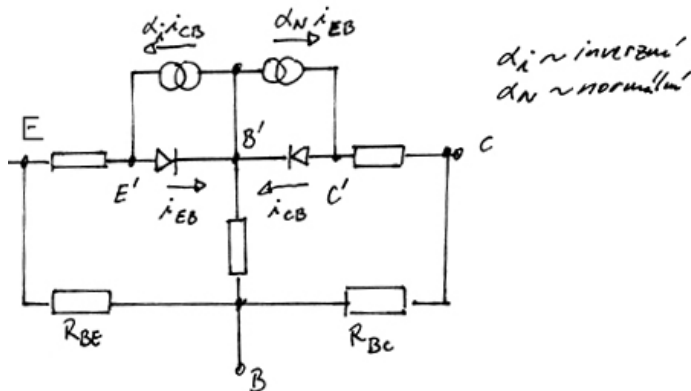
NLO s h parametry pro změnu obvodových veličin



NO pro nastavení pracovního bodu

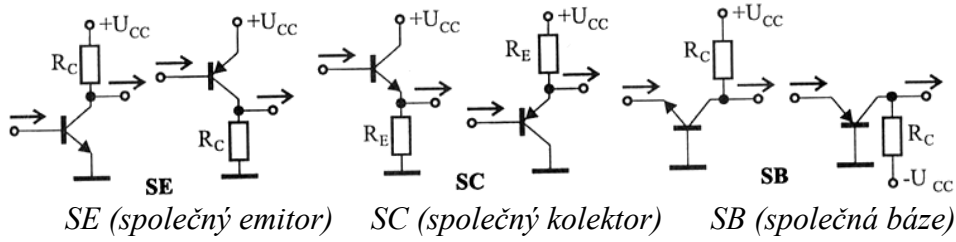


Ebers-Mollovo náhradní schéma

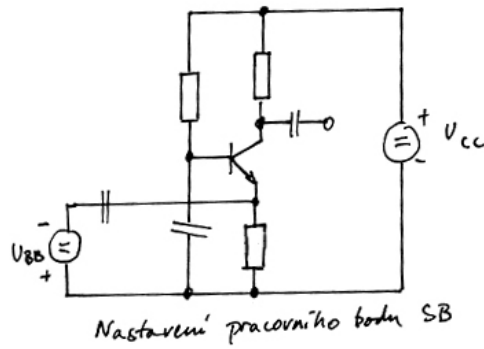
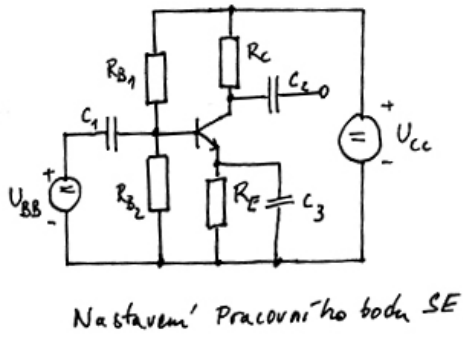


Ebers-Mollovo náhr. schéma pro vf

Základní zapojení



Obvod pro nastavení pracovního bodu



$$U_{be} = 0,7$$

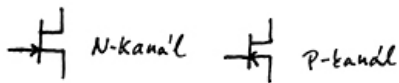
$$I_e = I_b + I_c$$

$$I_c = \beta I_b$$

Použití

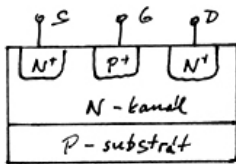
Zesilovače, převodníky.

2. JFET

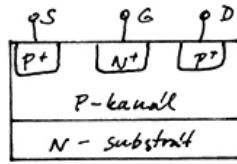


Tranzistor řízený polem. Bývá symetrický, lze zaměnit S a G. Obvyklý provozní režim – režim saturace.

Struktura



JFET N-kanál



JFET P-kanál

Princip činnosti

U_{gs} – závěrná polarizace

U_{ds} – propustná polarizace

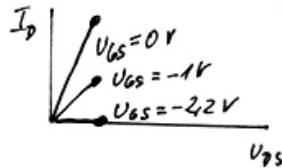
Přechod P⁺N (nesymetrický přechod), aby OPN byla převážně v kanálu. OPN řídí efektivní průřez kanálu.

1) Odporová oblast

Malé U_{ds} (tloušťka kanálu po celé délce stejná -> lineární oblast)

Rostoucí závěrné napětí U_{gs} -> rozšíření OPN do kanálu -> zúžení efektivního průřezu kanálu -> nárůst energetické bariéry -> roste efektivní odpor kanálu.

Při $U_{gs} = U_{gsoff} = U_t$ (prahové napětí) dojde k zaškrvení kanálu - OPN zaplní celý průřez kanálu pod oblastí P⁺, vznikne vysoká energetická bariéra, dojde k odizolování S a D, to způsobí pokles I_d na 0.



2) Oblast saturace pro $U_{gs} = \text{konst.}$ (např. $U_{gs}=0$)

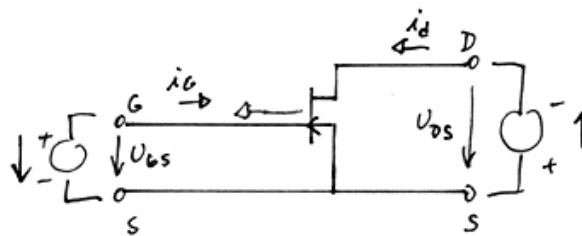
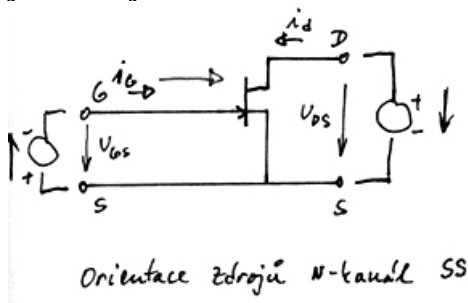
Rostoucí propustné napětí U_{ds} -> nárůst závěrného napětí diody GD -> Rozšíření OPN do oblasti kanálu poblíž D (největší rozdíl potenciálu) -> roste efektivní odpor kanálu -> strmost charakteristiky se zmenšuje.

Při U_{dsat} dojde k lokálnímu zaškrvení kanálu poblíž D – spojení OPN G-D a OPN kanál-substrát. Proud I_d protéká stále, protože OPN není pro nosiče potenciálová bariéra (potenciál míří podél kanálu, ne kolmo jako v případě 1)), pouze oblast odporu. Další nárůst U_{ds} -> rozšíření OPN a zároveň zväšeni intenzity el. pole v OPN -> Proud I_d téměř konstantní (mírný nárůst).

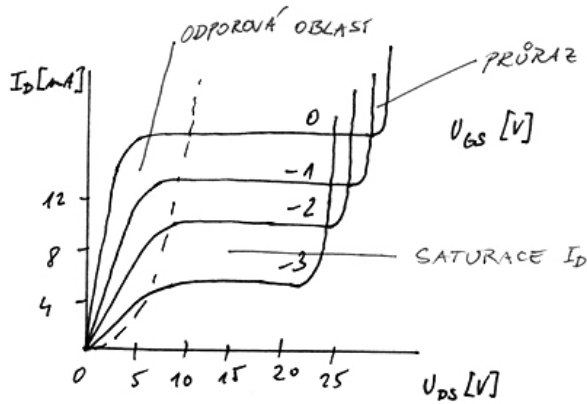
Pozor: oblast saturace JFETu nemá nic společného se saturací BJT.



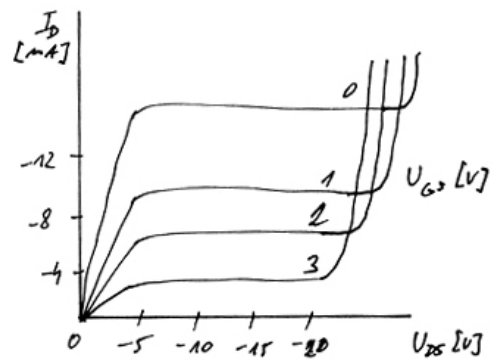
Zapojení zdrojů



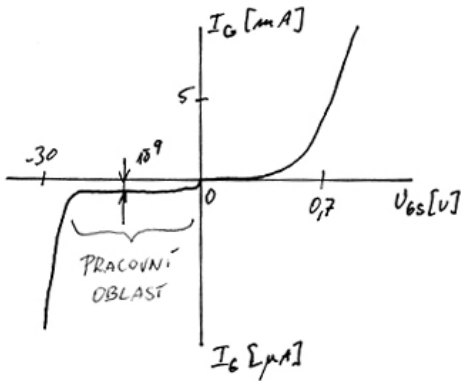
Vstupní a výstupní charakteristiky



Výstupní char. JFET N-kanál



Výstupní char. JFET P-kanál



Vstupní char. JFET N-kanál

Diferenciální parametry

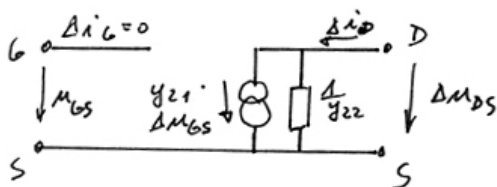
$$y_{11} = \left. \frac{\partial i_1}{\partial u_1} \right|_{P_0}$$

$$y_{12} = \left. \frac{\partial i_1}{\partial u_2} \right|_{P_0}$$

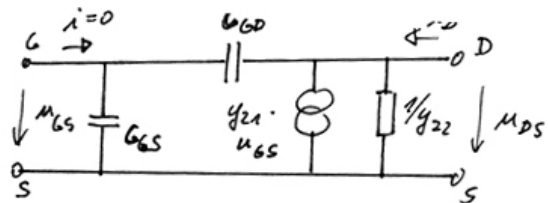
$$y_{21} = \left. \frac{\partial i_2}{\partial u_1} \right|_{P_0}$$

$$y_{22} = \left. \frac{\partial i_2}{\partial u_2} \right|_{P_0}$$

Náhradní obvod

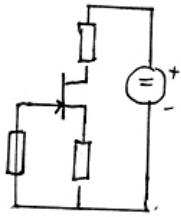


NLO JFET SS pro změnu obvod. vel.



NLO JFET pro oblast vysokých frekv.

Obvod pro nastavení pracovního bodu



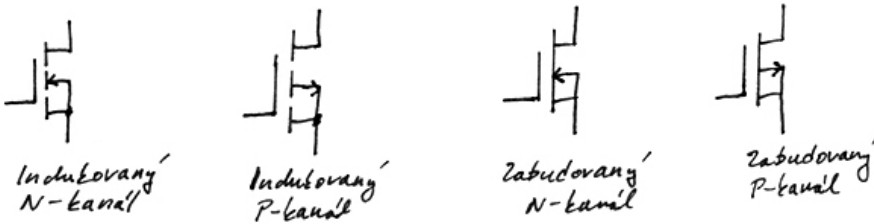
Nastavení prac. bodu

Použití

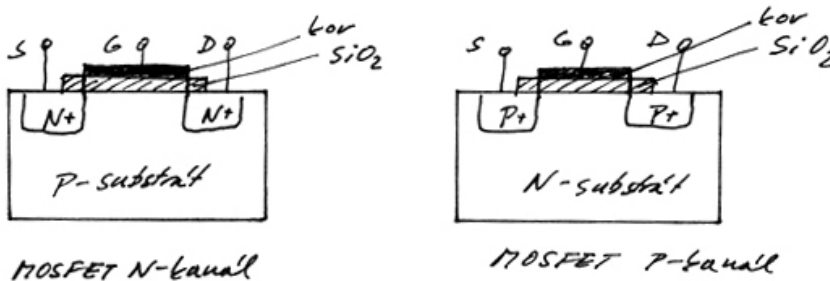
Spínací prvky, zesilování signálu, rozdílové zesilovače, napětím řízený odpor

3. MOSFET

Polem řízený tranzistor. Obsahuje přechod kov-oxid-polovodič. Obvykle souměrný, lze zaměnit S a D. Existuje-li vodivý kanál i při $U_{gs}=0$, jde o zabudovaný kanál. Je-li pro vytvoření kanálu nutné přivést napětí $U_{gs}>0$, jde o indukovaný kanál. Kanál P – snadněji vyrobitelné, ale menší pohyblivost děr ☹.



Struktura



Princip činnosti

U_{gs} – kladné pro N-kanál, záporné pro P-kanál (Potřebuji přitáhnout nosiče náboje ze substrátu nahoru na G...).

U_{ds} – závěrná polarizace, aby se rozšířila OPN u D.

1) $U_{gs} = 0$ (pro MOSFET s indukovaným kanálem)

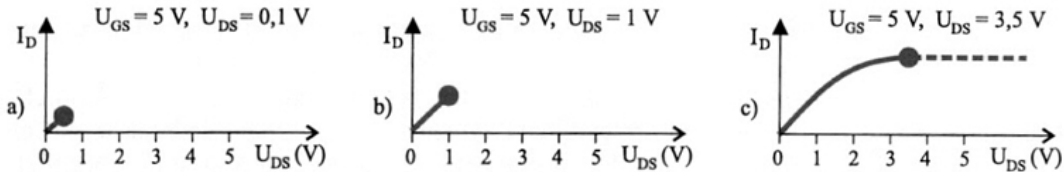
Mezi S a D jsou 2 antisériově zapojené diody bránící průtoku proudu.

2) Odporová oblast

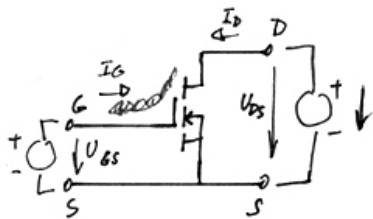
Malé U_{DS} , rostoucí U_{GS} -> přitažení nosičů náboje (elektrony pro N kanál) k G, vytvoření inverzní vrstvy -> oblast vodivosti. S rostoucím U_{GS} se přitahuje stále více nosičů, tranzistor se chová jako lin. odpor. Vodivé pro $U_{GS} > U_t$ (prahové napětí).

3) Oblast saturace pro $U_{GS} = \text{konst}$

Rostoucí U_{DS} -> snížení koncentrace nosičů v inverzní vrstvě -> zužování kanálu -> roste odpor -> při $U_{DS} = U_{GS} - U_t$ dojde k zaškrvení kanálu -> konstantní saturační proud I_D .



Zapojení zdrojů

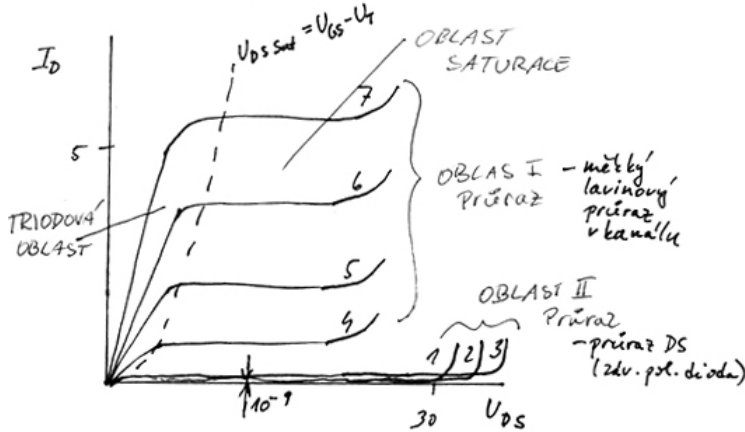


Orientace zdrojů N-kanál

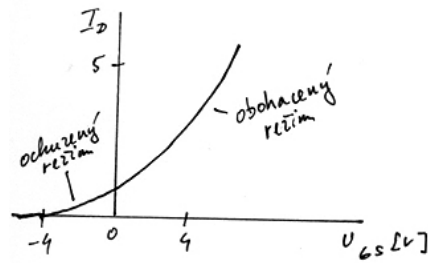
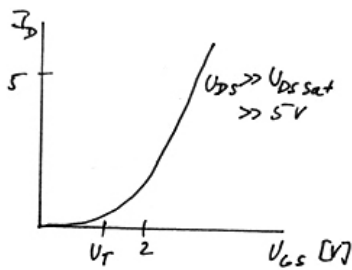
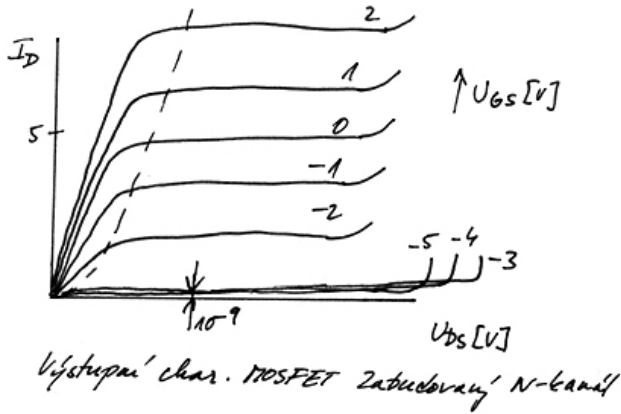
P-kanál: zdroje opačně...

Vstupní a výstupní charakteristiky

Vstupní charakt. se neudává, protože hradlo je oddělené SiO_2 -> velký odpor.

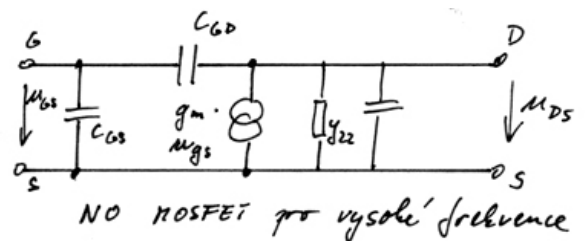
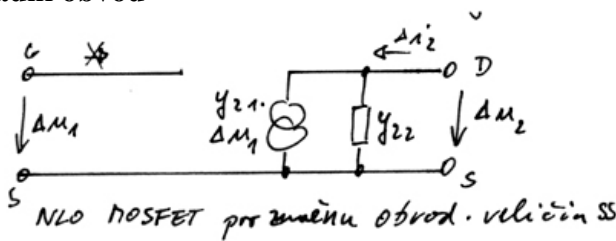


Výstupní char. MOSFET N-kanál indukovaný

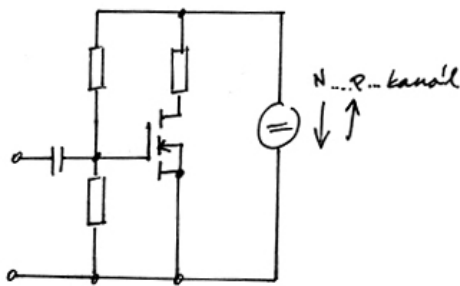


Diferenciální parametry - Viz. JFET.

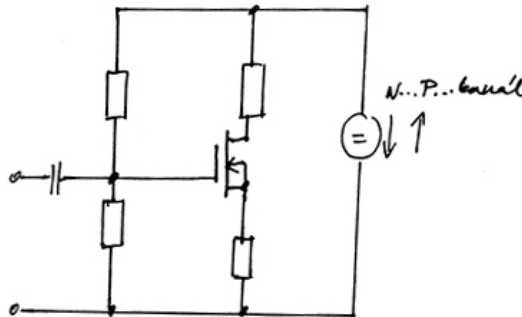
Náhradní obvod



Obvod pro nastavení pracovního bodu



Nastavení prac. bodu MOSFET indukovaný kanál



Nastavení prac. bodu MOSFET zabudovaný kanál

Použití: Zdroj proudu, zesilovač

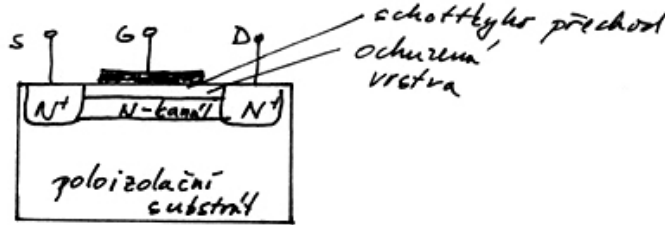
4. MESFET

GaAs – cca 5x větší pohyblivost elektronů než Si. Tranzistor se Schottkyho přechodem (kov-polovodič).

Struktura

Obohacovací typ: tenká epitaxní vrstva, difúzní napětí Schottkyho přechodu stačí k ochuzení celého kanálu. V rychlých obvodech.

Ochuzovací typ: větší tloušťka epitaxní vrstvy než je tloušťka ochuzené vrstvy Schottkyho přechodu. Většina tranzistorů.



Princip činnosti

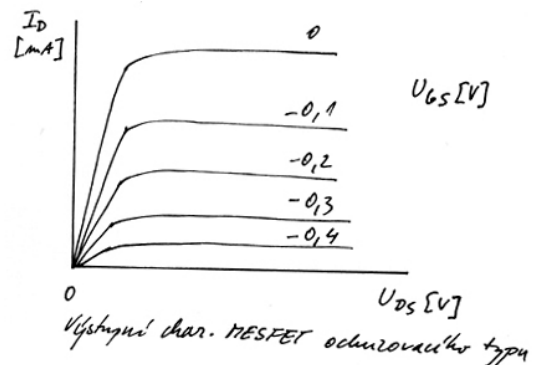
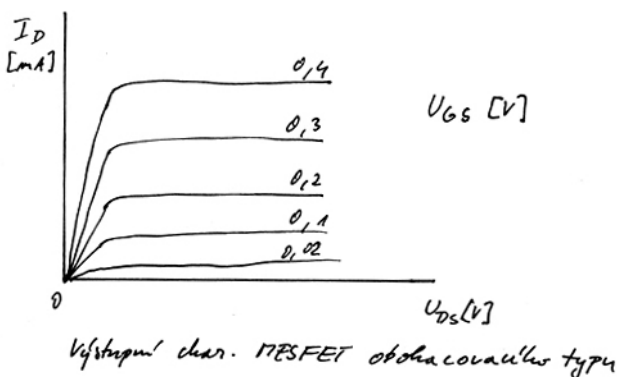
U_{GS} – závěrná polarizace
 U_{DS} – propustná polarizace

Princip prakticky stejný jako JFET.

Rostoucí závěrné napětí na přechodu kov-polovodič U_{DS} -> rostoucí tloušťka OPN -> zúžení efektivního průřezu kanálu mezi S a D -> proud I_D

K saturaci I_D dochází vlivem saturace driftové rychlosti elektronů a to téměř v celém rozsahu napětí na hradle.

Vstupní a výstupní charakteristiky



Diferenciální parametry - Viz JFET

Použití

Vysokofrekvenční technika

Případné dotazy a připomínky na: tuckova.kristyna@centrum.cz