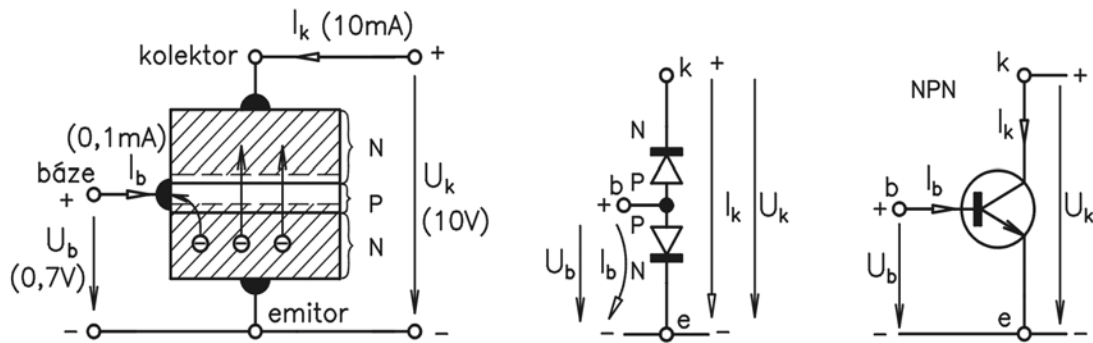


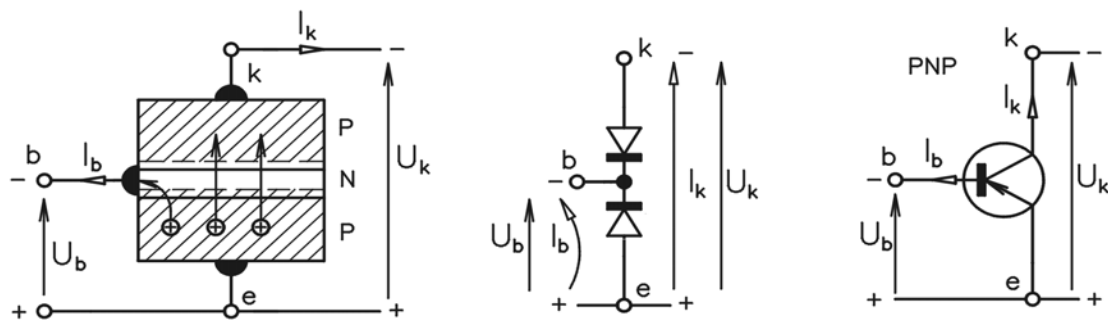
TRANZISTORY

BIPOLÁRNÍ TRANZISTOR

- třívrstvá struktura PNP nebo NPN



Struktura, náhradní schéma a schematická značka bipolárního tranzistoru NPN v zapojení se společným emitorem.



Struktura, náhradní schéma a schematická značka bipolárního tranzistoru PNP v zapojení se společným emitorem.

Zapojení se společným emitorem (SE)

- emitor je společnou součástí vstupního řídicího i výstupního řízeného obvodu

Princip zesílení u tranzistoru (v zapojení SE):

malým napětím, resp. malým proudem do báze tranzistoru ovládáme větší proud v obvodu kolektoru

$$I_e = I_b + I_k = I_b \left(1 + \frac{I_k}{I_b} \right) = I_b (1 + \beta_0) \approx \beta_0 I_b$$

kde β_0 je statické proudové zesílení tranzistoru, $\beta_0 = I_k/I_b$

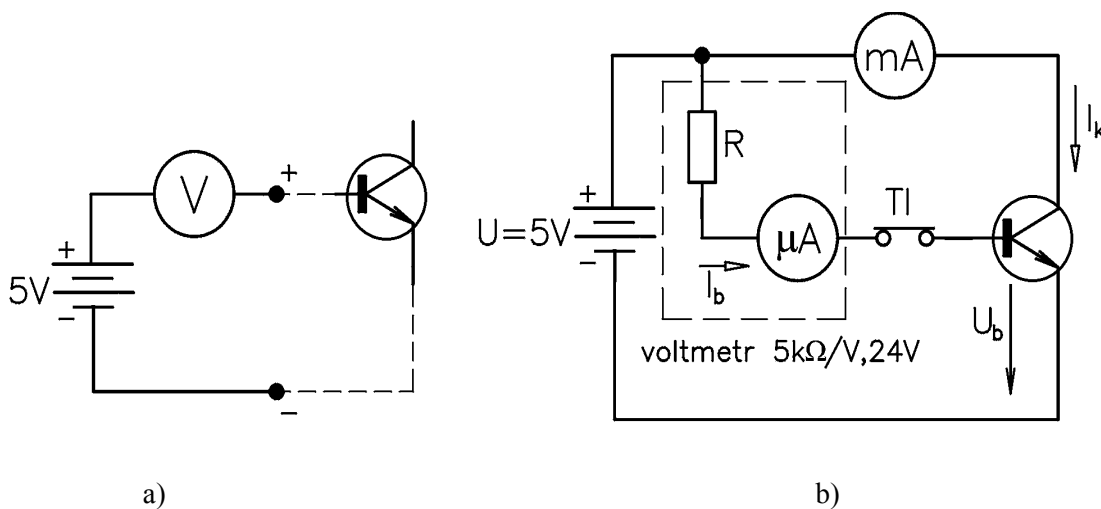
Určení správných polarit a značení typů tranzistorů

- šipka v emitoru označuje pracovní směry proudu kolektoru i báze
- směr propustnosti diody báze - emitor
- šipka u tranzistoru typu NPN směřuje ven ze značky

Zkoušení neporušenosti přechodů tranzistoru

stačí většinou ověřit neporušenost přechodů báze - emitor a báze kolektor

- a) použitím přímo ukazujícího multimetru
- b) nebo dle zapojení



Měření statického proudového zesílení

$$I_v = \frac{1}{R_i} = \frac{1}{5000} = 0,2 \text{ mA}$$

$$\beta_0 = \frac{I_k}{I_b}$$

kde

$$I_b = \frac{U - U_b}{R}$$

$U_b = 0,3 \text{ V}$ pro germaniové tranzistory

$U_b = 0,7 \text{ V}$ pro křemíkové tranzistory

Statické vlastnosti tranzistoru SE

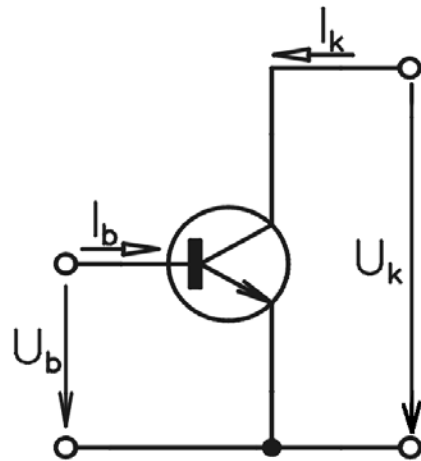
Statické charakteristiky tranzistoru

- popisují vzájemné vztahy mezi veličinami

- vstupními: I_b , U_b ,
- výstupními: I_k , U_k

Hybridní charakteristiky

- nezávisle proměnné: I_b , U_k



Vstupní charakteristika: $U_b = h_1(I_b, U_k)$ ve III. kvadrantu
většinou uvažujeme jen $U_b = h_1(I_b)$

Výstupní charakteristika: $I_k = h_2(I_b, U_k)$

- soubor kolektorových charakteristik v I. kvadrantu pro parametr I_b
- soubor převodních charakteristik ve II. kvadrantu pro parametr U_k

Počtení řešení

Charakteristiky tranzistoru nahrazujeme v okolí pracovního bodu jejich tečnými rovinami (vyjádření přírůstku totálním diferenciálem).

Rovnice tečných rovin aproximujících charakteristiky lze vyjádřit:

$$\Delta u_b = h_{11} \cdot \Delta i_b + h_{12} \cdot \Delta u_k$$

$$\Delta i_k = h_{21} \cdot \Delta i_b + h_{22} \cdot \Delta u_k$$

h - parametry tranzistoru

konstanty h jsou v rovnicích parciální derivace charakteristik v pracovním bodě

$$h_{11} = \left(\frac{\Delta u_b}{\Delta i_b} \right)_{u_k = \text{konst.}}, \quad h_{12} = \left(\frac{\Delta u_b}{\Delta u_k} \right)_{i_b = \text{konst.}},$$

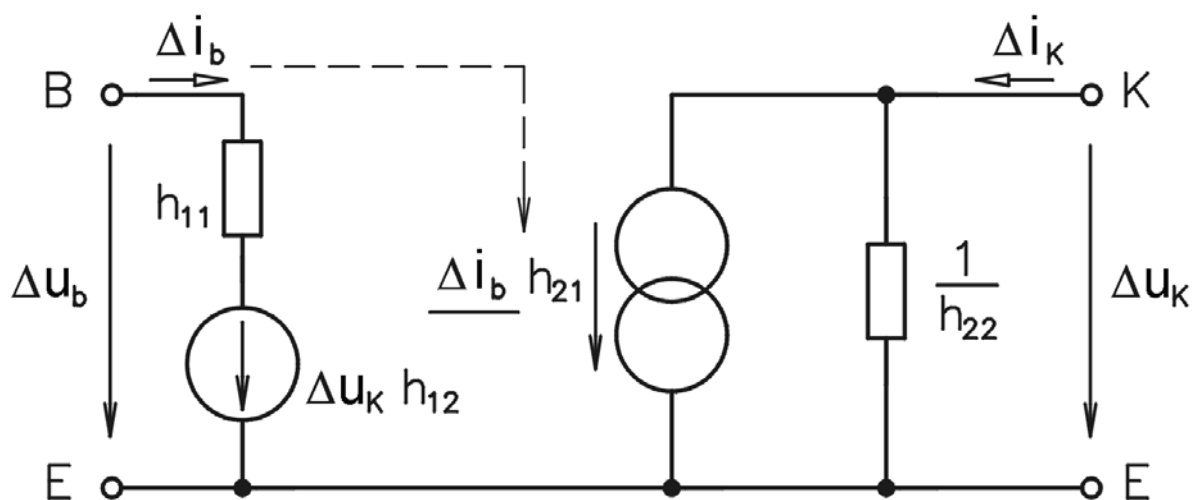
$$h_{21} = \left(\frac{\Delta i_k}{\Delta i_b} \right)_{u_k = \text{konst.}}, \quad h_{22} = \left(\frac{\Delta i_k}{\Delta u_k} \right)_{i_b = \text{konst.}}$$

h_{11} je vstupní odpor, jehož hodnota se pohybuje v rozsahu 10^2 až 10^4 [Ω]

h_{12} zpětný napěťový přenos, $h_{12} \leq 10^{-4}$ [-], většinou jej zanedbáváme

h_{21} proudové zesílení, jehož hodnota se pohybuje v rozsahu 10^1 až 10^3 [-]

h_{22} výstupní vodivost, jehož hodnota se pohybuje v rozsahu 10^{-3} až 10^{-5} [S]



Linearizované náhradní schéma tranzistoru

Mezní parametry tranzistorů

jsou výrobcem uvedeny v katalogu jako hlavní vodítka volby a výběru náhrady typu:

Maximální kolektorový proud I_{kmax} ($\cong I_{E max}$)

- dán konstrukcí tranzistoru, plochou přechodů a odvodem tepla ze systému tranzistoru

Maximální kolektorové napětí U_{Kmax}

- dáno dovoleným závěrným napětím PN přechodu báze – kolektor (závisí na teplotě přechodu a na hodnotě vnějšího odporu mezi bází a emitorem)

Maximální kolektorový ztrátový výkon P_{kmax}

- omezuje trvalou pracovní oblast v kolektorových charakteristikách hyperbolou, je podmíněn chlazením tranzistoru

Maximální proud báze I_{bmax}

- dán tavným proudem přívodu báze, bývá menší než I_{kmax} (přibližně $0,1 I_{k max}$)

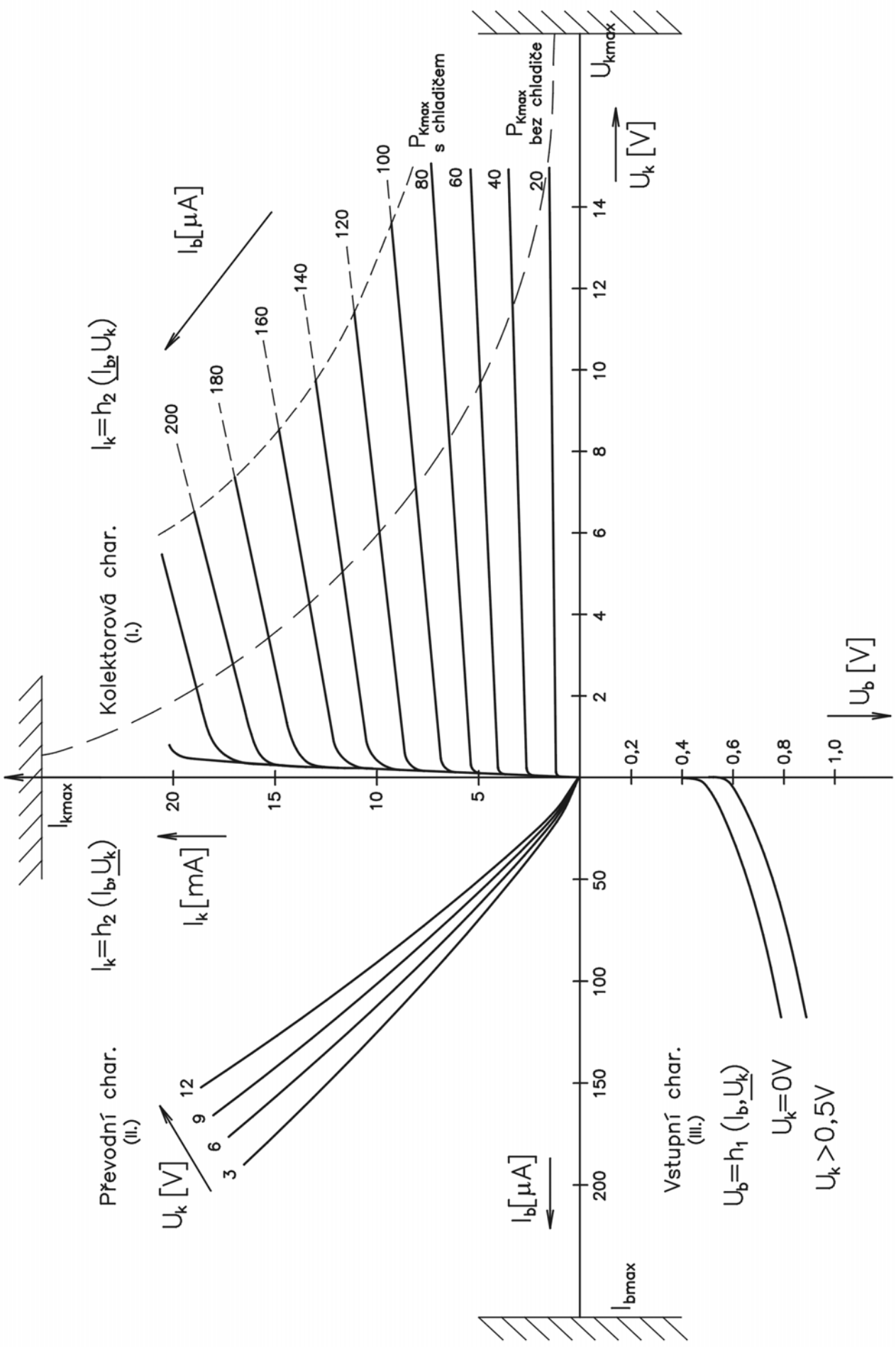
Maximální závěrné napětí $U_{be max}$

- je u difúzních a epitaxních tranzistorů poměrně malé, kolem 5 až 8 V
- ⇒ přepólování báze do závěrného směru - častá příčina zničení tranzistoru

typ	U_{kmax} [V]	I_{kmax} [A]	P_{tot} [W]	h_{21} [-]	f_m [MHz]	typ
BC107	45	0,1	0,5	300	300	NPN
BC307	45	0,1	0,5	300	300	PNP
BD135	45	1,5	8	63	75	NPN
BD136	45	1,5	8	63	75	PNP
MJ15024	250	16	250	15	4	NPN
MJ15025	250	16	250	15	4	PNP
BUH715	700	8	60			NPN

Použití tranzistorů:

- zesilování stejnosměrných i střídavých signálů,
- spínání,
- impedančnímu přizpůsobení
- realizace logických funkcí



UNIPOLÁRNÍ TRANZISTOR

neboli plem řízený tranzistor, FET (Field Effect Transistor)

Použití

- pro zesilování
- spínání signálů
- realizaci logických funkcí

Charakteristické vlastnosti:

- velmi vysoký vstupní odpor
- malý řídicí příkon
- velký rozsah kolektorových proudů
- mělká struktura umožňuje vysoký stupeň integrace
- mělká struktura \Rightarrow dobrý odvod ztrátového výkonu tranzistoru z čipu
- pracovní bod lze nastavit již při výrobě bez použití vnějších součástí

Základní typy unipolárních tranzistorů:

MOS-FET izolace vrstvou oxidu SiO_2 (Metal Oxid Semiconductor)

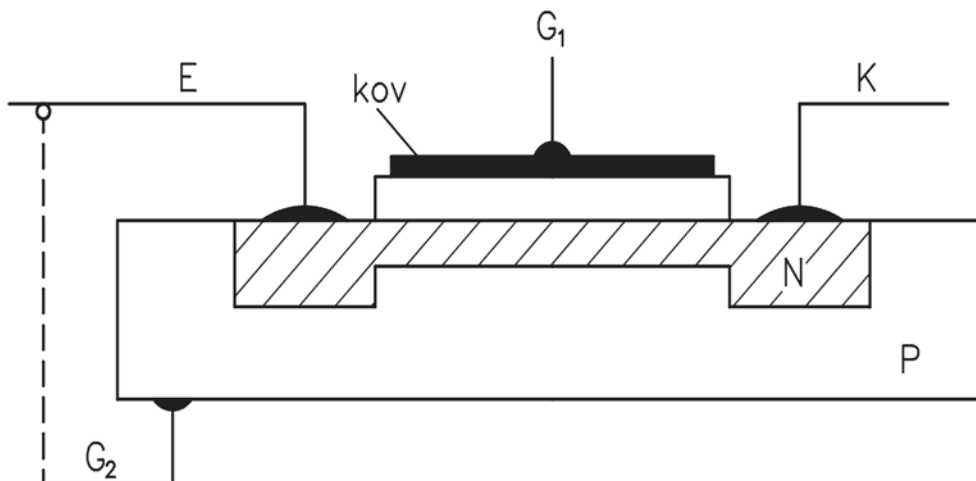
J-FET izolace PN přechodem v závěrném směru

N nebo P předřazené znaku znamená typ vodivosti kanálu

C předřazené znaku znamená prvek s kanály P i N

Struktura tranzistoru N - MOS

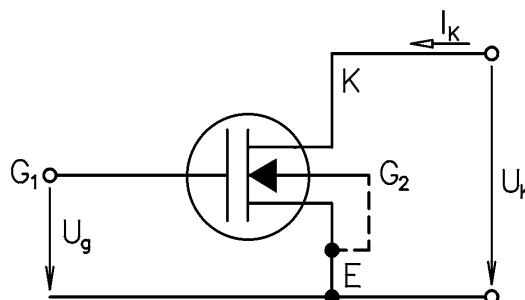
- ◆ základní materiál typu P
- ◆ tenký kanálek vodivosti typu N
- ◆ tenká izolační vrstva SiO_2
- ◆ napařena kovová řídicí elektroda G_1



Princip a schematická značka tranzistoru N-MOS

vývody:

- E - emitor (též S - source)
- K - kolektor (též D - drain)
- G_1 - řídicí elektroda (gate)



Tranzistor je řízen napětím na řídicí elektrodě U_G .

Intenzitou dotace příměsí v kanálku je možno vyrobit tranzistory s modem:

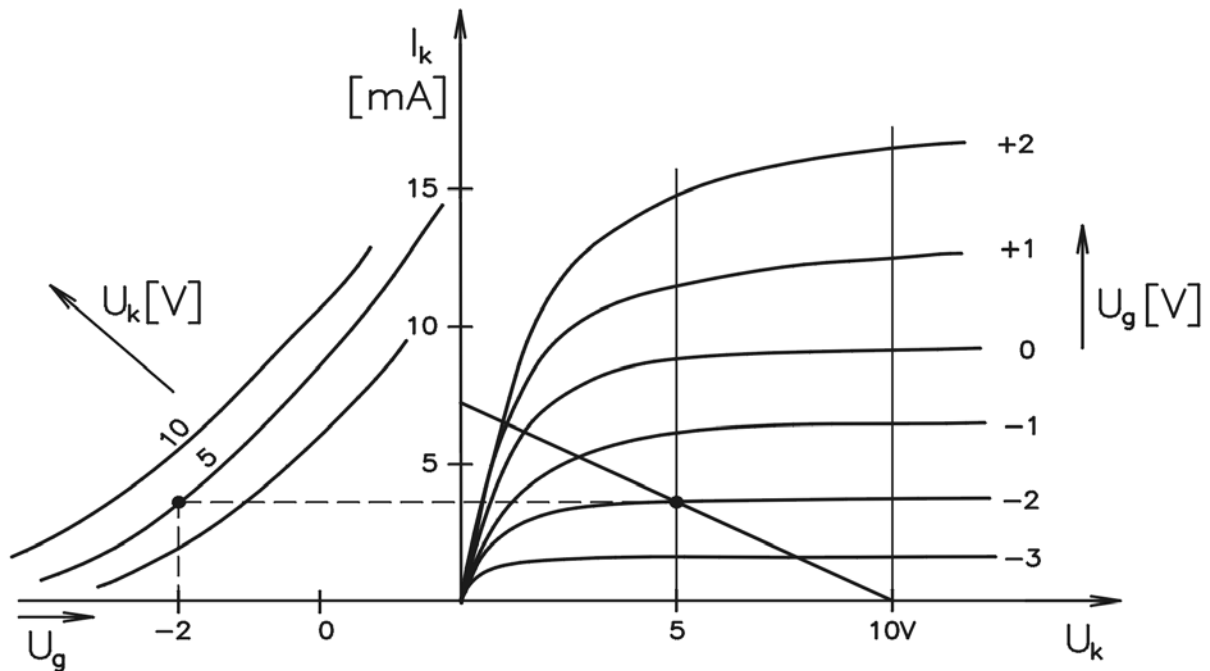
ochuzujícím - propouštějí kolektorový proud při nulovém U_G

obohacujícím - jsou při $U_G = 0$ nevodivé

Šipka v G_2 znázorňuje vodivost diody kanál - G_2 (substrát).

Obohacující se kanál se kreslí čárkovaně.

Statické charakteristiky unipolárního transistoru



Statické charakteristiky unipolárního transistoru N-MOS s ochuzujícím kanálem

Vstupní charakteristiky se nekreslí.

Výstupní charakteristiku v okolí pracovního bodu lze nahradit lineární aproximací dle

$$\Delta I_k = y_{21} \cdot \Delta U_G + y_{22} \cdot \Delta U_k$$

kde parametry jsou strmosti charakteristik:

převodní $y_{21} = S$ je **řídící strmost** (bývá 0,3 až 30 mS)

výstupní y_{22} - výstupní vodivost (bývá 10^{-5} až 10^{-3} mS)

Mezní parametry

I_{kmax} , U_{kmax} , P_{max} - dány stejně (i řádově) jako u bipolárních tranzistorů.

U_{gmax} je u MOS - FETů v obou polaritách stejná, asi 20 V - překročení vede k okamžitému zničení tranzistoru

Porovnání vlastností unipolárních a bipolárních tranzistorů

Výhody palem řízených tranzistorů proti bipolárním:

1. **Velmi vysoký vstupní odpor** (10^9 až $10^{13} \Omega$), nulový vstupní proud, nulový vstupní příkon ve statickém režimu.
2. Výstupní obvod otevřeného tranzistoru se chová jako ohmický odpor, při malém proudu I_k je napětí U_k tranzistoru téměř nulové ($R_{DS(on)} < 1 \Omega$).
3. Možnost velmi **velké hustoty integrace**, protože:
 - a) mělká struktura \Rightarrow lze dosáhnout velké rozlišovací schopnosti při výrobě
 - b) velmi malý vstupní příkon umožňuje navrhnout i předchozí stupně na malý výkon a umístit je na malé ploše
 - c) tím, že lze volit ochuzením či obohacením kanálu polohu charakteristiky pro $U_G = 0$, zjednoduší se obvody pro nastavení a posouvání pracovního bodu
4. Relativně malý vlastní šum, zejména u J-FETů, které pracují až do velmi vysokých frekvencí (20 GHz).

Nevýhodou MOS-FETů je nebezpečí snadného proražení řídicí elektrody, pokud není chráněna.