

# Typy polovodičů

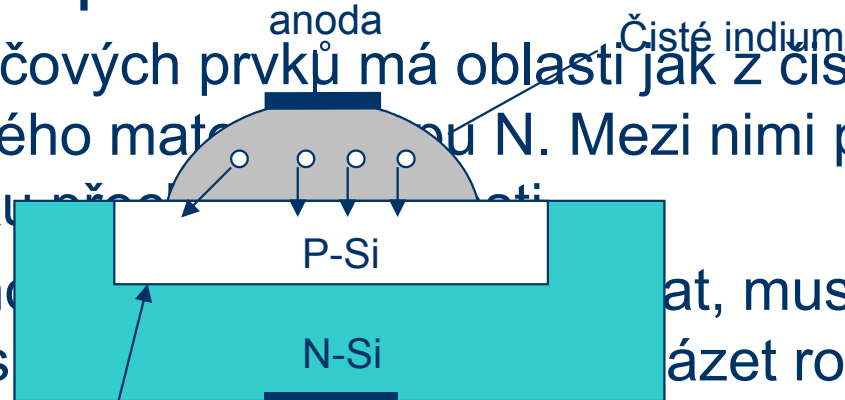
## ● POLOVODIČ TYPU N

- Vzniká působením čistších polovodičových materiálů přímými  
částkami (fosfor, arsen, galium, indium).
- Důležité je, že štípnuté vazby přeskázané elektronem chybí  
partnera, a proto se může uvolnit z vazby s vlastním atomem  
materiálu. Tento materiál se označuje jako „materiál typu P“ a jeho  
vůdčivost jako jedné polovodičové skupiny N probíhá pomocí volných elektronů  
a je označován jako „materiál s vůdčivostí N“ (negativně vůdčivý) a  
jeho vůdčivost označujeme jako „elektronovou vůdčivost.“

# PŘECHOD PN

- Vytvoření PN přechodu

- Většina polovodičových prvků má oblasti jak z čistého materiálu typu P, tak z čistého materiálu typu N. Mezi nimi proto nutně dochází ke vzniku přechodu PN. Aby mohly přechody PN vzniknout, musí materiál typu P v místě styku s materiálem typu N být rovnoměrně do materiálu N (a obdobně naopak). Této rovnoměrnosti je možné dosáhnout při výrobě difuzními pochody



Princip výroby přechodu PN, který nemá nepravidelnosti

# Polovodič PN bez připojeného napětí

Protože **elektrony**, které přecházejí z polovodiče N do polovodiče P, **nacházejí dostatečný počet volných děr** a **díry**, které přecházejí z polovodiče P do polovodiče N, **nacházejí dostatečný počet volných elektronů**, dochází v blízkosti rozhraní mezi oběma materiály k **rekombinaci elektronů a děr**. **Přitom se spojují elektrony z polovodiče N s děrami z polovodiče P a zároveň díry z polovodiče P s elektrony z polovodiče N.**

Volně pohyblivé

rozhraní

Volně pohyblivé

díry

elektrony

Následkem této difuze **vzniká na obou stranách rozhraní zóna**, v níž **nejsou prakticky žádné volné nositelé náboje** (vyprázdněná oblast). Tato zóna má oproti původním materiálům P a N, jež jsou za touto zónou, **daleko menší vodivost**. Označujeme ji jako „**hradlovou vrstvu**“. **Ploušťka této vrstvy je asi 1 až 5  $\mu\text{m}$ .**

Tento děj se nazývá „**difuzí**“ nábojů.  
Všechny popsané procesy (difuze, rekombinace a vytvoření hradlové vrstvy) **probíhají již při výrobě přechodu PN.**

# Vznik hradlové vrstvy

Prostorový náboj, který vzniká difúzí, **nemůže ale neomezeně růst**. Čím více elektronů přejde z oblasti N do oblasti P, tím větší je záporný prostorový náboj v oblasti N, do níž putují díry z oblasti P. Ten **působí proti vnikání dalších elektronů**. Obdobný proces nastává také v oblasti N, do níž putují díry z oblasti P. **Oblast N tak získává stále větší kladný prostorový náboj, který působí proti vnikání dalších děr.**

Jakmile prostorové náboje dosáhnou určité velikosti, není další difuze možná a nastává rovnovážný stav; došlo k vytvoření **potenciálové bariéry**, kterou již další náboje nejsou schopny překonat.

Napětí, jež vzniká vlivem difuze, se označuje jako „difuzní napětí  $U_D$ “

Velikost vznikajícího difuzního napětí výrazně závisí na druhu polovodičového materiálu (Ge = 0,2 až 0,4V; Si = 0,5 až 0,8V).

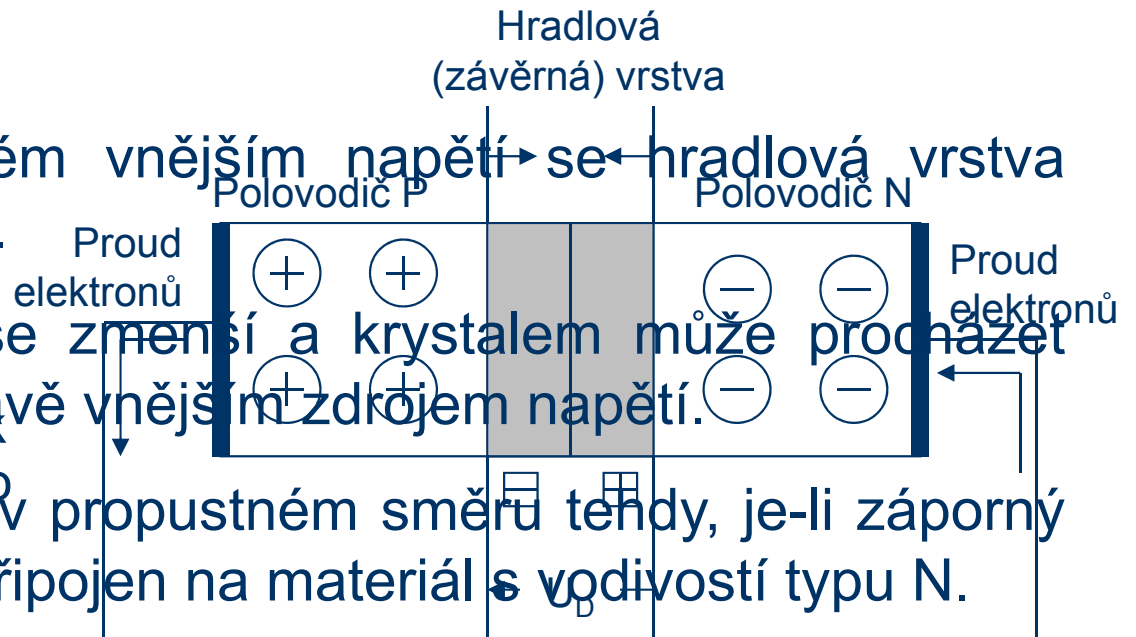
# PN přechod v propustném směru

## Závěr

Tomto obrázku je zdroj napětí připojen na krystal

- při dostatečně velkém vnějším napětí se hradlová vrstva zapórně připojí odstraní.

v materiálu o vodivosti typu N. Na klacích této oblasti se zmenší a krystalem může procházet proud způsobený právě vnějším zdrojem napětí. Proud elektronů  $I$  dírý směrem k hradlové vrstvě. Pronikají až do hradlové vrstvy, která se tímto zmenšuje.



- Proud může PN přechodem téct až poté, kdy je difuzní napětí zkompenzováno vnějším napětím. Potřebná hodnota napětí napěťového zdroje představuje prahové napětí  $U_{D0}$ . Toto napětí je stejně velké jako difuzní napětí, ale má opačnou orientaci. ( $U_{D0} = U_p$  pro Ge = 0,2 až 0,4V; Si = 0,5 až 0,8V).

# PN přechod v závěrném směru

**Závěr** Obrázku je zdroj napětí

připojen svým kladným pólem k

materiálu typu P a záporným pólem k materiálu typu N. **Napětí, nemůže být větší než napětí, které může být přiloženo k PN přechodu.** Pokud bychom aplikovali větší napětí, začne proudit proud v závěrném směru.

široké, měštoně by se připojilo, které působí na valenční elektrony.

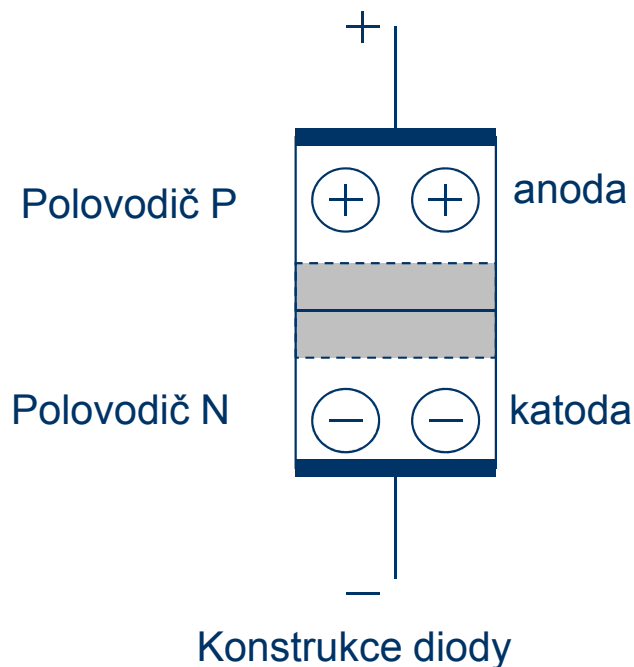
V důsledku toho začne přechodem protékat velký proud, který povede ke zničení PN přechodu. Náhle začne přechodem protékat velký proud, který povede ke zničení PN přechodu. elektrické pole se v závěrném směru, když na PN přechod připojíme kladný pól zdroje napětí.

pohybují se elektrony v závěrném směru, které se kladnému pólu a díky chybějícím nositelům náboje působí hradlová vrstva záporně jako pole. Vlna, která je z obou stran připojen dobře vodivý náboje, které by se mohly stát jako kondenzátor. Tyto kondenzátory mají PN přechodů, které jsou speciální. Nejsou to jen základy, ale i materiál P. Tito těchto hradlových vrstev. Čím je větší napětí, tím větší je šok – ochuzení (oblasti, a čím větší kapacita, který označujeme  $I_R$  „proud v nejsou závěrnějším směru.“

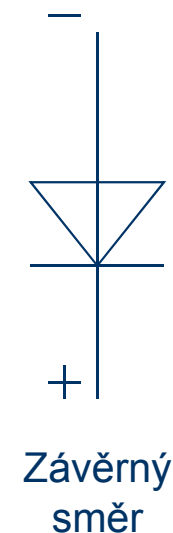
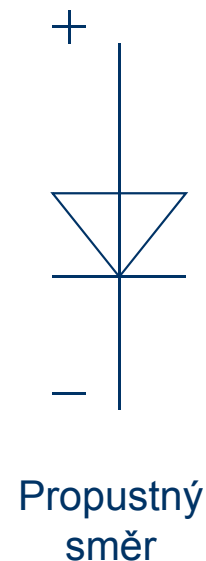


# Usměrňovací a spínací diody

- Diody jsou tvořeny jediným krystalem, v němž jsou vytvořeny oblasti P a N, mezi nimiž vznikne PN přechod.
- Protože tímto přechodem může proud téci jenom jedním směrem, tak chování diod závisí na polaritě připojeného napětí.

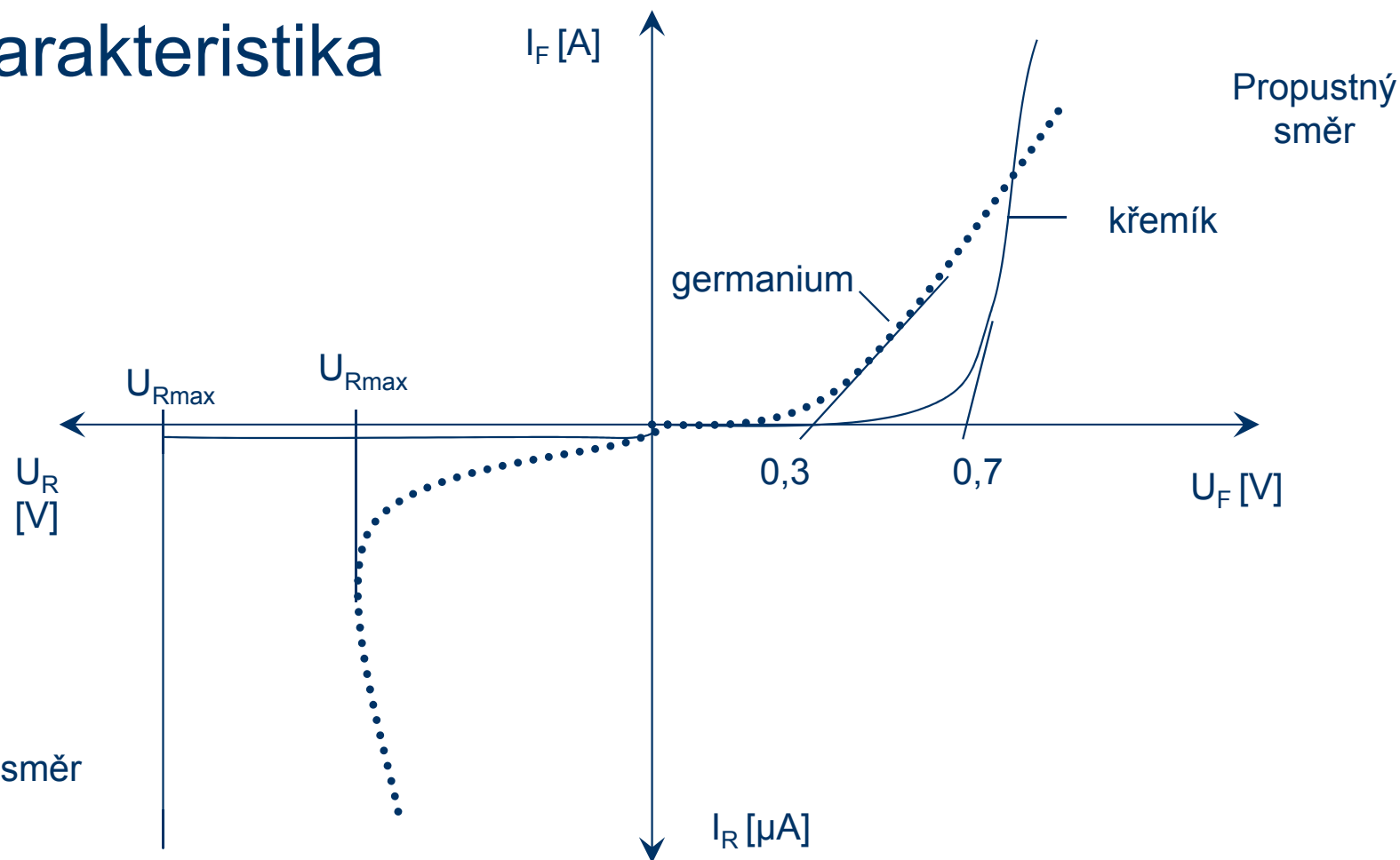


Schématická značka



# Usměrňovací a spínací diody

- Charakteristika





# Usměrňovací a spínací diody

- Maximální přípustné napětí v závěrném směru
  - u křemíkových diod:  $U_{R \max} \approx 80$  až asi 1500 V
  - u germaniových diod:  $U_{R \max} \approx 40$  až asi 100 V
- Zbytkové proudy, které tečou PN přechodem v závěrném směru
  - u křemíkových diod:  $I_R \approx 5$  až 500 nA
  - u germaniových diod:  $I_R \approx 10$  až 500  $\mu$ A
- Mezní hodnoty ( $I_F$ ,  $U_R$ ,  $P_D$ ,  $\vartheta_a$ )
  - nesmějí být překročeny a jsou udávány v katalogích od výrobce

# Usměrňovací a spínací diody

- Vzorce

Statický odpor v záporném směru

$$R_{RF} = \frac{U_{RF}}{I_{RF}}$$

Dynamický odpor v záporném směru

$$r_{IR} = \frac{\Delta U_{IR}}{\Delta I_{IR}}$$

# Usměrňovací a spínací diody

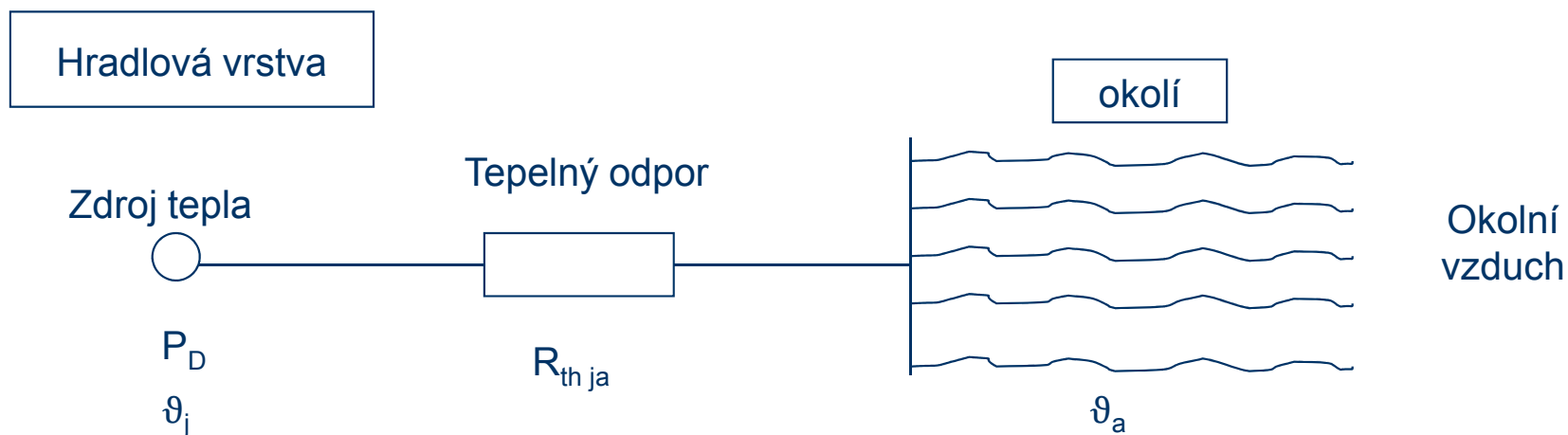
- Tepelný odpor

$$R_{thja} = \frac{\vartheta_j - \vartheta_a}{P_D} \left[ \frac{K}{W} \right]$$

Kde...  $\vartheta_j$  = teplota hradlové vrstvy

$\vartheta_a$  = teplota okolí

$P_D$  = elektrický výkon, jenž se v hradlové vrstvě přeměňuje v teplo



# Usměrňovací a spínací diody

- Chlazení

$$R_{th\ a} = R_{th\ jc} + R_{th\ cs} + R_{th\ sa}$$

Kde  $R_{th\ jc}$  = tepelný odpor mezi hradlovou vrstvou a pouzdem

$R_{th\ cs}$  = tepelný odpor mezi pouzdem a chladičem

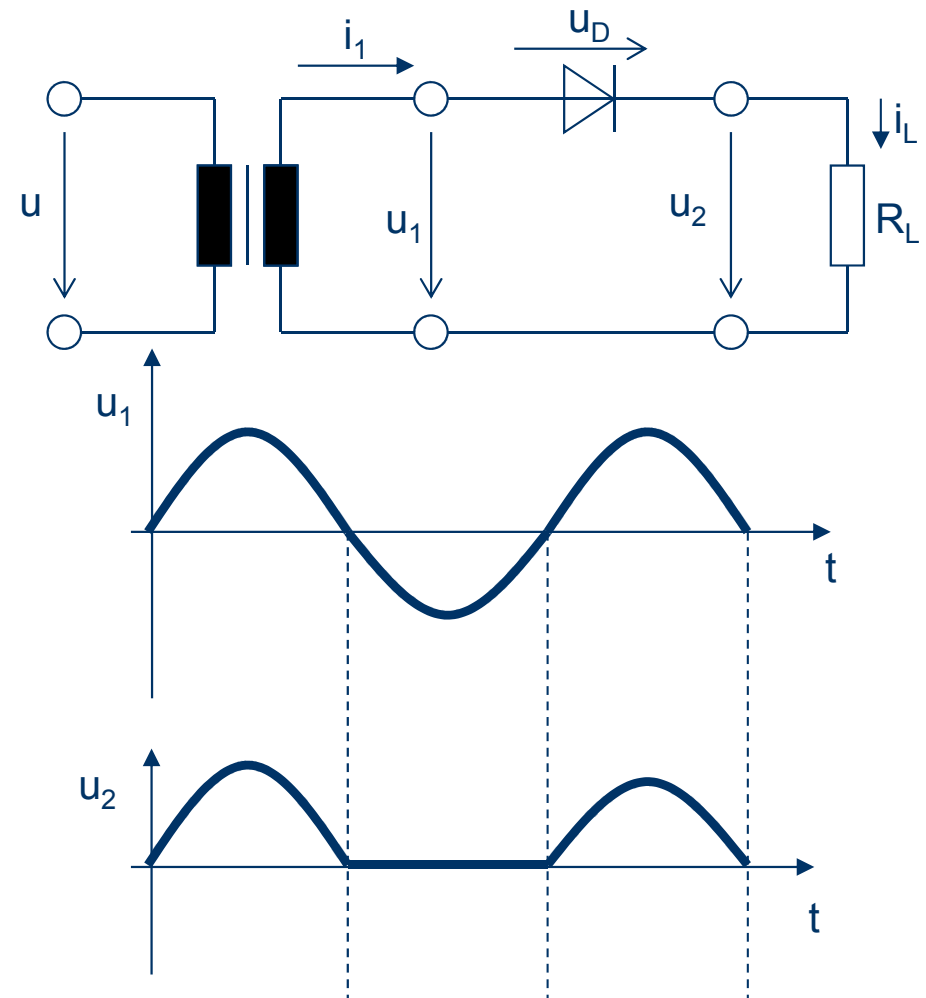
$R_{th\ sa}$  = tepelný odpor chladiče

# Usměrňovače

- Pro vlastní usměrnění se hodí polovodičové diody, a to vzhledem ke svému malému úbytku napětí v propustném směru, vysoké výkonové zatížitelnosti a velkému poměru odporů v závěrném a propustném směru.
- Pro návrh zapojení usměrňovačů je bezpodmínečně nutná znalost středního proudu v propustném směru, špičkového proudu a maximálního závěrného napětí.

# Jednocestný usměrňovač

Dioda vede pouze při kladné půlně střídavého napětí. Proud odporem teče pouze během kladné půlně. Napětí se na tomto odporu může objevit pouze tehdy, když bude špičková hodnota střídavého napětí větší než prahové napětí diody. Při záporné půlně je dioda uzavřena a je na ní celé střídavé napětí  $u_1$ .

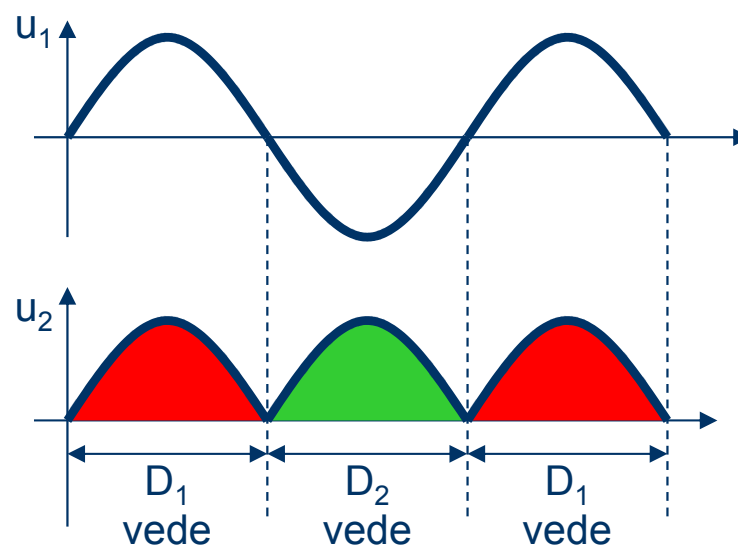
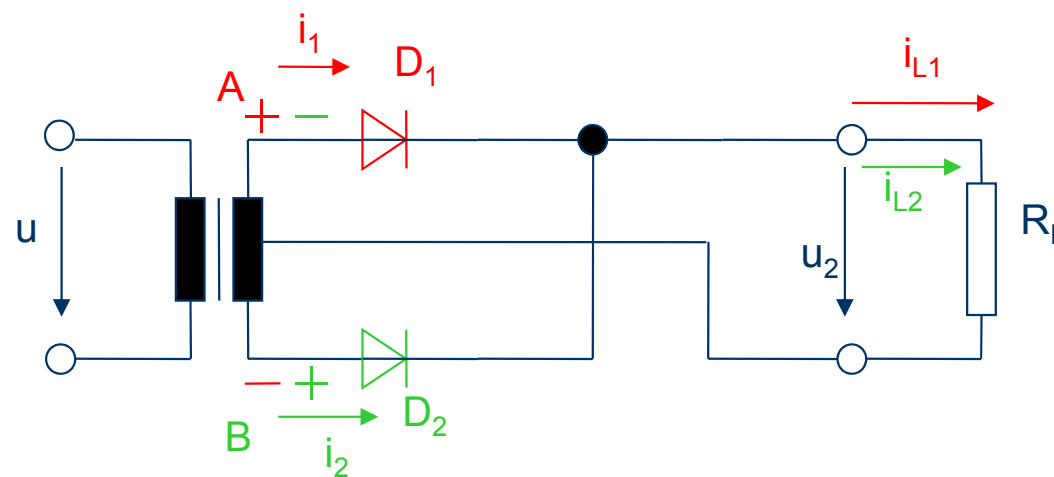


# Dvoucestný usměrňovač

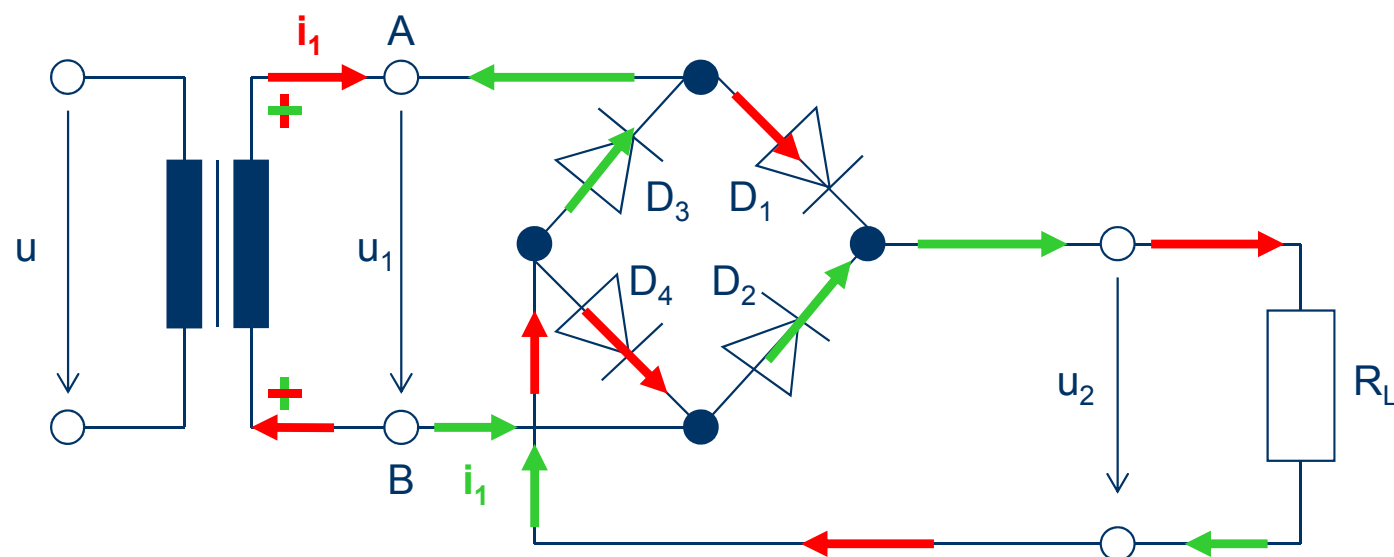
Dvoucestný usměrňovač má síťový transformátor s odbočkou uprostřed sekundárního vinutí. Tento bod je připojen na kostru a slouží jako vztažný bod. Horní vinutí s  $D_1$  představuje jednocestné zapojení, spodní vinutí transformátoru s  $D_2$  představuje druhé jednocestné zapojení – **obě jsou pro kladné výstupní napětí**.

Je-li během jedné půlvinny bod **A** kladnější proti bodu B, protéká zatěžovacím odporem proud  $i_{L1}$ . Dioda  $D_2$  je během tohoto časového intervalu uzavřena.

V druhé půlvině je bod **B** kladnější než bod A a zatěžovacím odporem  $R_L$  protéká proud  $i_{L2}$  ve stejném směru jako předtím proud  $i_{L1}$ .



# Dvoucestné usměrnění - můstek



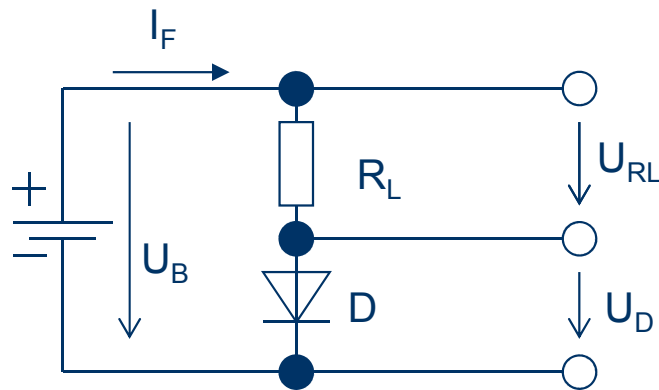
Pokud je bod A kladnější než bod B, protéká proud diodami  $D_1$  a  $D_4$ , vyznačeným směrem a zatěžovacím odporem  $R_L$ . Diody  $D_2$  a  $D_3$  jsou během této půlky uzavřeny. Proud stejným směrem jako v první půlce a výstupní napětí  $u_2$  má stejný časový průběh jako  $u$  zapojení s rozděleným sekundárním vinutím.



# Diodové spínače

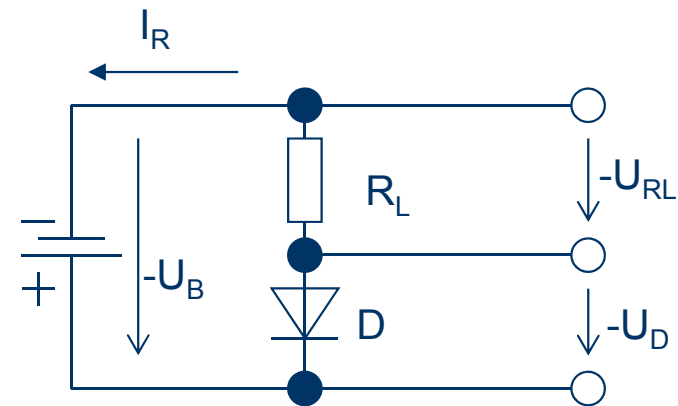
## ● Princip

- V elektronice mají spínače úkol obvody buď spínat, nebo přerušovat. Proto musí mít spínač v poloze „sepnuto“ pokud možno malý odpor a v poloze „rozepnuto“ co největší odpor.
- U diod využíváme malého odporu v propustném směru  $R_F$  a velkého odporu v závěrném směru  $R_R$ .



Vodivá dioda (spínač sepnut)

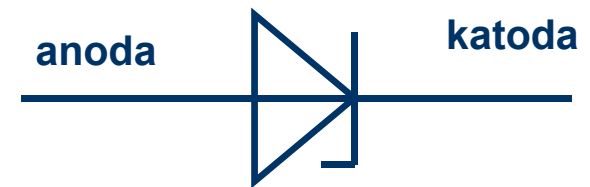
$$U_D = U_F$$



Dioda je uzavřena (spínač rozepnut)

$$-U_D = U_R$$

# Zenerovy diody



- Základní princip a činnost

Budeme-li u křemíkové diody zvětšovat závěrné napětí nad maximálně přípustnou hodnotu  $U_{Rmax}$ , dojde při překročení určité hodnoty napětí k průrazu, který se projeví prudkým nárůstem proudu. U usměrňovacích a spínacích diod má toto napětí velikost asi 80 V až 1500 V.

Vhodně zvětšeným dopováním příměsemi můžeme u křemíkové diody vyrobit tak tenkou závěrnou vrstvu mezi krystalem a typu N a P, že průraz nastane při podstatně menším napětí, a to v rozmezí 1 V až 50 V. Toto speciální provedení diod se nazývají Zenerovými diodami.

Zenerovy diody používáme v závěrném směru, protože jejich pracovní bod leží v oblasti průrazného napětí, je nutné provést omezení procházejícího proudu předřadným odporem  $R_S$ .

Zenerovy diody jsou předurčeny ke stabilizaci nebo k omezování malých napětí.

# Zenerovy diody

- Fyzikální jevy

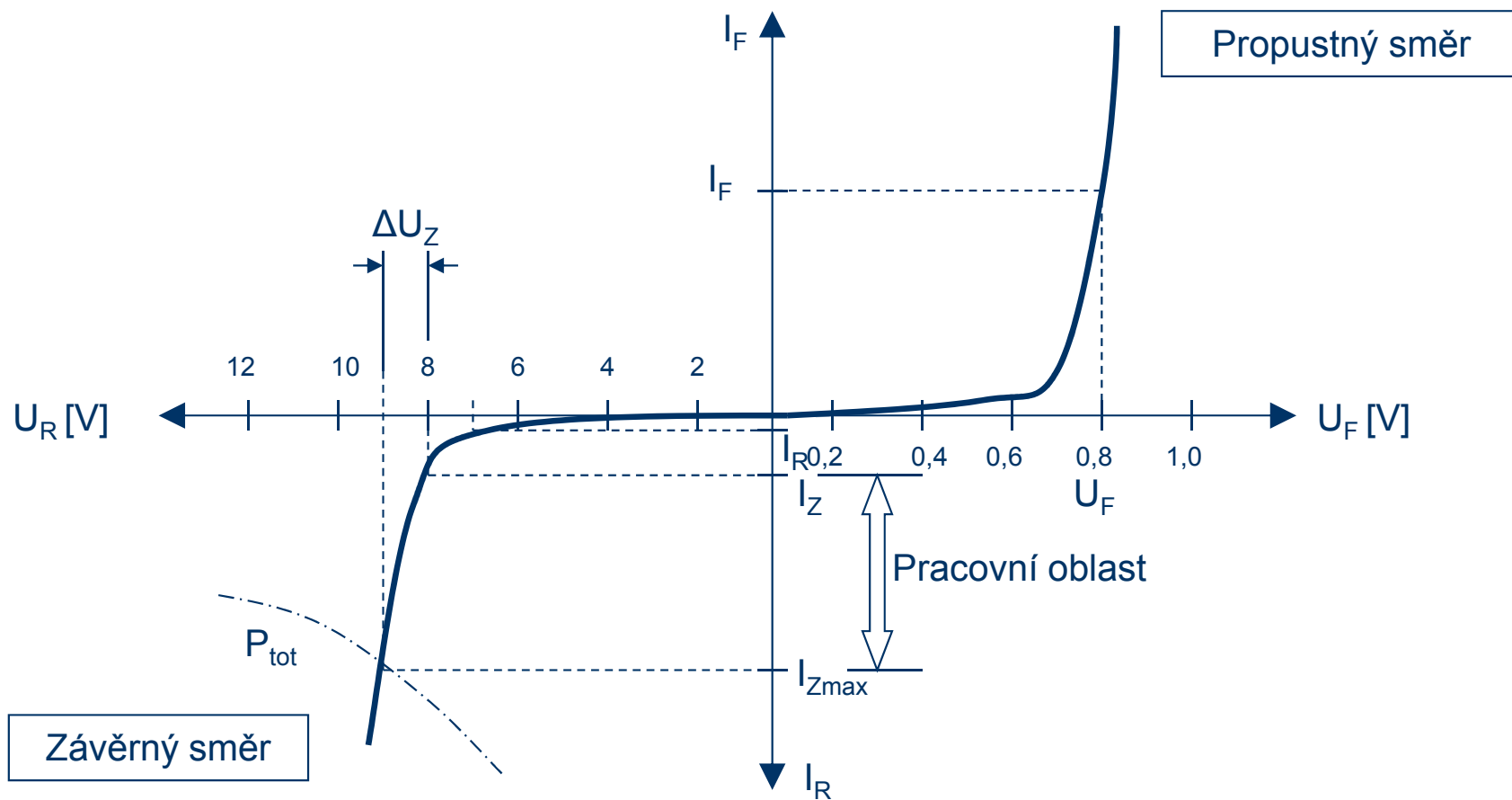
U Zenerových diod se v oblasti průrazného napětí vzájemně překrývají dva rozdílné fyzikální jevy. U Zenerových diod s průrazným napětím  $U_z < 5V$  dochází k vnitřní emisi vlivem elektrického pole, jež se označuje jako Zenerův jev. U Zenerových diod s napětím  $U_z > 6V$  dochází k průrazu vlivem lavinového jevu. Díky němu dochází k velmi ostrému zlomu charakteristiky v závěrném směru.

**Zenerův jev** – K Zenerovu průrazu dochází při překročení intenzity 200 až 500 kV/cm, kdy jsou elektrony vytrhávány z krystalové mřížky křemíku. Takto uvolněné elektrony zvětšují spolu s uvolněnými děrami celkový počet volných nositelů náboje a tím i vodivost

**Lavinový jev** – Rychlost pohyblivých nositelů náboje, jež jsou k dispozici je vlivem vysoké intenzity elektrického pole tak velká, že při srážkách s atomy krystalové mřížky vyrážejí nové pohyblivé nositele náboje. Tyto nově vznikající náboje jsou elektrickým polem opět urychleny a vyrážejí opět další, nové, nositele náboje z vazeb jednotlivých atomů. Tímto jevem proud rychle narůstá → na charakteristice vzniká ostřejší zlom.

# Zenerovy diody

- Charakteristika



# Zenerovy diody

- Teplotní závislost

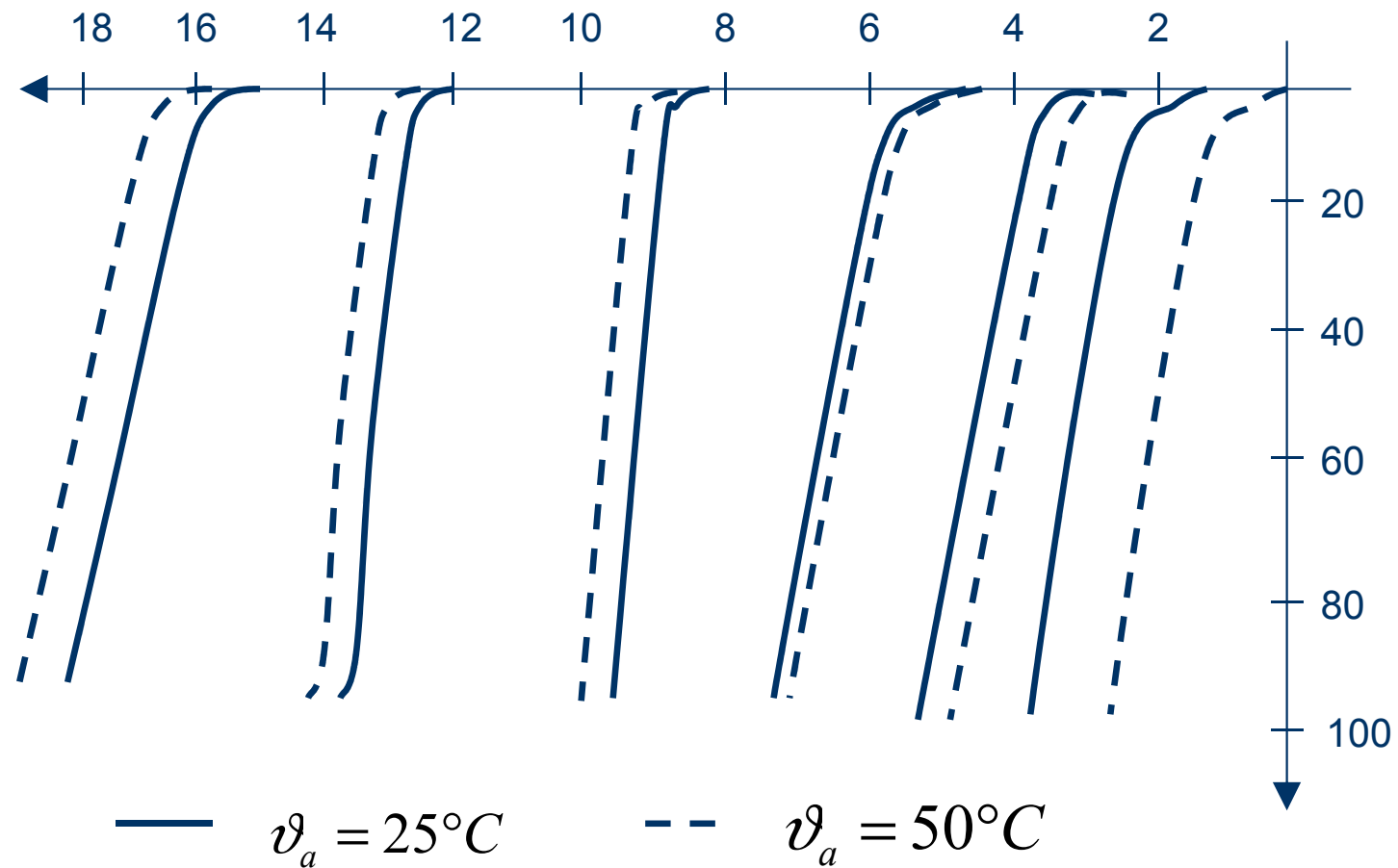
**Zenerův jev** - zvýšení teploty v tomto případě způsobí zvětšenou emisi vlivem silného elektrického pole. Určitý proud vlivem průrazu může proto při vyšší teplotě protékat již při menším napětí. **Napětí, při němž dochází k průrazu, se tedy s rostoucí teplotou zmenšuje. Mají záporný teplotní součinitel.**

**Lavinový jev** – s rostoucí teplotou se v tomto případě střední volná dráha nositelů náboje zmenšuje. Pro dosažení stejného průrazného proudu je proto zapotřebí většího napětí v závěrném směru. **Mají kladný teplotní součinitel.**

**Teplotní součinitel:**  $U_{Z\vartheta} = U_Z + U_Z \cdot TK_{UZ} \cdot \Delta T = U_Z \cdot (1 + TK_{UZ} \cdot \Delta T)$

# Zenerovy diody

- Teplotní závislost

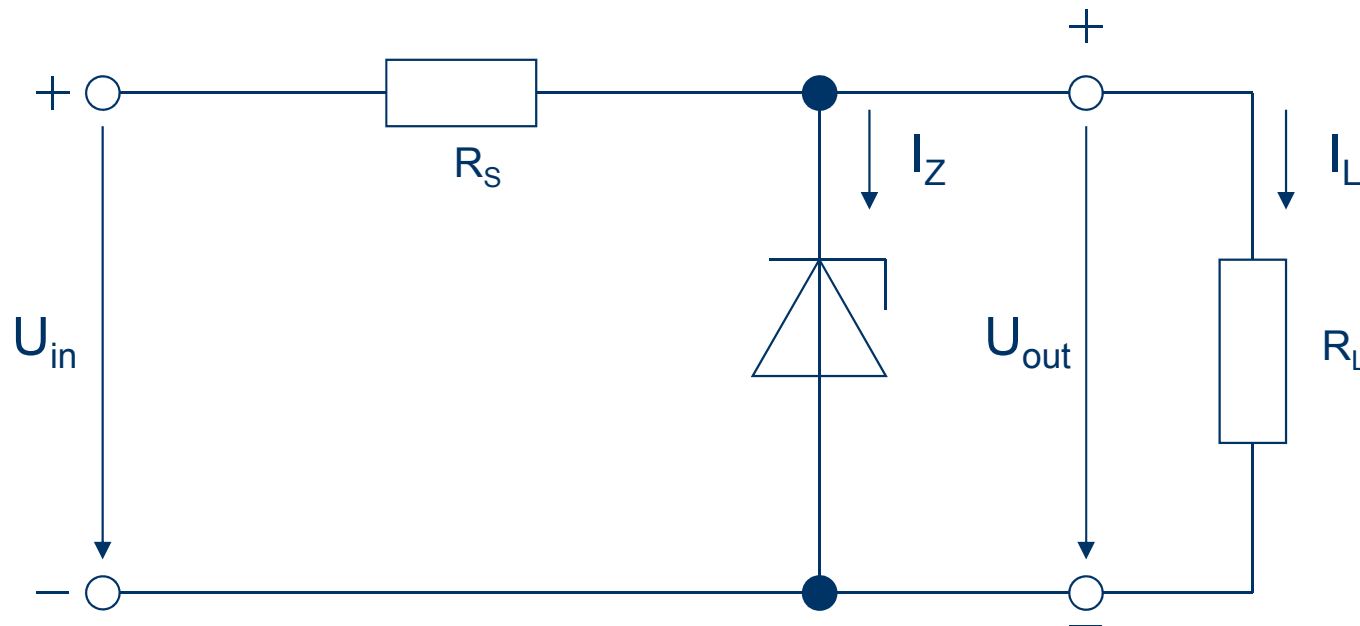


# Zenerovy diody

- Stabilizace napětí

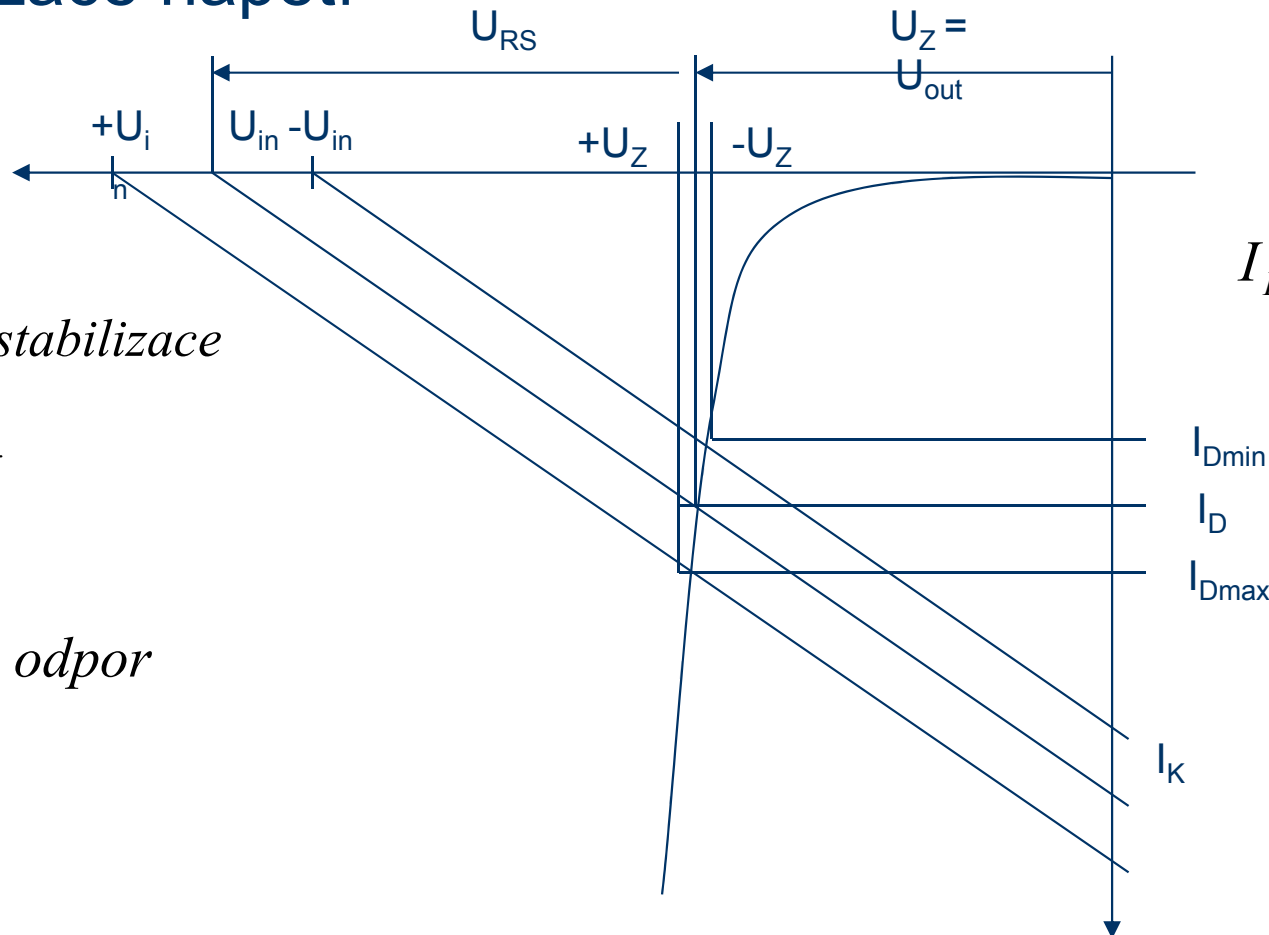
- Základní zapojení

Stabilizované napětí je napětím na Zenerově diodě. Toto napětí zůstává jak při změně vstupního napětí  $U_{in}$ , tak při změně zatěžovacího proudu  $I_L$  přibližně konstantní.



# Zenerovy diody

- Stabilizace napětí



$$I_K = \frac{U_{in}}{R_s}$$

*koeficient stabilizace*

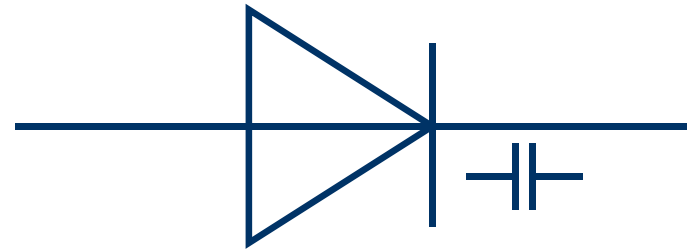
$$K_s = \frac{\Delta U_{in}}{\Delta U_Z}$$

*dynamický odpor*

$$r_D = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_D}$$



# Kapacitní diody



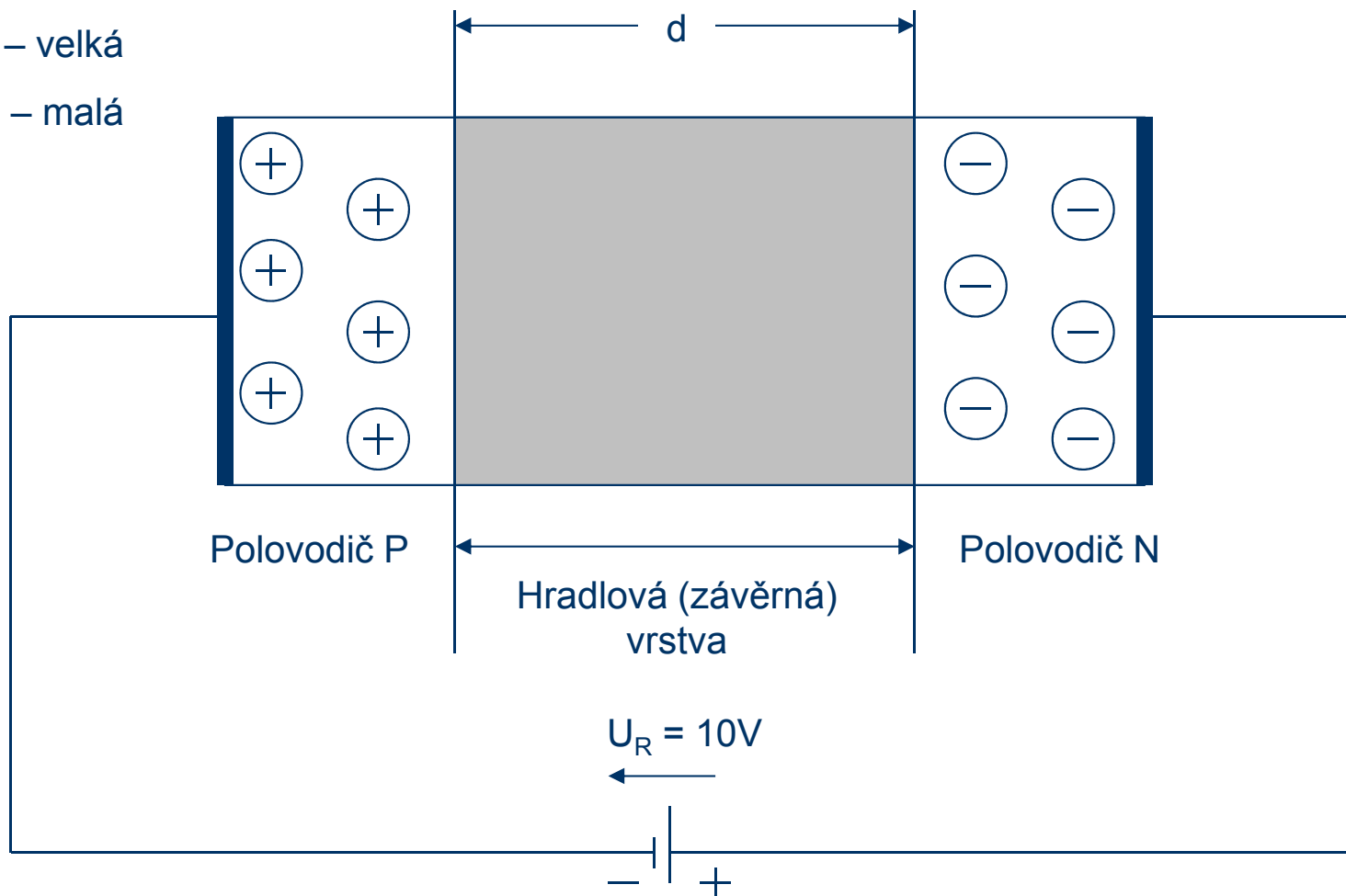
- Základní princip a činnost

- Každý PN přechod zapojený v závěrném směru má určitou kapacitu.
- Ta vznikne tak, že mezi krystalem s vodivostí P a krystalem vodivosti typu N vznikne vyprázdněná oblast, jež působí jako dielektrikum kondenzátoru.
- Přestože je kapacita závěrné vrstvy relativně malá, působí u usměrňovacích a spínacích diod velmi rušivě a omezuje jejich využití na vyšších kmitočtech.
- Kapacitní diody právě této kapacity využívají. Změny kapacity můžeme dosáhnout změnou připojeného napětí v závěrném směru (proto se kapacitní dioda nazývá též varikap = variabilní kapacita)
- S rostoucím napětím v závěrném směru se šířka závěrné vrstvy zvětšuje a tím se kapacita závěrné vrstvy zmenšuje

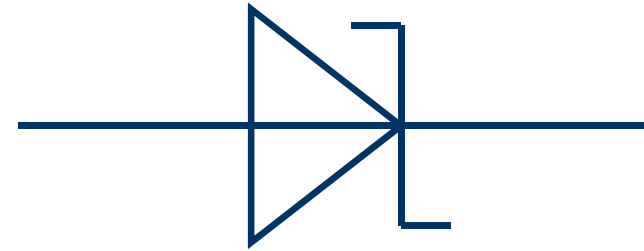
# Kapacitní diody

$d$  – velká

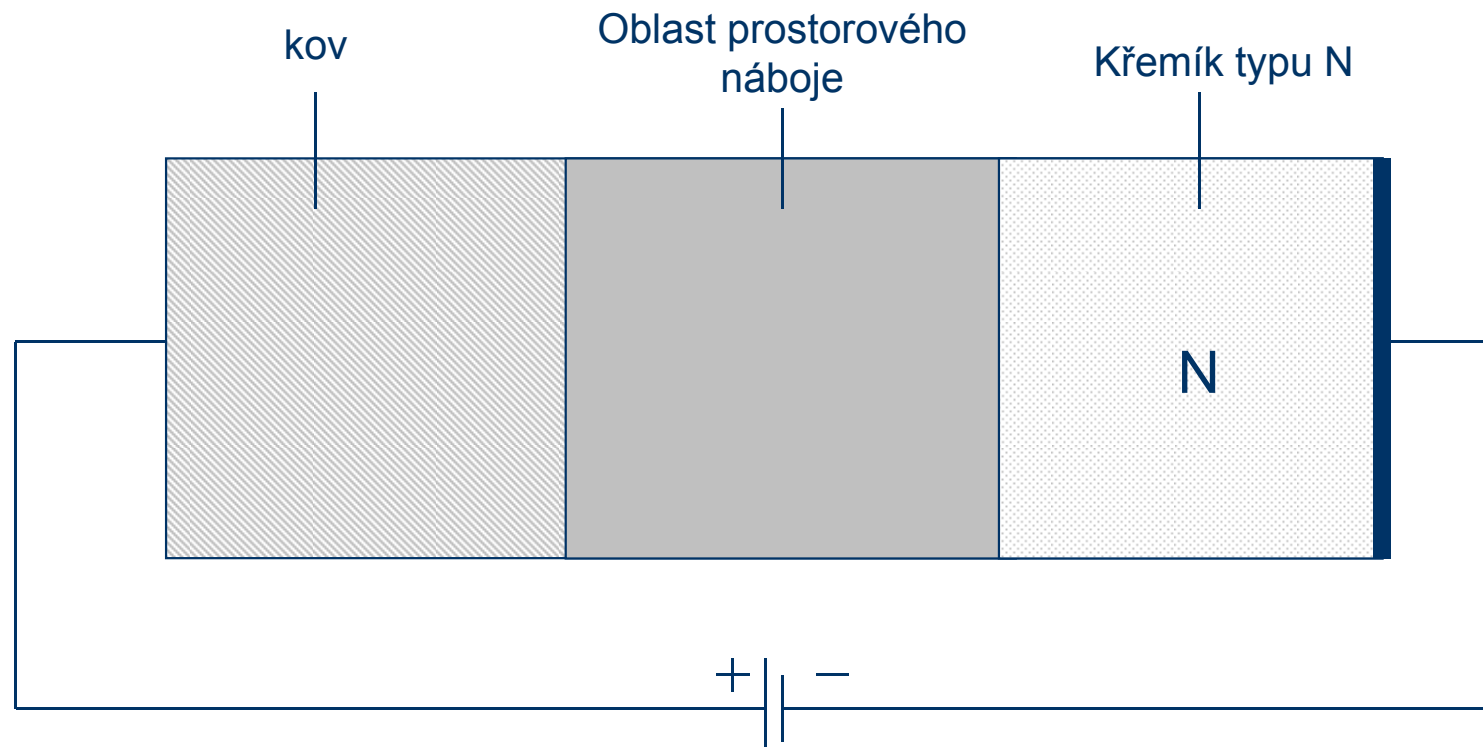
$C$  – malá



# Schottkyho diody



- Za určitých podmínek vykazuje usměrňovací účinek také přechod, jenž je mezi oblastí křemíku s vodivostí N a k ní přiléhající kovovou elektrodou. Tento jev je nazván po svém objeviteli „Schottkyho jev“

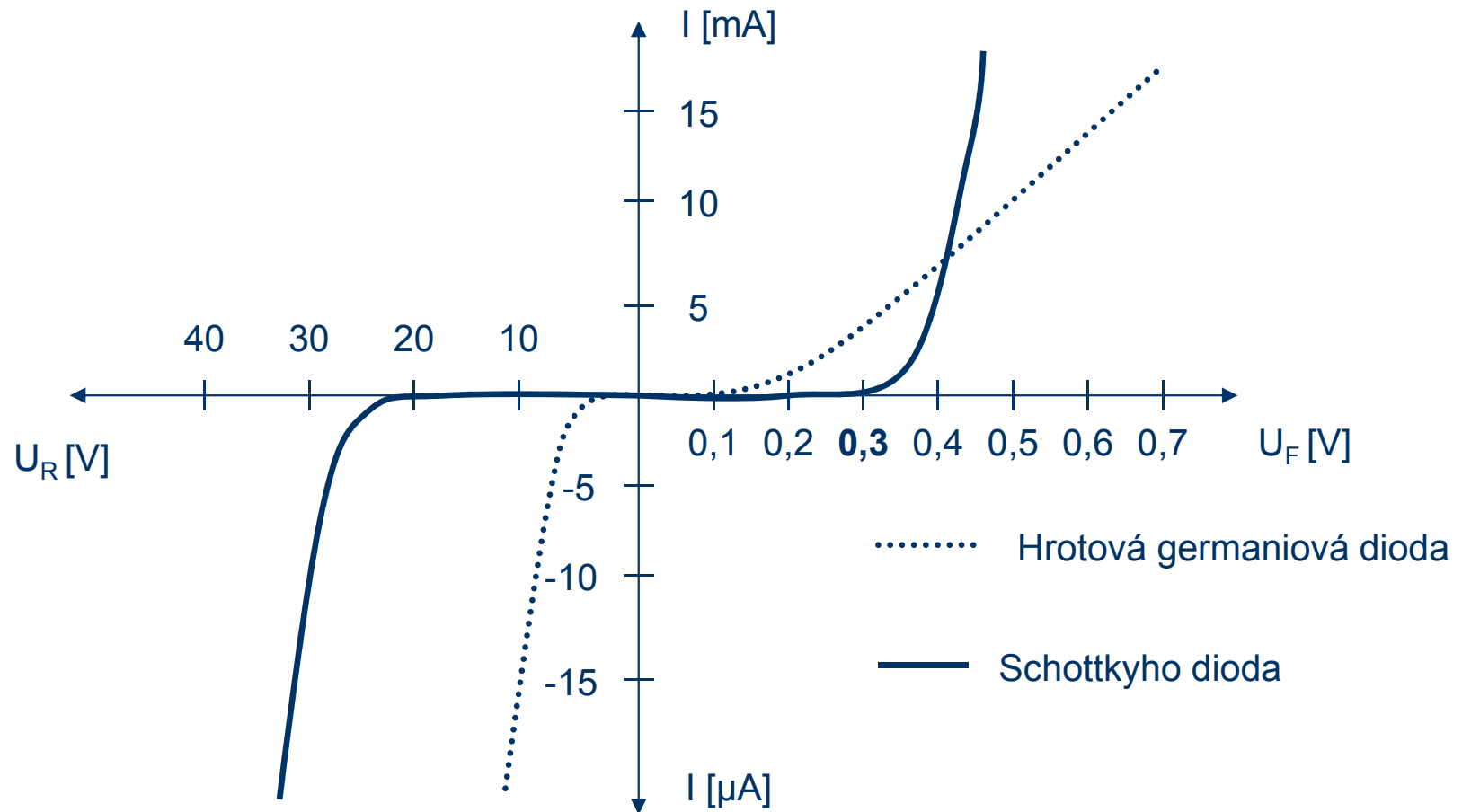


# Schottkyho diody

- U Schottkyho diody se vrstva kovu dotýká oblasti křemíku s vodivostí N. Protože elektrony v křemíku jsou na vyšší energetické hladině než elektrony v kovu, putují z křemíku N do kovu. Tím se vytvoří v mezní vrstvě oblast prostorového náboje (vytvoří se přechod polovodič N-kov).
- Je-li dioda pólována v propustném směru, dosáhnou pohyblivé elektrony v křemíku N tak velké energie, že mohou oblast křemíku N opustit. Volně pohyblivé elektrony v kovu nemohou naproti tomu kov při pokojové teplotě opustit. Tím nemůže při přepólování připojeného napětí v krystalu N vzniknout žádný proud.
- Přechod z propustného do závěrného směru probíhá u Schottkyho diody velmi rychle, neboť nemusíme „vyklízet“ nositele náboje tak, jak je tomu u čistě polovodičových diod.
- Také přechod ze závěrného do propustného směru je neobvykle rychlý, protože se závěrná vrstva velmi rychle odbourává.
- Spínací doba je asi 100ps.
- Nevýhodou oproti křemíkovým diodám je menší průrazné napětí v závěrném směru.

# Schottkyho diody

- Charakteristika



# PIN dioda

- Když je v propustném směru ustálí se majoritní nosiče v intrinsické vrstvě, při záporné půlvině se nestačí zrekombinovat a proto intrinzická vrstva zůstává vodivá.

$$R_S = \frac{W^2}{(\mu_p + \mu_n) \cdot Q}$$

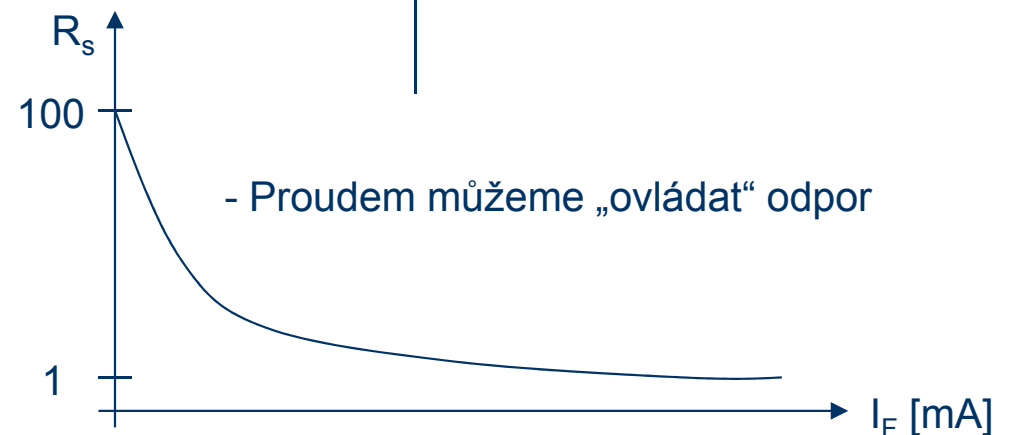
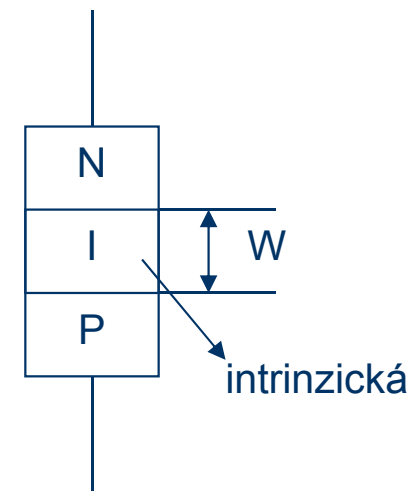
$$Q = I_F \cdot \tau \Rightarrow R_S = \frac{W^2}{(\mu_p + \mu_n) \cdot I_F \cdot \tau}$$

$\mu_p$ ...pohyblivost děr

$\mu_n$ ...pohyblivost elektronů

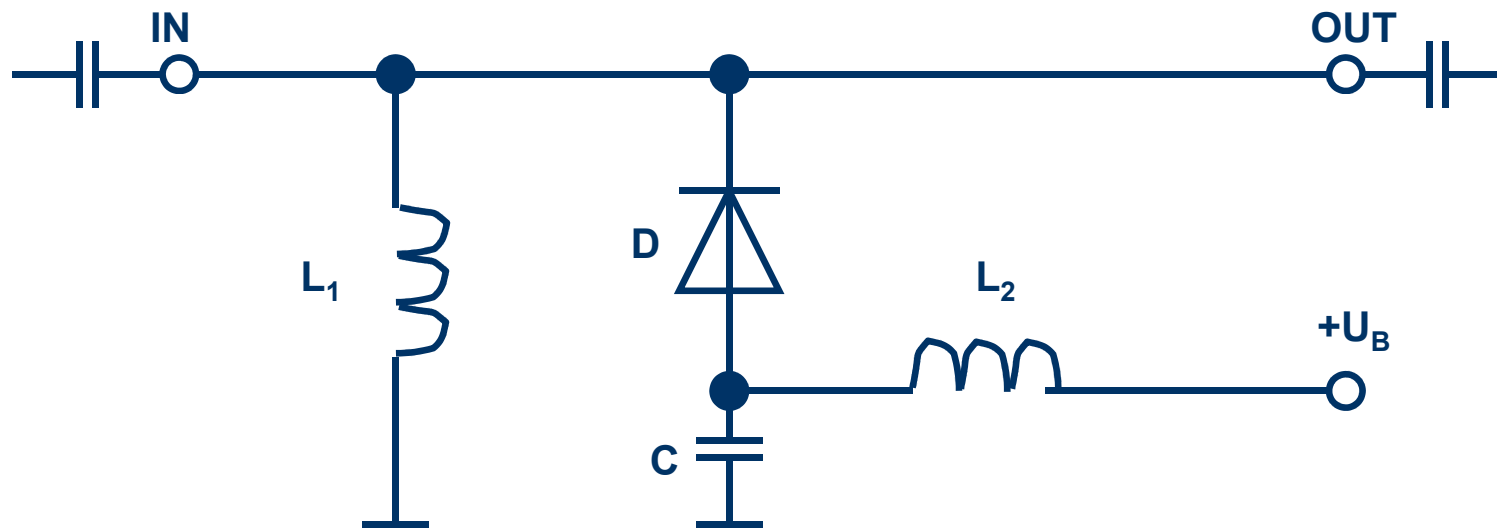
$Q$ ...náboj

$T$ ...střední délka života náboje



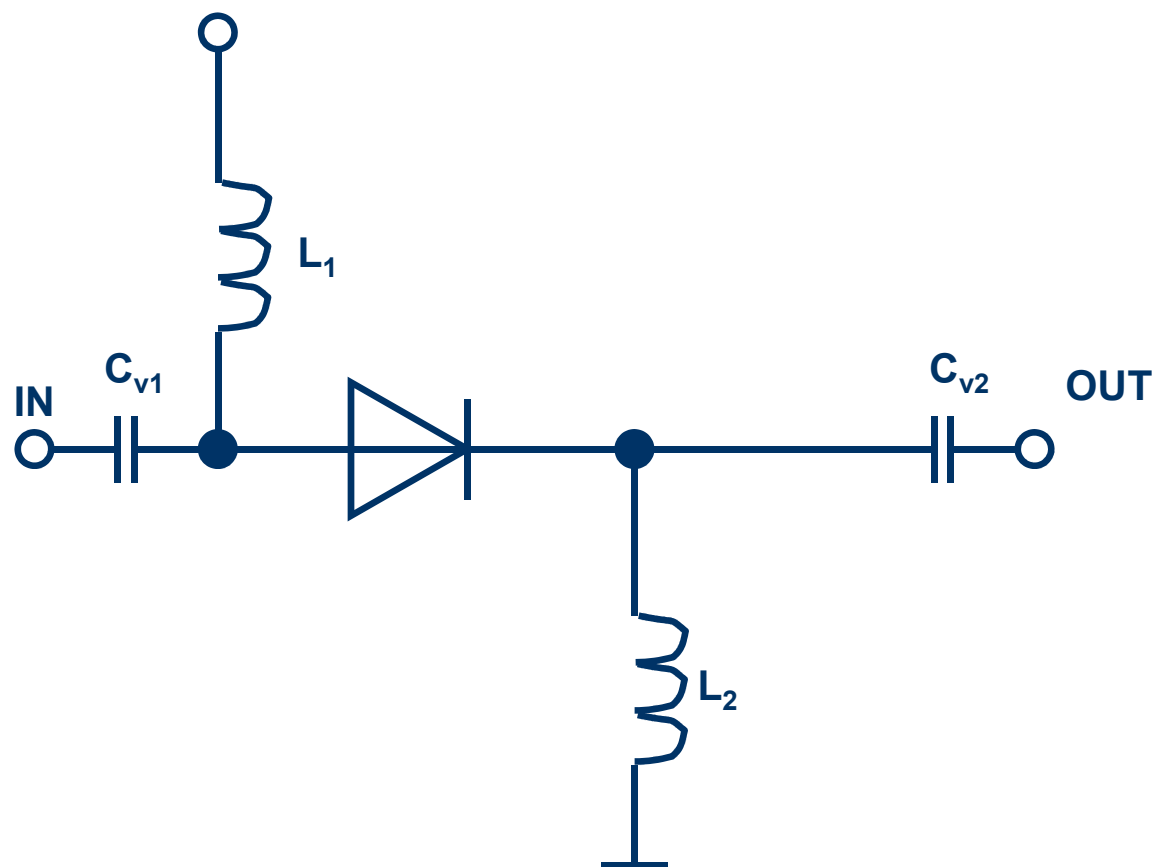
# PIN dioda

- Atenuátor

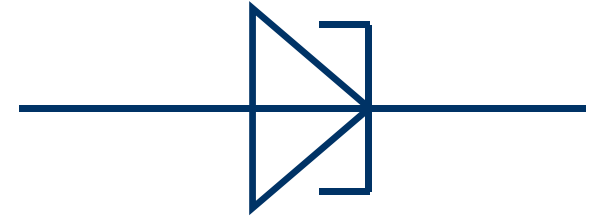


# PIN dioda

- Spínač

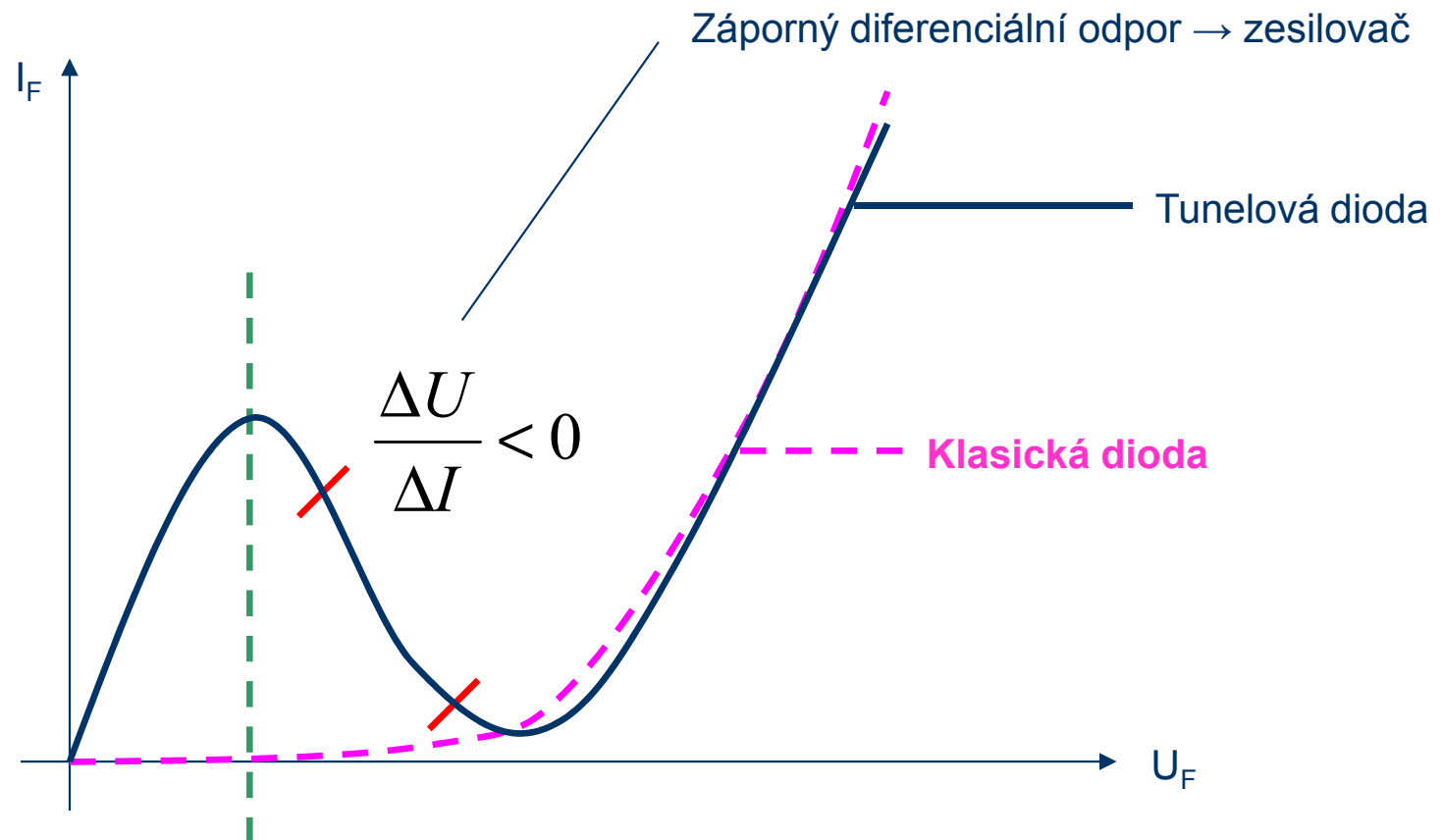






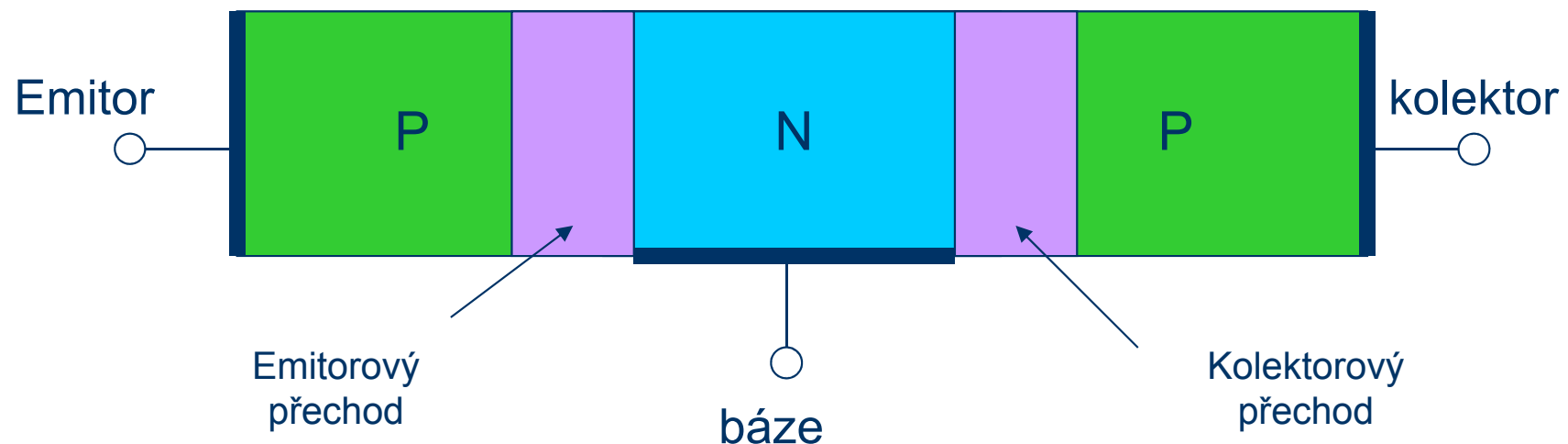
# Tunelová (Esakiho) dioda

- Charakteristika

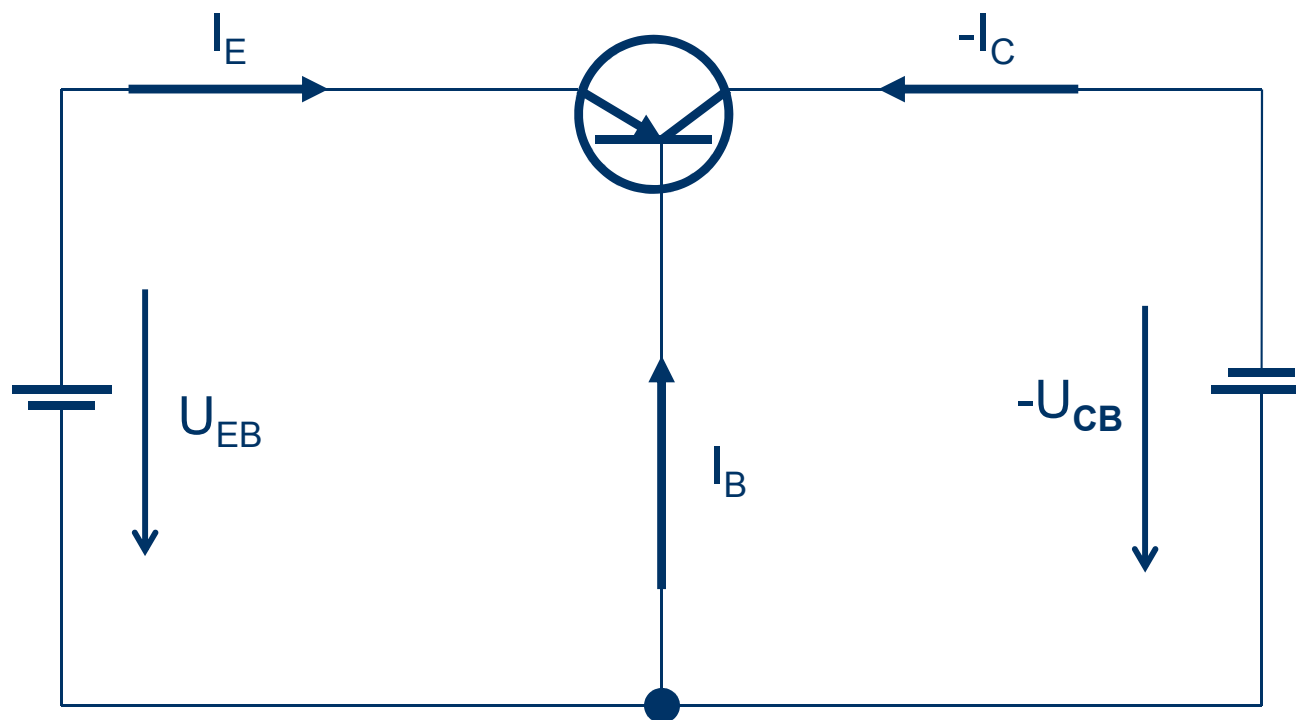


# Bipolární tranzistory

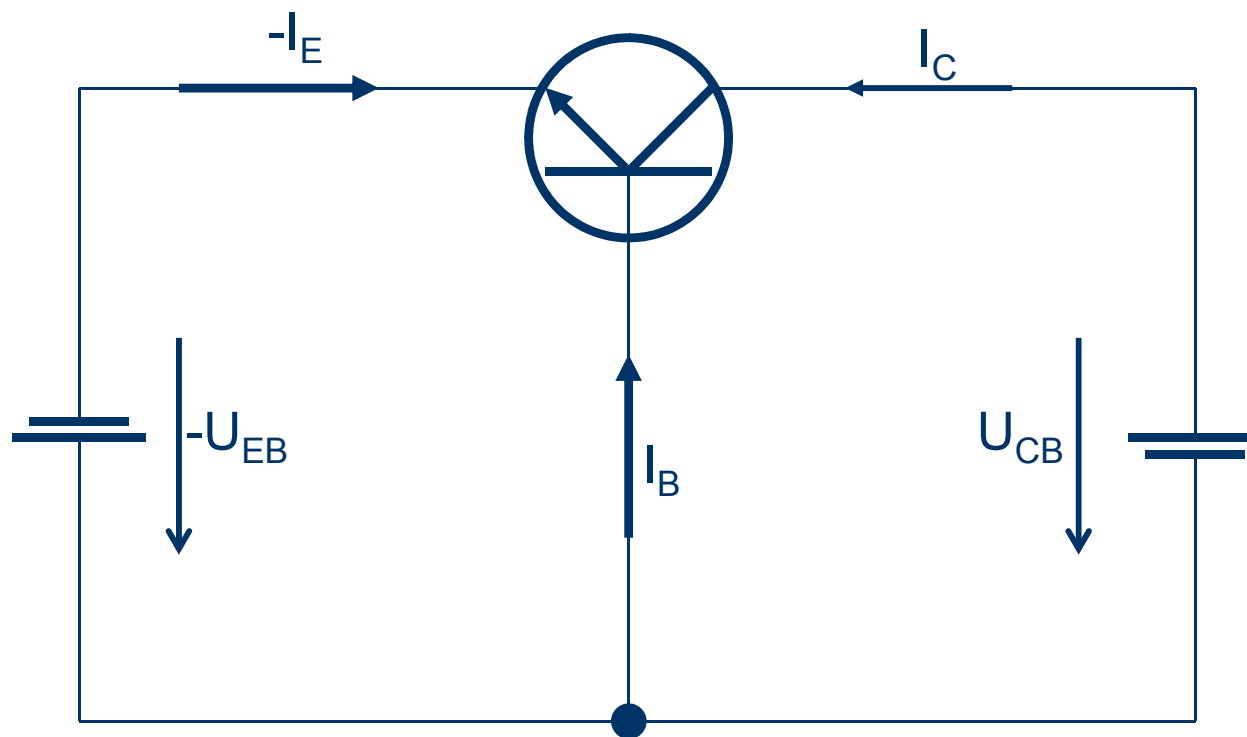
- Základní funkce tranzistoru – funkce zesilovače
- Aby tranzistor pracoval jako zesilovač, musí být emitorový přechod pólován v propustném směru a kolektorový přechod v závěrném směru



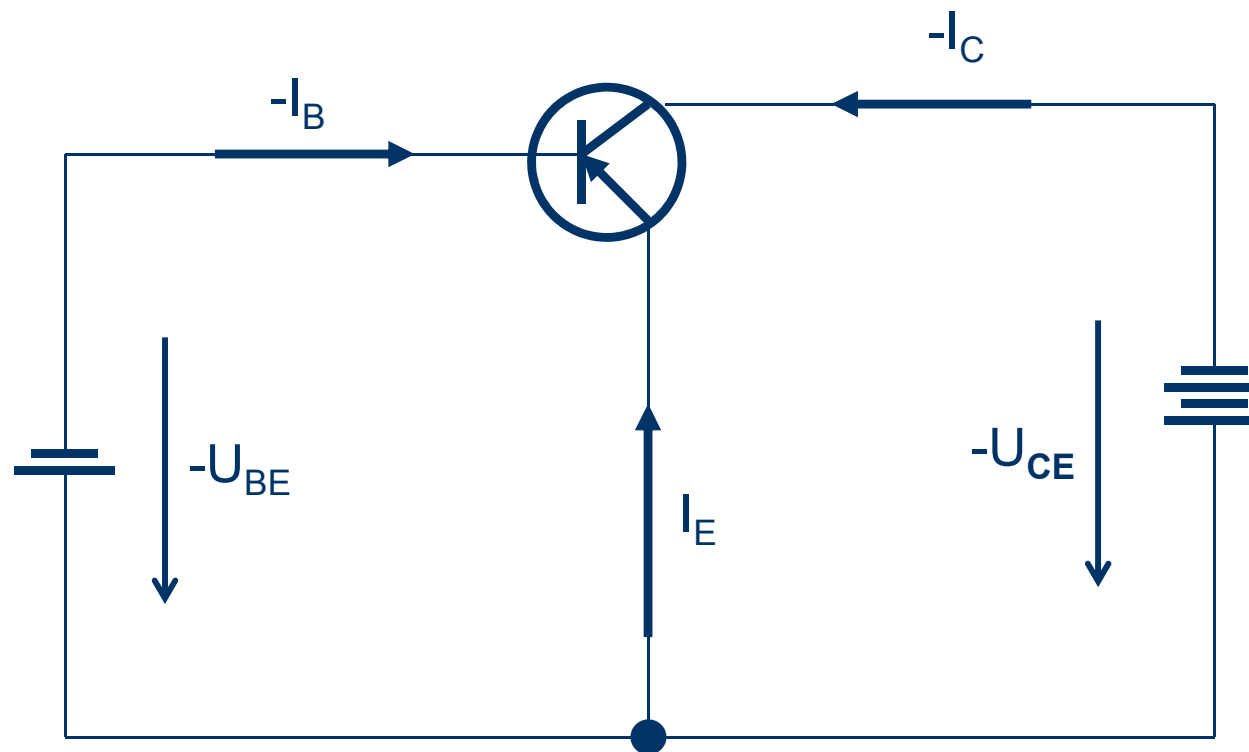
# PNP se společnou bází



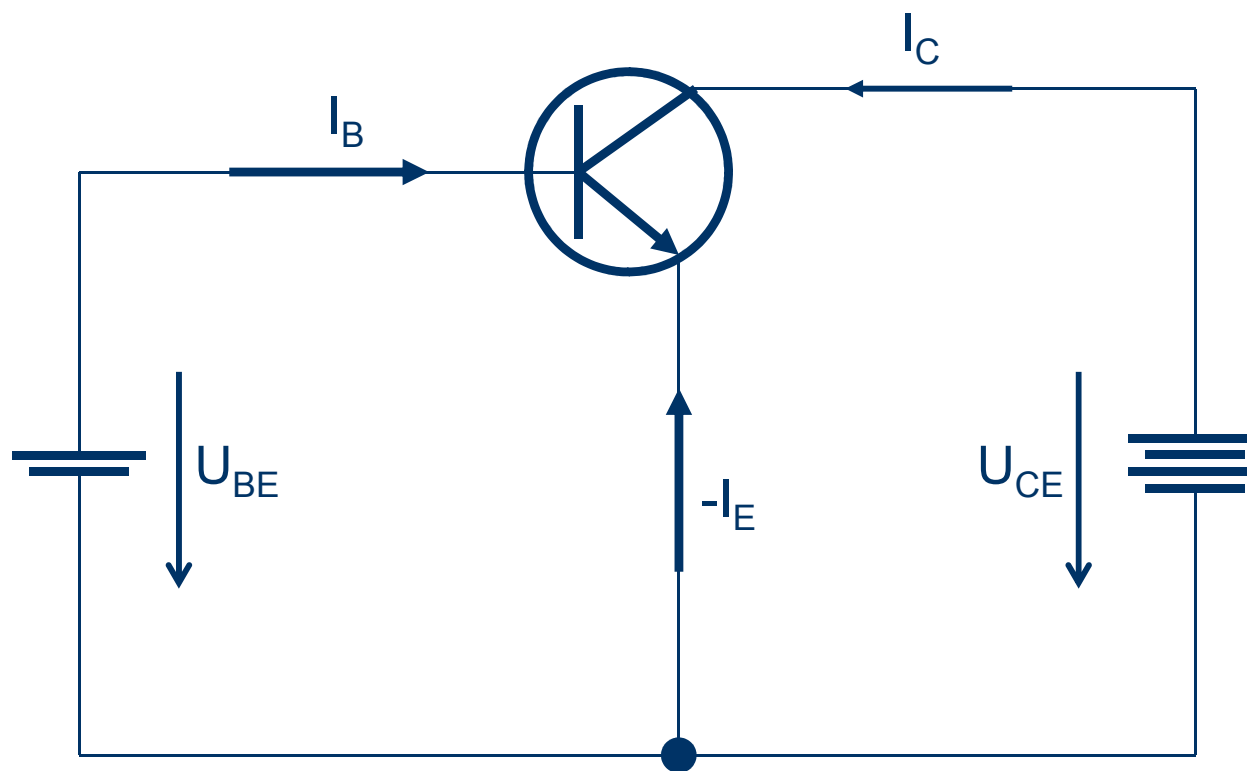
# NPN se společnou bází



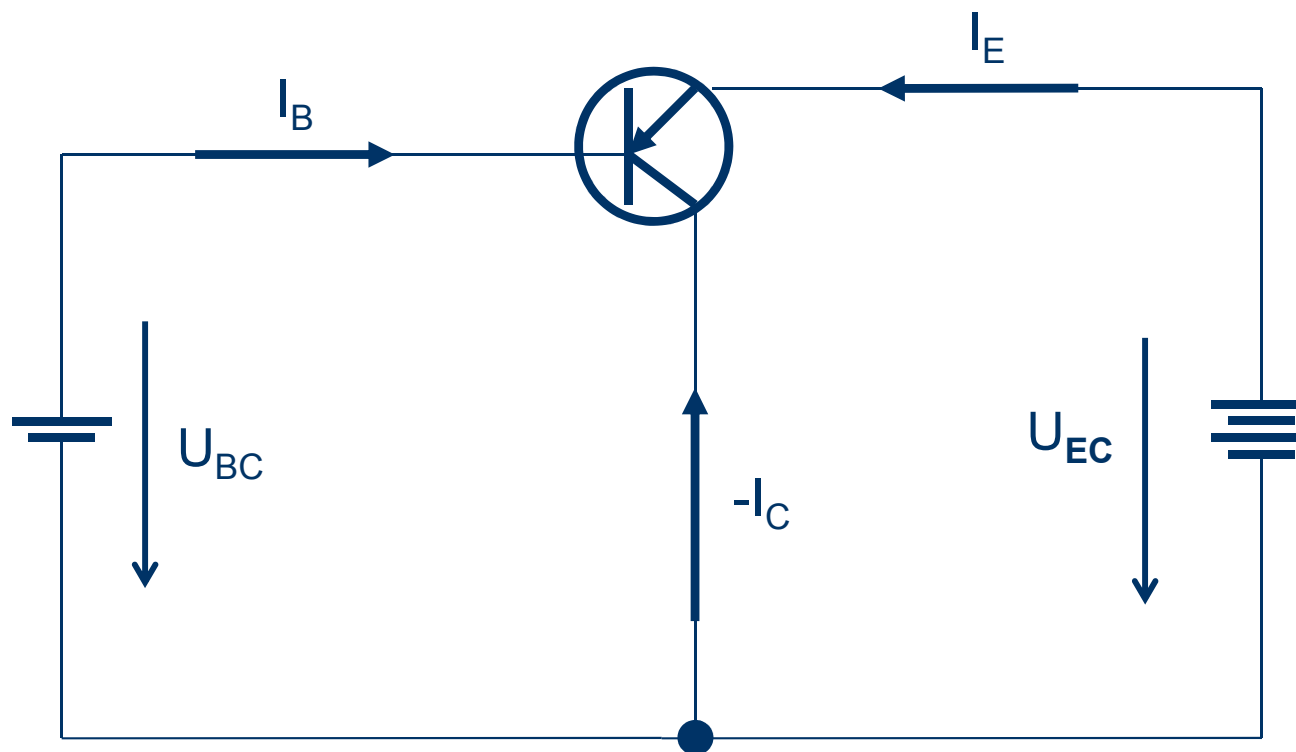
# PNP se společným emitorem



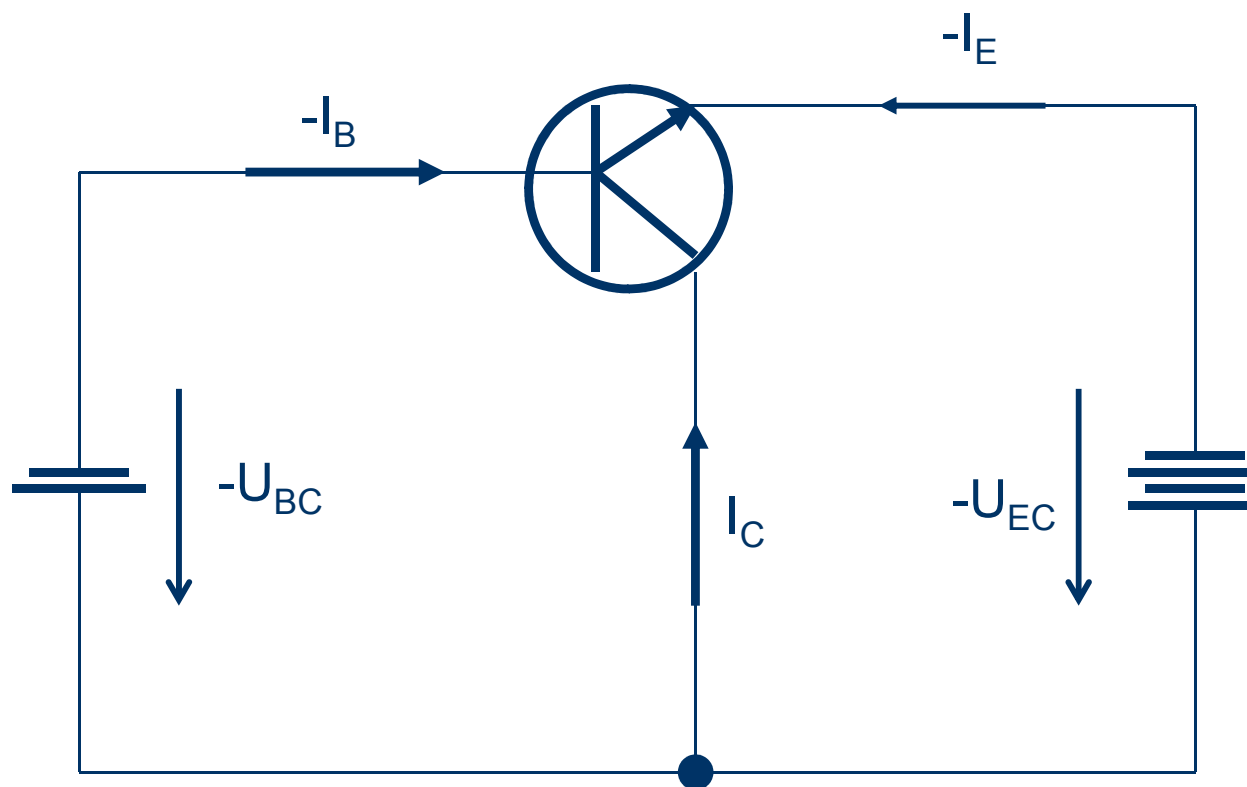
# NPN se společným emitorem



# PNP se společným kolektorem



# NPN se společným kolektorem





# BT – zapojení SB

Základní tranzistorová rovnice

$$-I_C = \alpha \cdot I_E - I_{C0}$$

$$I_E + I_B + I_C = 0$$

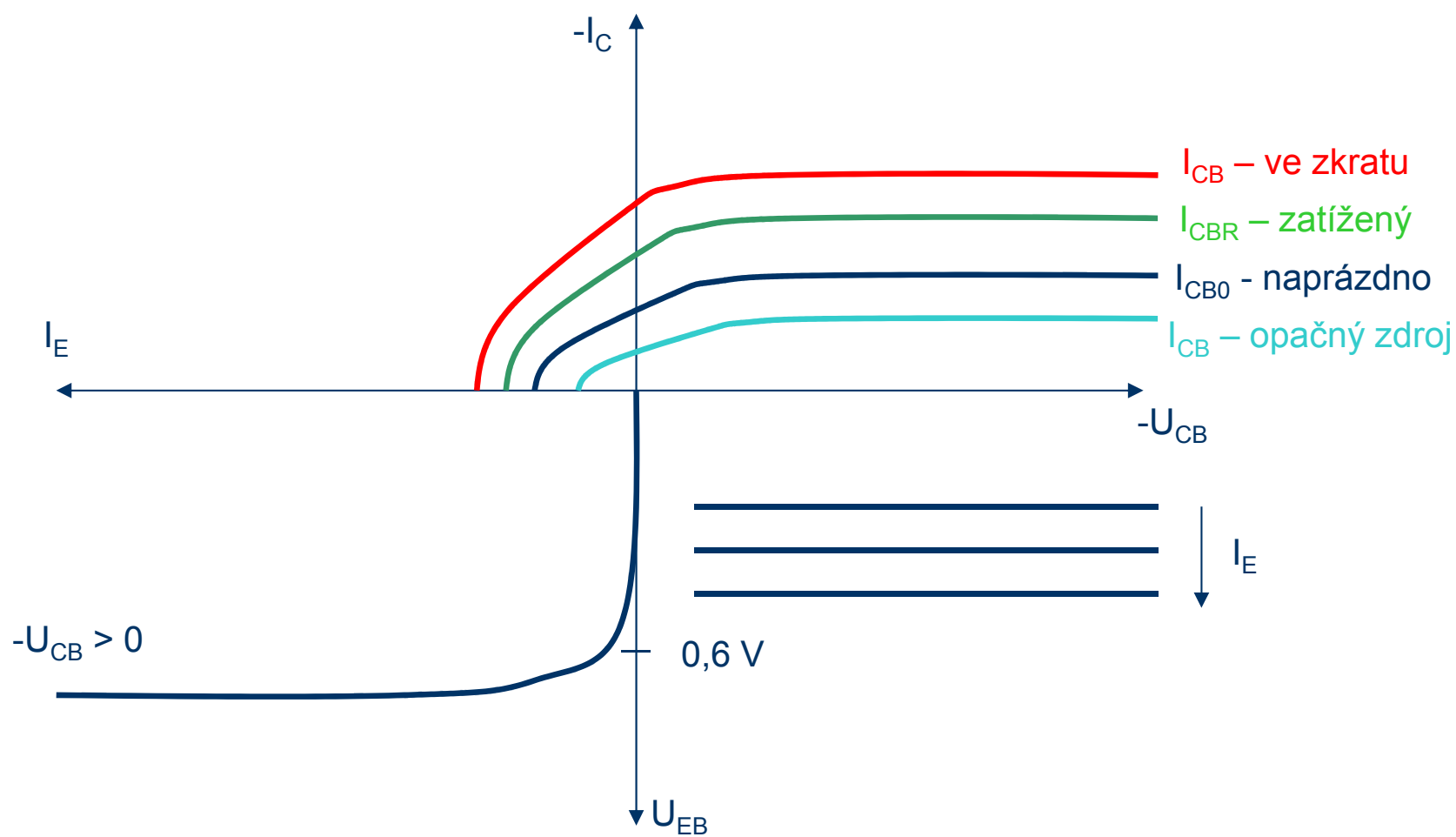
$$\alpha = \frac{-I_C + I_{C0}}{I_E}$$

$\alpha$ ... Stejnoseměrný proudový zesilovací činitel tranzistoru v zapojení se společnou bází

$\alpha < 1$  (0,96 až 0,99)

$\alpha < 0$  – otáčí fázi  $I_E$

# BT - zapojení SB - charakteristika



# BT – zapojení SE

Základní tranzistorová rovnice

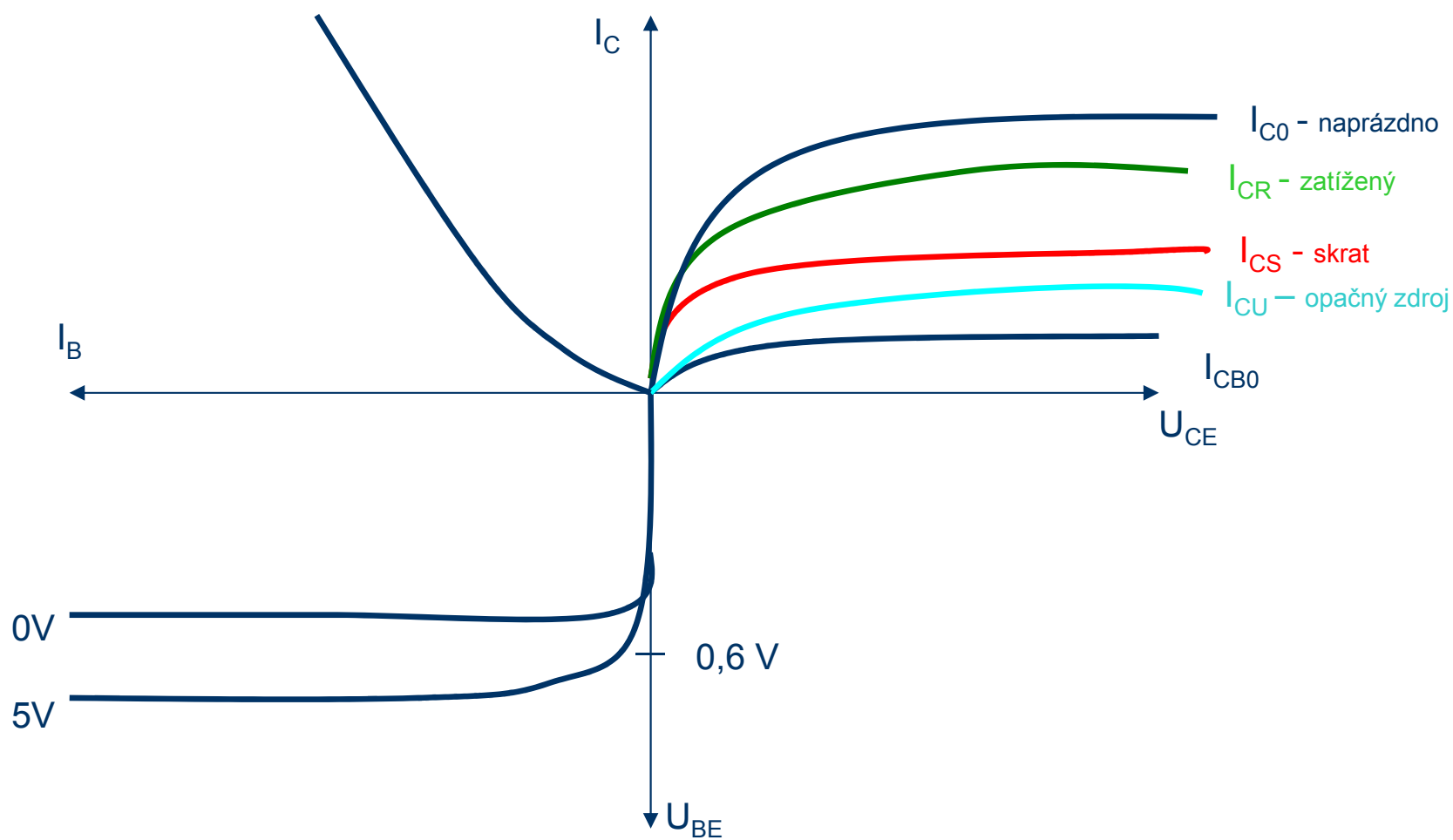
$$I_C = \beta \cdot I_B + I_{CE0}$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

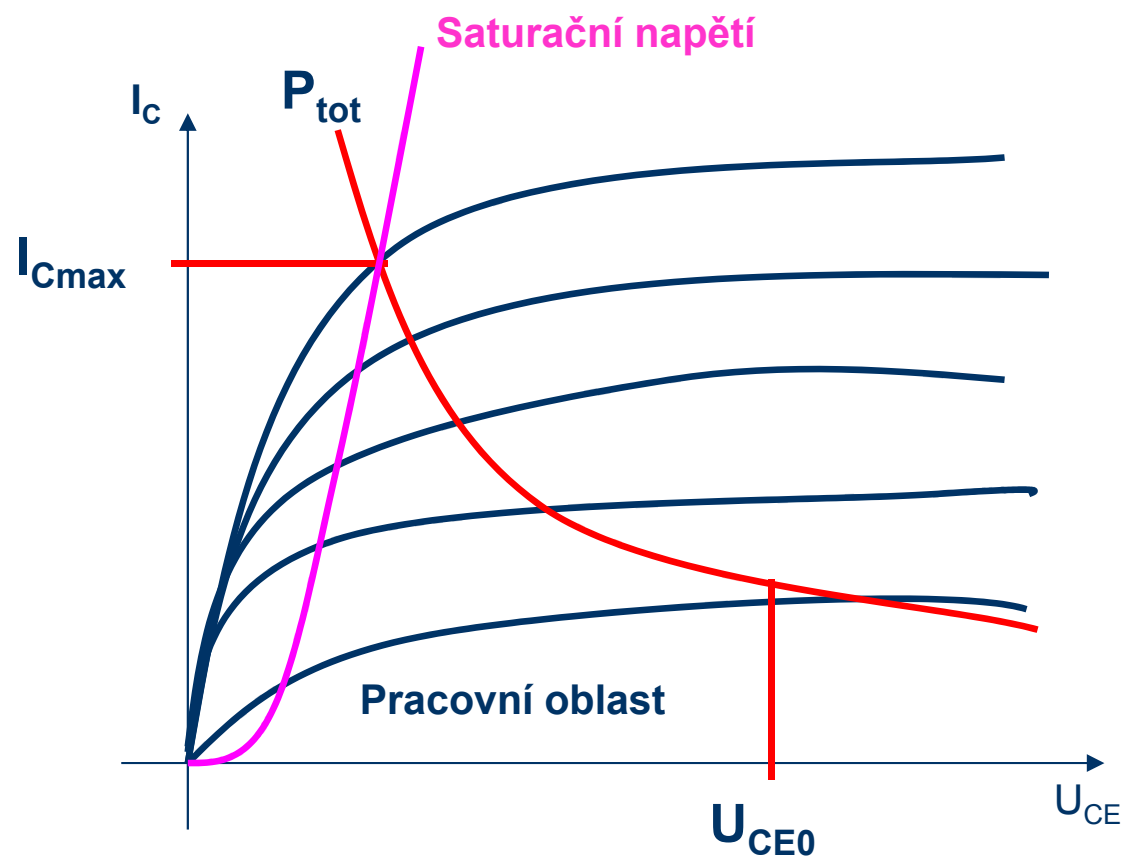
$\beta$ ...stejnoseměrný proudový zesilovací činitel tranzistoru v zapojení se společným emitorem

$B \gg 1$

# BT – zapojení SE - Charakteristika



# BT – zapojení SE – pracovní oblast

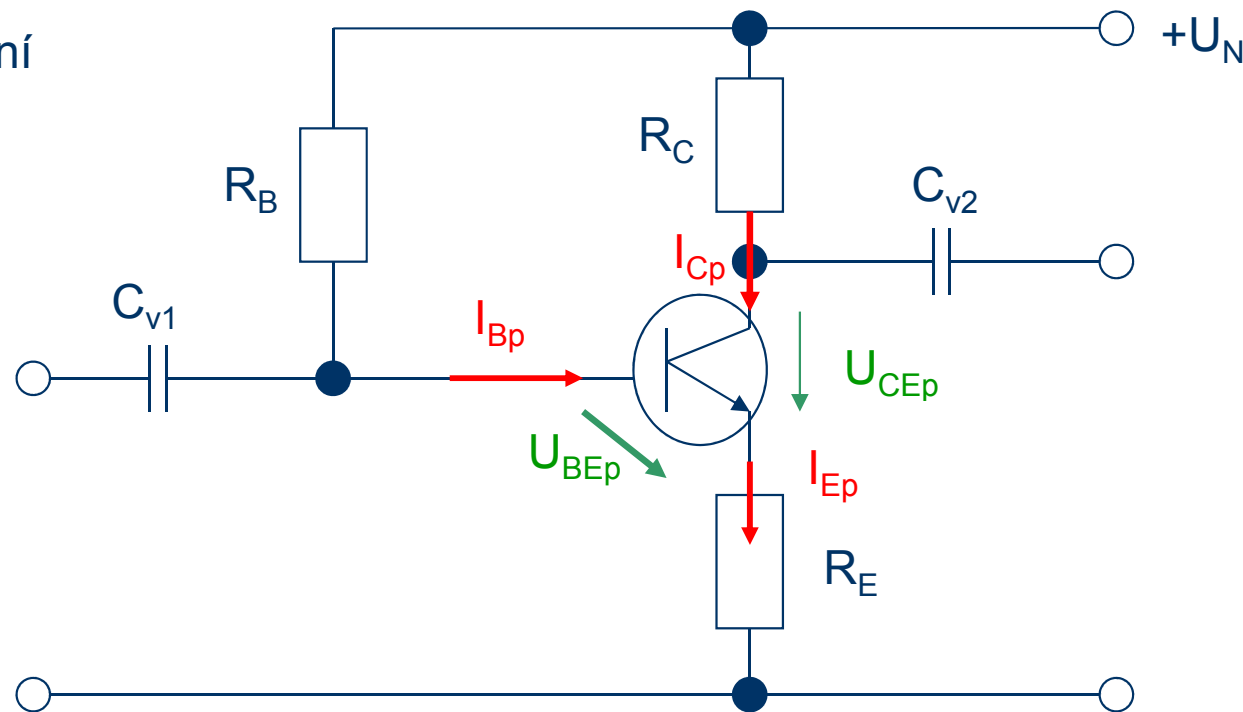


# Nastavení a stabilizace klidového pracovního bodu

*Zadání*

$$U_{CEp} = 5V ; I_{Cp} = 10 mA ; I_{Bp} = 100 \mu A ; U_{BEp} = 0,65 V ; U_N = 12 V$$

Zapojení



## Nastavení a stabilizace klidového pracovního bodu

*Rovnice*

$$OUT : U_N = R_C \cdot I_{Cp} + U_{CEp} + R_E \cdot I_{Ep}$$

$$IN : U_N = R_B \cdot I_{Bp} + U_{BEp} + R_E \cdot I_{Ep}$$

$$I_{Ep} = I_{Bp} + I_{Cp}$$

*Volba  $R_E$*

$$R_E \in \langle 0,05 ; 0,3 \rangle \cdot R_C$$

$$U_{RE} \in \langle 0,1 ; 0,2 \rangle \cdot U_N$$

$$U_{RE} \in \langle 1 ; 2 \rangle V$$

## Nastavení a stabilizace klidového pracovního bodu

Výpočet :

$$OUT : U_N = R_C \cdot I_{Cp} + U_{CEp} + R_E \cdot I_{Ep}$$

$$R_C = \frac{U_N - U_{CEp} - R_E \cdot I_{Ep}}{I_{Cp}}$$

$$R_E = 0,1 \cdot R_C$$

$$R_C = \frac{12 - 5}{10 \cdot 10^{-3} + 0,1 \cdot (10 \cdot 10^{-3} + 100 \cdot 10^{-6})}$$

$$\underline{\underline{R_C = 635,79 \ \Omega}} \Rightarrow \underline{\underline{R_E = 63,579 \ \Omega}}$$

$$IN : U_N = R_B \cdot I_{Bp} + U_{BEp} + R_E \cdot I_{Ep}$$

$$R_B = \frac{U_N - U_{BEp} - I_{Ep} \cdot R_E}{I_{Bp}}$$

$$R_B = \frac{12 - 0,65 - 0,0101 \cdot 63,579}{100 \cdot 10^{-6}}$$

$$\underline{\underline{R_B = 107078,5 \ \Omega = 107 \ k\Omega}}$$



# Rozdělení FETŮ

## JFET

- objemový tranzistor řízený el. Polem
- řízení vodivosti se uskutečňuje elektronickým řízením průřezu kanálu pomocí prostorového náboje (závěrná vrstva)

## IGFET

- tranzistor řízený el. Polem s izolovaným hradlem
- Řízení vodivosti se uskutečňuje změnou koncentrace volných nosičů náboje v kanálu pomocí elstat. indukce

## PN-JFET

- FET s PN přechodem – na řízení průřezu kanálu se používá prostorový náboj závěrné vrstvy PN přechodu

## MESFET

- FET se Schottkyho bariérou
- k řízení průřezu kanálu slouží prostorový náboj v ochuzené vrstvě Schottkyho bariéry kov-polovodič

## MISFET

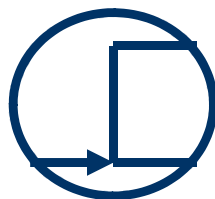
- řídicí elektroda se zhotovuje z kovu (M) nebo polykrystalického křemíku a od tranzistorové struktury se odděluje vrstvou  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  nebo  $\text{Al}_2\text{O}_3$

## TFT

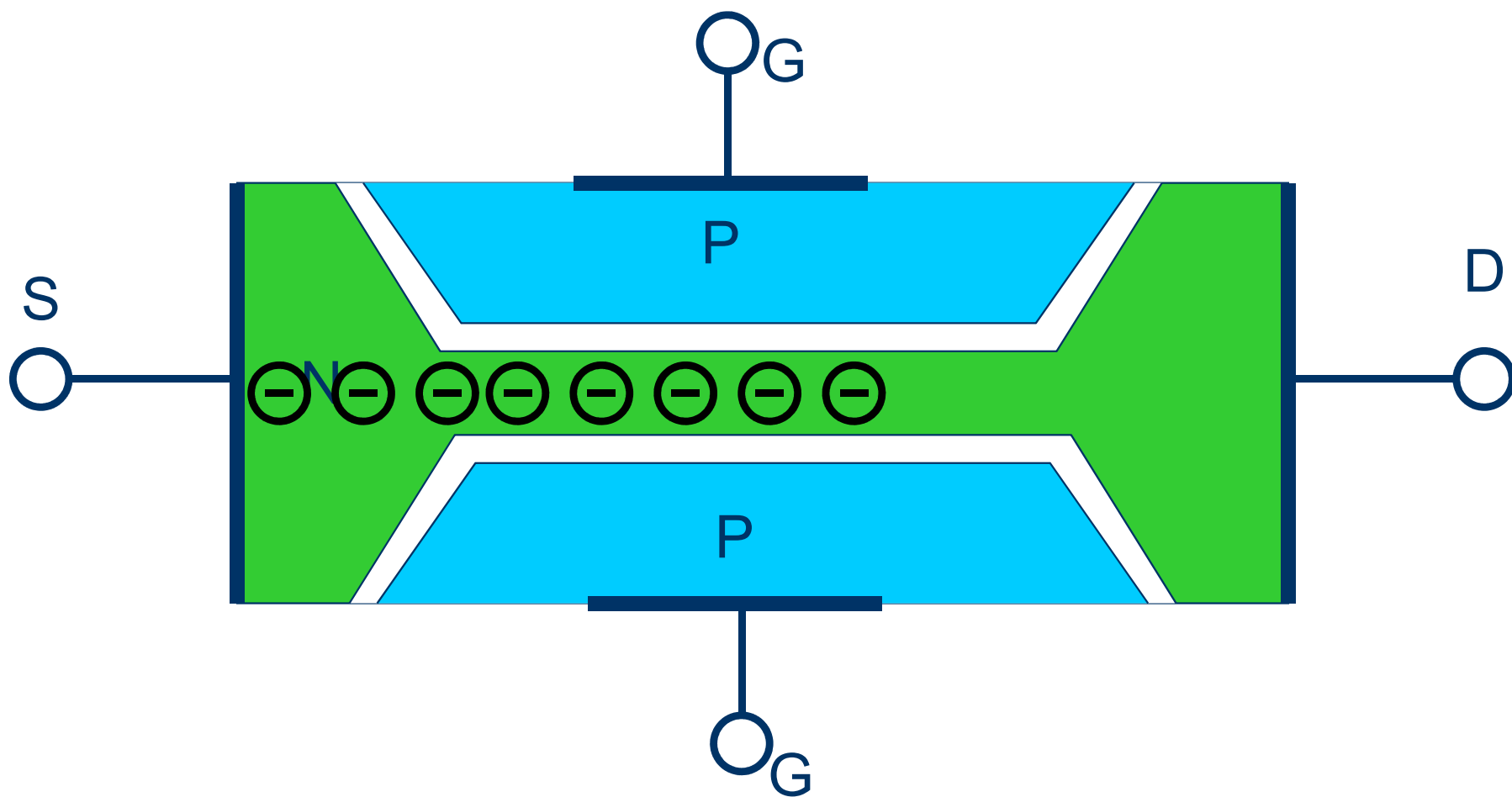
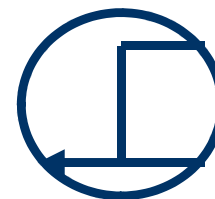
- Tenkovrstvý tranzistor
- všechny složky tranzistoru se nanáší ve formě tenkých vrstev na substrát ze skla nebo keramiky

# JFET

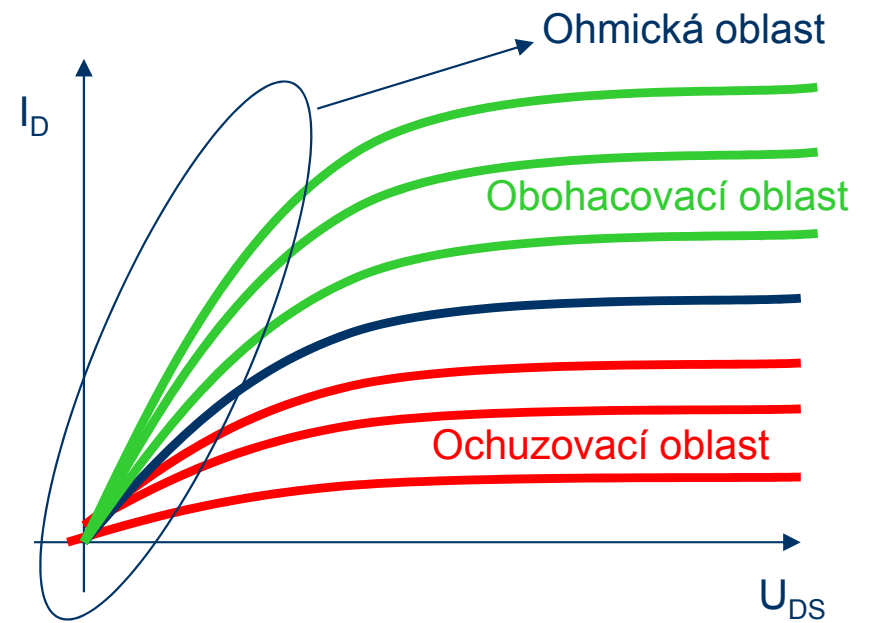
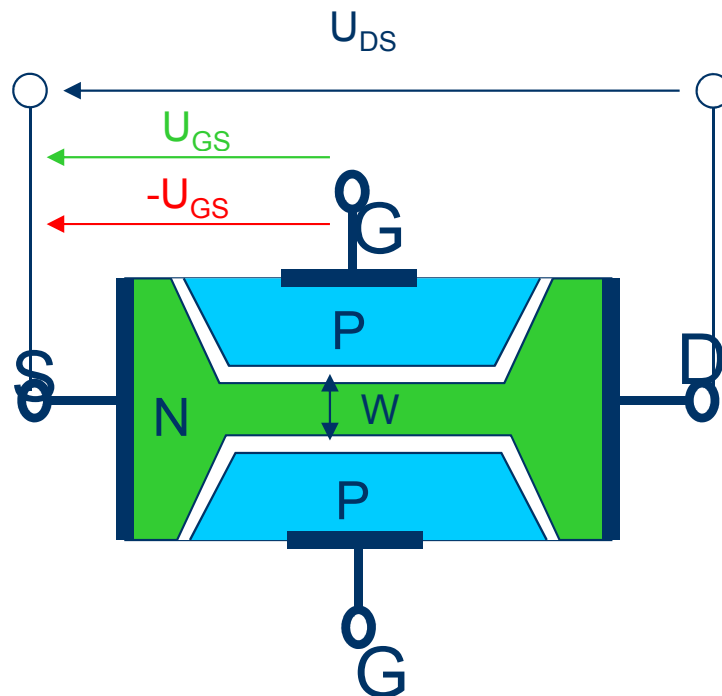
Kanál N



Kanál P



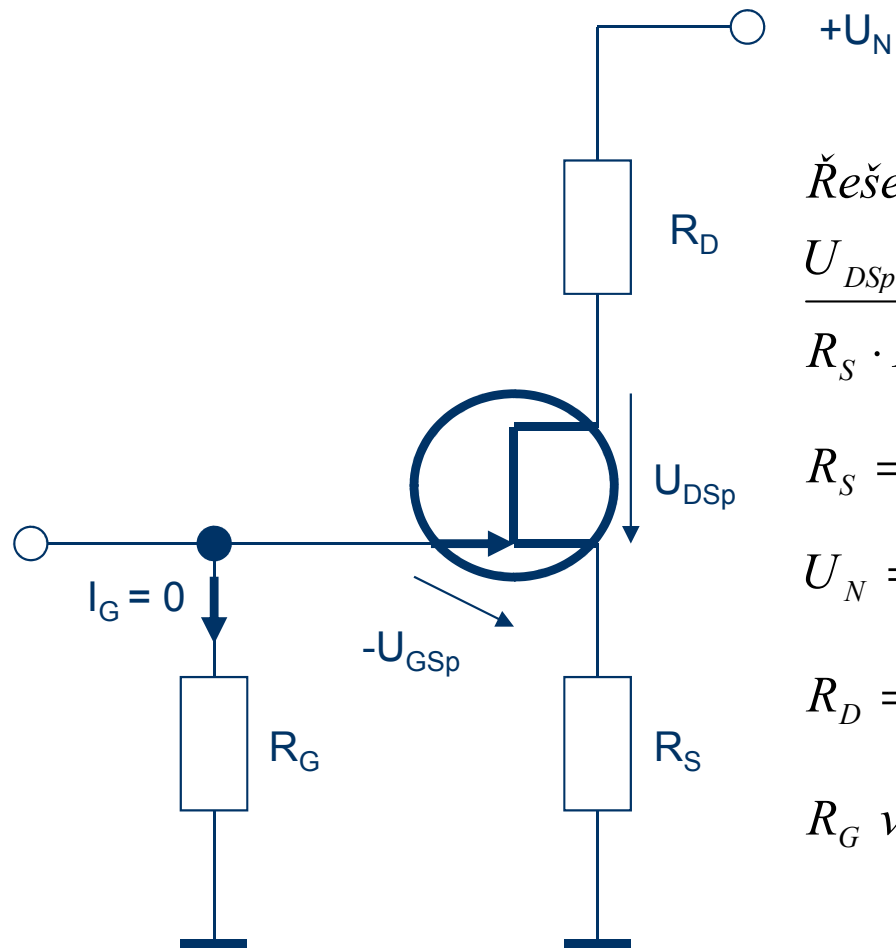
# JFET kanál N s připojeným napětím



V obohacovací oblasti ( $U_{GS}$ ) je PN přechod otevřený → malý odpor, kanál se zužuje

V ochuzovacím režimu ( $-U_{GS}$ ) je PN přechod zavřený → velký vstupní odpor (výhoda), kanál se rozšiřuje

# Ochuzovací režim



*Řešení*

$$\underline{U_{DSp} = 6 V; I_{Dp} = 5 mA; U_{GSp} = -2 V; U_N = 12 V}$$

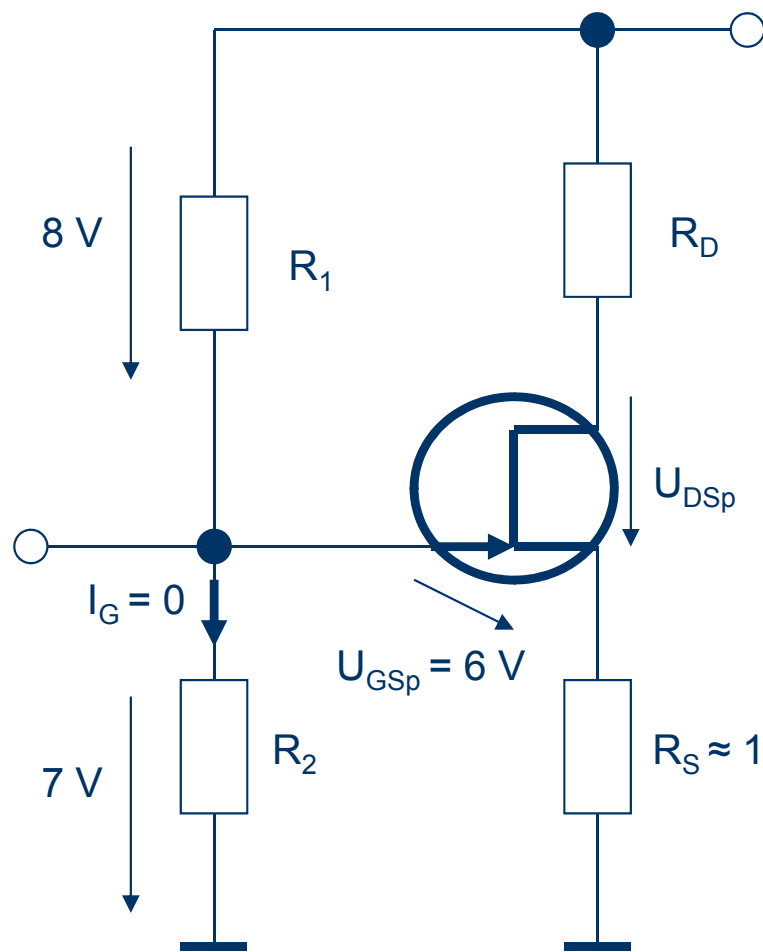
$$R_S \cdot I_{Dp} = 2 V$$

$$R_S = \frac{2}{5 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{400 \Omega}}$$

$$U_N = R_D \cdot I_{Dp} + U_{DSp} + R_S \cdot I_{Dp}$$

$$R_D = \frac{U_N - U_{DSp} - R_S \cdot I_{Dp}}{I_{Dp}} = \frac{12 - 6 - 2}{5 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{800 \Omega}}$$

$R_G$  volíme 3M3



*Řešení*

$$\underline{U_N = 15\text{ V}; U_{DSp} = 8\text{ V}; I_{Dp} = 10\text{ mA}; U_{GSp} = 6\text{ V}}$$

$$R_S = \frac{U_{RS}}{I_{Dp}} = \frac{1}{10} \cdot 10^3 = \underline{\underline{100\ \Omega}}$$

$$R_D = \frac{U_N - U_{DSp} - R_S \cdot I_{Dp}}{I_{Dp}} = \frac{15 - 8 - 1}{10} \cdot 10^3 = \underline{\underline{600\ \Omega}}$$

*Zvolíme proud  $10\ \mu\text{A}$  a podle KZ zjistíme kolik má být  $U$  na  $R_2$*

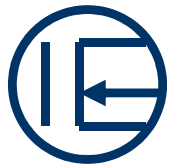
$$R_2 \cdot 10\ \mu\text{A} = 7\text{ V} \Rightarrow R_2 = \frac{7}{10} \cdot 10^6 = \underline{\underline{700\ \text{k}\Omega}}$$

$$R_1 = \frac{8}{10} \cdot 10^6 = \underline{\underline{800\ \text{k}\Omega}}$$

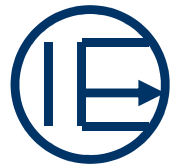
# MOSFET

## MOSFET

S kanálem v normálním  
stavu vodivém  $U_{GS} = 0$   
(s vytvořeným kanálem)  
 $U_{GS} = 0; I_D \neq 0$

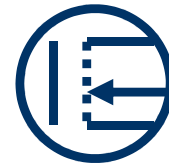


Kanál N

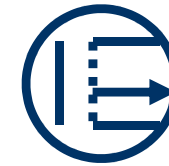


Kanál P

S indukovaným kanálem  
Kanál se vytvoří přivedením  
napětí vhodné polariry a  
velikosti na Gate  
 $U_{GS} = 0; I_D = 0$



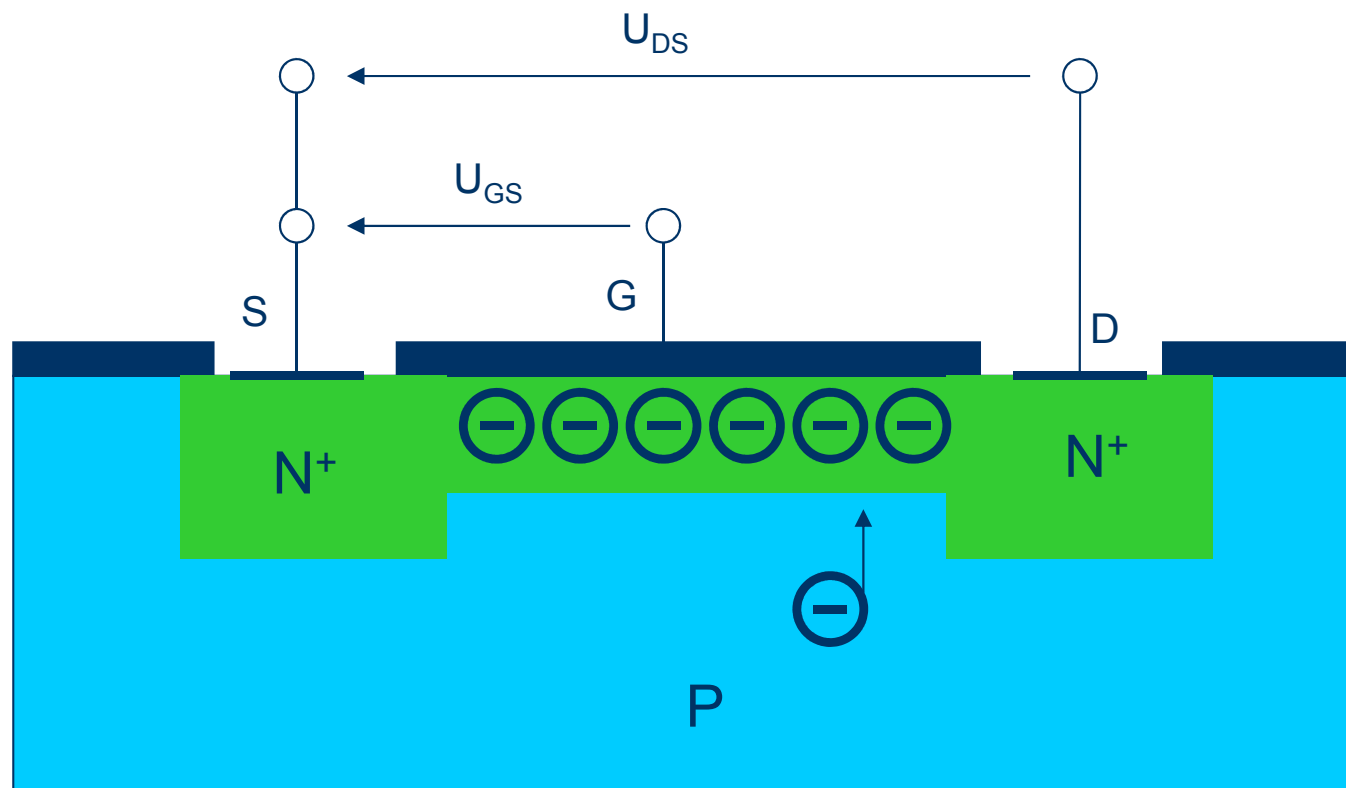
Kanál N s  
indukovaným  
kanálem



Kanál P s  
indukovaným  
kanálem

# MOSFET s indukovaným kanálem N

- Princip



# Klidový pracovní bod

- U MOSFETŮ je nastavení a stabilizace pracovního bodu stejná jako u JFETŮ jak v ochuzovacím, tak v obohacovacím režimu.

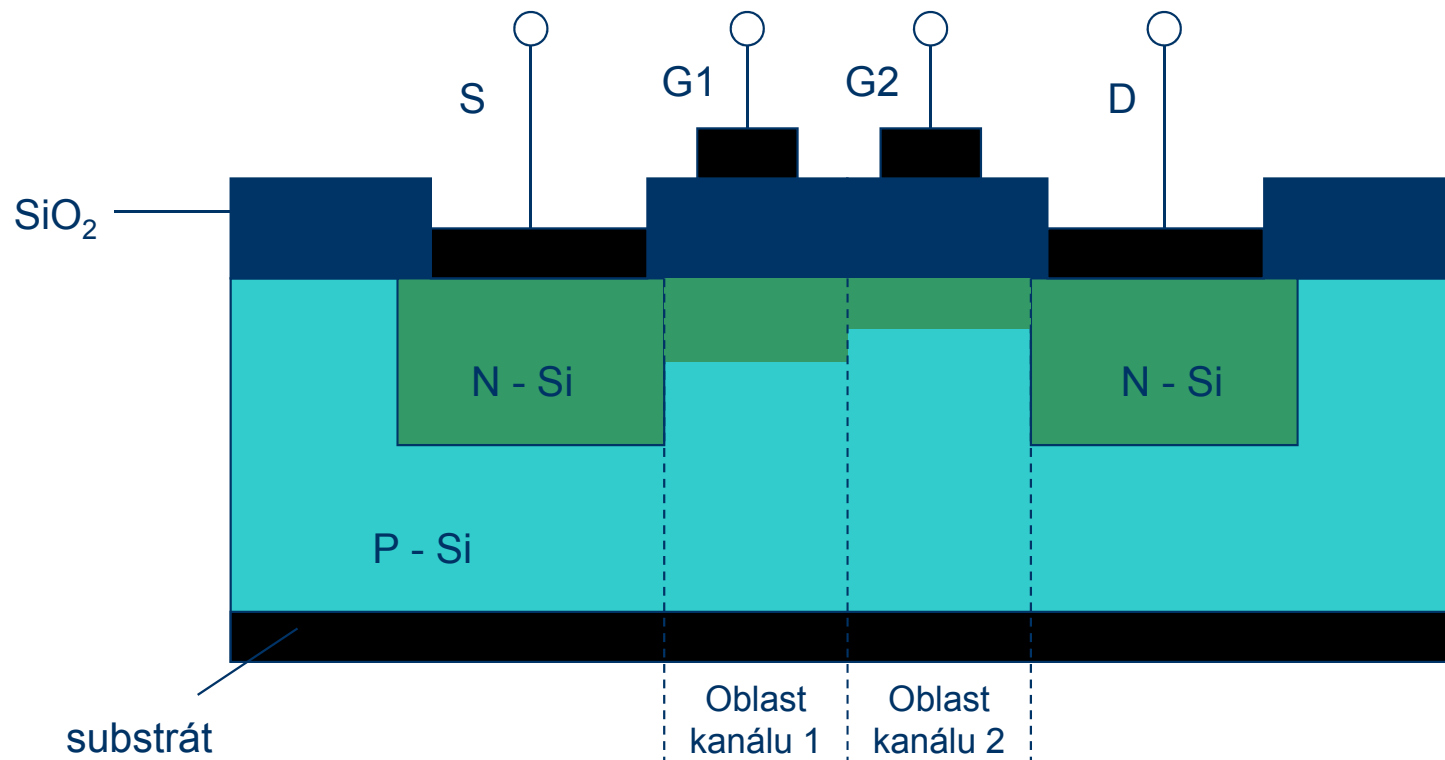
*Zesílení*

$$Au = \frac{u_2}{u_1}$$



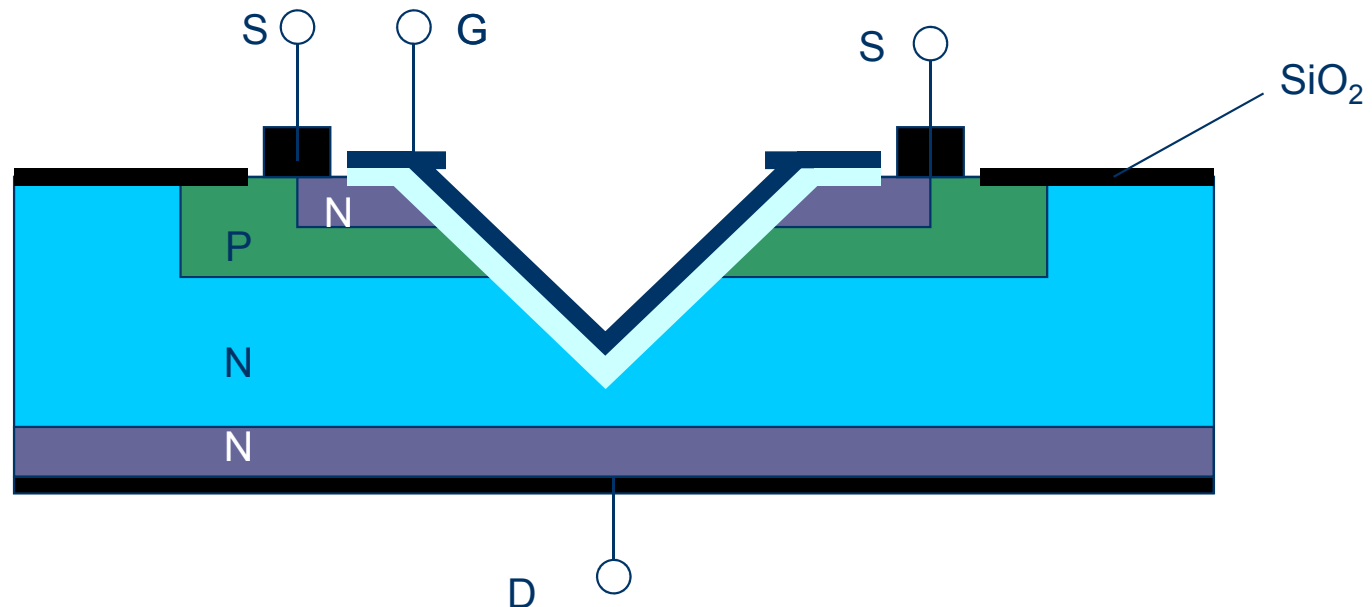
# MOSFET – dual gate

- Je zvláštním konstrukčním provedením ochuzovaného MOSFETU (s vodivým kanálem). Proud v něm protéká dvěma sériově řazenými částmi kanálu. Vodivost každé části je zcela nezávisle ovlivňována vlastním hradlem.

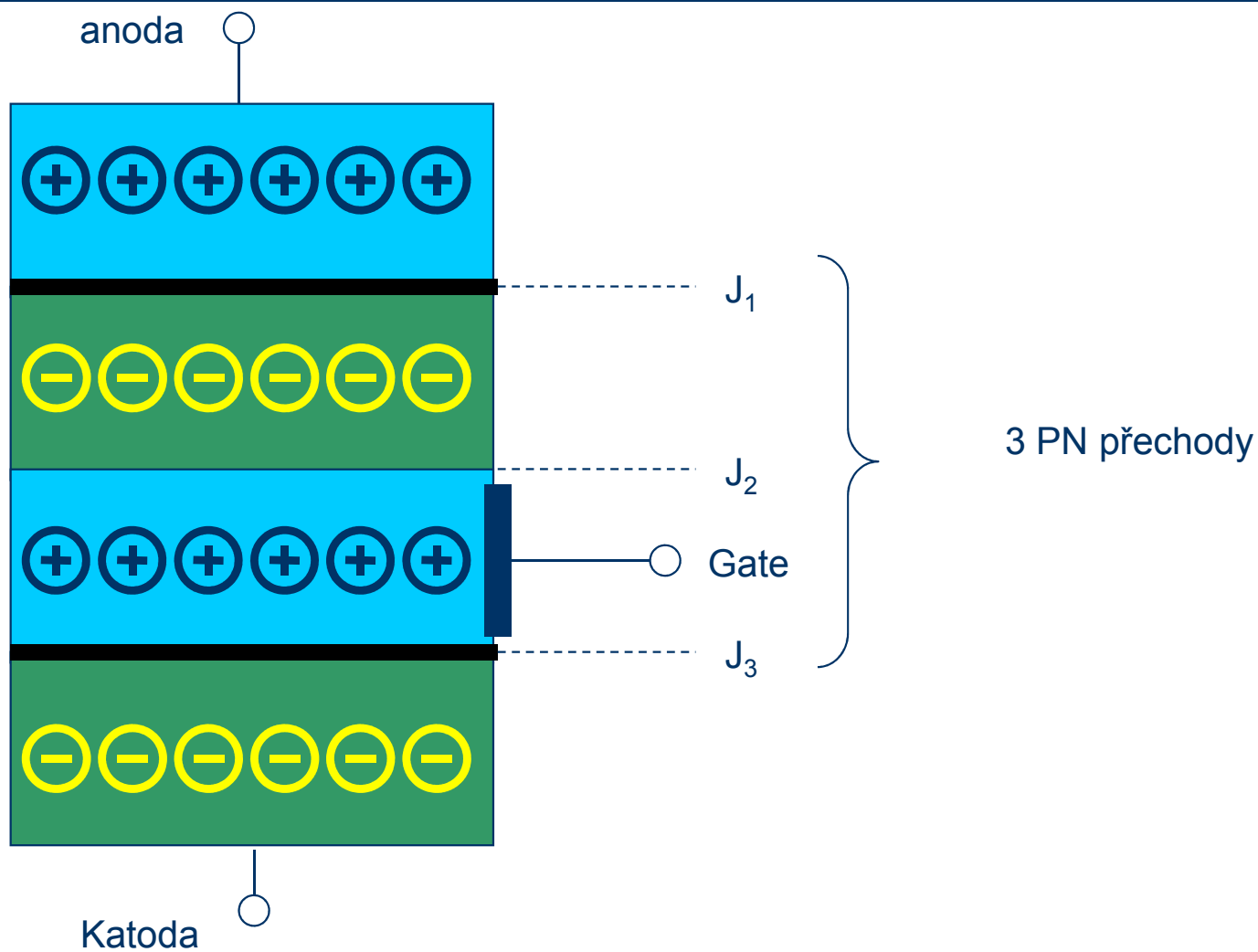
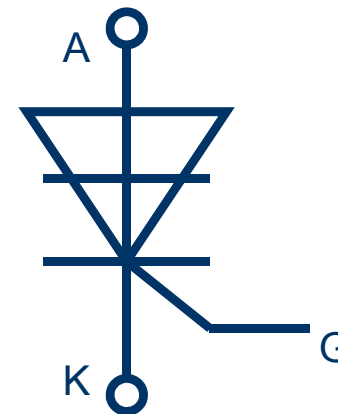


# VMOSFET

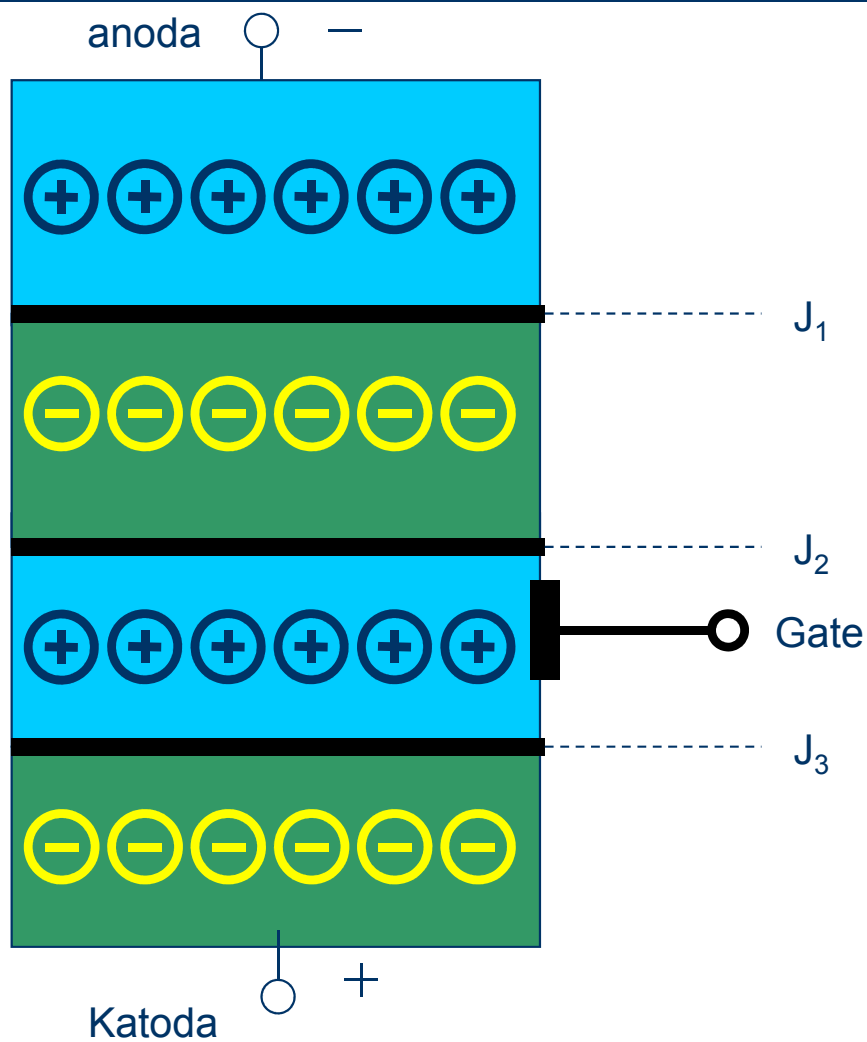
- S dříve probíranými FETY je možné zesilovat nebo spínat jen poměrně malé výkony. Důvod spočívá v poměrně dlouhém kanálu (asi  $5\mu\text{m}$ ) s odporem asi od  $1\text{k}\Omega$  do  $10\text{k}\Omega$ . Při dnešních výrobních možnostech je možné vyrábět tranzistory, které mají místo obvyklého horizontálního uspořádání vrstev strukturu vertikální. Výsledkem jsou vyšší přípustné proudy a napětí, takže je možné zesilovat nebo spínat vyšší výkony. Odpor kanálu VMOSFET je  $1\Omega$  až  $5\Omega$  a délka  $1,5\mu\text{m}$ .



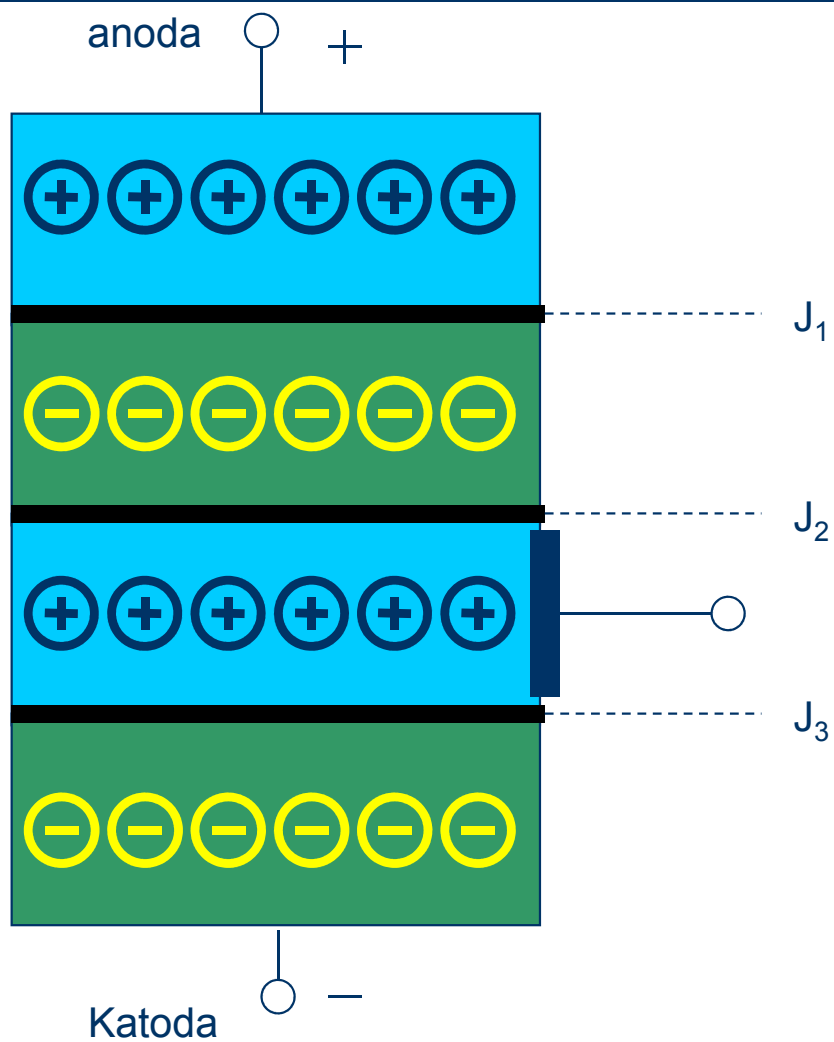
# TYRISTOR - struktura



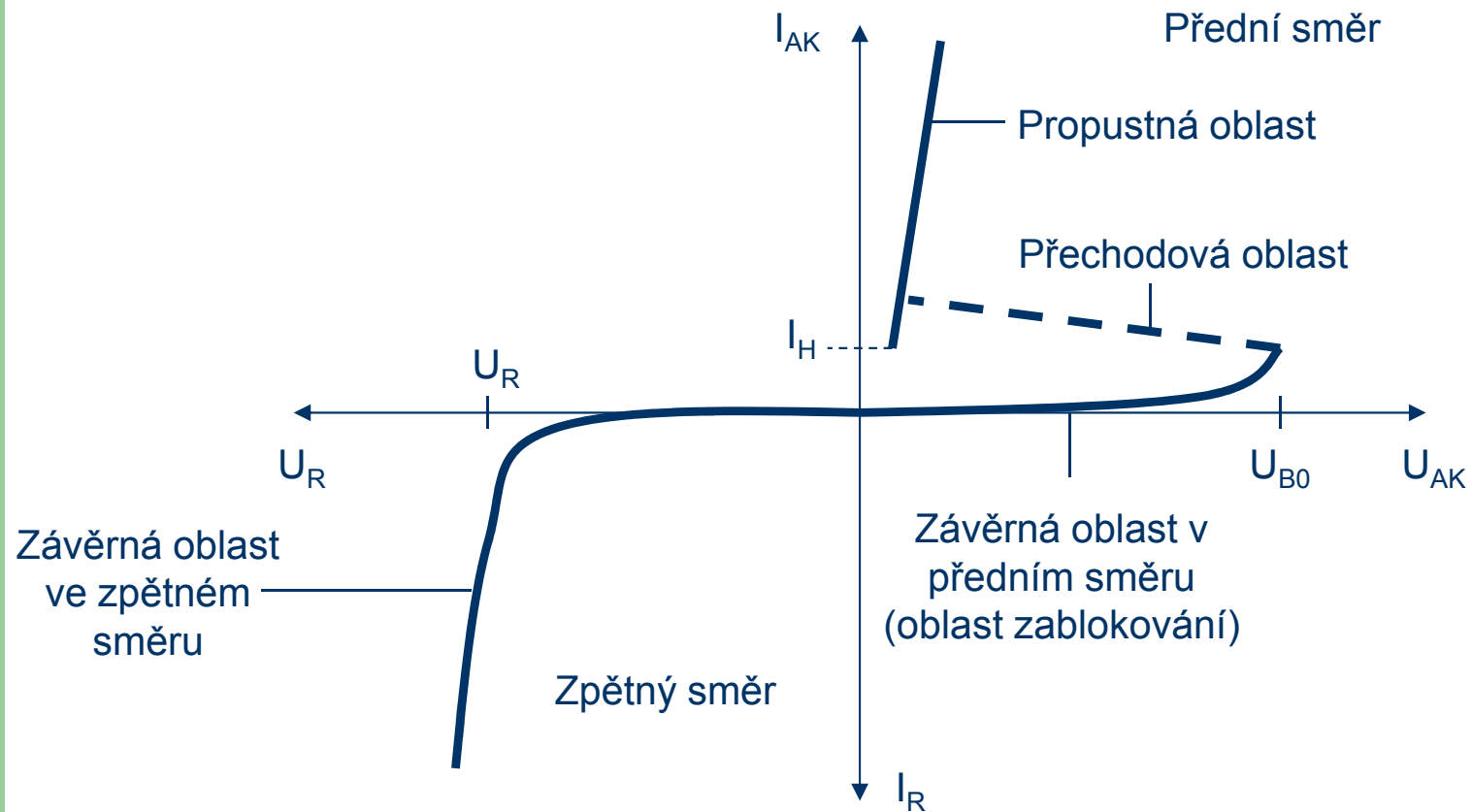
# TYRISTOR – závěrný směr



# TYRISTOR – propustný směr

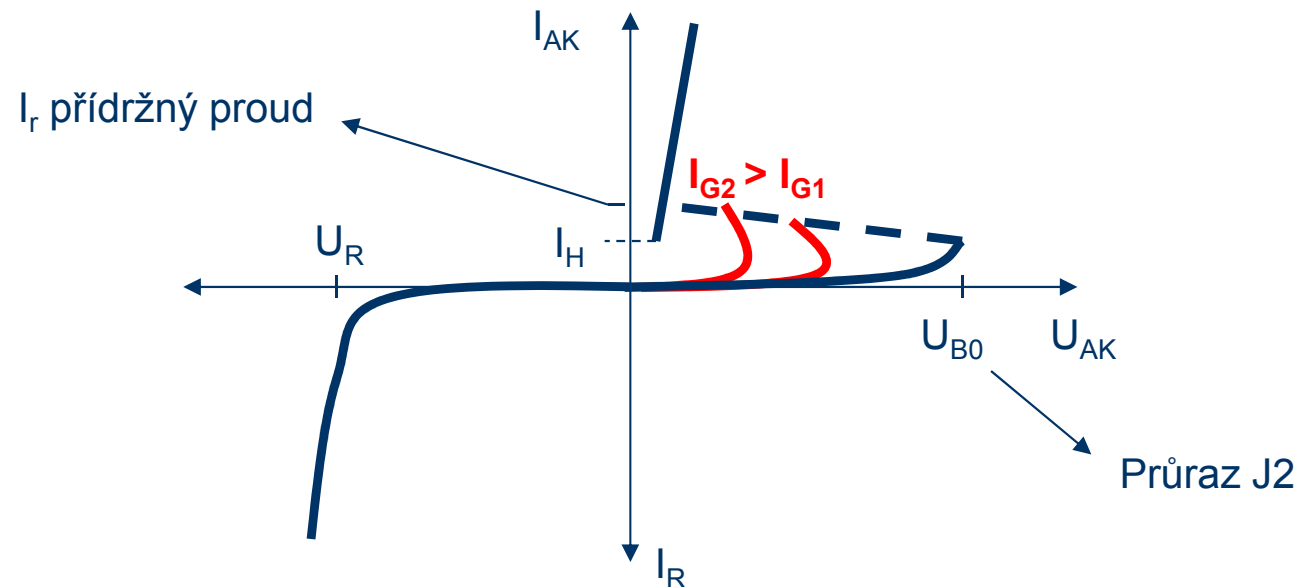


# TYRISTOR - charakteristika



# TYRISTOR - spínání

- Připojením zdroje  $U_G$  začne přes začne přes J3 téct proud  $I_G$ , nosiče dodávané tímto zdrojem se dostávají do blízkosti J2 a snižují jeho odpor, při určité hodnotě  $U_{AK}$  se tento přechod prorazí a začne téct proud  $I_{AK}$  – tyristor se otevře.
- Aby se tyristor udržel v sepnutém stavu, musíme vnějšími obvody zabezpečit, že  $I_{AK}$  neklesne pod hodnotu přídržného proudu  $I_r$



# TYRISTOR - otevírání

1. Pomocí zvyšování  $U_{AK}$
2. Pomocí proudu  $I_G$  v řídicí elektrodě (gate)
3. Zvýšením teploty
4. Světlem (fototyristory) - do struktury se dá okénko, světlo prochází na J2, světlo odpovídá  $I_G$
5. Velkou strmostí  $U_{AK}$  !

$$\frac{dU_{AK}}{dt} < \frac{dU_{AK}}{dt} \text{ ————— kritické}$$

$\Delta \rightarrow d$ , když je změna velmi malá



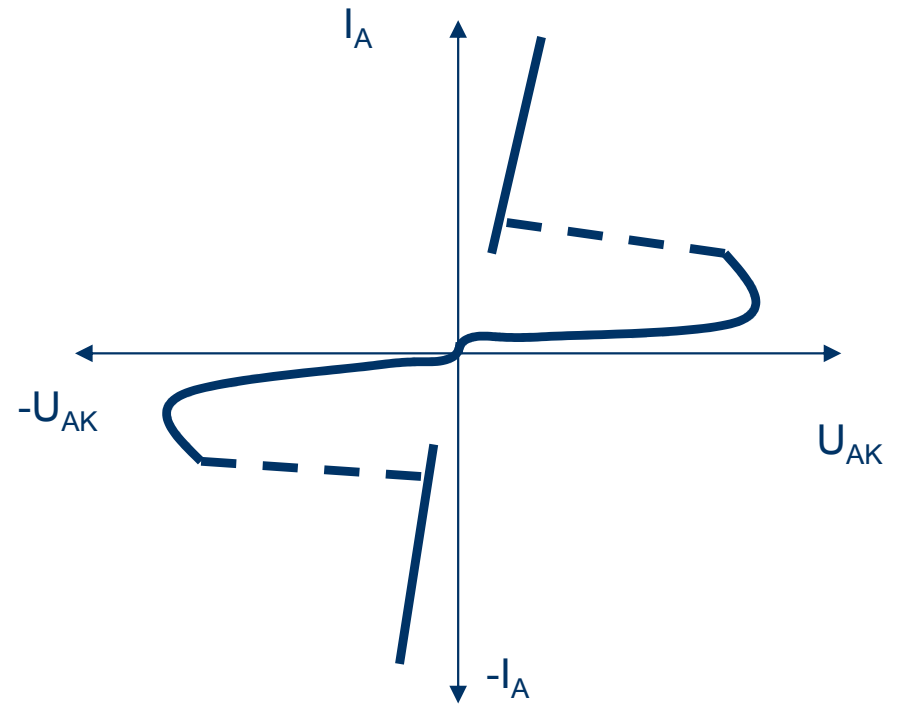
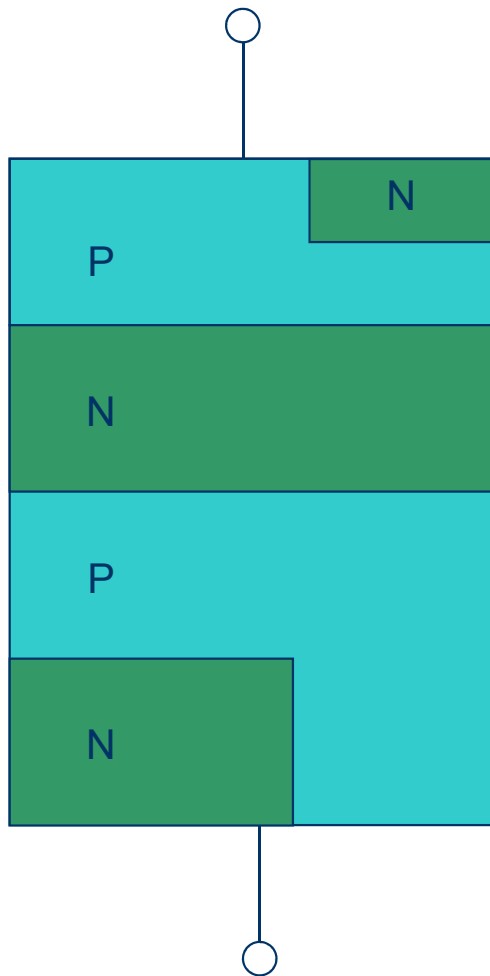
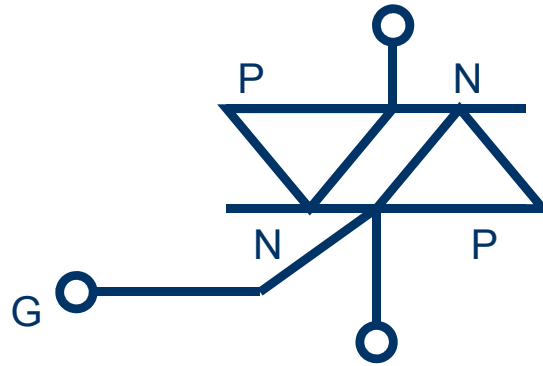
# TYRISTOR - vypnutí

- Běžný typ tyristoru nevypneme odpojením  $U_G$  ani jeho opačnou polaritou
  1. Komutaci  $U_{AK} \rightarrow$  opačná polarita -  $U_{AK}$
  2.  $I_{AK} < I_H$  vratný proud;  $I_H < I_r$

# DIAK

- Pro dosažení strmých pulsů

# TRIAK



# Optosoučástky

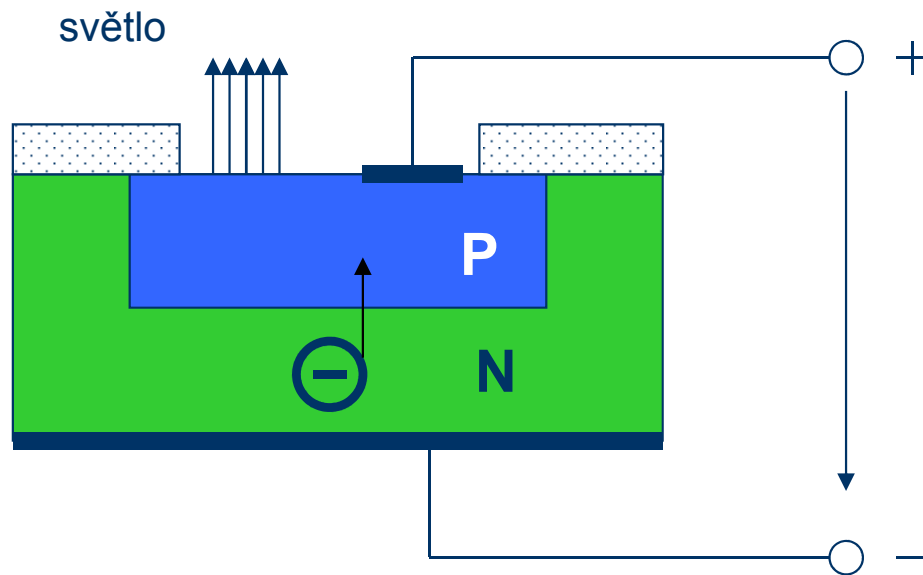
- Součástky emitující světlo

LED diody – light emission diode

Barva	$U_F (I_F=20\text{mA})$
Modrá – 480 nm	3,4 V
Zelená	2,2 V
Žlutá	2,2 V
Oranžová	2,0 V
Červená – 690 nm	1,6 V
Infračervená	

# LED diody

- Jsou pouze monochromatické – vyzařují pouze jednu barvu, ostatní jsou potlačeny



PN přechod – propustný směr – elektronů v N je podstatně více než děr v P

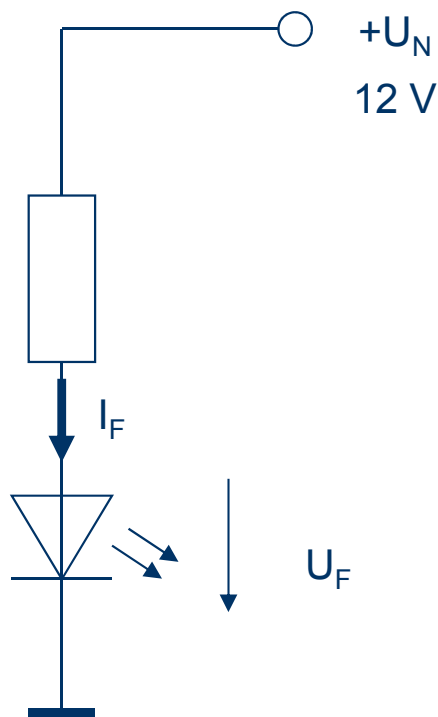
Elektrony přecházejí do P a díry rekombinují

Barva je dána materiálem

$h \cdot \nu = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot \nu$  Vlnočet

Vlnočet určuje barvu

# Výpočet předřadného odporu



$$U_N = R_S \cdot I_F + U_F$$

$$R_S = \frac{U_N - U_F}{I_F}$$

*chceme aby svítila zeleně*

$$\underline{U_F = 2,2; I_F = 20\text{mA}}$$

$$R_S = \frac{12 - 2,2}{20} \cdot 10^3 = \frac{9,8}{20} \cdot 10^3 = \underline{\underline{490\ \Omega}}$$