

# POLOVODIČOVÉ DIODY

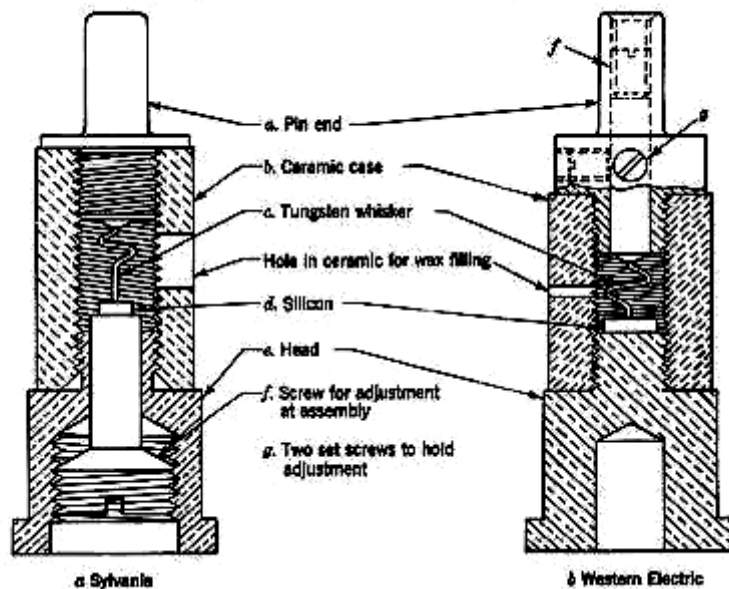
Nejjednodušší a nejstarší součástky s přechodem PN

Historické – stykové usměrňovače (PbS, CuO, Se)  
galenit, kuproxid, selen



Hrotové diody

Polysilicon microwave diodes, c. 1945



(Rad. Lab v. 15)

Směšovací a detekční diody pro 3 cm



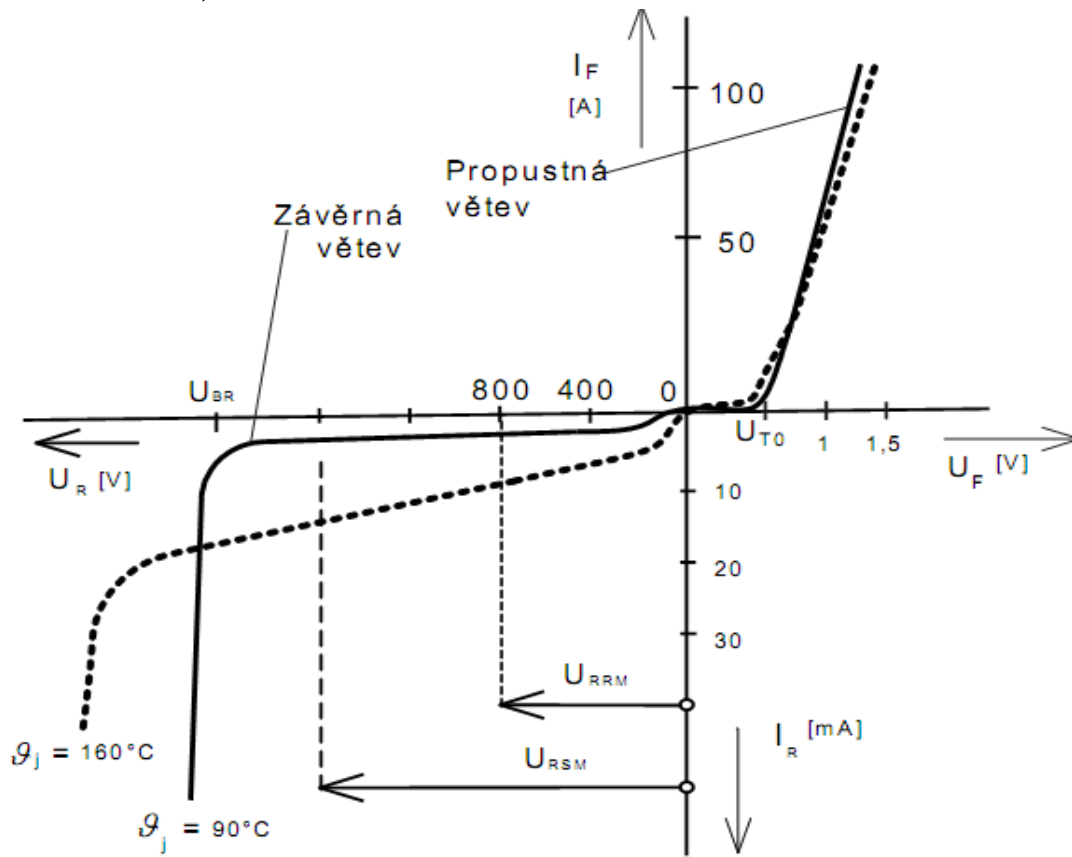
Současné diody PLOŠNÉ, vyráběné různými technologiemi

VLASTNOSTI vždy se trochu liší od ideálního přechodu PN

Charakteristiky jsou teplotně závislé

Závěrný směr- nárůst proudu při nižším napětí, nárůst průrazného napětí

Propustný směr- klesá prahové napětí, roste diferenciální odpor (Snížení injekční účinnosti )



# ZÁVĚRNÝ SMĚR

Pro malá napětí  $U_R \ll U_{BR}$

Proud způsobený minoritními nosiči  $\rightarrow$  difuzní proud roste s teplotou, nezávisí na napětí:

$$I_R = I_{R0} \exp[\delta(\nu_1 - \nu_0)]$$

Proud způsobený majoritními nosiči – generačně rekombinační proud roste s teplotou,  $\rightarrow$  proud ROSTE i při růstu napětí ROSTE, je DOMINANTNÍ

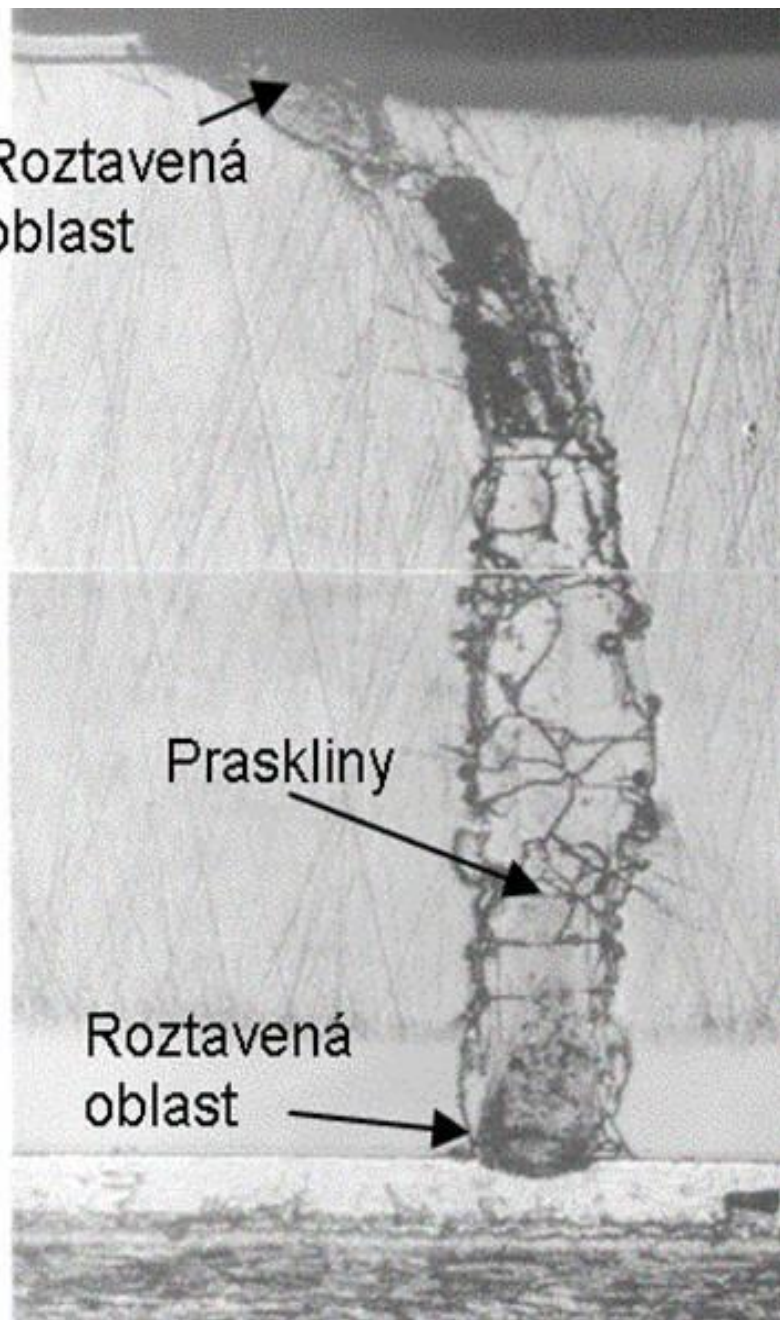
Pro větší napětí  $U_R \leq U_{BR}$  vlivem nárazové ionizace dochází k lavinovému jevu – elektron s velkou energií při nárazu vytváří další nosiče náboje a dochází k nárůstu proudu. Lavinový děj (lavinový průraz) není destruktivní, pokud při něm nedojde k absorpci velké energie v malém objemu přechodu.

Tepelný průraz (druhý průraz) vzniká dále vlivem kladné zpětné vazby vzrůstem proudu  $I_R$  při vzrůstu teploty a současným vzrůstem teploty ztrátovým výkonem. Dojde ke vzniku mesoplasmy (místa s nárůstem proudové hustoty o několik řádů) a destrukci struktury jejím roztavením nebo popraskáním vlivem tepelného šoku

Roztavená  
oblast

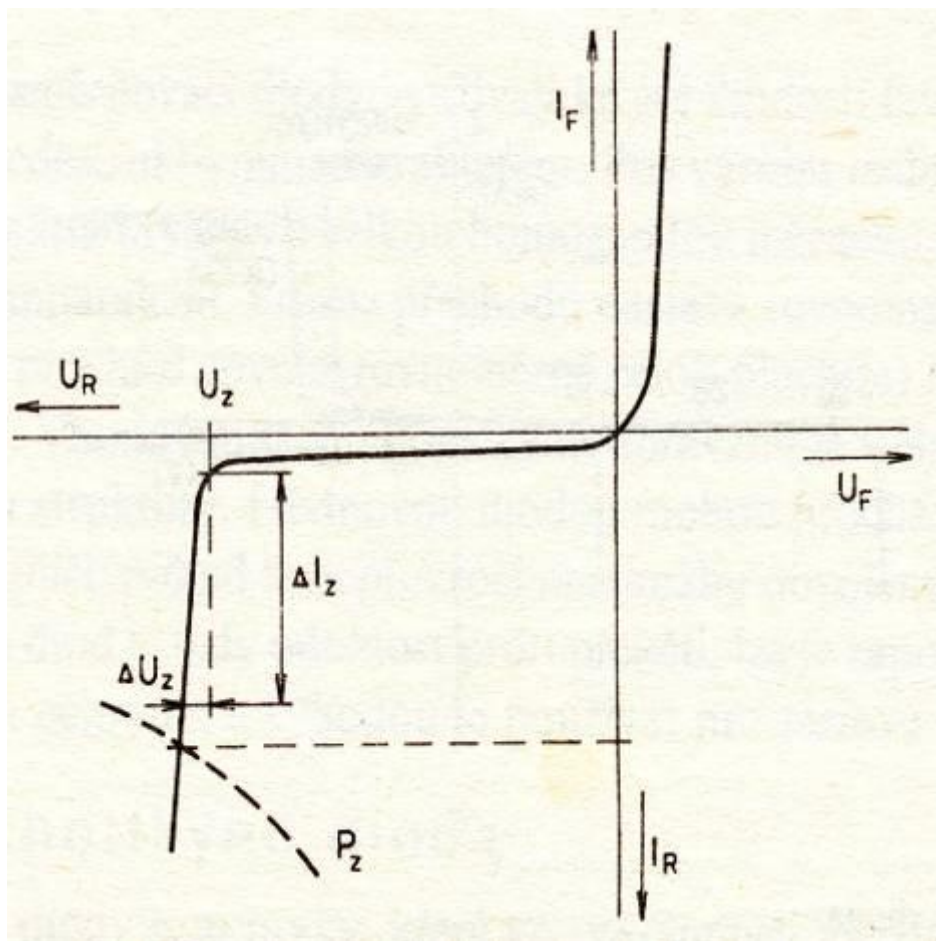
Praskliny

Roztavená  
oblast

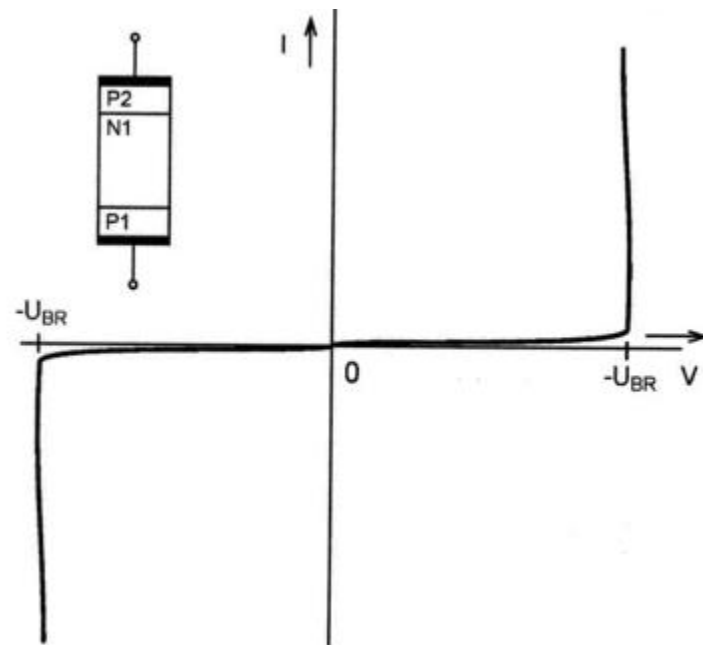


# ZENEROVY DIODY PRO STABILIZACI

Pracují v oblasti laviny, závěrné napětí na diodě je prakticky konstantní, nezávislé na proudu



Dvě diody antiseriově proti sobě –  
symetrická VA charakteristika  
užití jako omezovač přepětí  
střídavá dioda, transil, suppressor

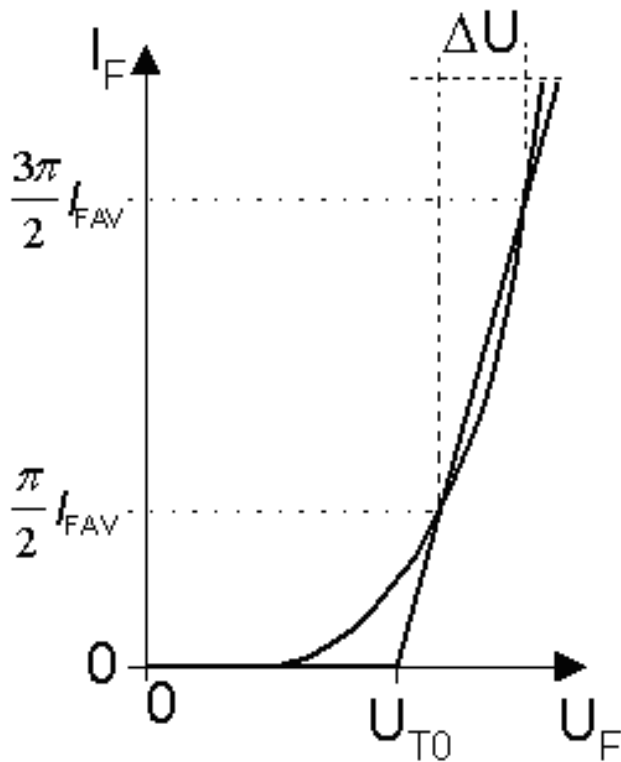


# PROPUSTNÝ SMĚR

Proud přenáší difuzní i generačně-rekombinační složka

$$I = I_0 \left[ e^{\frac{U}{U_0}} - 1 \right]$$

$I_0$  nasycený zbytkový proud  
 $U_0 = kT/e$  teplotní napětí, 26 mV při 25° C, 30 mV při 75° C



$$U_F = U_{(T0)} + r_T I_F$$

$r_T$  diferenciální odpor

definice pro usměrňovače:

$$r_T = \frac{\Delta U_F}{\pi I_{FAV}}$$

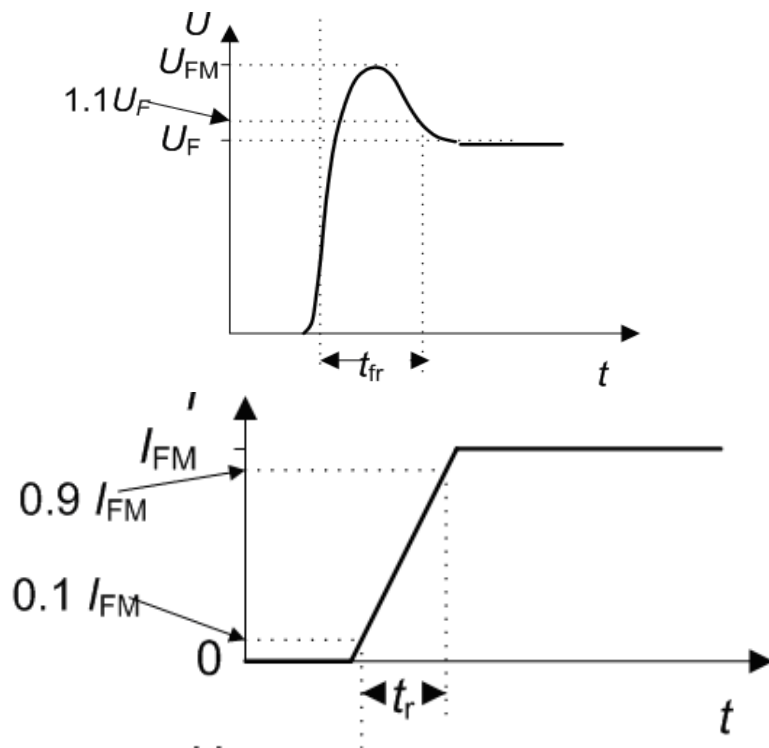
$U_{(T0)}$  klesá s rostoucí teplotou

$r_T$  roste s rostoucí teplotou



# DYNAMICKÉ PROCESY

SPÍNÁNÍ proud diodou v propustném směru je vynucen vnějším obvodem, který může dodat velké napětí



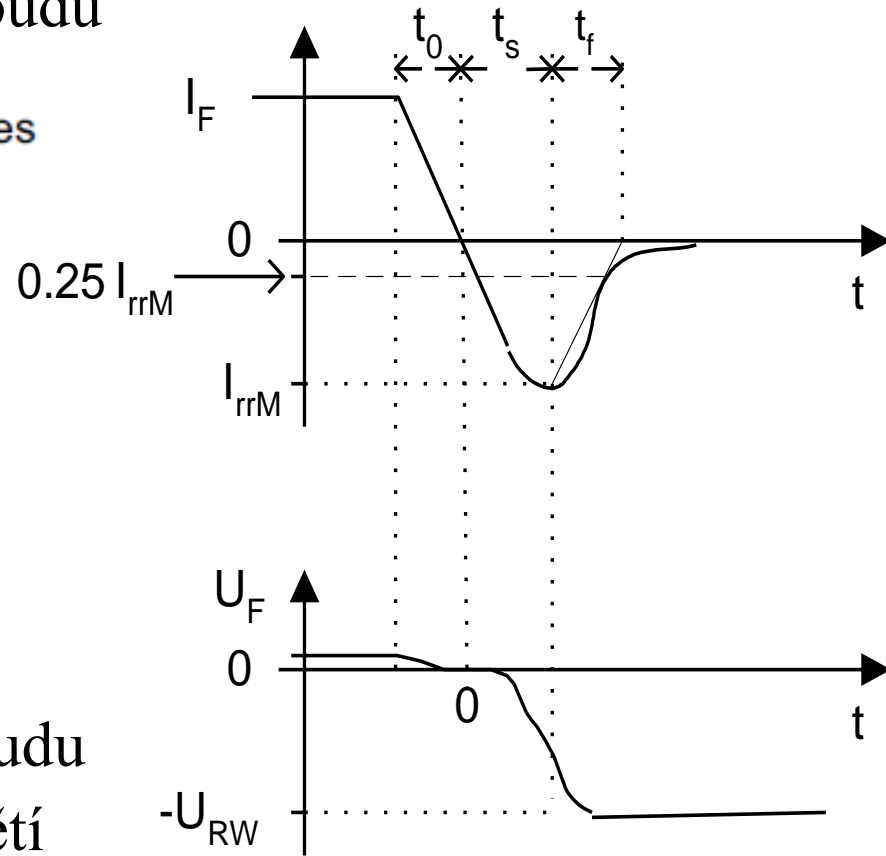
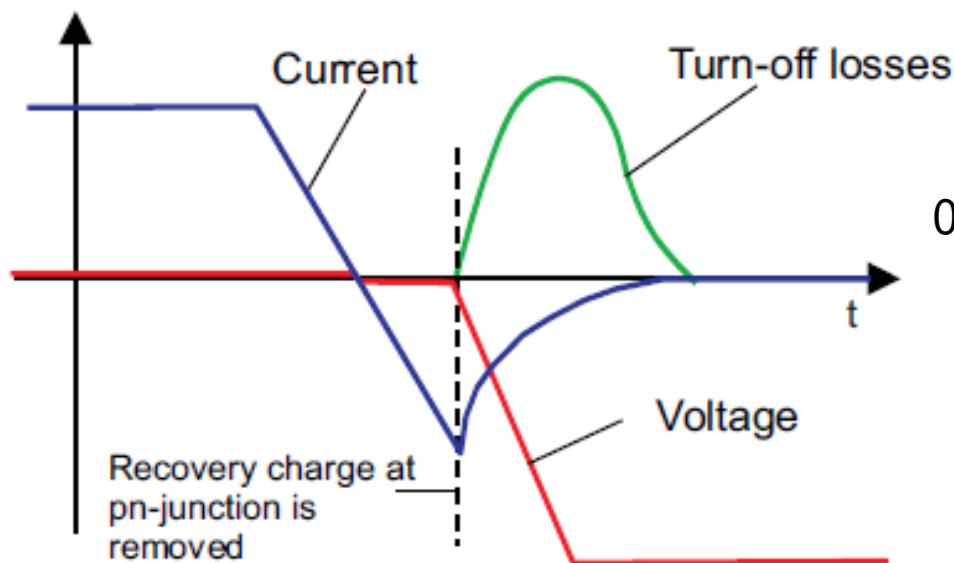
Jev charakterizují parametry (i když se na to často kašle)

$t_{fri}$  doba proudového propustného zotavení, tj. čas nárůstu proudu z  $0,1 I_F$  na  $0,9 I_F$

$t_{fru}$  doba napěťového propustného zotavení, tj. čas poklesu napětí od počátku impulsu na  $1,1 U_F$

# ROZPÍNÁNÍ

Dioda je pomalá - čas potřebný k rekombinaci nerovnovážných nosičů náboje je delší než doba poklesu proudu



$t_0$  doba poklesu propustného proudu

$t_s$  doba zpoždění závěrného napětí

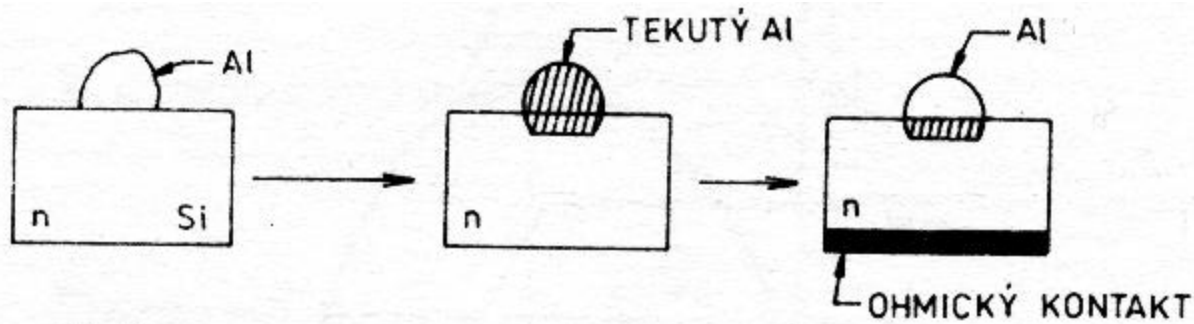
$t_f$  doba poklesu závěrného proudu

$t_s + t_f = t_{rr}$  doba zotavení

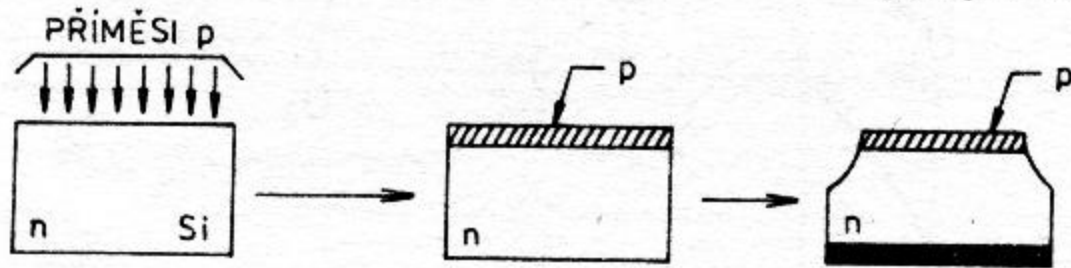
$I_{rrM}$  špičková hodnota proudu závěrného zotavení



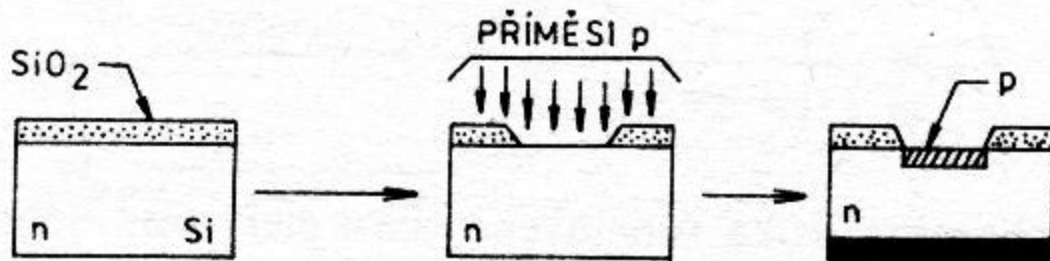
# STRUKTURY DIOD



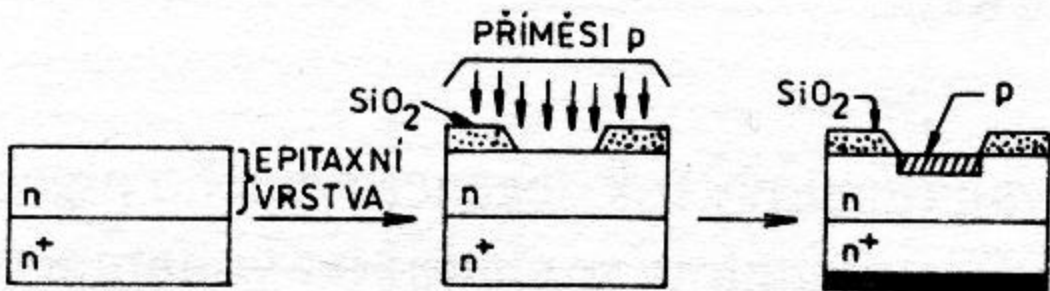
SLITINOVÁ



DIFUZNÍ MESA

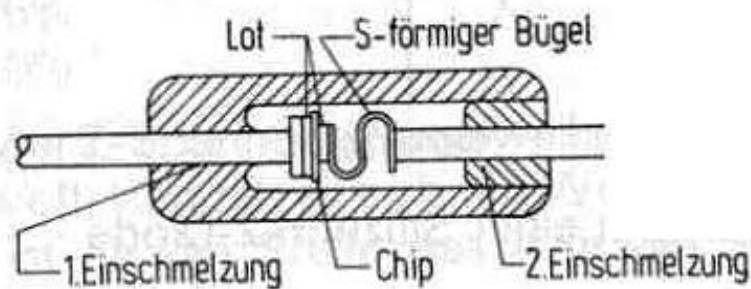
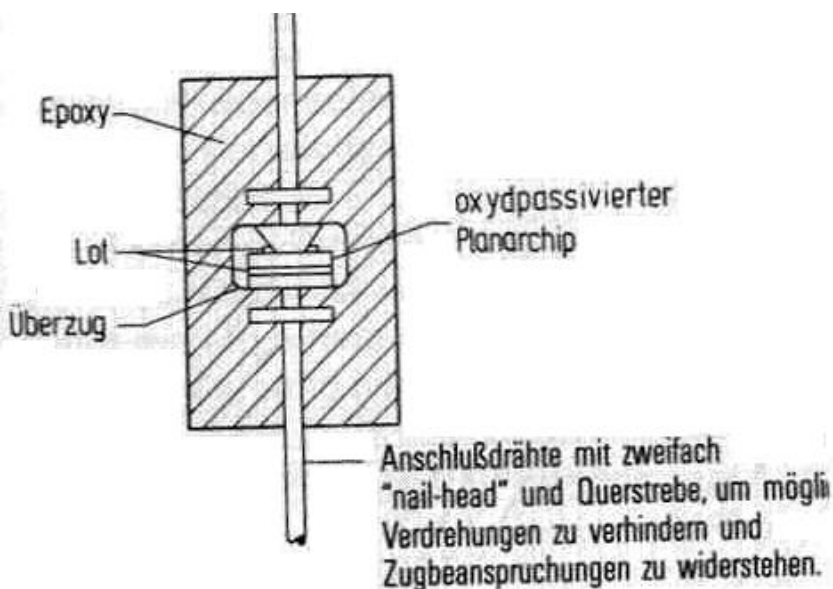


DIFUZNÍ PLANÁRNÍ

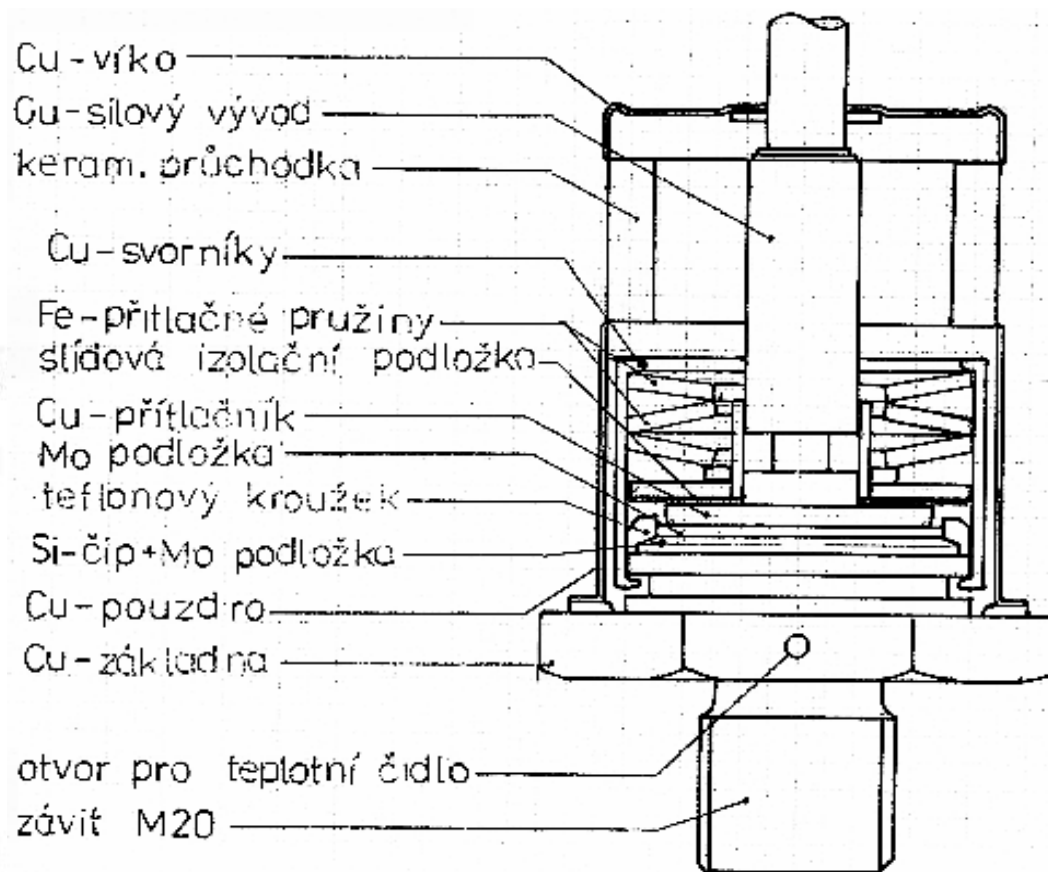


DIFUZNÍ PLANÁRNĚ  
– EPITAXNÍ

# DIODY MALÉHO VÝKONU



# SESTAVA VÝKONOVÉ DIODY

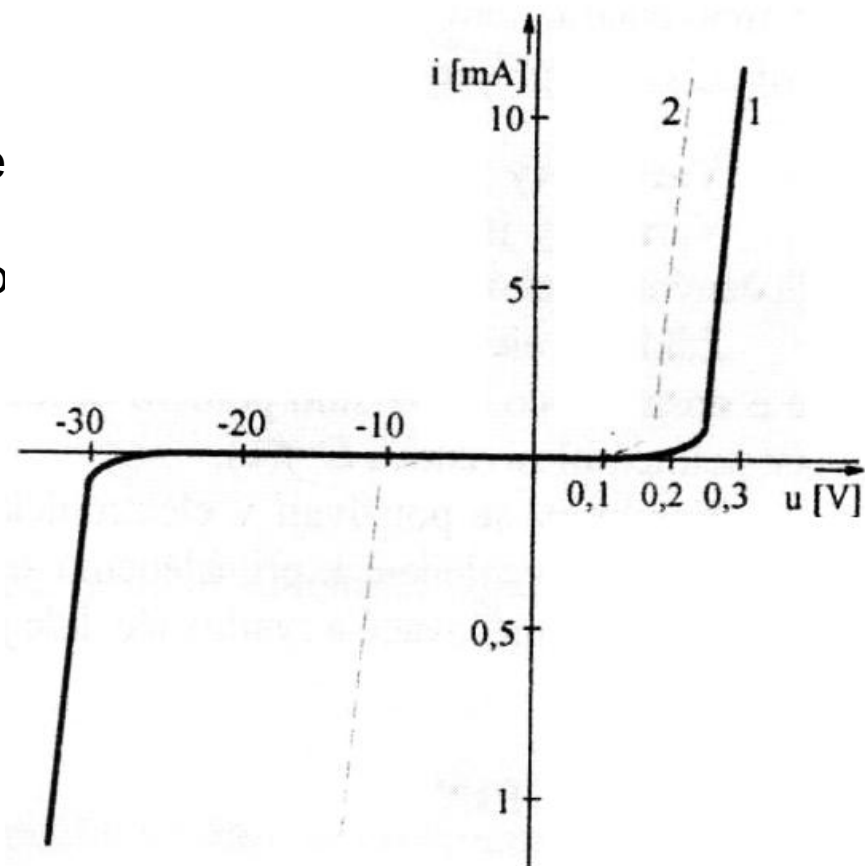
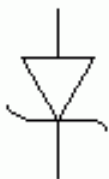


# SCHOTTKYHO DIODY

Usměrňující kontakt polovodič-kov - k přenosu náboje dochází pouze majoritními nosiči

Realizace: kontakt hrotu, přivařený hrot,  
napařený kov - Schottkyho dioda

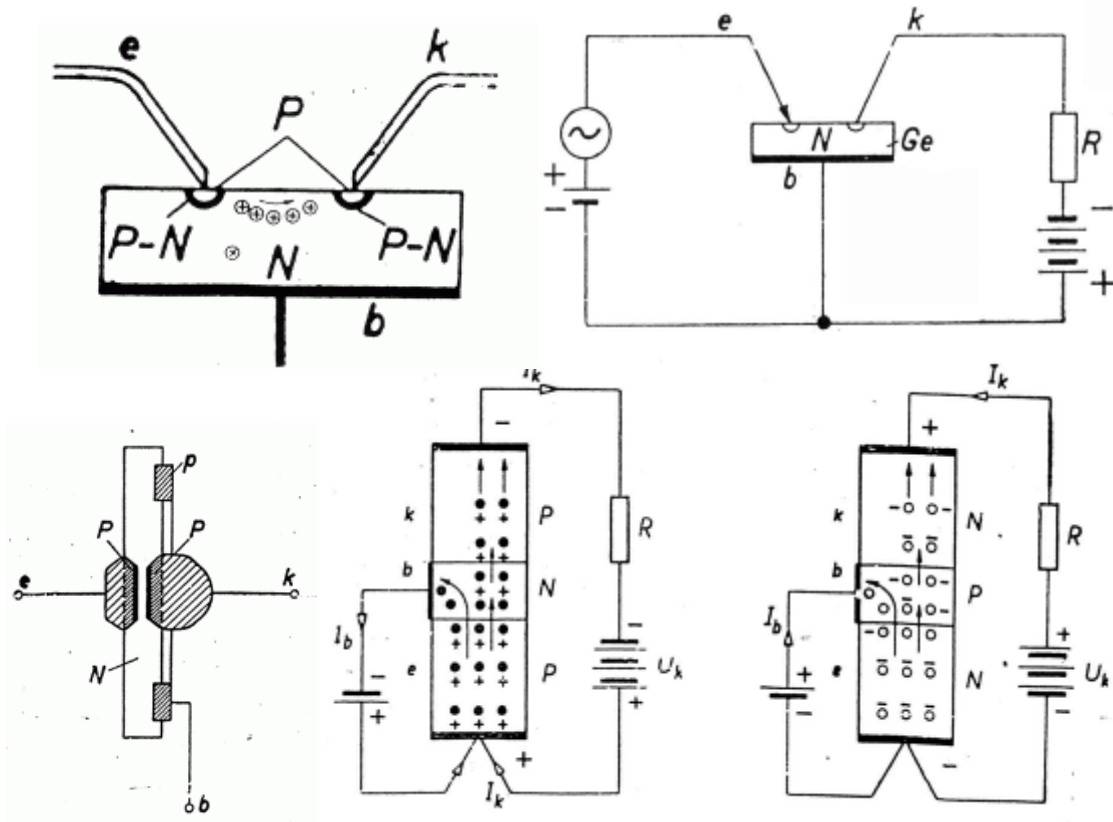
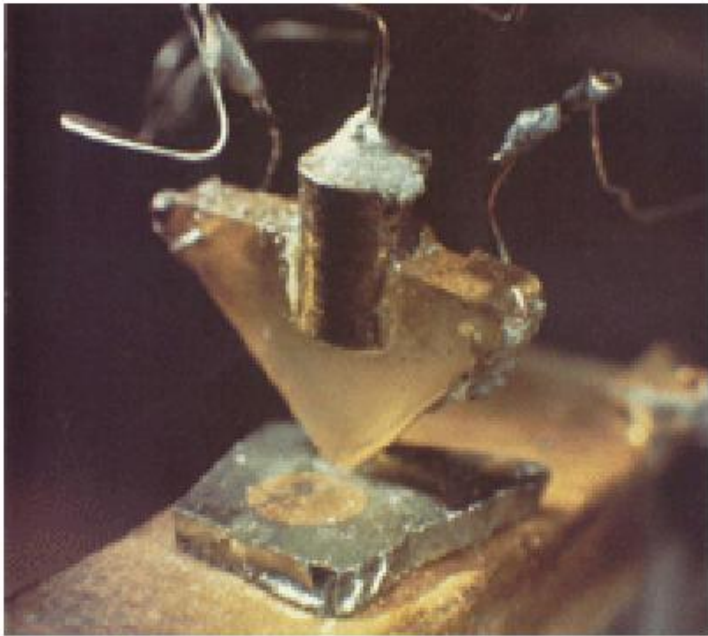
Dioda má nižší prahové napětí v propustné části charakteristiky, je o několik řádů rychlejší než dioda s přechodem PN, Za to platí velmi nízkým závěrným napětím, obvykle do 100 V



# PN TRANZISTORY

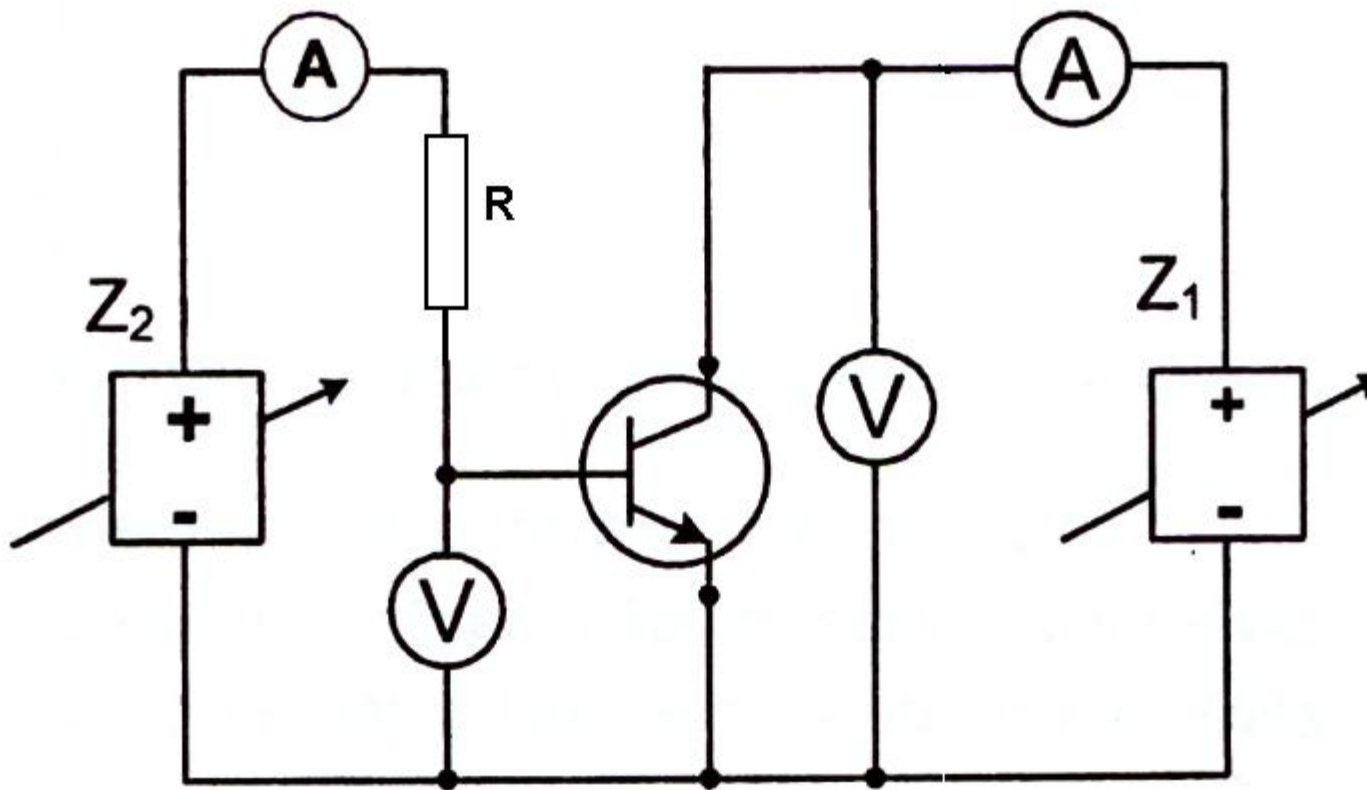
Součástky s dvěma přechody PN, které jsou tak blízko sebe, že tok nosičů náboje v jednom, ovlivňuje i tok nosičů náboje v druhém. (SHOCKLEY 1949)

## HROTOVÝ TRANZISTOR



Slitinový tranzistor

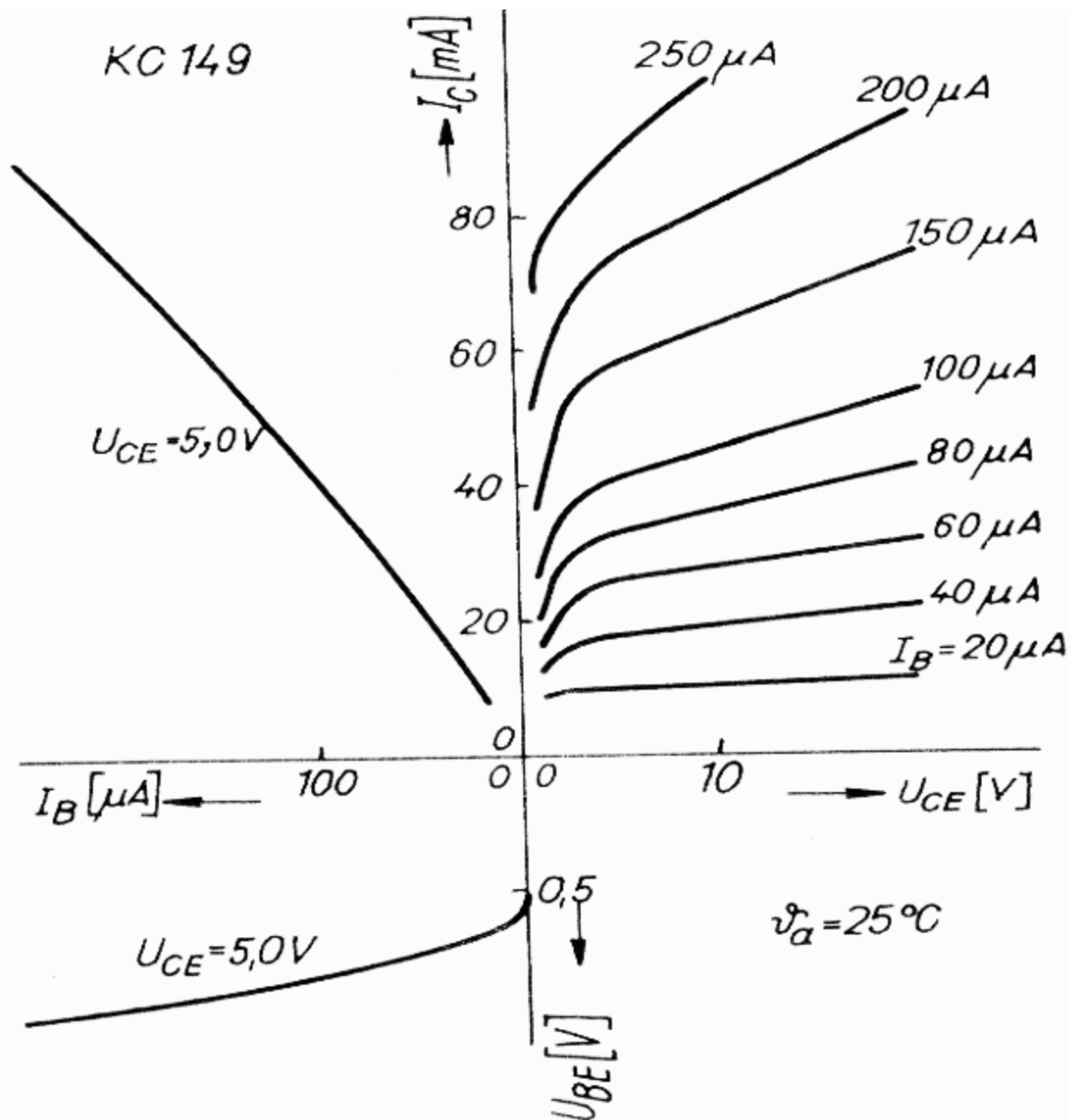
# CHARAKTERISTIKY TRANZISTORU



**Měření výstupních charakteristik při konstantním  $I_B$  :**  $I_B$  je nastavován zdrojem  $Z_2$ ,  $U_{CE}$  je měněn zdrojem  $Z_1$  a odečítá se závislost  $I_C$  na  $U_{CE}$  .

**Měření přenosových charakteristik při konstantním  $U_{CE}$  :**  $U_{CE}$  je nastavován zdrojem  $Z_1$ ,  $I_B$  je měněn zdrojem  $Z_2$  , odečítá se závislost  $I_C$  na  $I_B$  při konstantní velikosti  $U_{CE}$

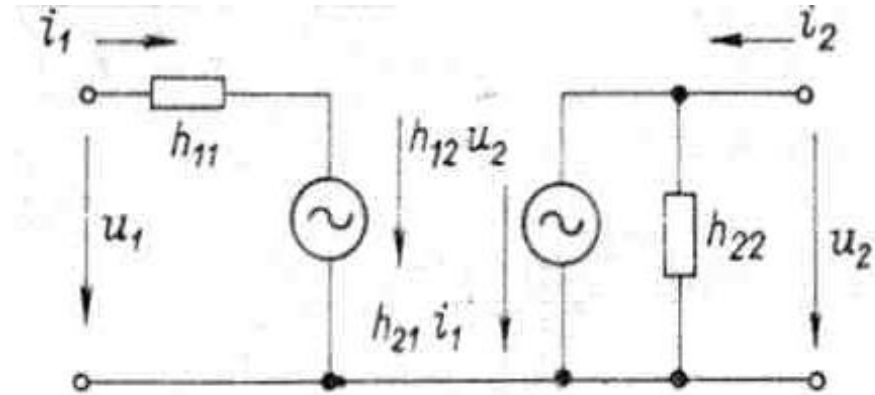
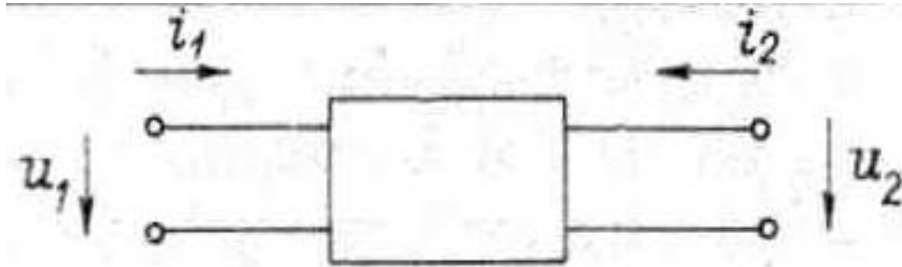
# SOUSTAVA STATICKÝCH CHARAKTERISTIK





# POPIS POMOCÍ DVOJBRANU

## HYBRIDNÍ PARAMETRY



$h_{11}$  vstupní impedance

$h_{12}$  zpětný napěťový poměr

$h_{21}$  proudový zesilovací činitel

$h_{22}$  výstupní admitance

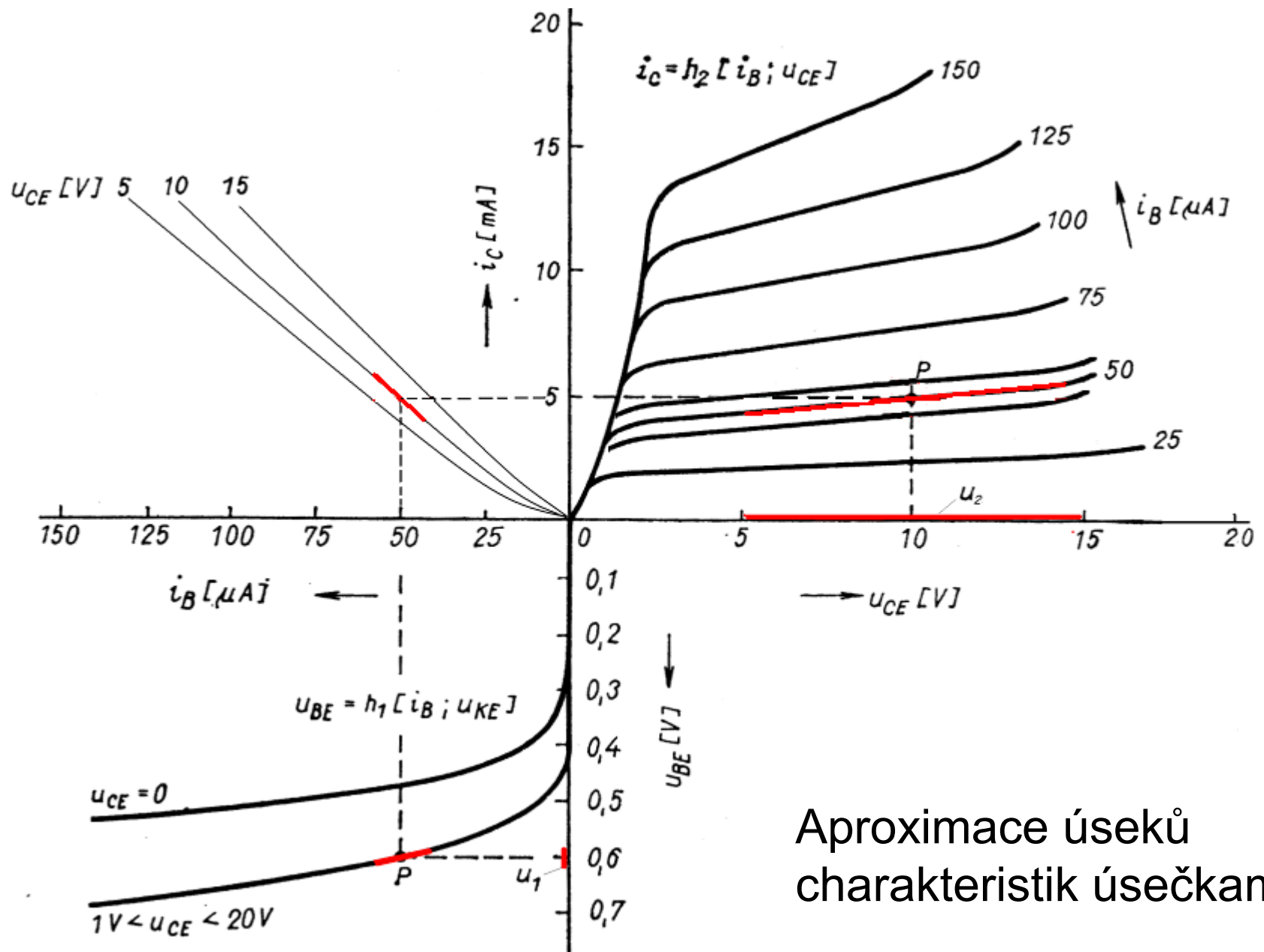
$$h_{11} = \frac{U_1}{I_1} \quad \text{pro } U_2 = \text{konst}$$

$$h_{12} = \frac{U_1}{U_2} \quad \text{pro } I_1 = \text{konst}$$

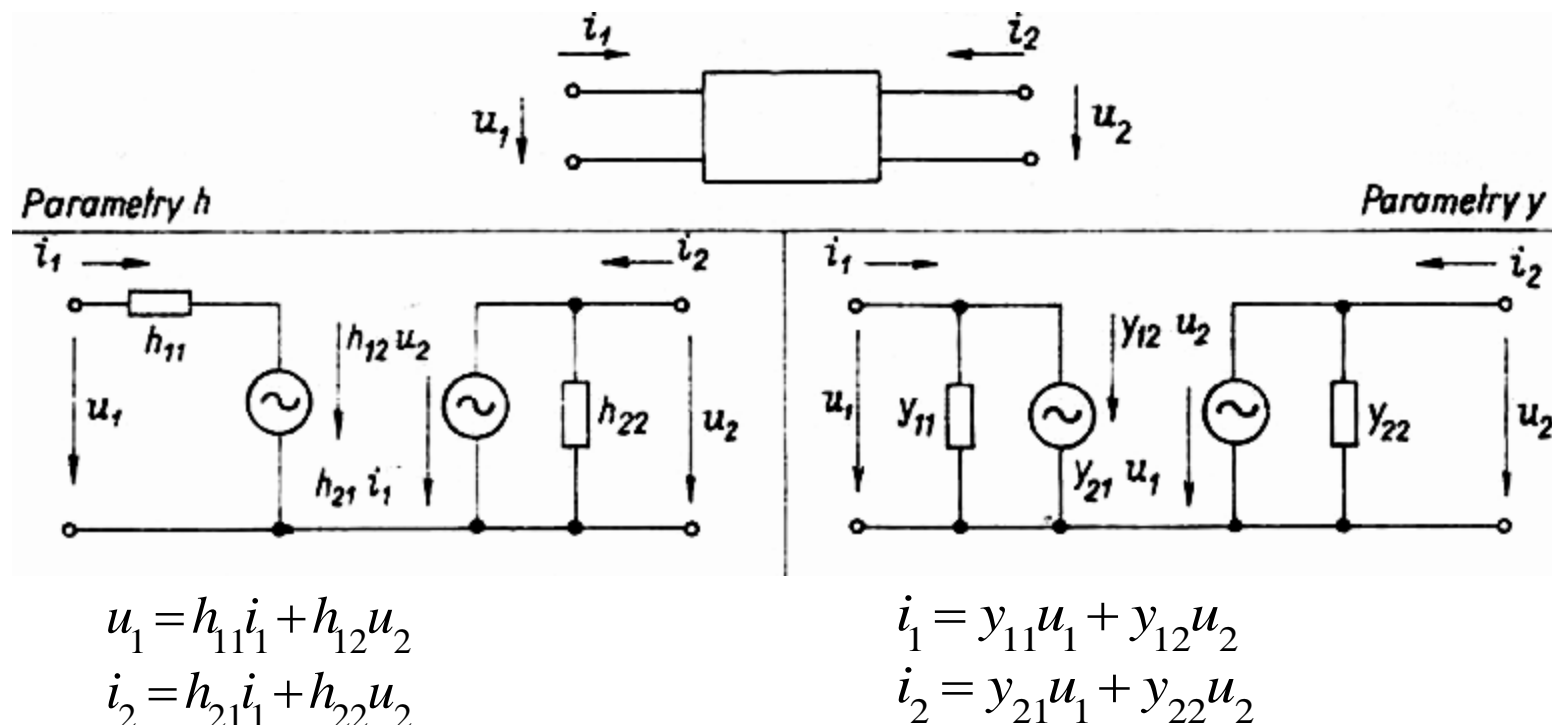
$$h_{21} = \frac{I_2}{I_1} \quad \text{pro } U_2 = \text{konst}$$

$$h_{22} = \frac{I_2}{U_2} \quad \text{pro } I_1 = \text{konst}$$

# DIFERENCIÁLNÍ PARAMETRY



$u_{1,2}=\Delta U_{1,2}$   $i_{1,2}=\Delta I_{1,2}$  vyjadřují parametry pro zpracování malého signálu v pracovním bodě



Parametry v definovaném pracovním bodě a při zvolené frekvenci jsou určeny 4 komplexními čísly: ( $y=g + jb$ )

AF239,  $U_{CE}=10$  V,  $I_c=2$  mA, 200 MHz

$$g_{11b} = 45 \text{ mS}$$

$$|y_{12b}| = 0,09 \text{ mS}$$

$$|y_{21b}| = 52 \text{ mS}$$

$$g_{22b} = 0,05 \text{ mS}$$

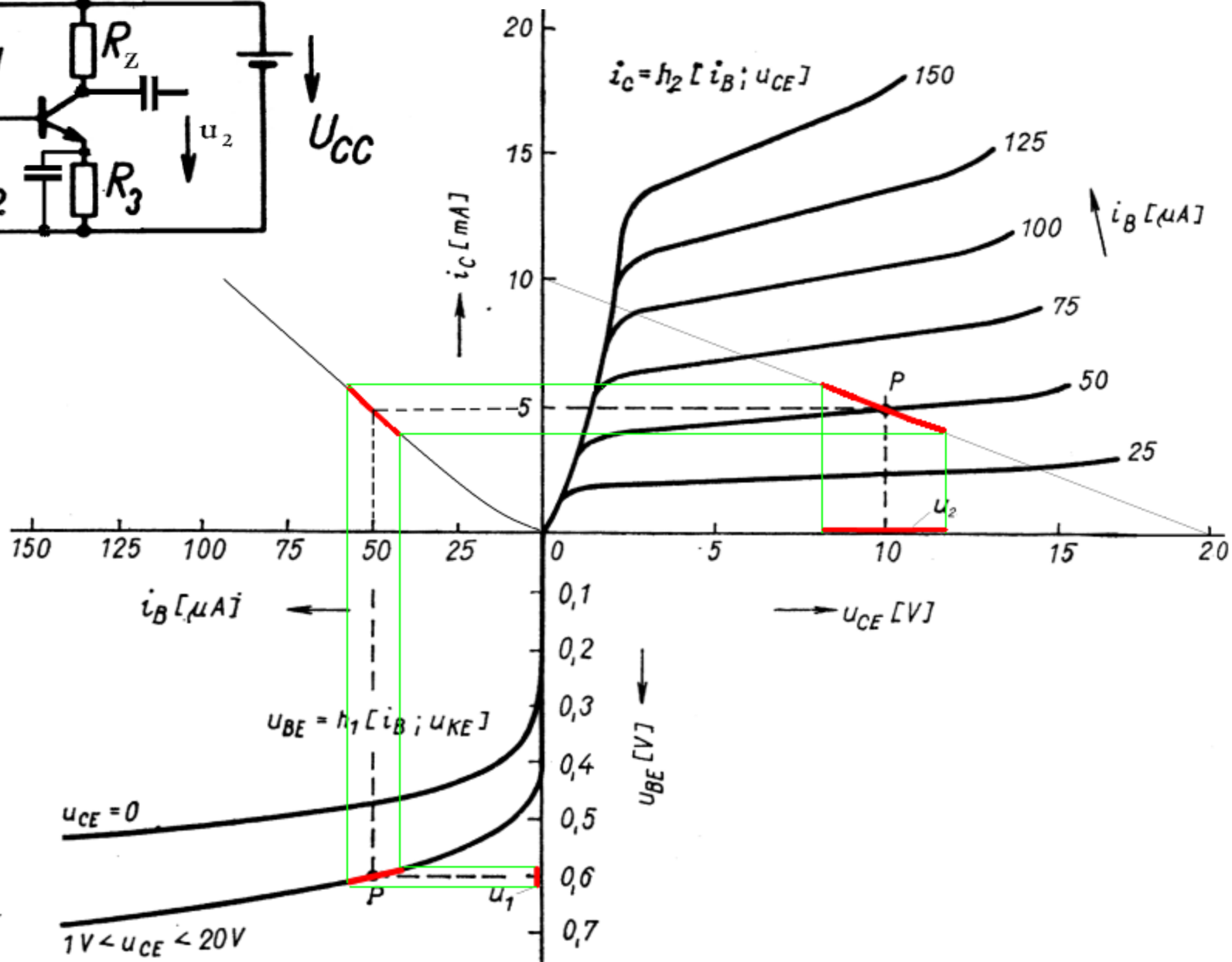
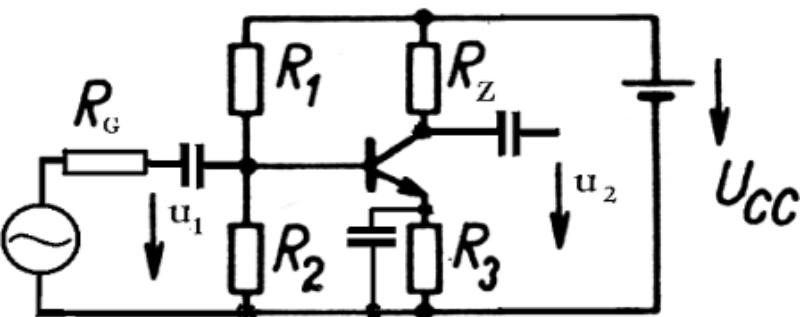
$$-b_{11b} = 29 \text{ mS}$$

$$\Phi_{12b} = -90^\circ$$

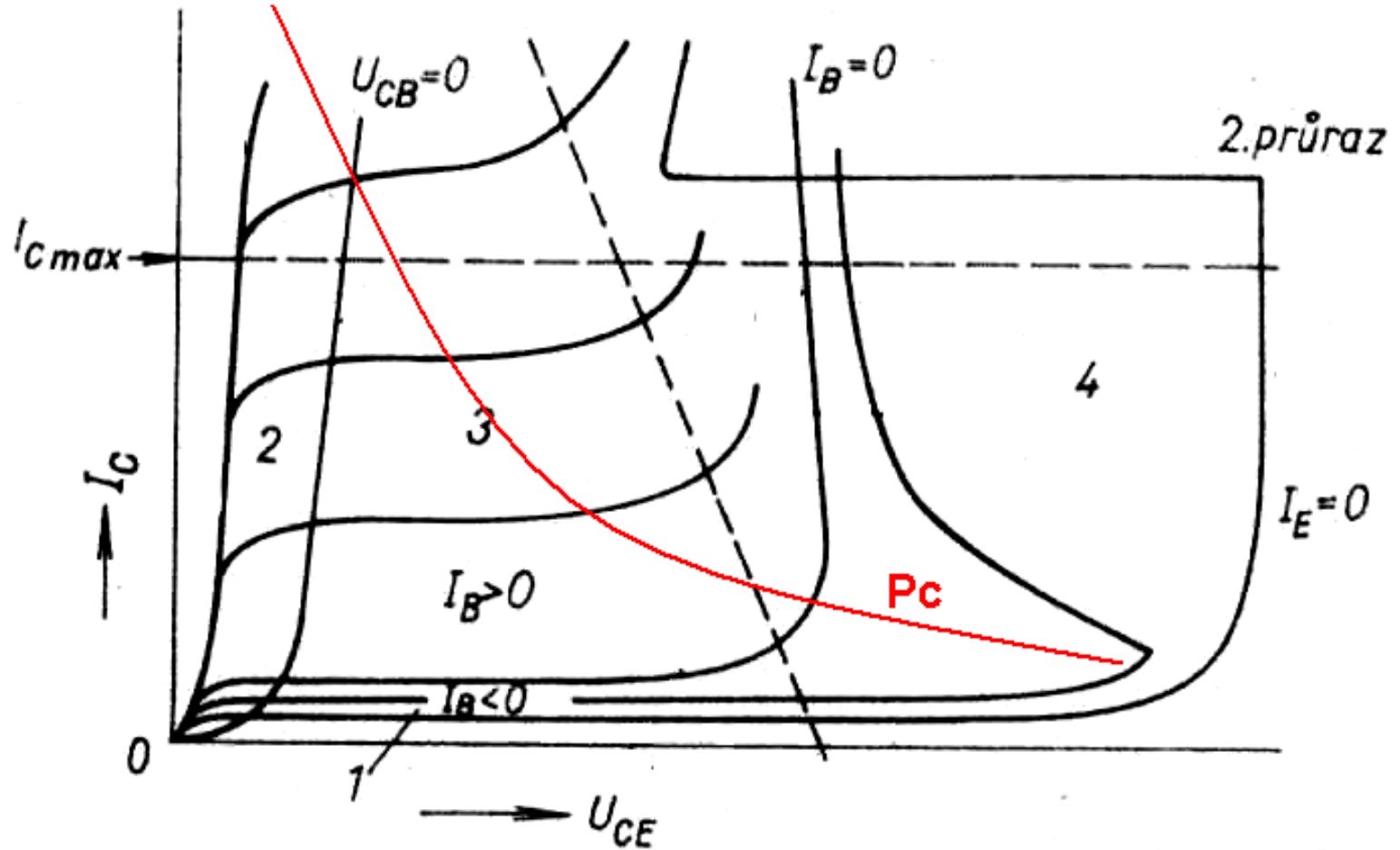
$$\Phi_{21b} = 135^\circ$$

$$b_{22b} = 1,6 \text{ mS}$$

# TRANZISTOROVÝ ZESILOVAČ



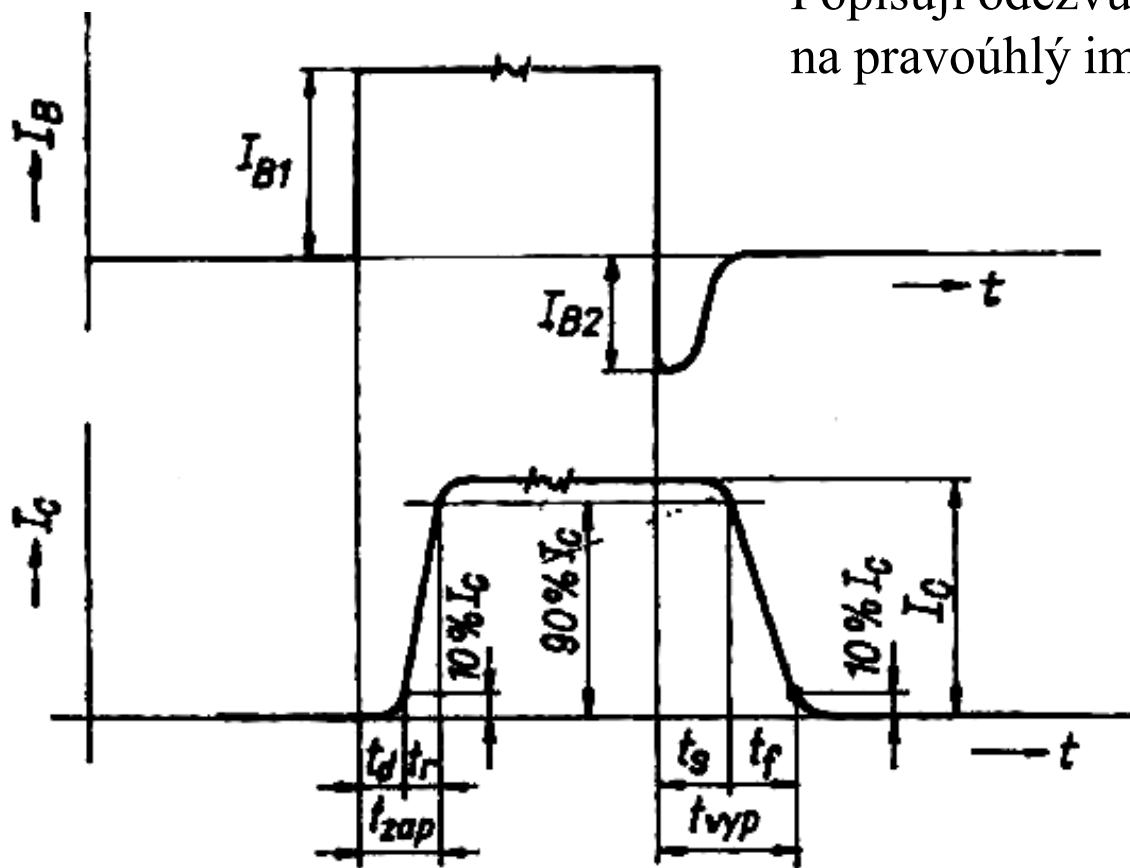
# DOVOLENÉ PRACOVNÍ OBLASTI TRANZISTORU



- 1 – oblast zavřeného tranzistoru
- 2 – oblast saturace
- 3 – lineární oblast, aktivní oblast
- 4 – oblast lavinového průřezu

# SPÍNACÍ PARAMETRY TRANZISTORU

Popisují odezvu kolektorového proudu  
na pravoúhlý impulz v obvodu báze



$t_d$  doba zpoždění

$t_r$  doba čela

$t_{zap}$   $t_{on}$  doba zapnutí

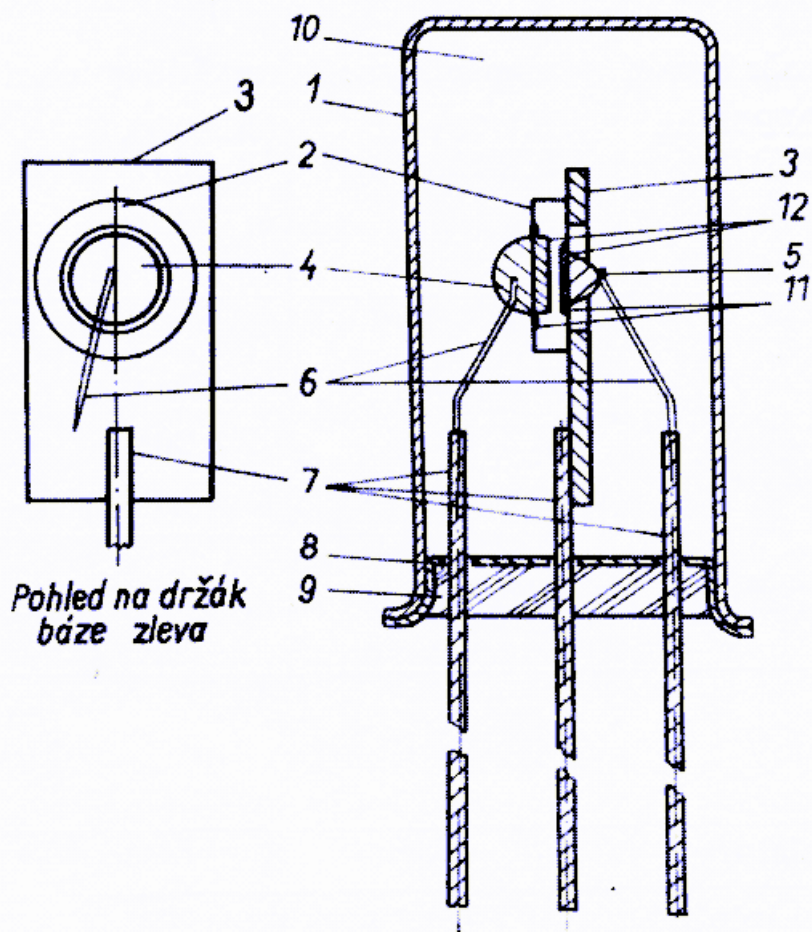
$t_s$  doba přesahu

$t_f$  doba týlu

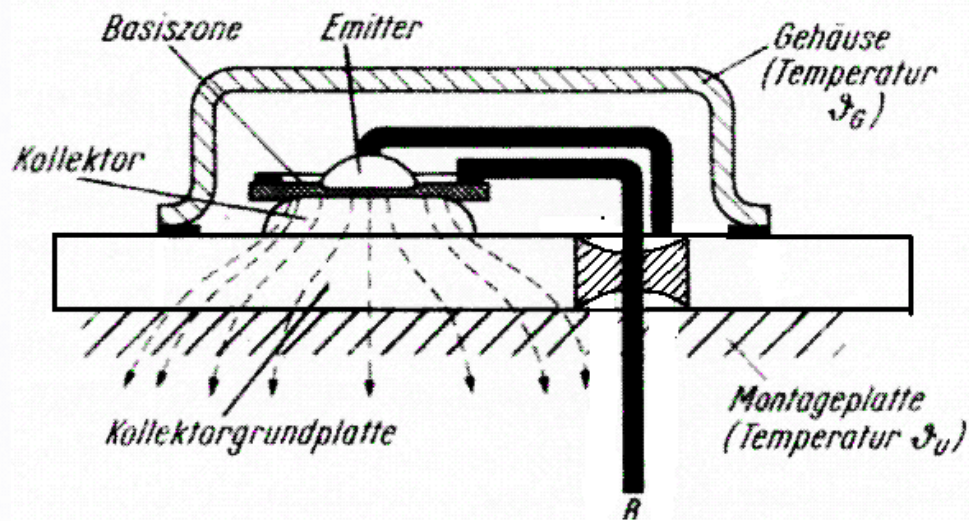
$t_{vyp}$   $t_{off}$  doba rozepnutí



## MALÝ VÝKON



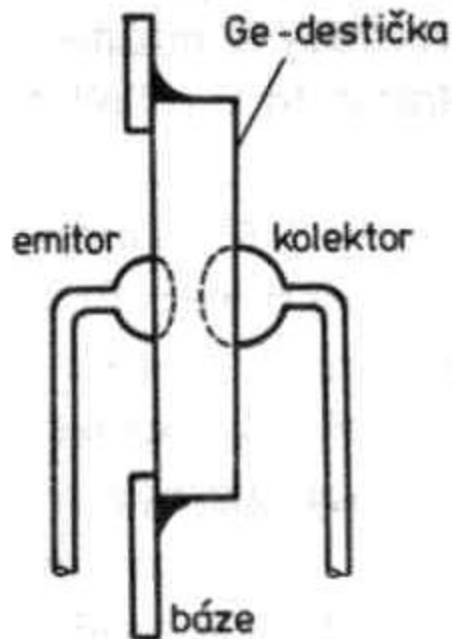
## VELKÝ VÝKON



# STRUKTURY A TECHNOLOGIE VÝROBY TRANZISTORŮ

**HROTOVÝ**, nebo obecněji kontaktní tranzistor, byl spíše fyzikální přístroj než elektronická součástka

**TAŽENÝ** – změna vodivosti přidáváním dopantů během tažení, nezesilovalo to  
**SLITINOVÝ** tranzistor – první komerčně vyráběná a spolehlivá konstrukce



Struktura vychází z Ge destičky, která v hotovém systému tvoří bázi. Přechny kolektoru a emitoru jsou vyrobeny sléváním (legováním) Ge vhodnými dopanty, které v Ge vytvoří oblasti s opačným typem vodivosti, než má destička báze.

Tranzistor PNP   báze N   C,E indium + galium   650°C

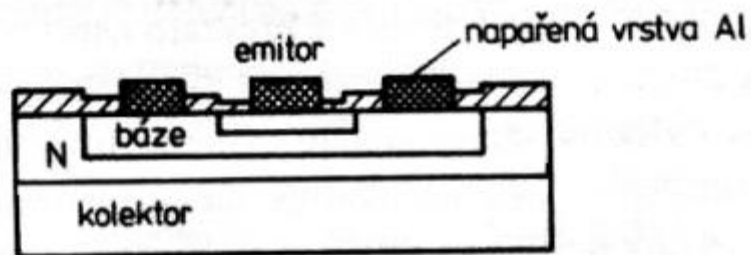
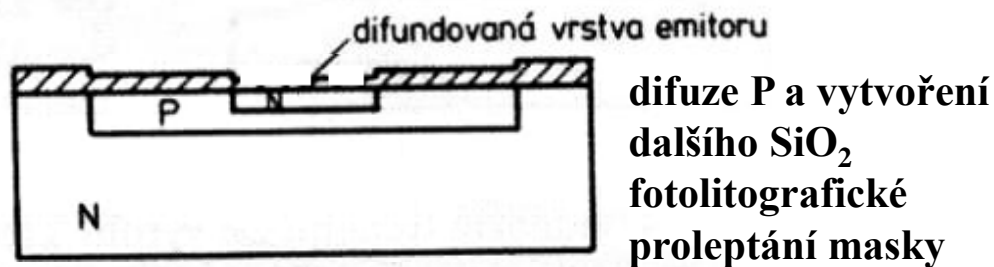
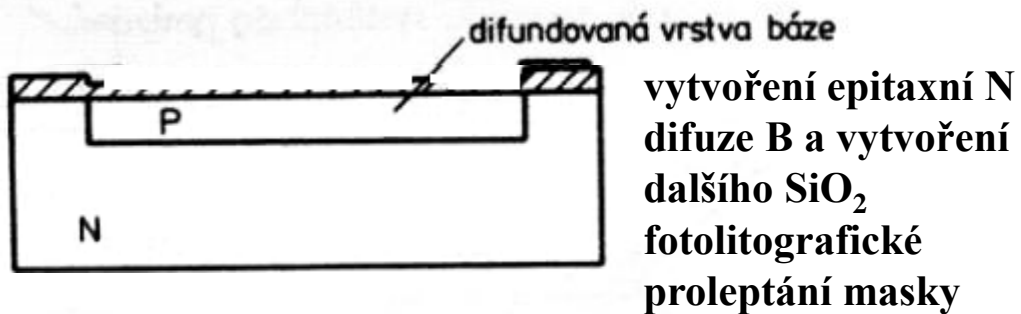
Tranzistor NPN   báze P   C,E antimon + olovo   260°C

Vlastnosti tranzistoru jsou určeny šířkou báze, (přibližně 10μm), kterou lze v procesu slévání poměrně těžko řídit.

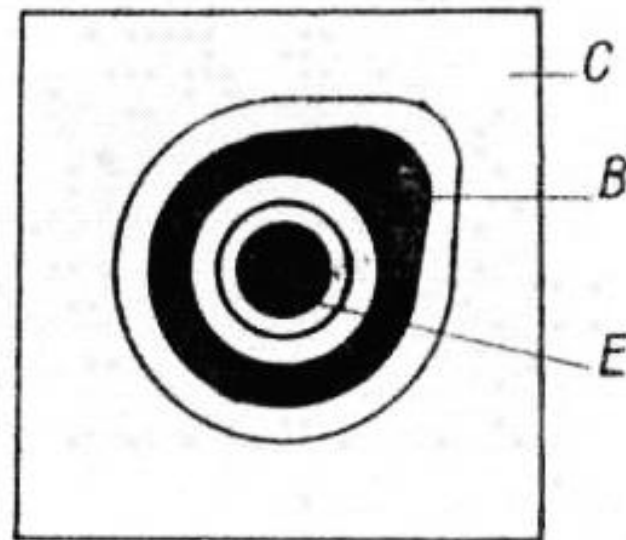
Vyrobené tranzistory mají  $h_{21E}$  v poměru až 1:10, mezní kmitočet max. 10 až 30 MHz .

# PLANÁRNĚ EPITAXNÍ TECHNOLOGIE

system je vytvářen v epitaxní vrstvě tl. cca 10  $\mu\text{m}$  s nízkou dotací, která byla nanesena na substrát s vysokou dotací (malý odpor kolektoru)



Horizontální struktura je u malých tranzistorů jednoduchá – kruhová



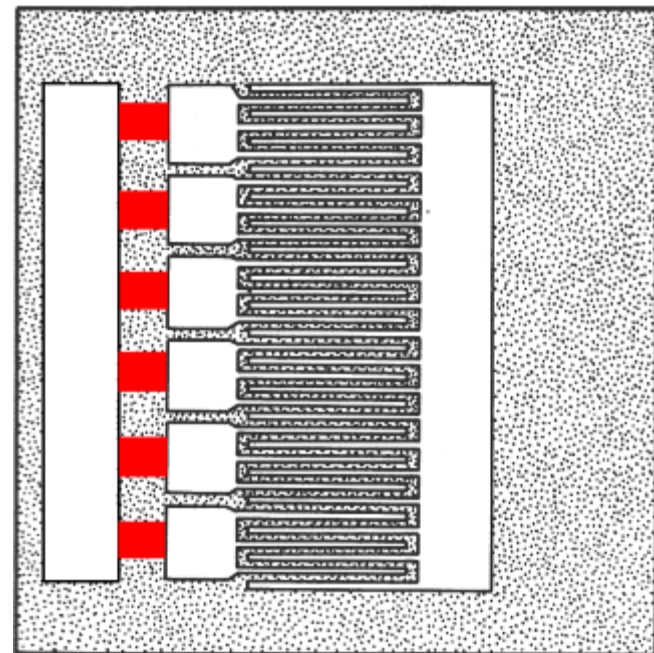
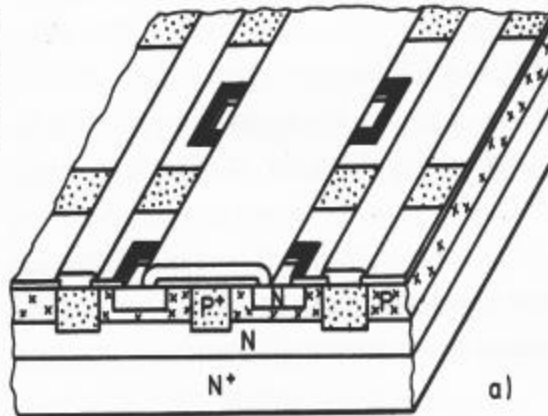
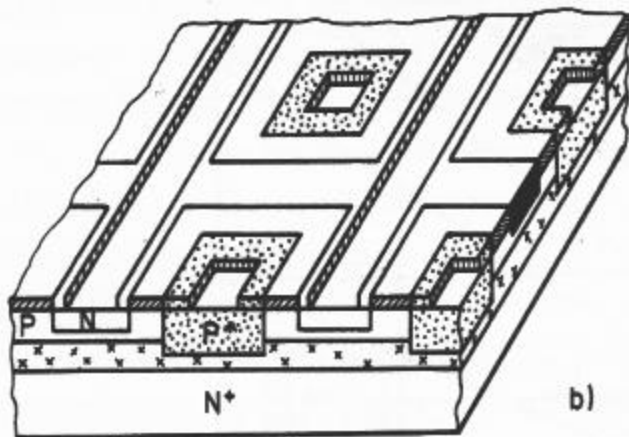
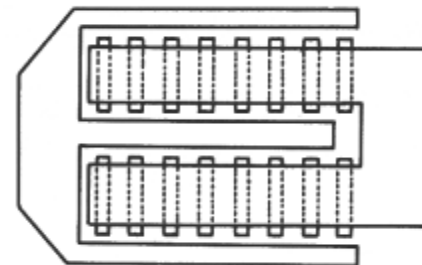
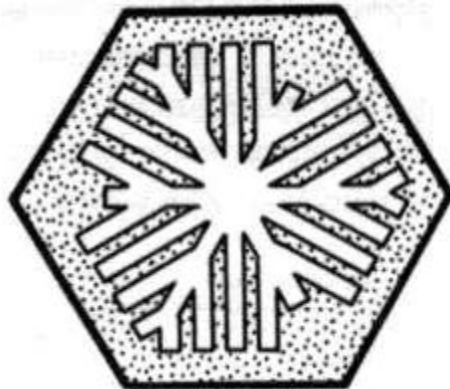
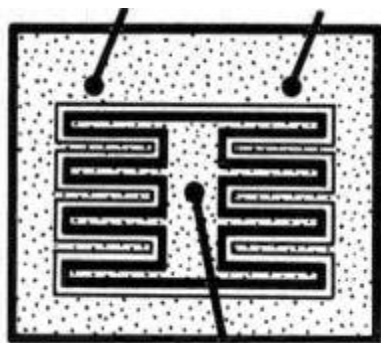
# STRUKTURA

U velkých planárních tranzistorů musí zabránit koncentraci proudu na okraji emitorového přechodu

Řešením je vytvořit emitor s okrajem s maximální délkou:

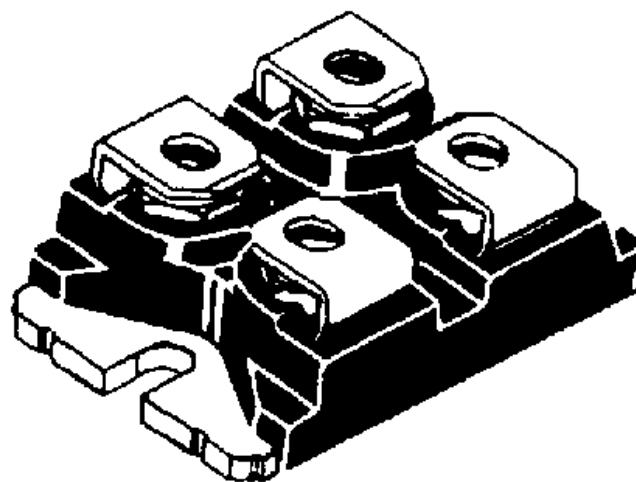
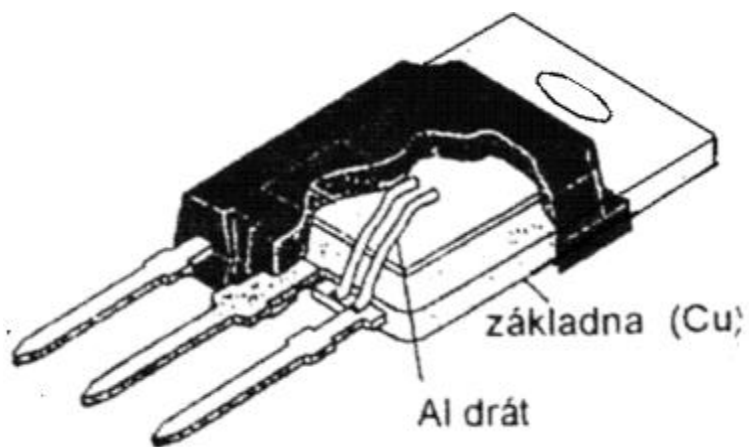
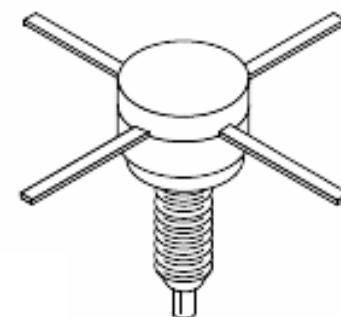
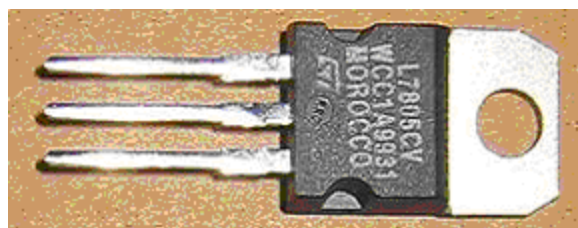
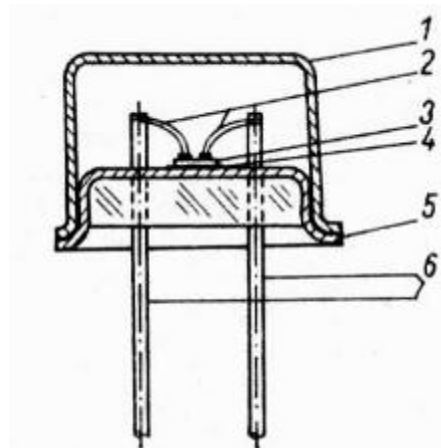
hřebínková, hvězdičková, mesh, overlay, integrované emitorové vyvažovací odpory

2N3866





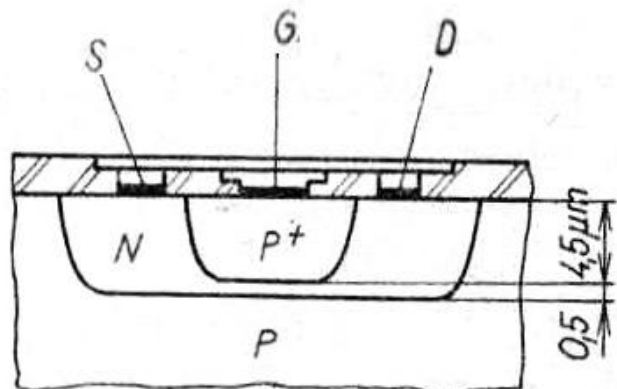
# POUZDRA



SOT 227

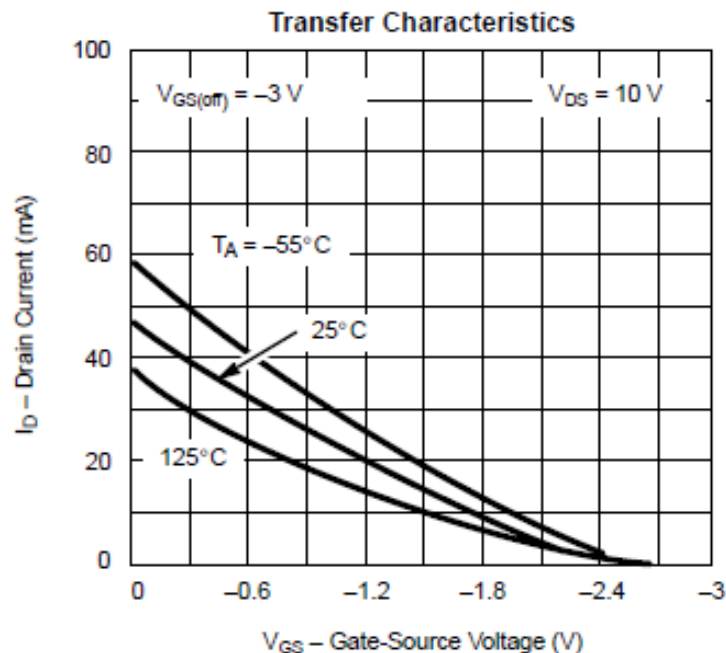
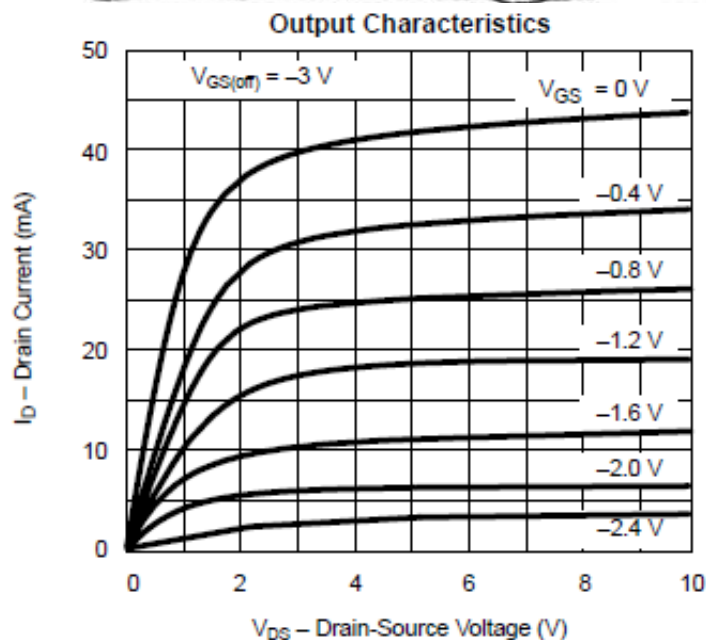
# TRANZISTOR JFET

Odpor vodivého kanálu mezi elektrodami drain a source, na kterém není přechod, je ovládán napětím na elektrodě gate



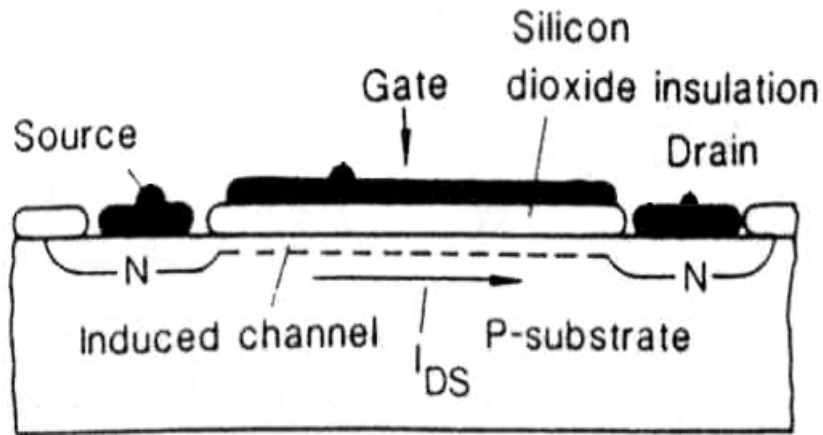
Běžná konstrukce: ochuzovaný kanál

- substrát s vodivostí P
- vestavěný kanál vodivosti N
- hradlo s vodivostí P, přiložením záporného napětí jsou vytlačovány nosiče z kanálu

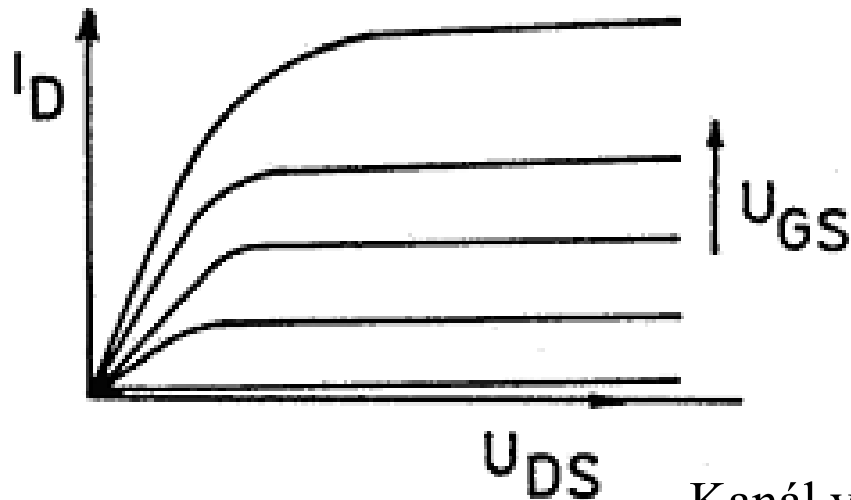




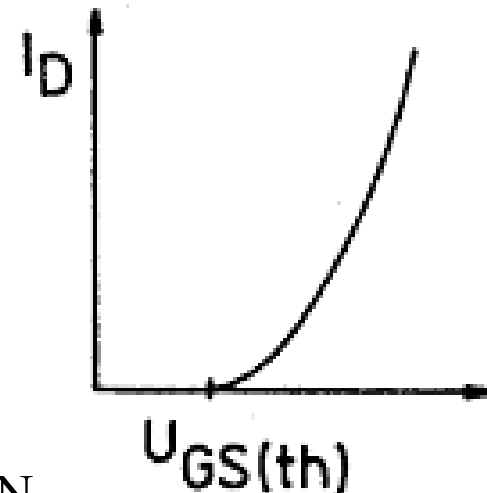
# TRANZISTOR MOSFET



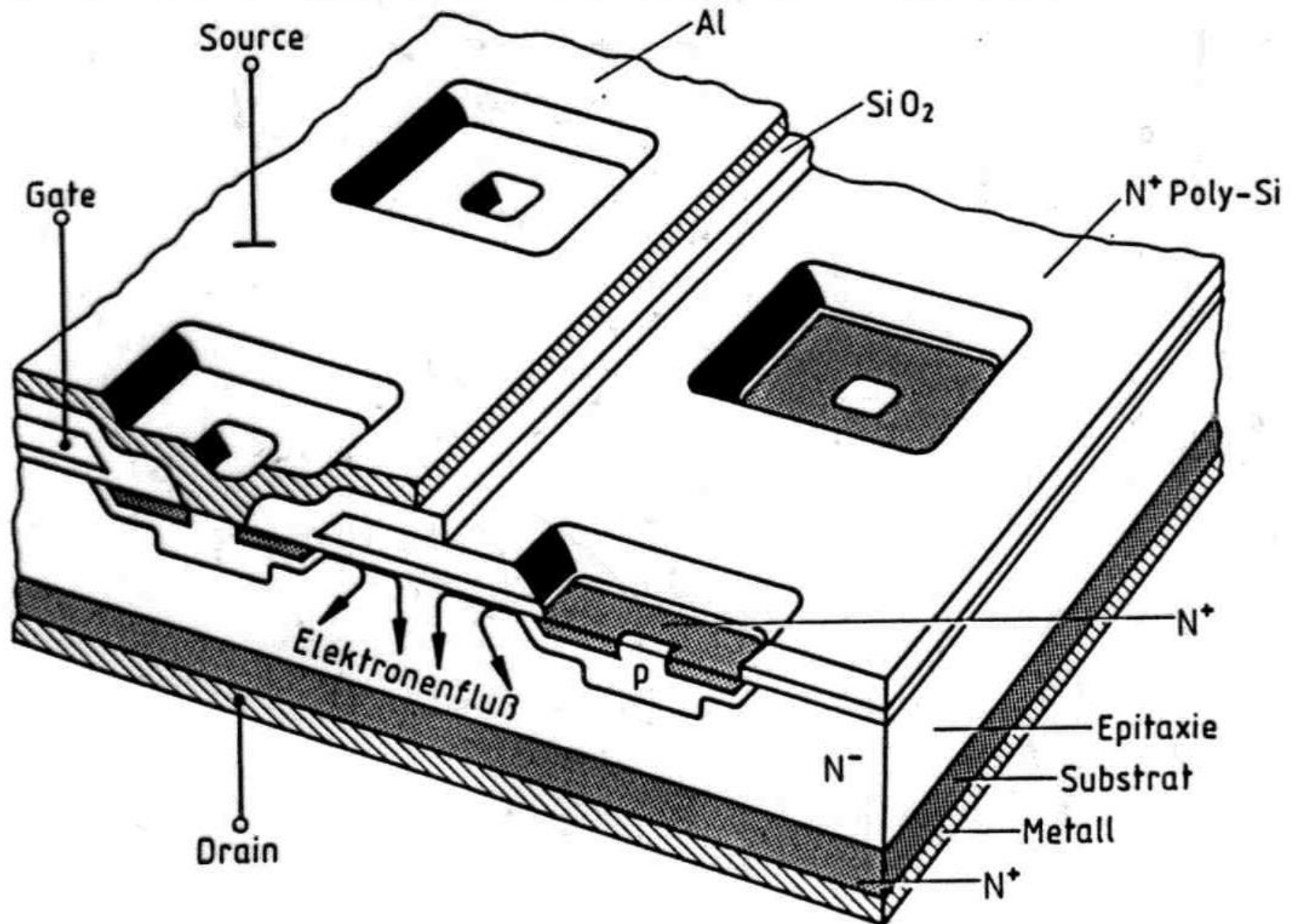
PRINCIP ČINNOSTI: Přiložením kladného napětí na hradlo se v polovodiči P pod hradlem vytvoří inverzní vrstva N, která vodivě propojí oblasti N elektrod drain a source a vzniká tak vodivý kanál, jehož odpor je možno ovládat napětím  $U_{GS}$



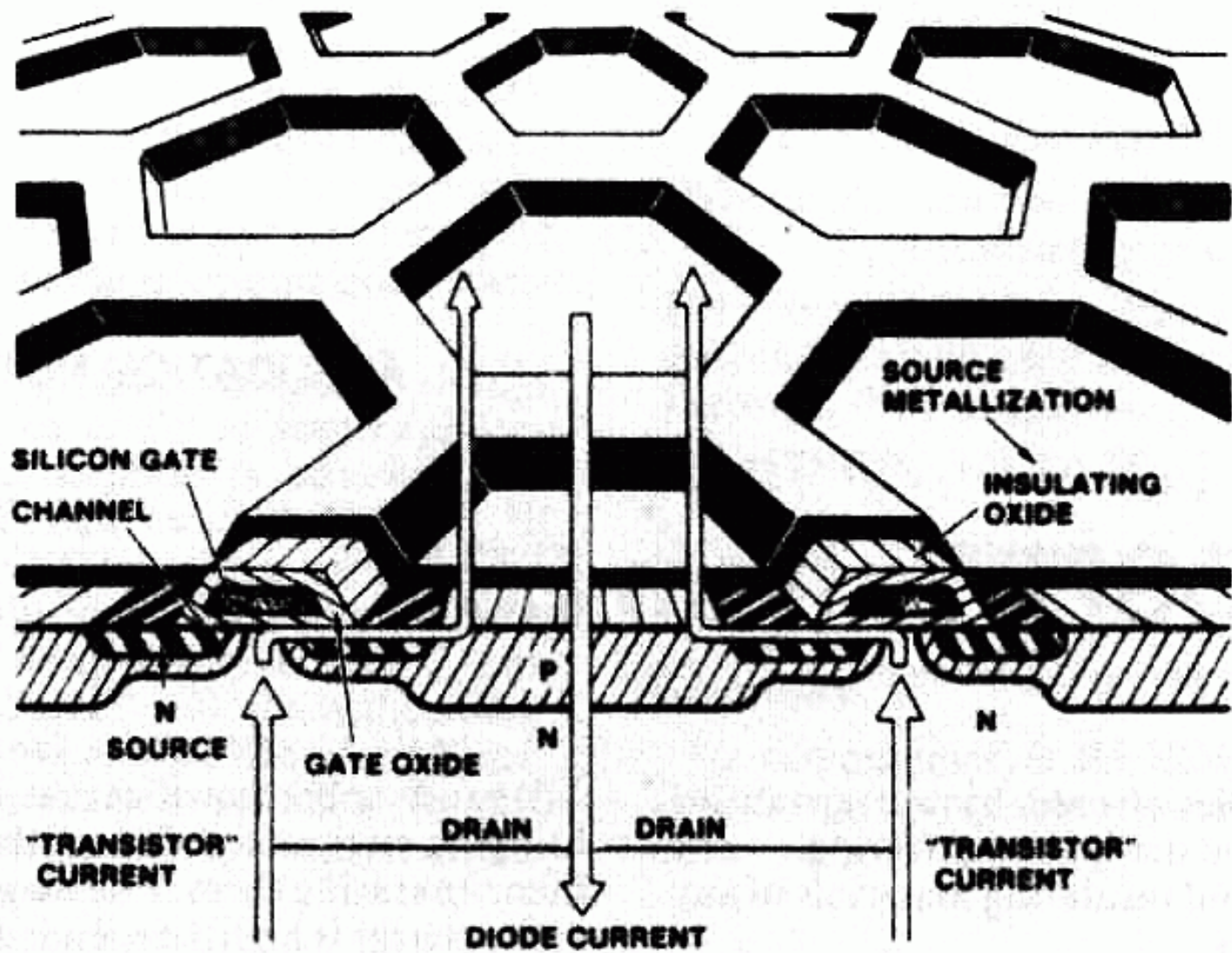
Kanál vodivosti N



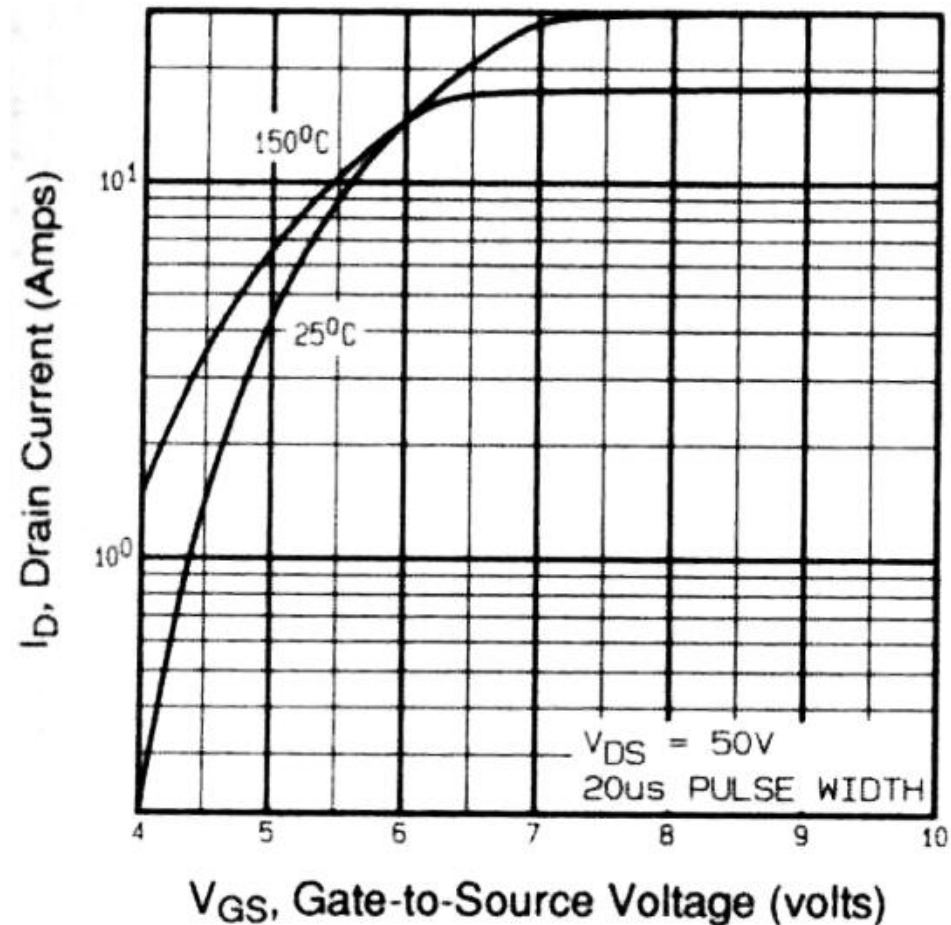
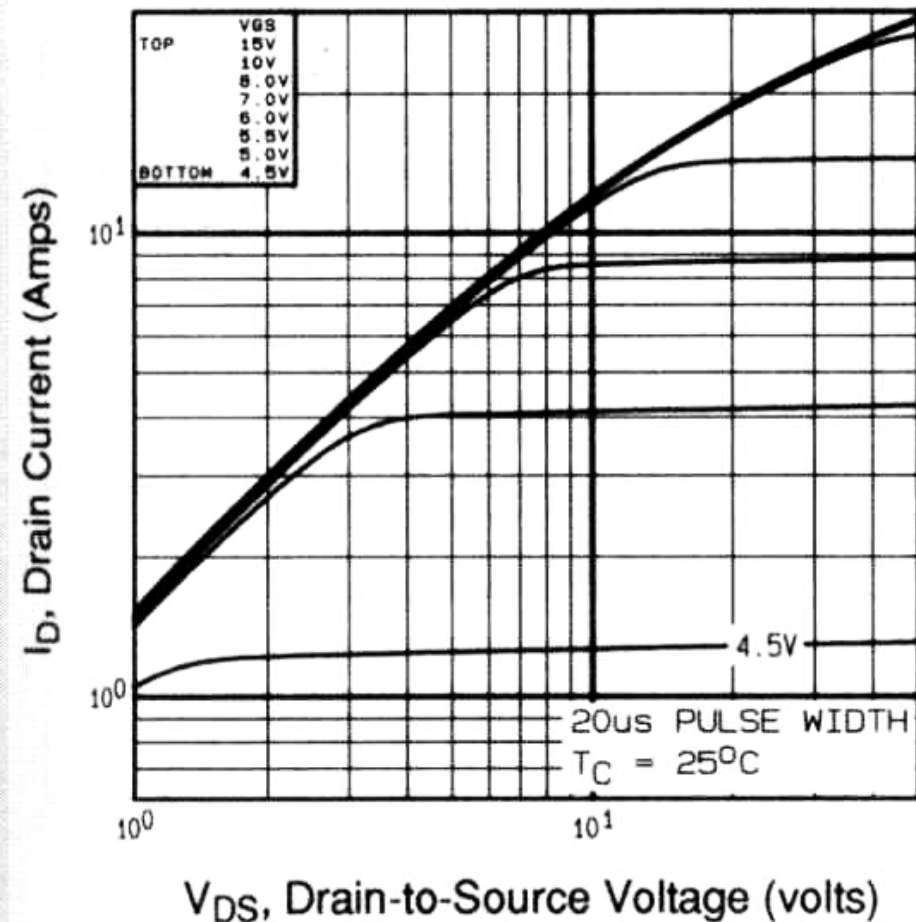
# SIMPMOS



# HEXFET



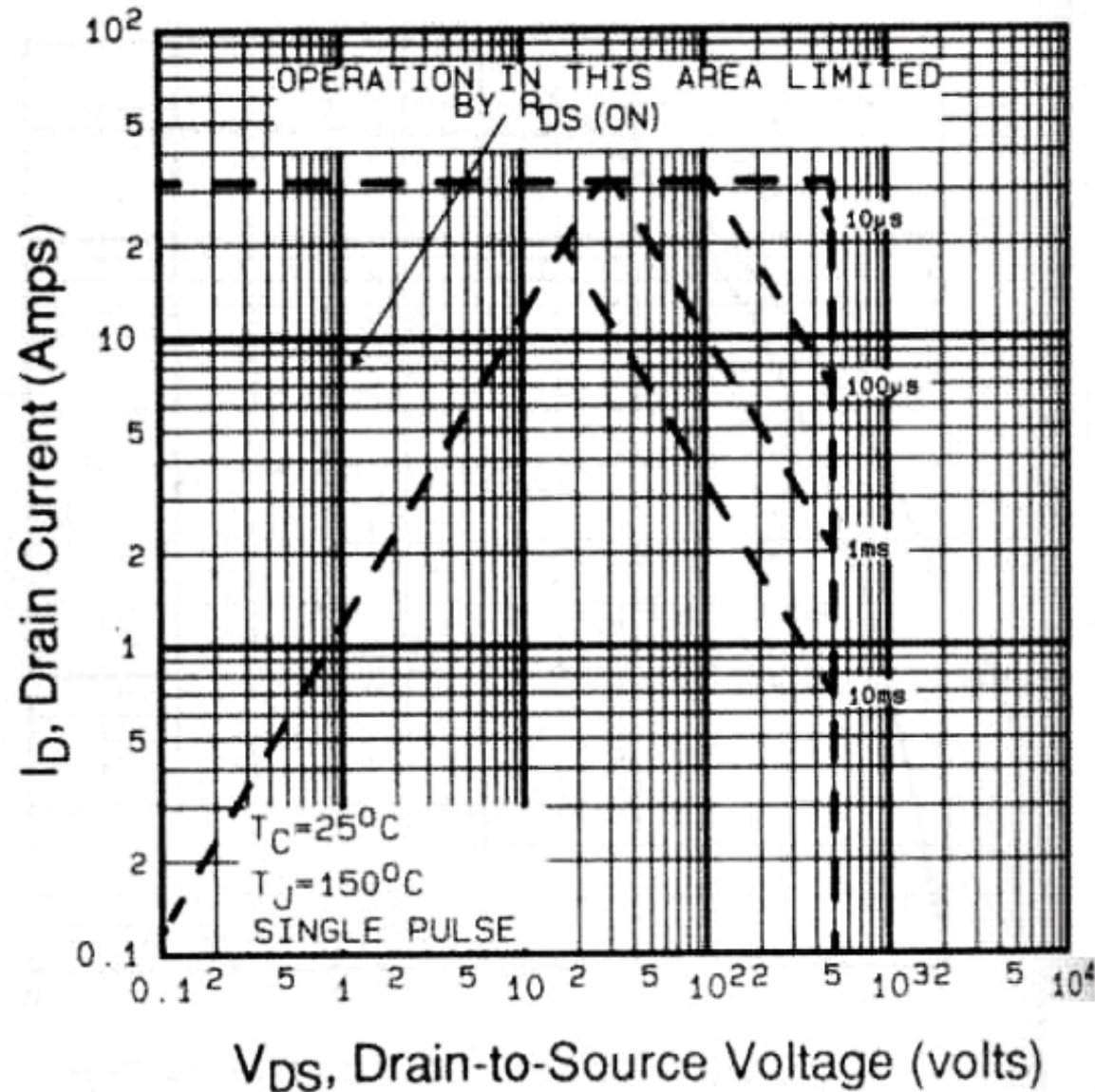
# TYPICKÉ CHARAKTERISTIKY



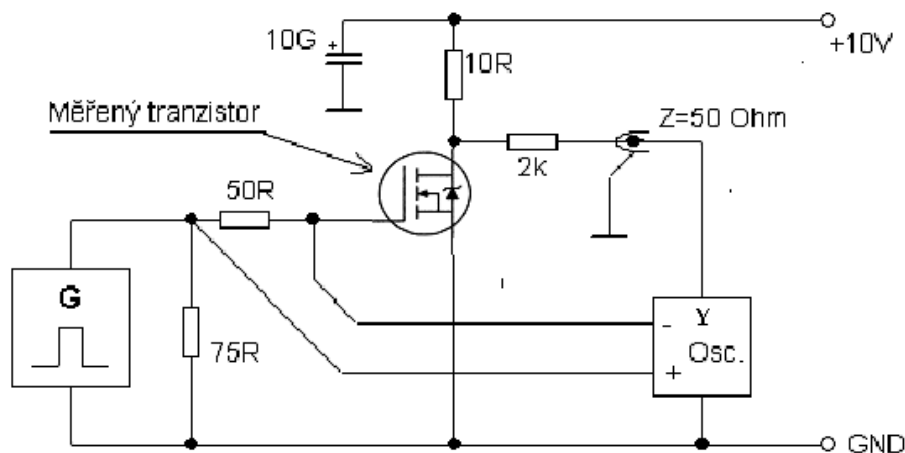
Statické charakteristiky: výstupní charakteristika, převodní charakteristika



# POVOLENÁ PRACOVNÍ OBLAST



# DYNAMICKÉ VLASTNOSTI



- 1- napětí na výstupu G
- 2- napětí na hradle
- 3- napětí na drainu
- 4- proud vytékající z hradla

