

### 5.1 Ideální a reálná dioda

Ideální a reálná polovodičová dioda, I-V charakteristika, struktura

### 5.2 Dioda v propustném směru

Průběh propustného úbytku v závislosti na proudu

### 5.3 Dioda v závěrném směru

Závěrná charakteristika a průraz, vliv teploty a dotace

### 5.4 Dynamické parametry diod

Propustné a závěrné zotavení, doba závěrného zotavení, komutace diody

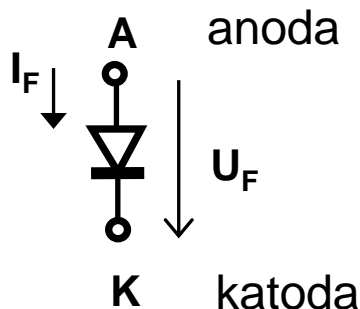
### 5.5 Dioda v obvodu

Parametry, určení polohy pracovního bodu, náhradní lineární model

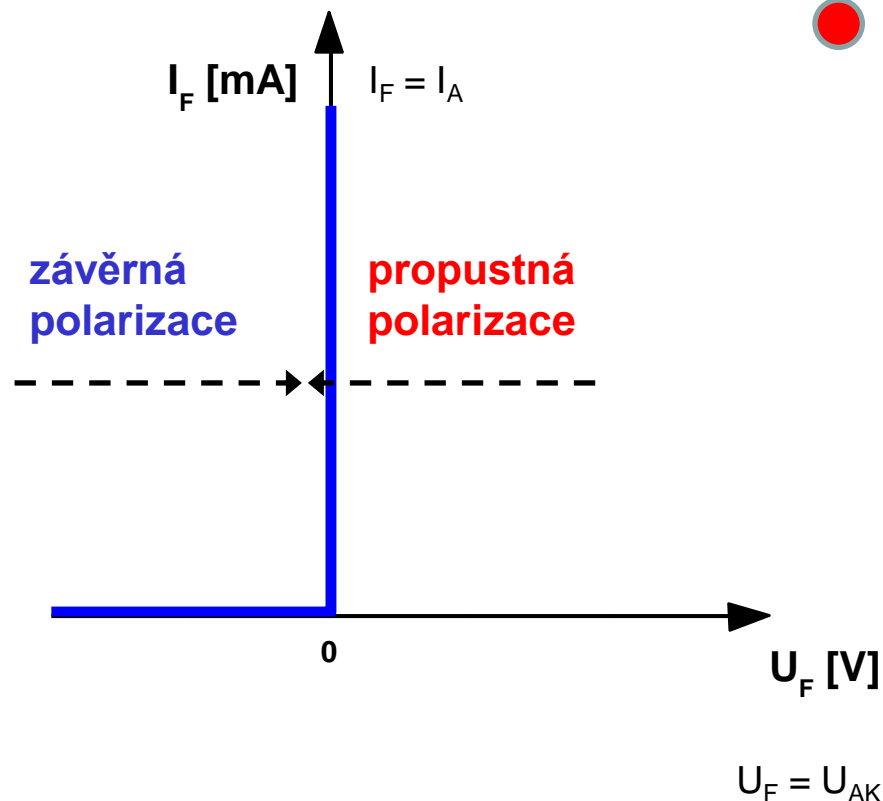
### 5.6 Typy polovodičových diod

Rozdělení, Schottkyho a Zenerova dioda, varikap, tunelová dioda

# 5.1 Ideální dioda



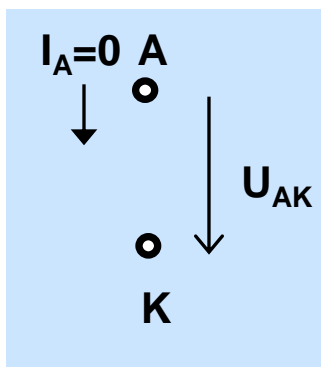
- nelineární dvojpól
- pracuje jako jednocestný ventil  
(propouští proud pouze jedním směrem)
- v propustném směru je schopna vést libovolný proud při nulovém úbytku napětí
- v závěrném směru blokuje libovolné napětí



## závěrná polarizace

$$U_{AK} < 0 \Rightarrow I_A = 0$$

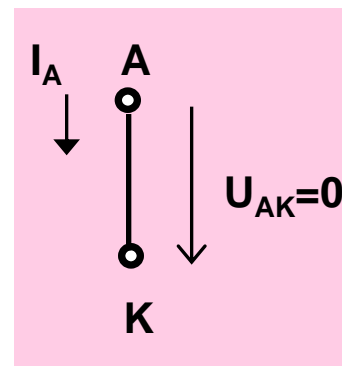
nevede proud



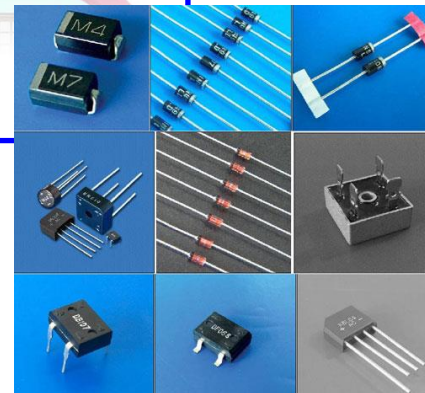
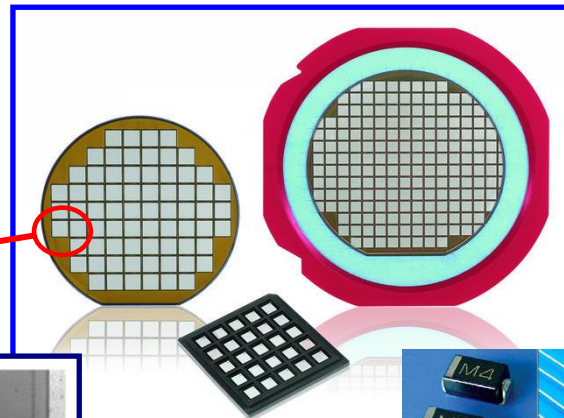
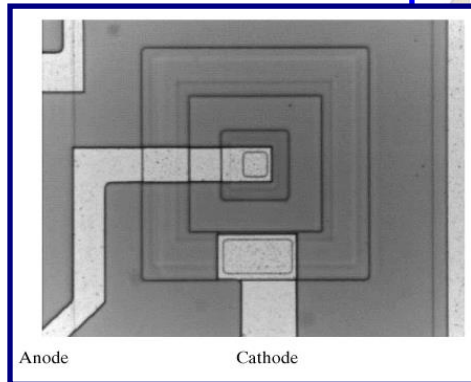
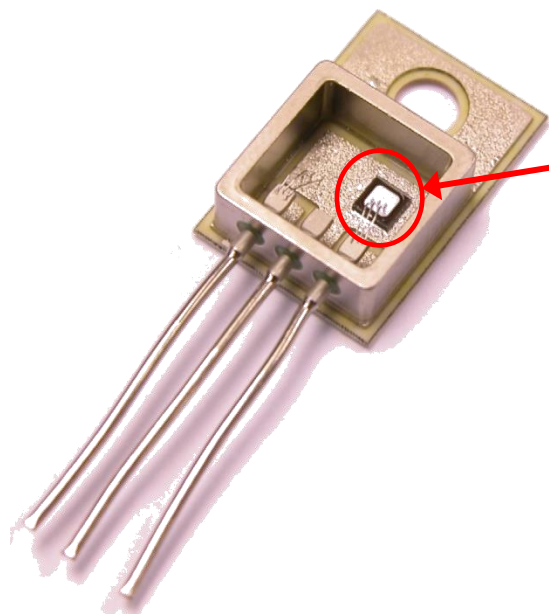
## propustná polarizace

$$I_A > 0 \Rightarrow U_{AK} = 0$$

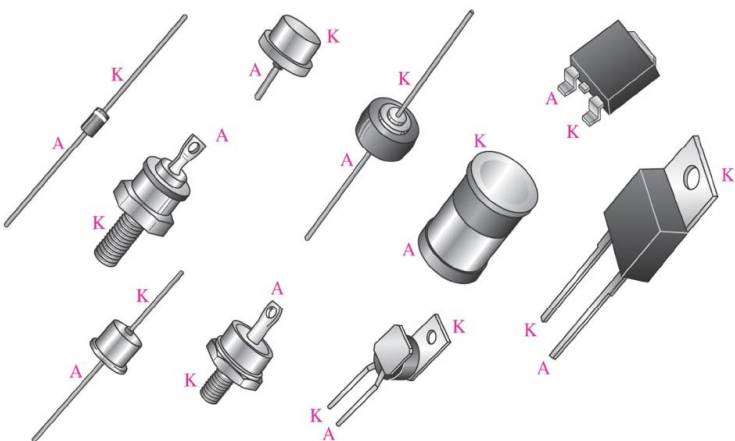
vede proud při  
nulovém úbytku napětí



# 5.1 Polovodičová dioda

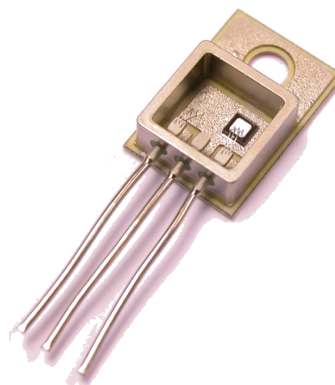
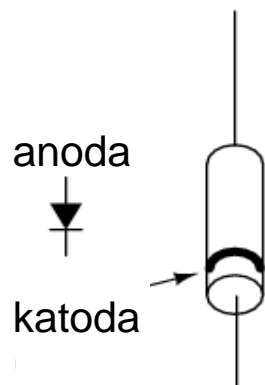
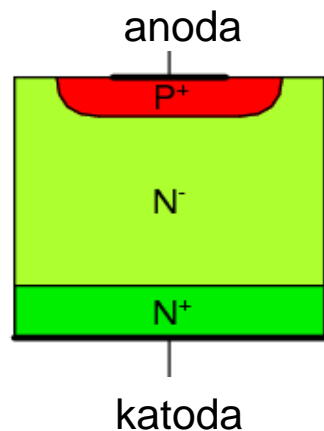


- součástka, kterou tvoří pouzdro a vlastní polovodičová dioda (struktura, která využívá nelinearity IV charakteristiky přechodu PN, MS, apod.)
- vlastnosti polovodičové diody a ideální diody jsou odlišné (propustný úbytek apod.)
- má řadu parazitních vlastností (kapacita, odpor, akumulovaný náboj, apod.)
- lze využít různým způsobem (usměrnění, omezení a násobení el. signálu, detektor záření, proměnný kapacitor a odpor, apod.)



# 5.1 Struktury a výroba

**čipová dioda** (z desky se vyrobí více diod)



(a) N-type wafer



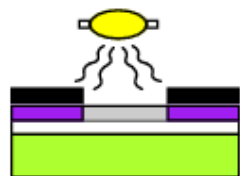
(b) grow  $\text{SiO}_2$



(c) apply photoresist



(d) place mask



(e) expose



(f) remove mask



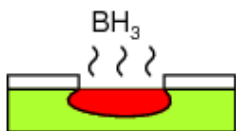
(g) develop resist



(h) HF etch



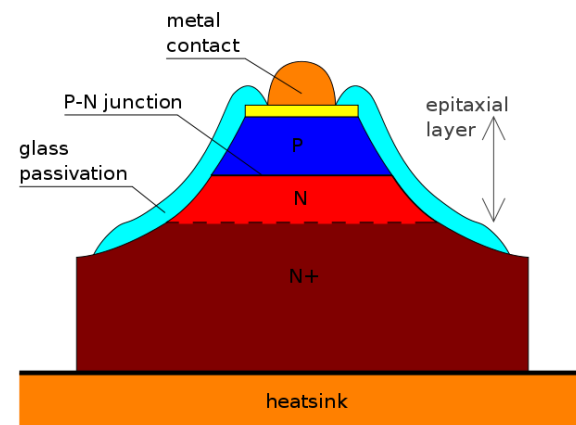
(i) strip resist



(j) P-type diffusion

Dioda bývá obvykle tvořena přechodem P+N, kontaktním přechodem NN+ a dvěma přechody kov/polovodič (kontakty)

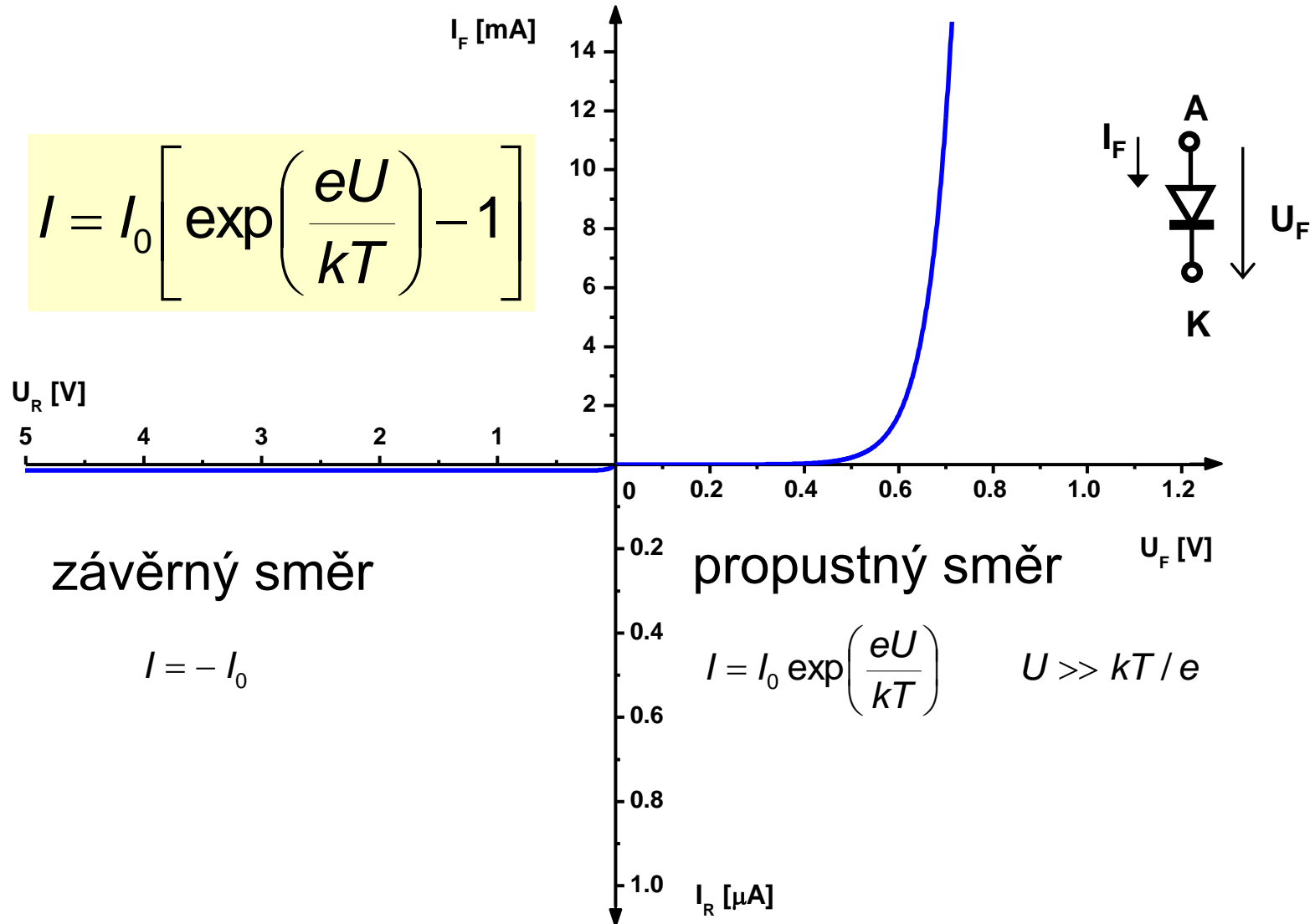
**plošná (waferová) dioda**  
(z desky vyrobí jedna dioda)



**hrotová dioda** (historický prvek využívající pro usměrnění hrotový Schotkyho kontakt)

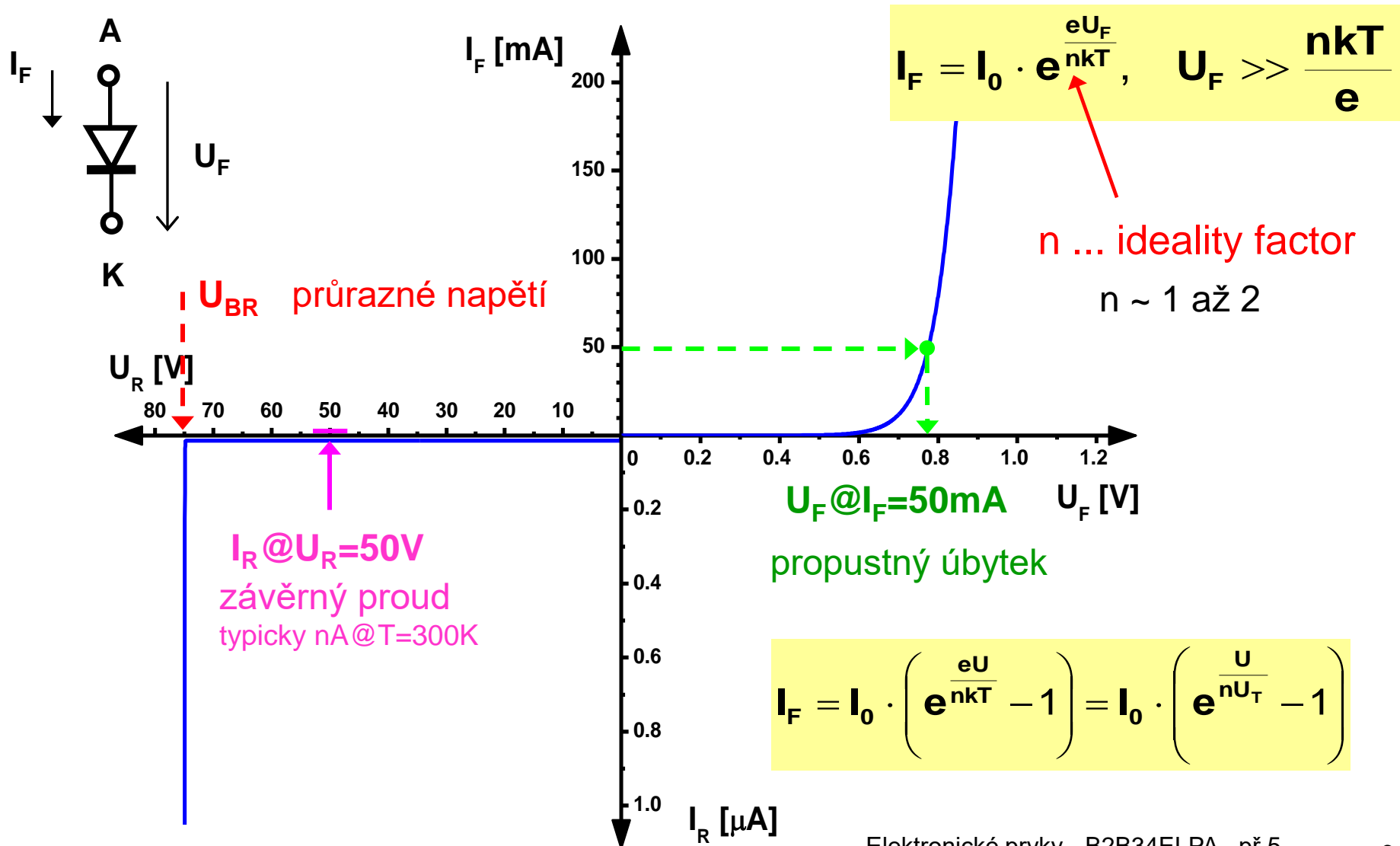
# 5.1 Ideální V-A charakteristika diody

Polovodičová dioda využívá nelinearity VA charakteristiky přechodu PN resp. MS. Ideální charakteristika je popsána Shockleyho rovnicí pro PN přechod :

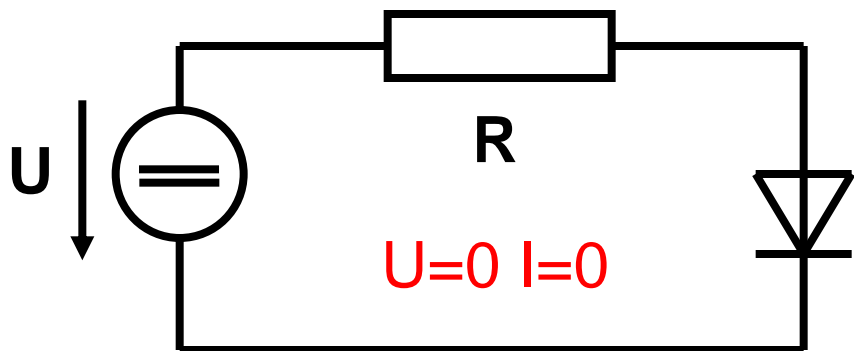


# 5.1 Reálná VA charakteristika diody

je odlišná od ideální – uvažuje průraz diody, závěrný proud způsobený generačními centry, sériový odpor polovodiče apod.



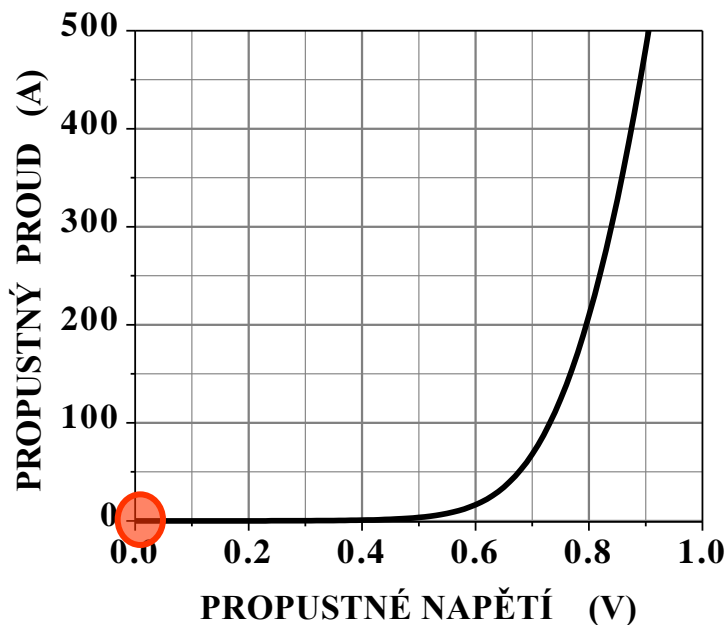
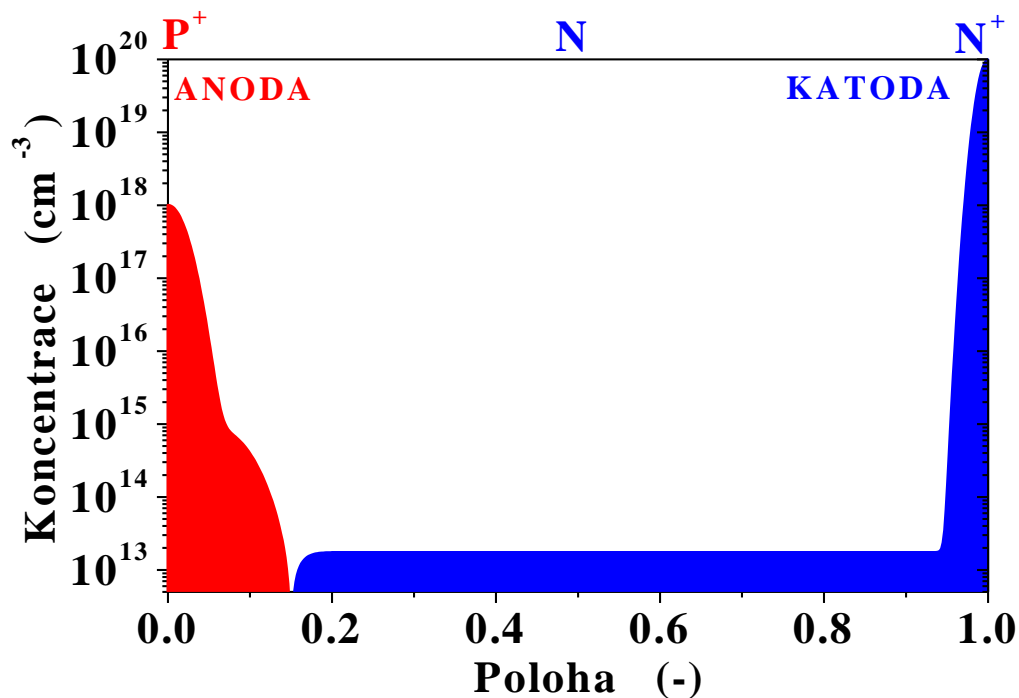
## 5.2 Propustná charakteristika diody



Diodou neteče proud.

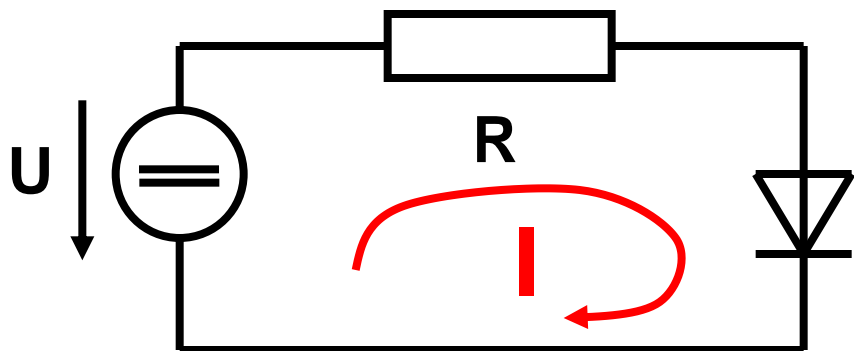
Oblast PN přechodu diody je bez nositelů náboje (existuje oblast prostorového náboje OPN, jejíž šířka je dána difúzním napětím a dotací).

Diferenciální odpor diody je nekonečně velký.



$$R_{DIF} \rightarrow \infty$$

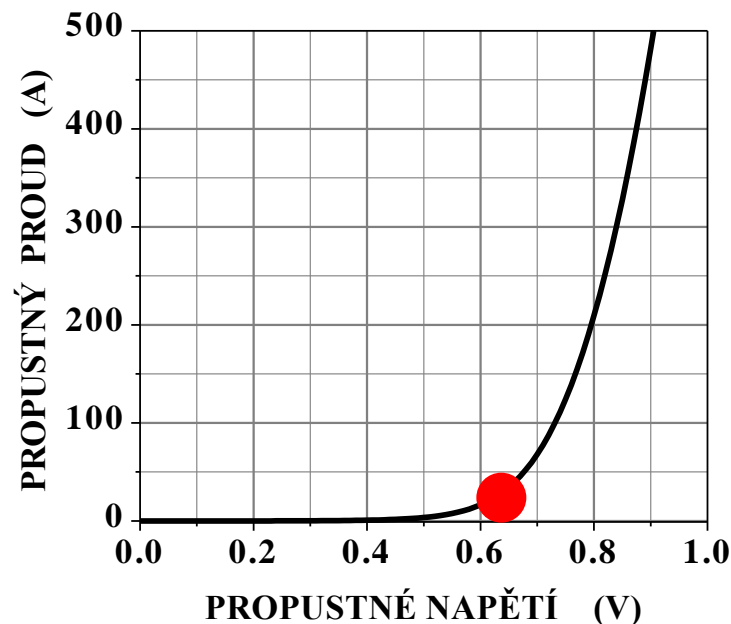
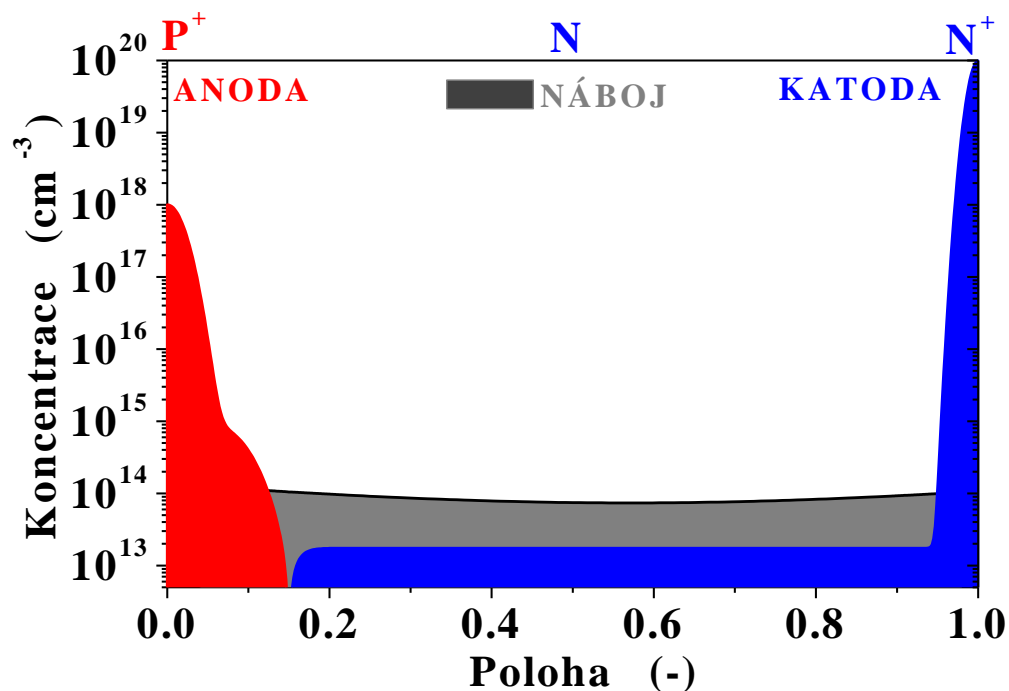
## 5.2 Propustná charakteristika diody



Napětí na diodě přesáhlo hodnotu difúzního napětí, diodou prochází proud.

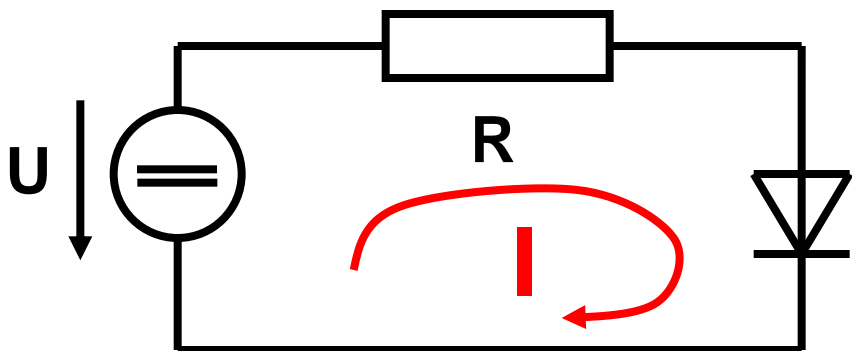
Oblast PN přechodu se postupně zaplavuje nositeli náboje, OPN mizí.

Diferenciální odpor diody se začíná snižovat -  $R_d \sim U_T / I_F$





## 5.2 Propustná charakteristika diody

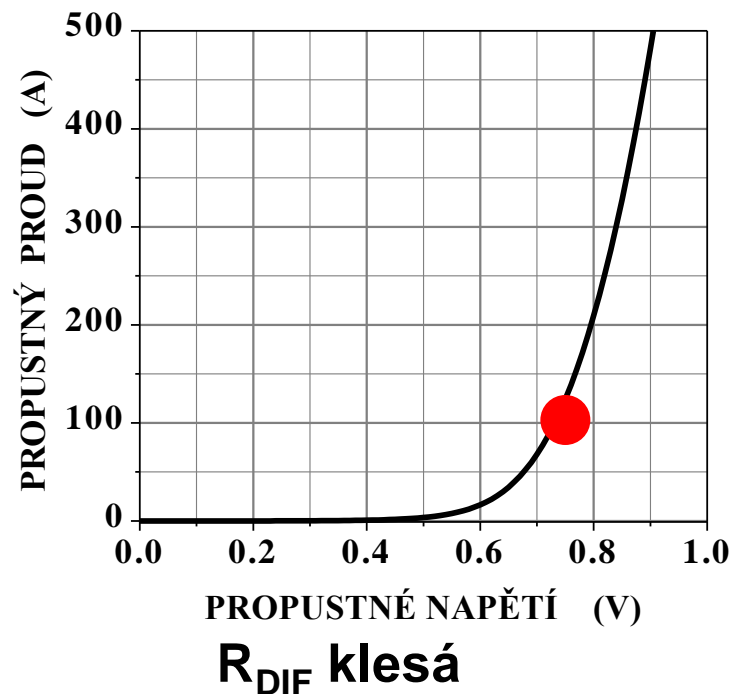
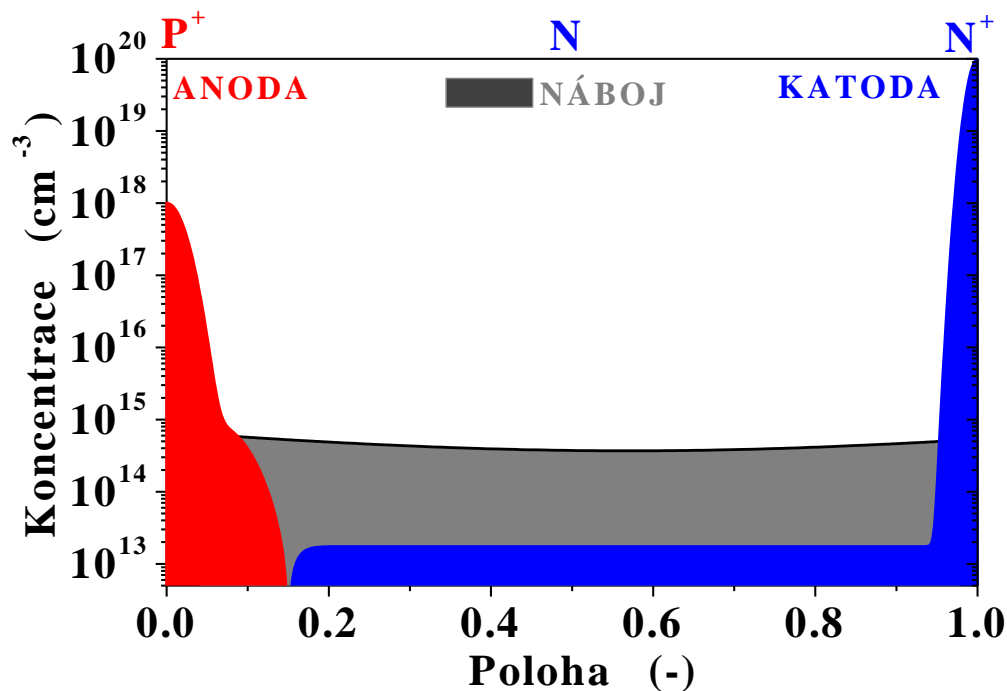


Koncentrace injekovaných minoritních nositelů náboje v oblasti přechodu přesahuje dotaci – dochází k tzv. vysoké injekci.

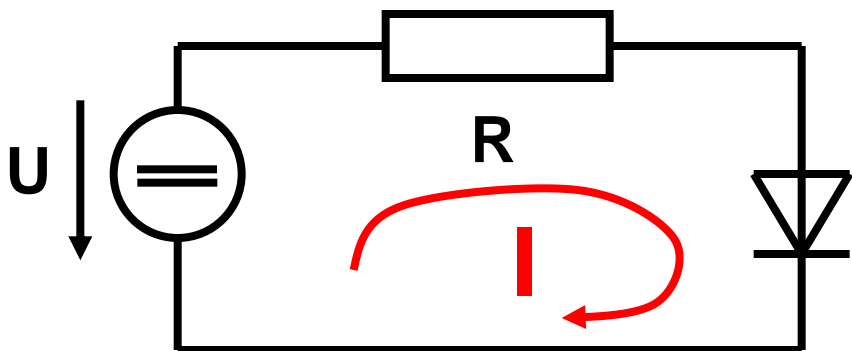
Injekované elektrony a díry vytváří tzv. elektron-děrovou plazmu, která je elektricky neutrální ( $n=p$ ).

Diferenciální odpor diody je nízký

$$R_d \sim U_T / I_F$$



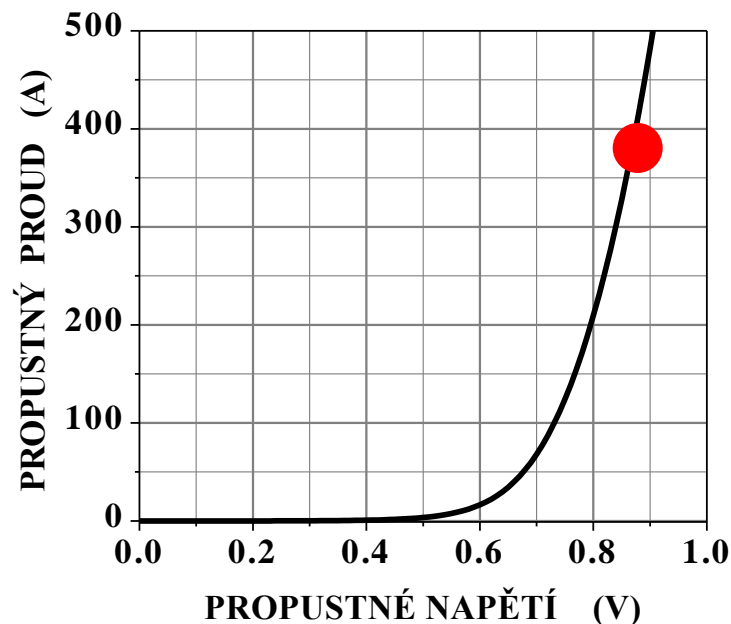
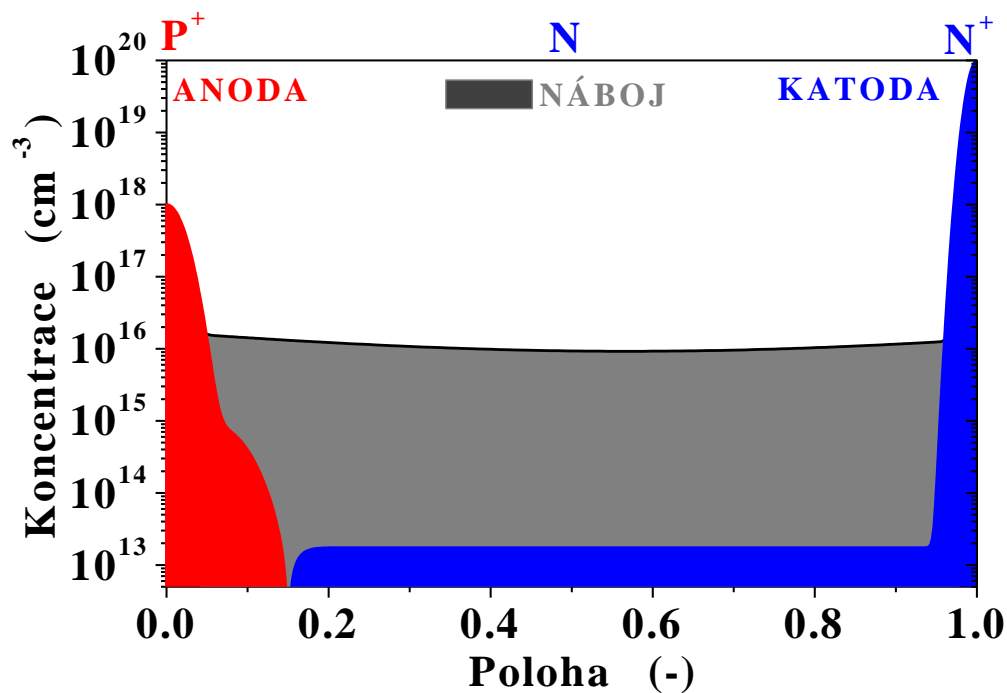
## 5.2 Propustná charakteristika diody



Přechod je zcela zaplaven nositeli náboje a akumuluje značný náboj.

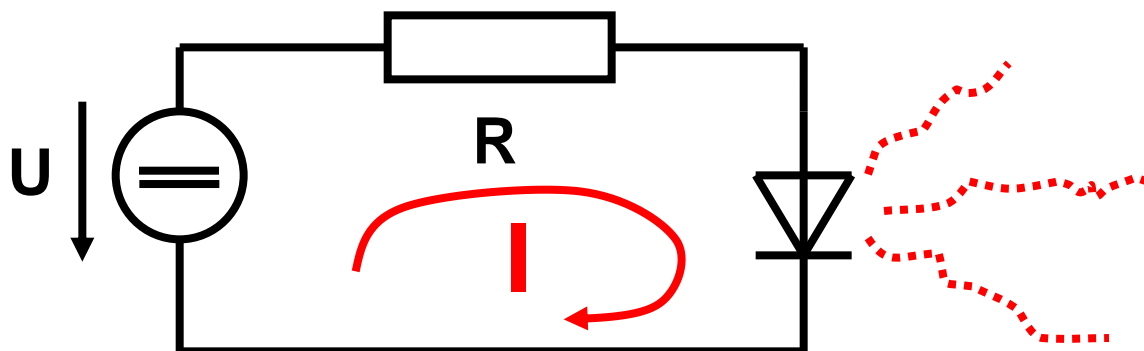
Diferenciální odpor diody je velmi nízký  $R_d \sim U_T / I_F$  a začíná se postupně projevovat sériový odpor diody.

Propustný úbytek je vyšší než difúzní napětí.



**$R_{DIF}$  se saturuje**

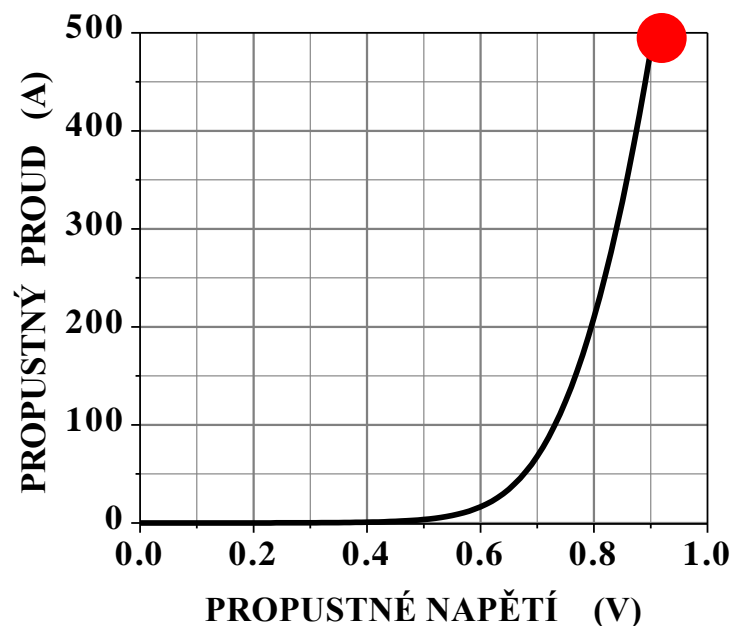
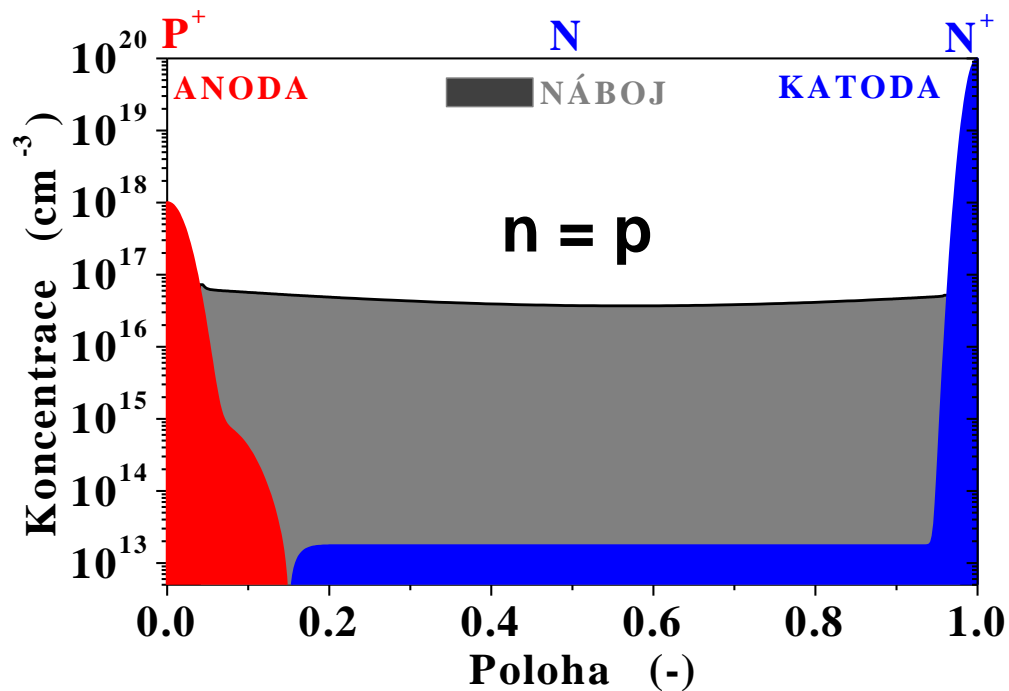
## 5.2 Propustná charakteristika diody



Dochází k ohřevu diody vlivem vyzařovaného ztrátového výkonu  $P = U_F \cdot I_F$

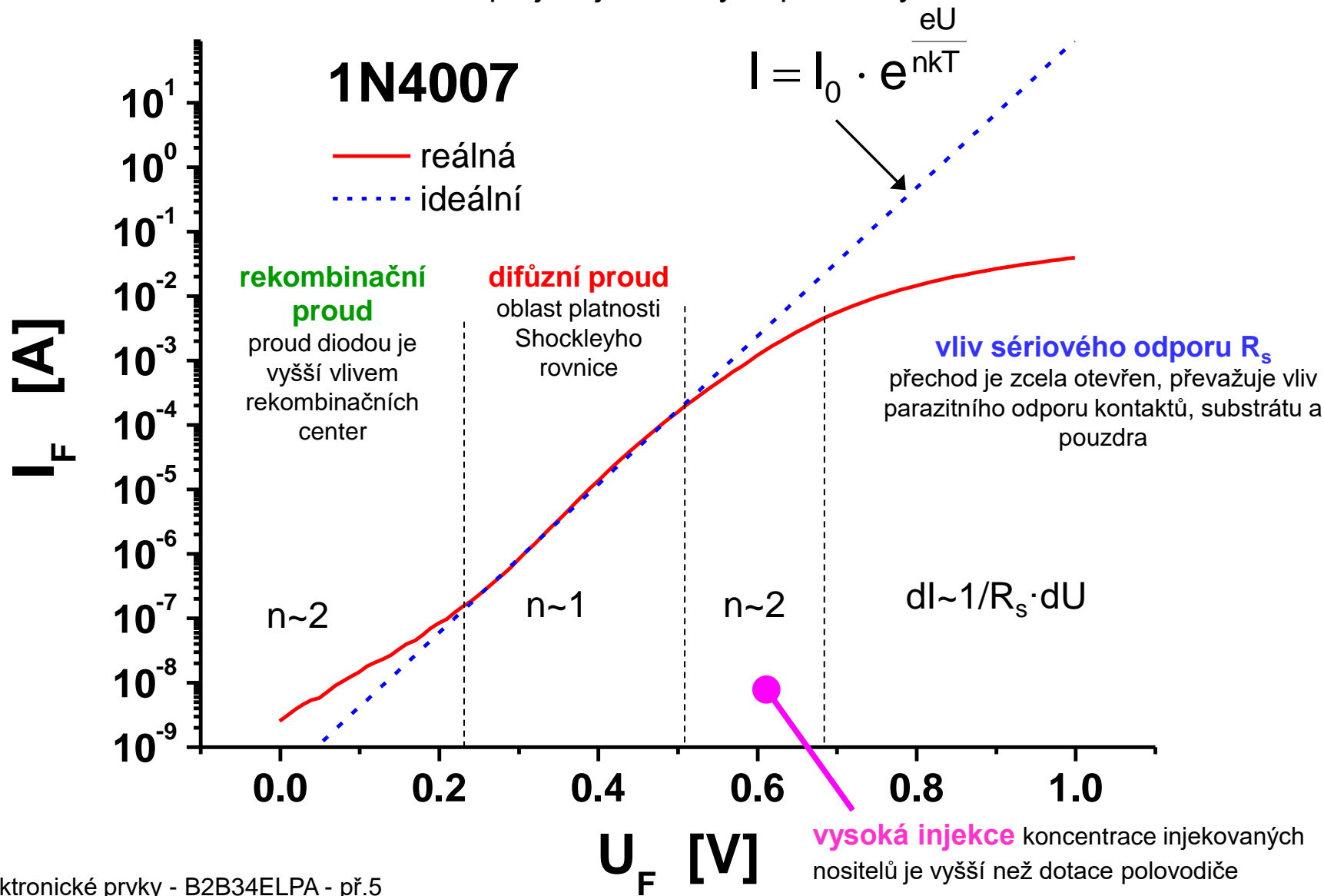
Pokud přesáhne ztrátový výkon  $P$  hodnotu  $P_{\max}$  dojde k tepené destrukci diody.

Diferenciální odpor diody je při vysokých hodnotách konstantní (parazitní sériový odpor kontaktů a substrátu a pouzdra)



## 5.2 Reálná V-A charakteristika diody (propustná)

Shockleyho rovnice platí v omezeném rozsahu proudových hustot, při vysokém proudovém zatížení se dominantně projevuje sériový odpor diody.



# 5.2 Propustný úbytek/Difúzní napětí

vliv šířky zakázaného pásu a dotace

$$U_D = \frac{kT}{e} \cdot \ln\left(\frac{n_N}{n_P}\right) = \frac{kT}{e} \cdot \ln\left(\frac{p_P}{p_N}\right) = \frac{kT}{e} \cdot \ln\left(\frac{N_D \cdot N_A}{n_i^2}\right)$$

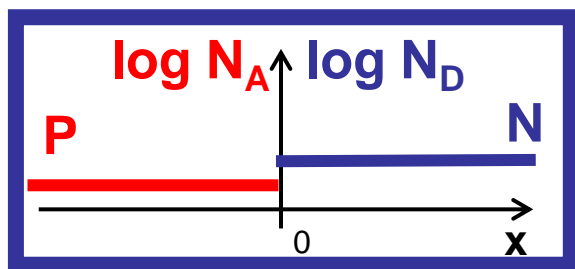
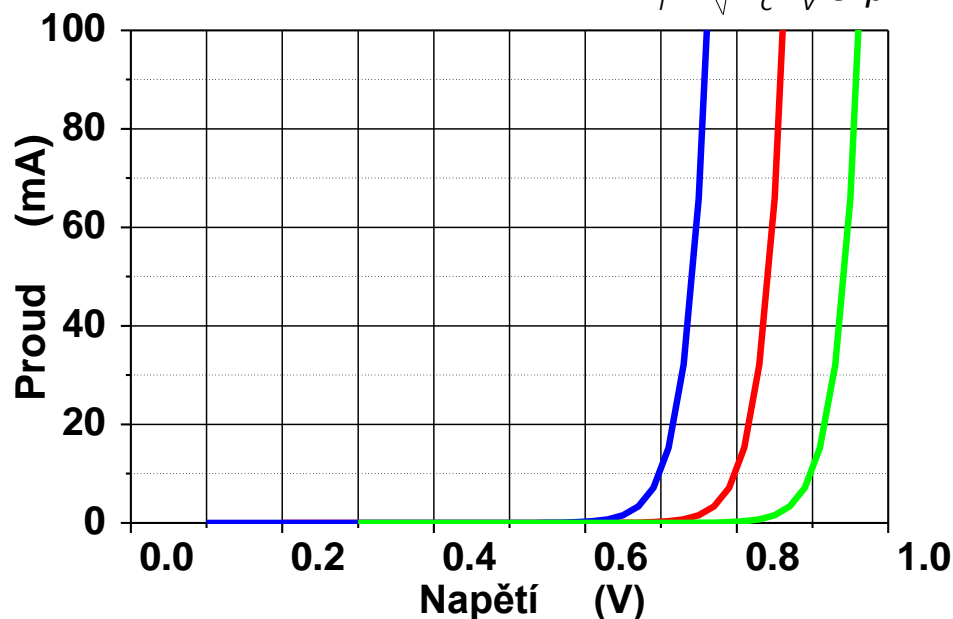
$U_D$  roste s úrovní dotace

$U_D$  roste s klesající intrinzičnou koncentrací (větší šířkou zakázaného pásu)

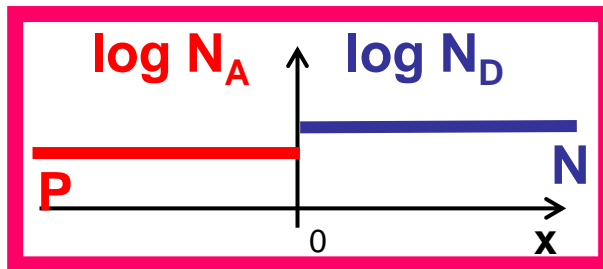
$$n_i = \sqrt{N_C N_V} \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)$$

S rostoucí koncentrací příměsí **narůstá** difúzní (prahové napětí) diody s p-n přechodem.

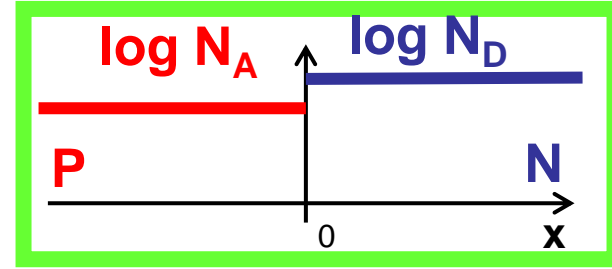
Diody vyrobené na polovodiči s **vyšší** šířkou zakázaného pásu mají **vyšší** prahová napětí (propustné úbytky).



Usměrňovací dioda



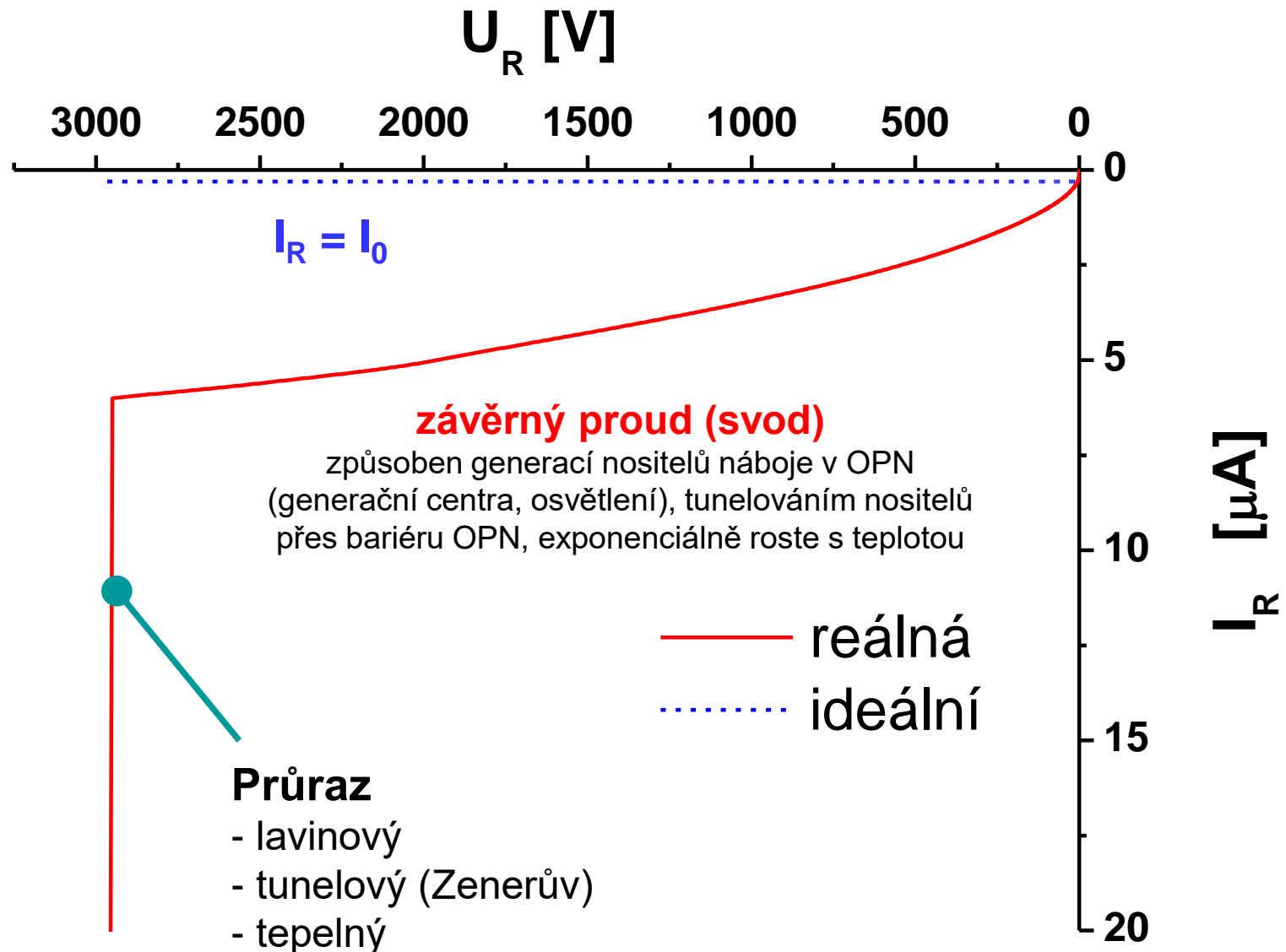
Přechod BE BJT



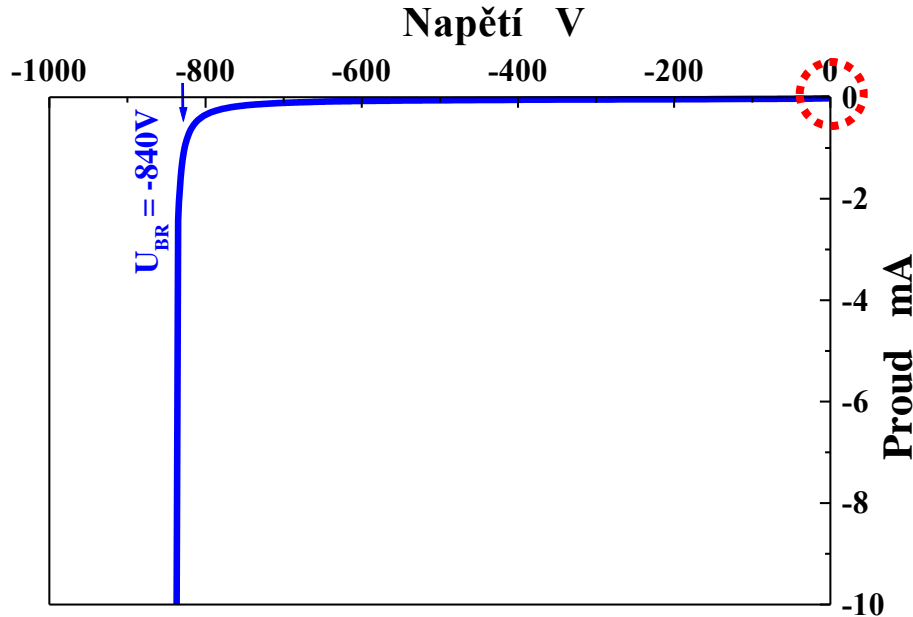
Přechod G-K tyristoru

## 5.3 Reálná závěrná V-A charakteristika diody

U reálné charakteristiky je třeba počítat s průrazem diody a svodem, který je způsoben generačními centry (nečistotami) v oblasti prostorového náboje a je silně závislý na teplotě.



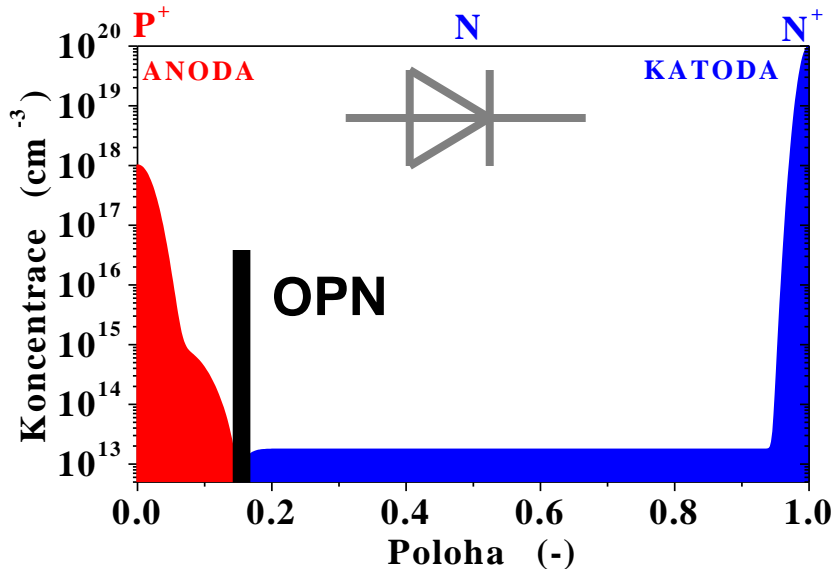
## 5.3 Závěrná charakteristika diody



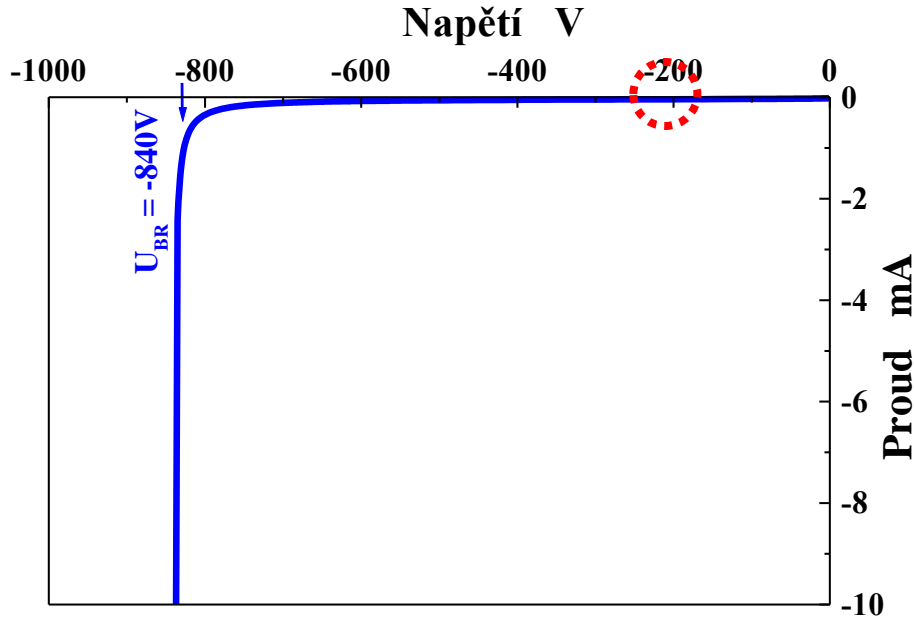
Diodou neteče proud.

Oblast PN přechodu diody je bez nositelů náboje (existuje oblast prostorového náboje OPN, jejíž šířka je dána difúzním napětím a dotací).

Diferenciální odpor diody je nekonečně velký.



# 5.3 Závěrná charakteristika diody

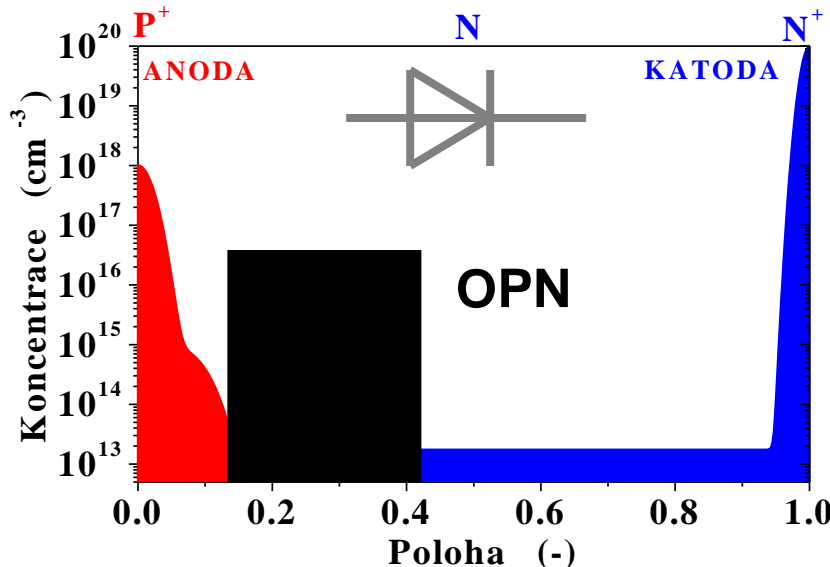


Oblast prostorového náboje se rozšiřuje úměrně přiloženému závěrnému napětí

$$W_{OPN} = \sqrt{\frac{2 \varepsilon_s (U_R + U_D)}{e N_D}}$$

Úměrně přiloženému napětí roste intenzita elektrického pole

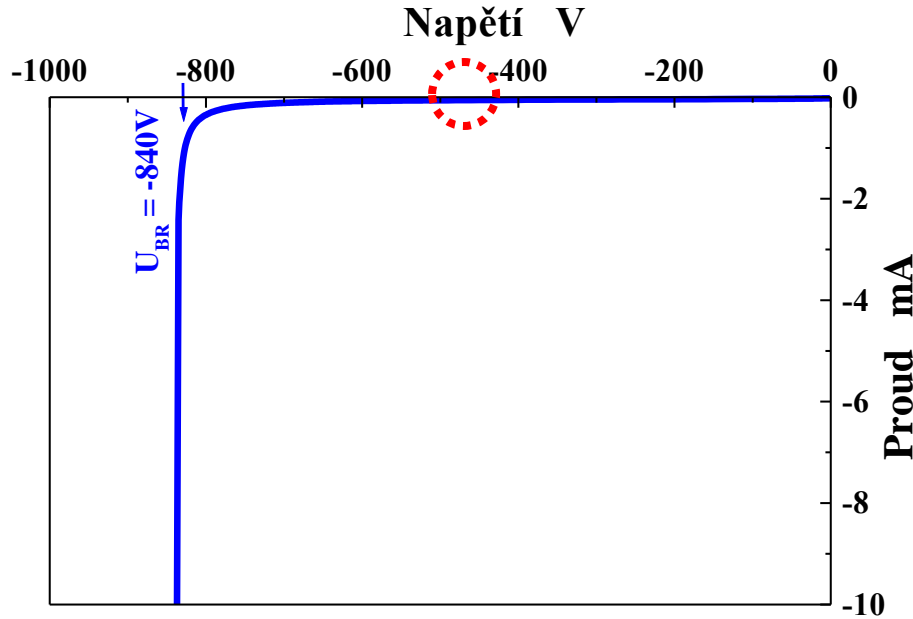
$$E = \sqrt{\frac{2 e N_D (U_R + U_D)}{\varepsilon_s}}$$



Přechodem prochází nepatrný zbytkový proud minoritních nositelů. V případě, že OPN obsahuje rekombinační/generační centra, nebo je osvětlena, závěrný proud roste úměrně k šířce OPN, osvětlení.



## 5.2 Závěrná charakteristika diody

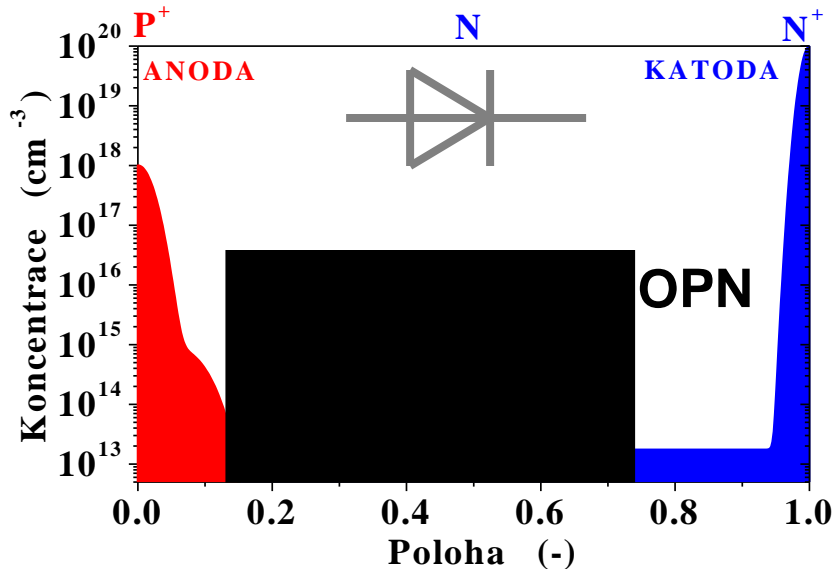


Oblast prostorového náboje se rozšiřuje úměrně přiloženému závěrnému napětí

$$W_{OPN} = \sqrt{\frac{2 \varepsilon_s (U_R + U_D)}{e N_D}}$$

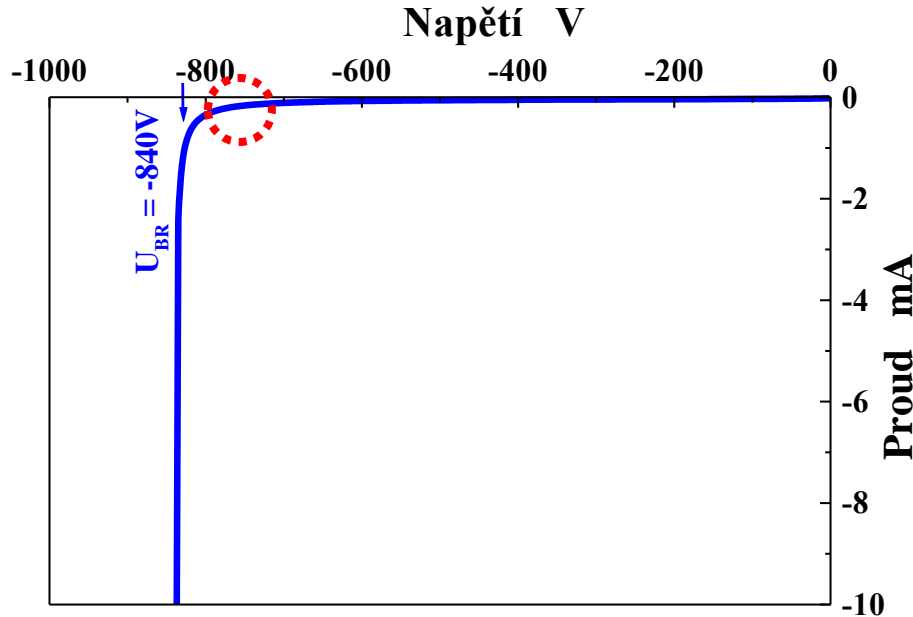
Úměrně přiloženému napětí roste intenzita elektrického pole

$$E = \sqrt{\frac{2 e N_D (U_R + U_D)}{\varepsilon_s}}$$



Přechodem prochází nepatrný zbytkový proud minoritních nositelů. V případě, že OPN obsahuje rekombinační/generační centra, nebo je osvětlena, závěrný proud roste úměrně k šířce OPN, osvětlení.

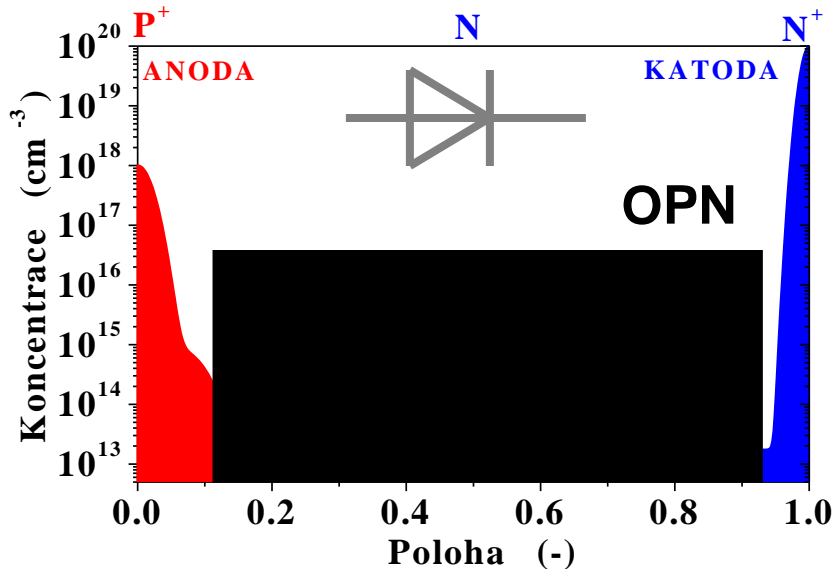
## 5.3 Závěrná charakteristika diody



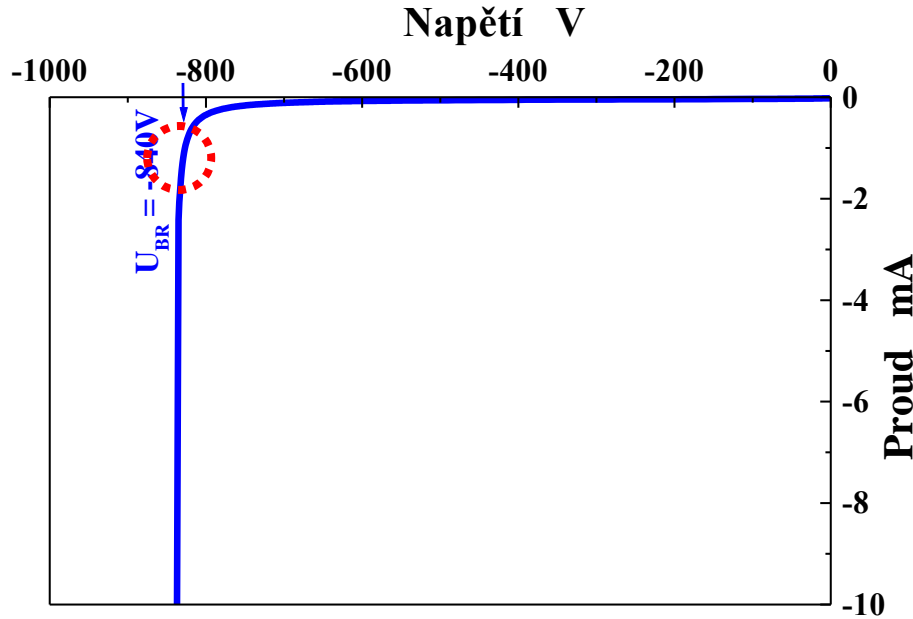
Oblast prostorového náboje se dosáhla svého maxima.

Intenzita elektrického pole začíná prudce narůstat.

Zbytkový proud ze začíná zvyšovat, neboť vysoká intenzita elektrického pole zvyšuje pravděpodobnost generace páru elektron-díra, resp. tunelování přes bariéru přechodu.



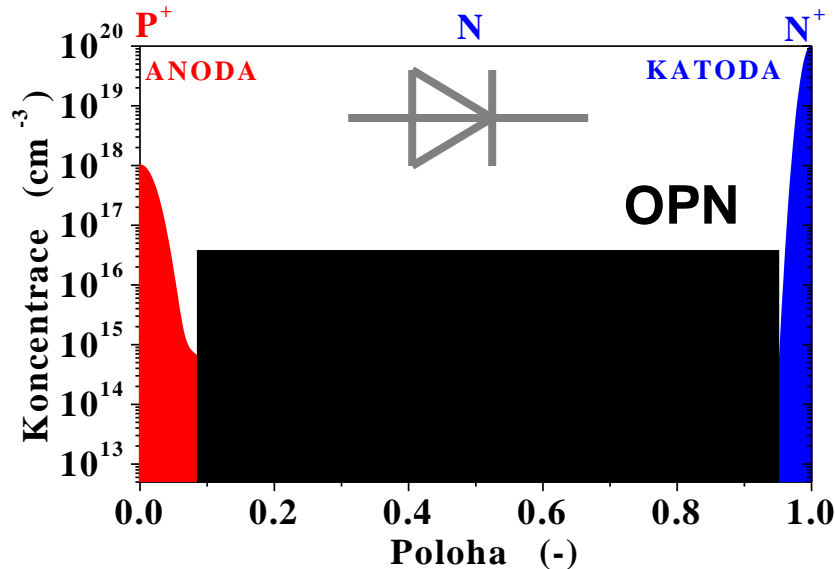
## 5.3 Závěrná charakteristika diody



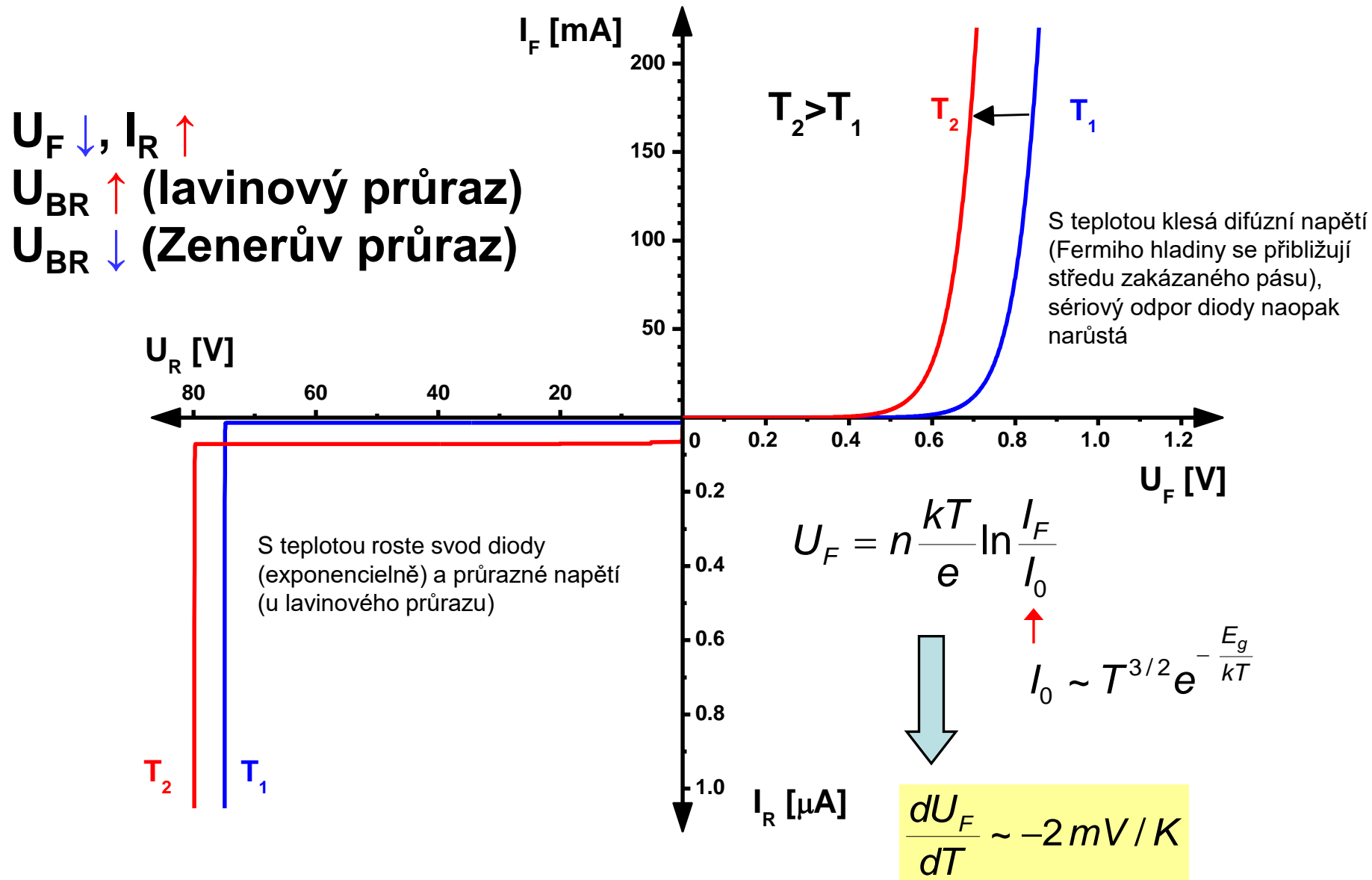
Intenzita elektrického pole dosáhla kritickou hodnotu.

Dochází k lavinovému násobení nositelů náboje procházejících přechodem.

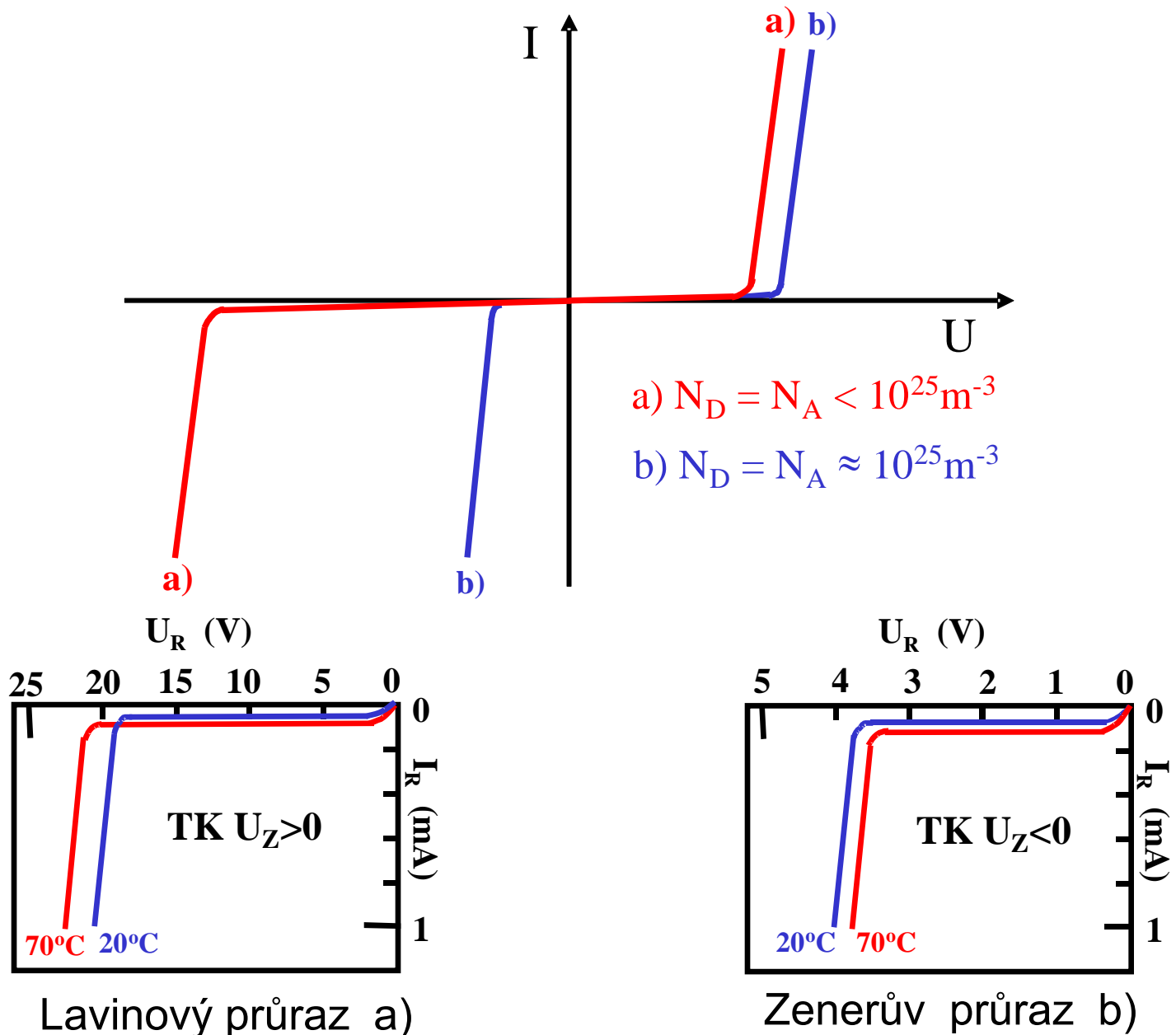
Dioda se proráží.



# 5.3 Vliv teploty na VA charakteristiku diody



## 5.3 Vliv teploty a dotace na závěrnou charakteristiku



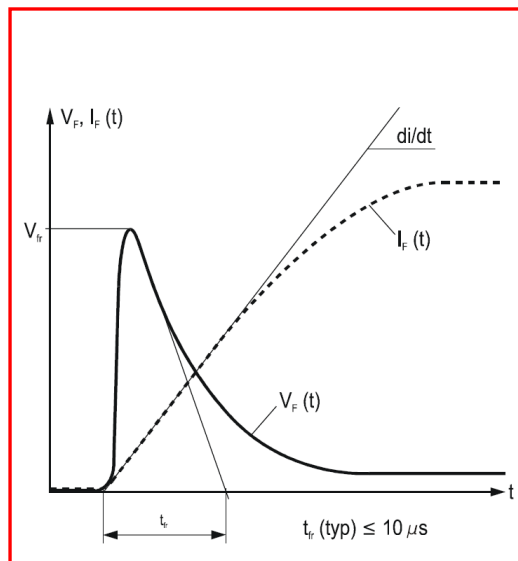
# 5.4 Dynamické parametry diody (PN)

Dynamické vlastnosti diody jsou dány rychlostí, s jakou je možné diodu zaplavit nositele náboje (sepnutí), resp. s jakou je možné nositele náboje odstranit.

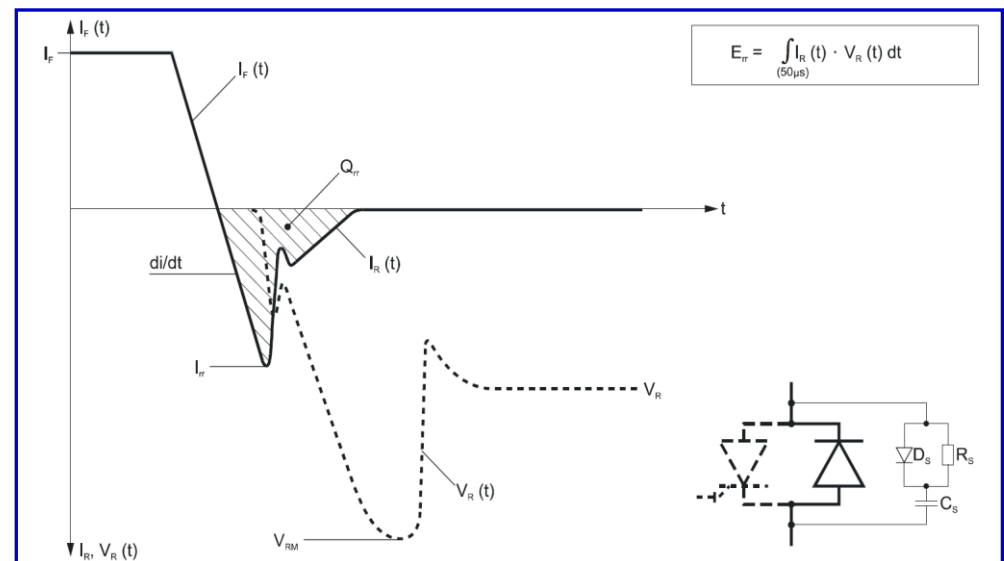
Vypnutí diod s PN přechodem je komplikované, neboť při vysoké injekci přechod akumuluje značné množství náboje injektovaných elektronů a děr, který se celkově jeví jako elektricky neutrální. Nelze jej proto odstranit driftem (elektrickým polem) a je nutné počkat, až náboj zrekombinuje.

Diody s PN přechodem jsou tak při přechodu (komutaci) z propustného do závěrného směru ještě po určitou dobu vodivé, i když je na ně připojeno závěrné napětí. Přechodový jev, ke kterému dochází při závěrné komutaci diody, nazýváme závěrným zotavením.

## zapnutí



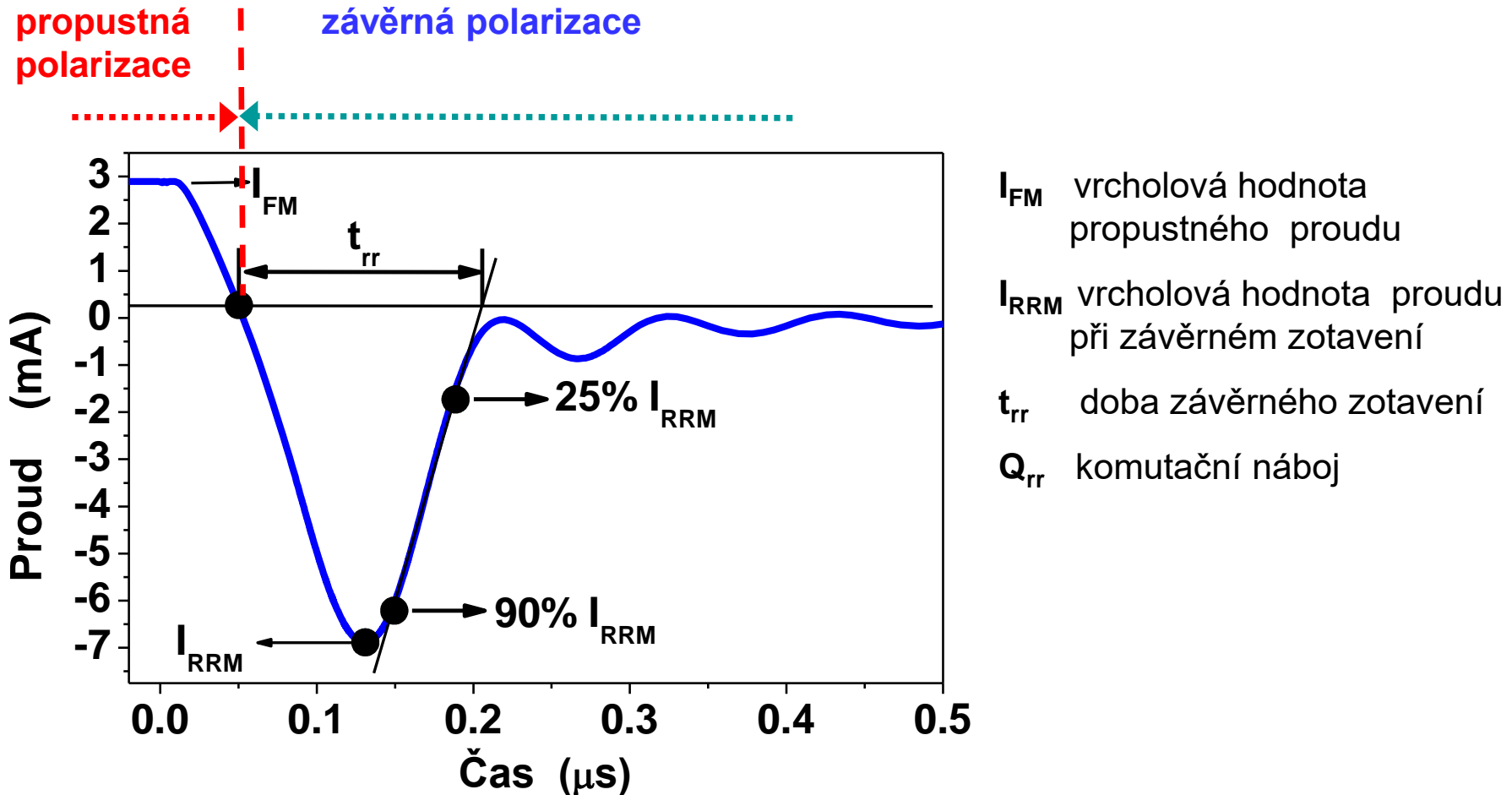
## vypnutí



napěťový překmit: OPN má zprvu velký odpor    proudový překmit: je nutné odstranit náboj akumulovaný v OPN

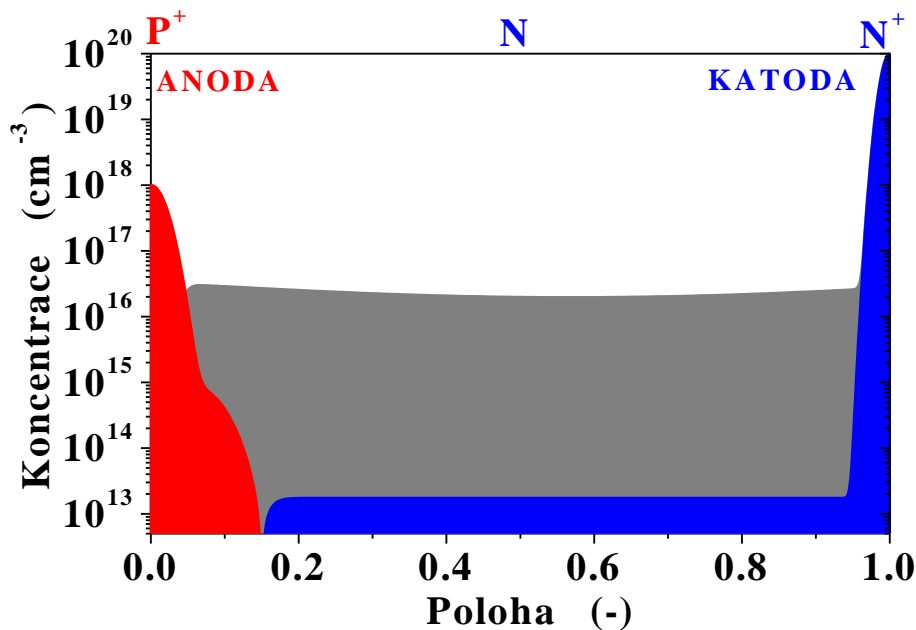
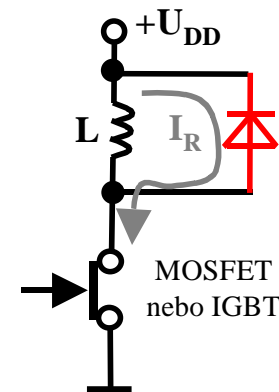
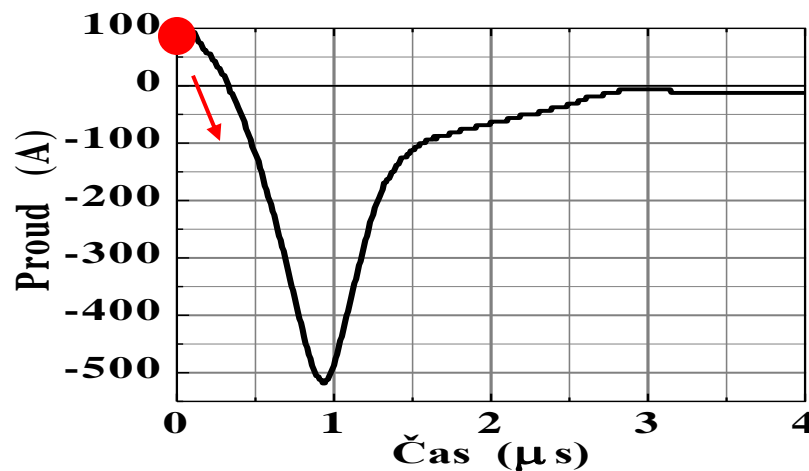
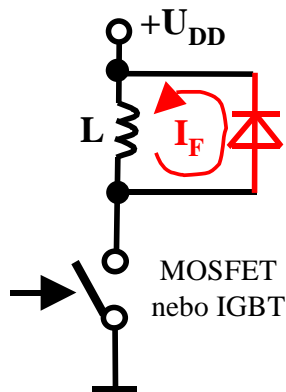
## 5.4 Doba závěrného zotavení $t_{RR}$

Doba závěrného zotavení  $t_{RR}$  dává rychlost s jakou je dioda schopna přepnout z propustného do závěrného směru. Závisí na tom, jak je dioda resp. vnějšího obvodu schopna odčerpat z přechodu minoritní nositele injektované při propustné polarizaci.



# 5.4 Komutace diody

Dioda tvoří spínače proti napěťovým překmitům, při vypnutí spínače je propustně polarizovaná (vlevo) a při jeho sepnutí komutuje do blokovacího režimu (vpravo)

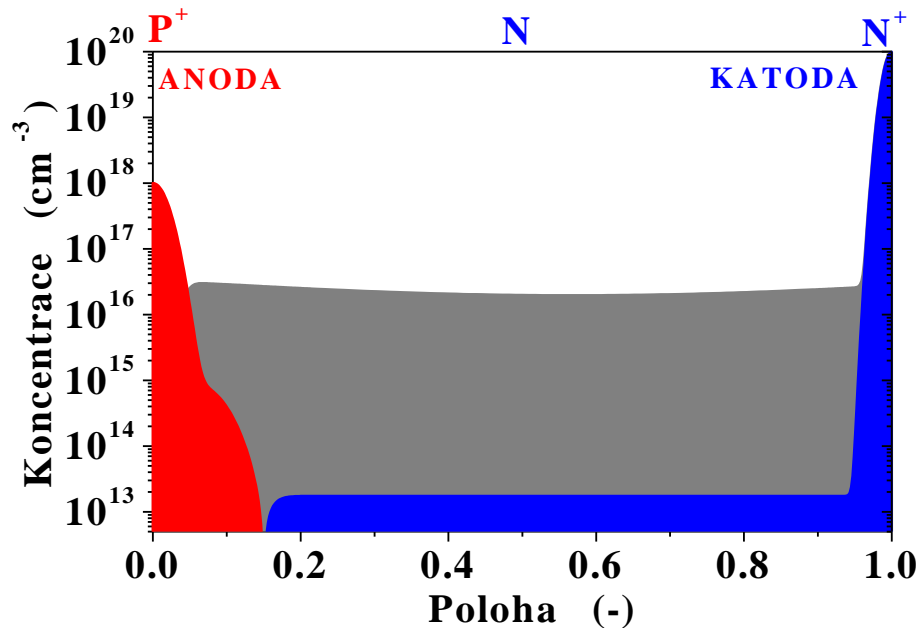
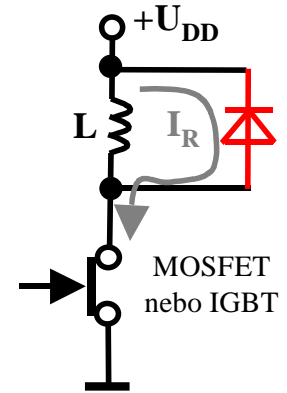
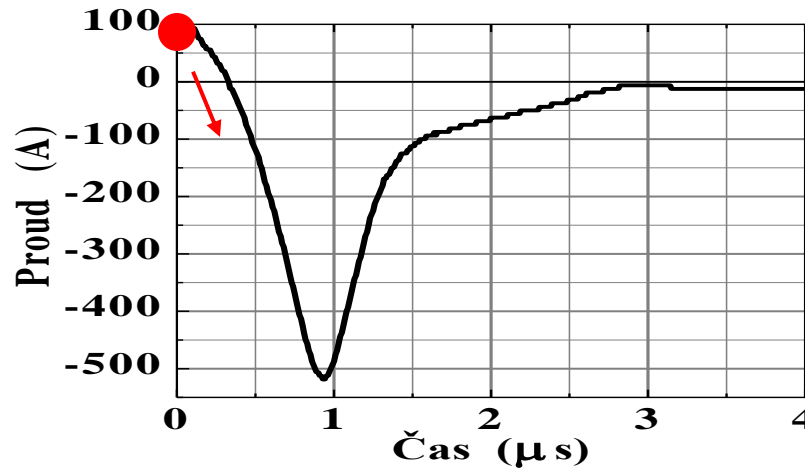
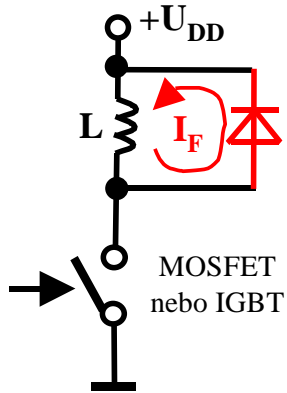


Sepnutý stav, dioda je zaplavena elektricky neutrální elektron-děrovou plazmou



# 5.4 Komutace diody

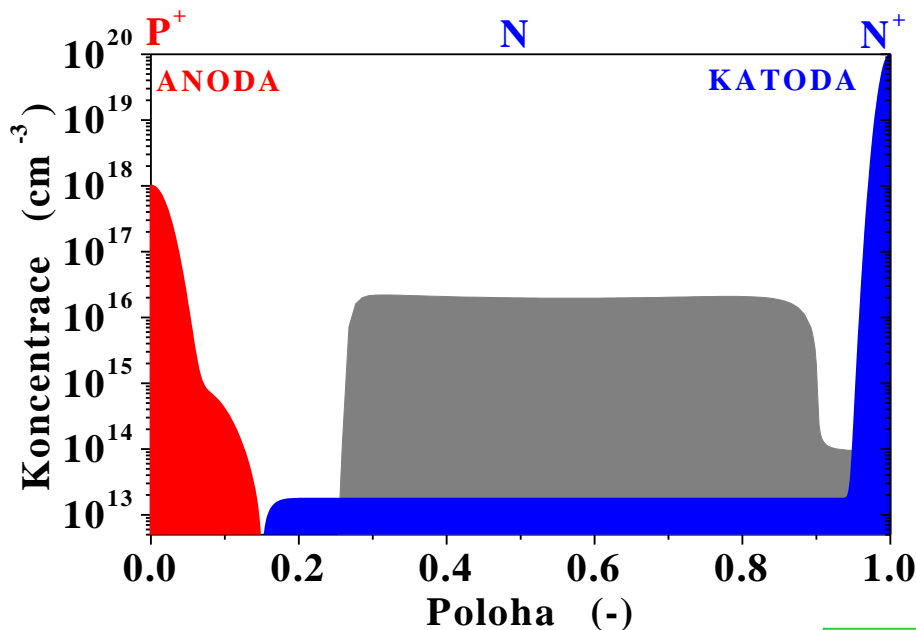
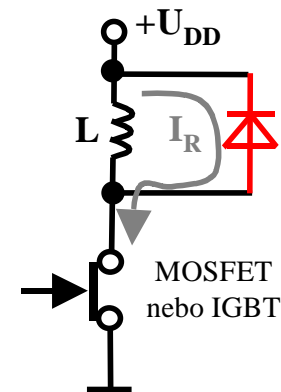
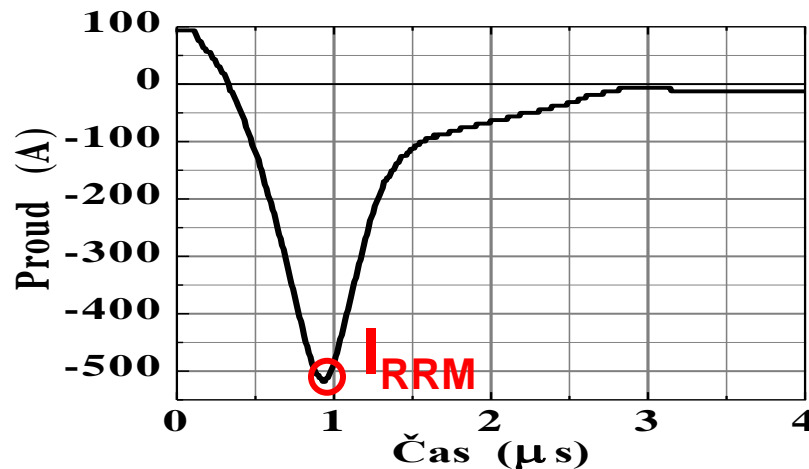
Dioda tvoří spínače proti napěťovým překmitům, při vypnutí spínače je propustně polarizovaná (vlevo) a při jeho sepnutí komutuje do blokovacího režimu (vpravo)



Sepnutý stav, dioda je zaplavena elektricky neutrální elektron-děrovou plazmou



# 5.4 Komutace diody



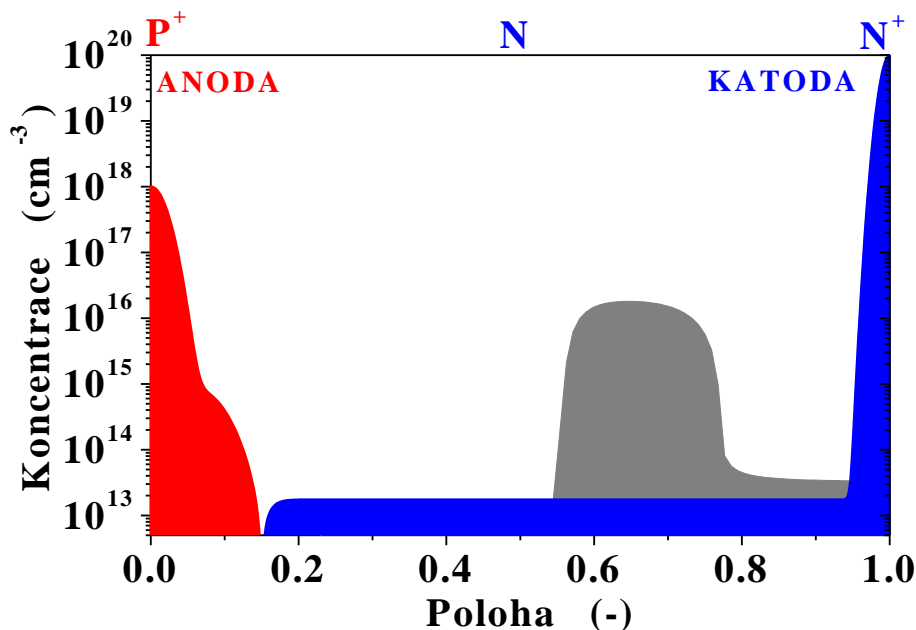
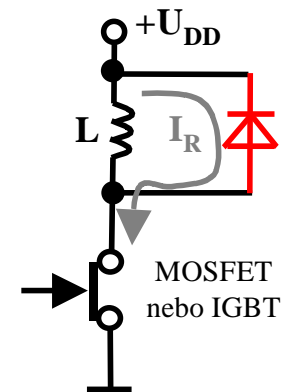
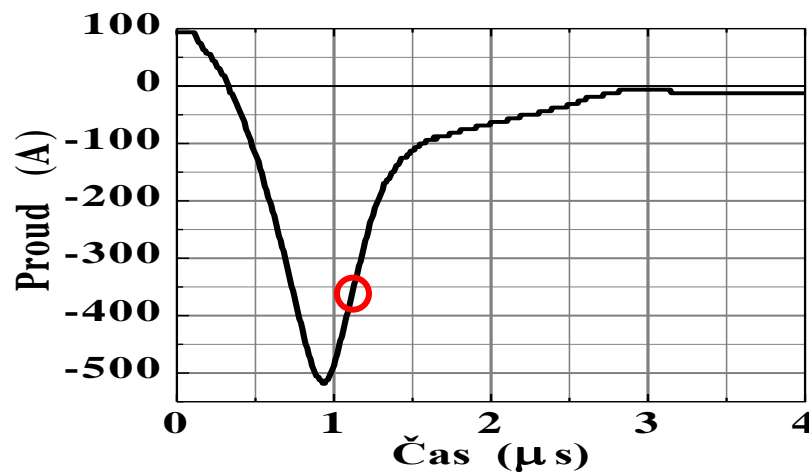
Stav po komutaci, dioda je polarizována závěrně a je stále zaplavena nosiči náboje, dochází k extrakci (rekombinaci) nositelů v oblasti emitorů – diodou prochází závěrný proud, který dosahuje maxima v okamžiku, kdy se začíná vytvářet OPN. Důsledkem je zpoždění ve vypínání, tzv. doba přesahu.

velký odpor — **OPN** — malý odpor

Elektronické prvky - B2B34ELPA - př.5

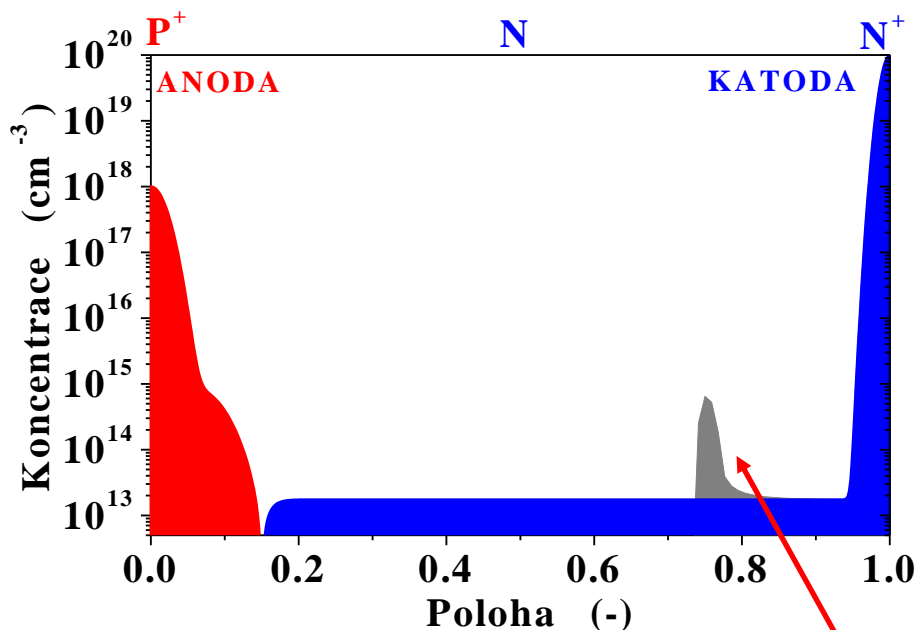
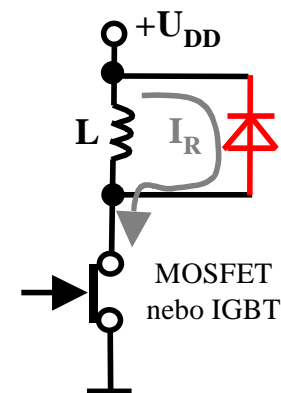
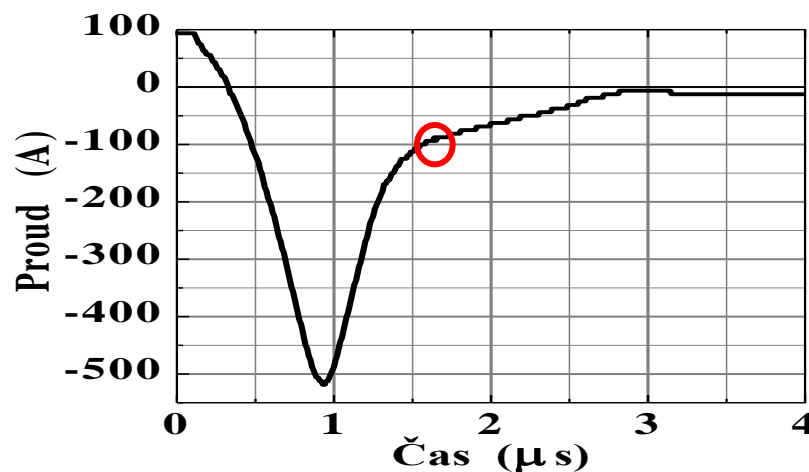
⇒ omezení proudu na  $I_{RRM}$

## 5.4 Komutace diody



Po obnovení OPN zbylý náboj v bázi diody rekombinuje a závěrný proud diodou klesá. Časovou míru této fáze udává tzv. doba poklesu.

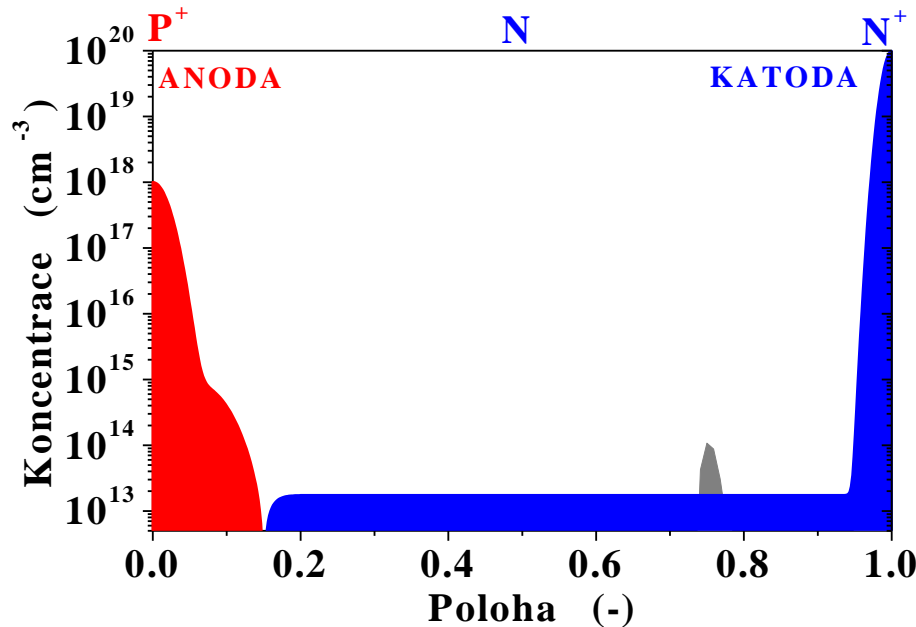
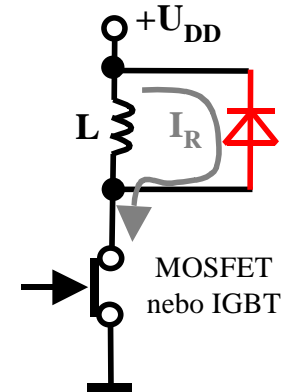
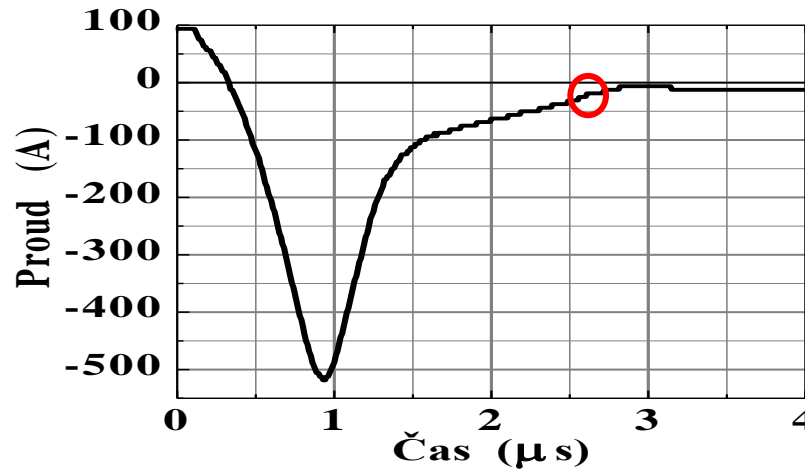
## 5.4 Komutace diody



Fáze poklesu, rozšiřuje se OPN a zbytky nadbytečných nositelů rekombinují (úměrně době života), na diodě je plné závěrné napětí a prochází jí proud (objevují se komutační ztráty)

rekombinující nadbyteční nositelé náboje

# 5.4 Komutace diody



Dioda je vypnuta. Rychlost vypnutí je možné zvýšit

- a) snížením náboje akumulovaného v diodě
- b) zvýšením rekombinační rychlosti

Obojí vede ke zvýšení propustného úbytku (zvýšení statických ztrát)

$$L_D = \sqrt{D\tau}$$

zrychlení vypínání = snížení doby života nadbytečných nositelů  $\Rightarrow$  zkrácení  $L_D$   $\Rightarrow$  vyšší propustné úbytky

## 5.5 Dioda v obvodu



### Parametry diody (součástky)

#### Mezní (absolute ratings)

Mezní hodnota proudu, napětí, teploty apod., po jejímž překročení dojde k destrukci součástky

#### Charakteristické (electrical/thermal characteristics)

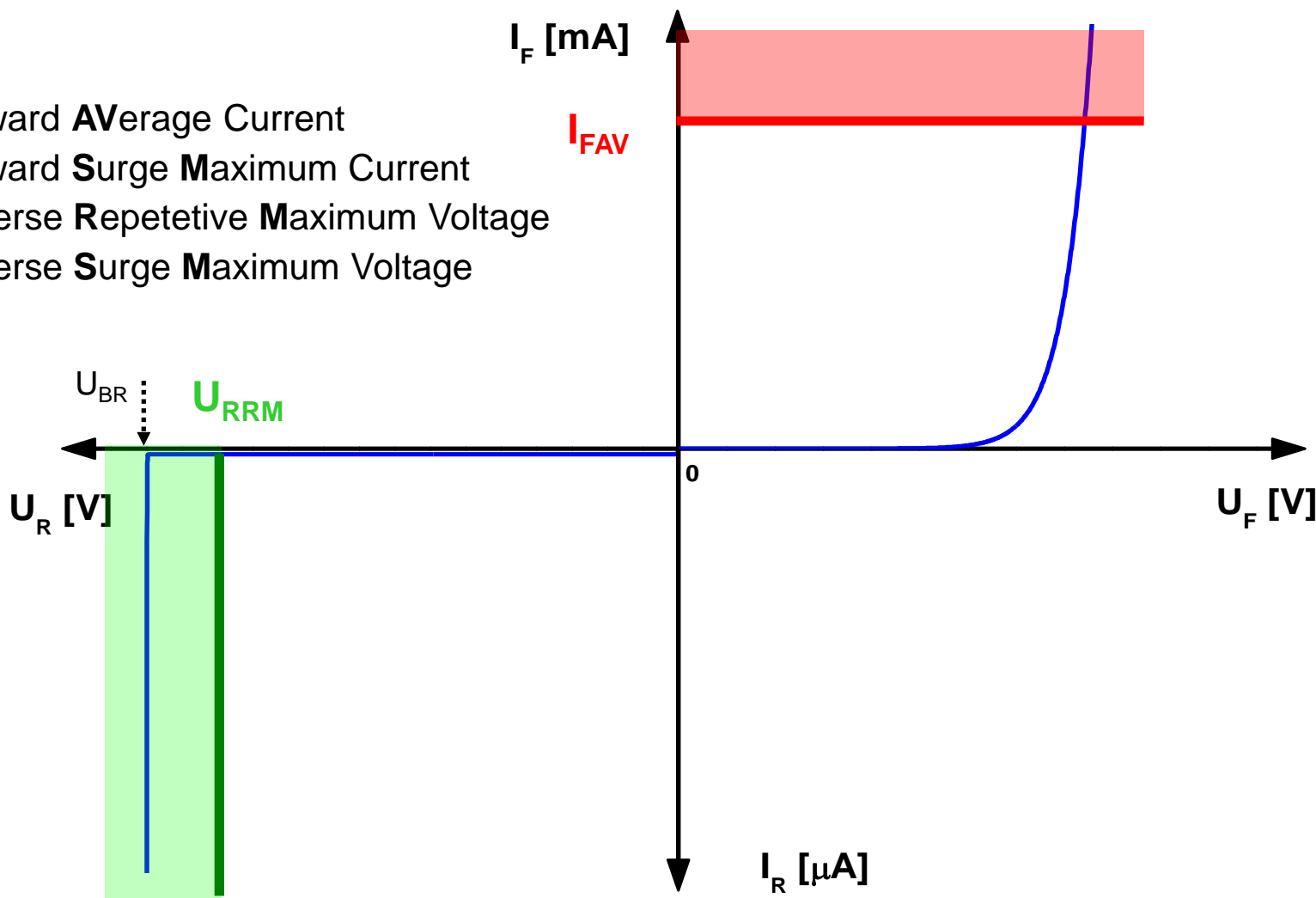
Hodnota proudu, napětí, kmitočtu, které charakterizují chování součástky (např. prahové napětí) resp. chodnoty po jejichž překročení nedojde k destrukci, ale pouze ke ztrátě funkce (mezní frekvence)

# 5.5 Dioda v obvodu



## Mezní parametry diody

- $I_{FAV}$  Forward **A**verage Current
- $I_{FSM}$  Forward **S**urge **M**aximum Current
- $U_{RRM}$  Reverse **R**epetitive **M**aximum Voltage
- $U_{RSM}$  Reverse **S**urge **M**aximum Voltage



# 5.5 Dioda v obvodu

## Katalogový list diody

$U_{RRM}$  Reverse Repetitive Maximum Voltage

$I_{FAV}$  Forward Average Current

$I_{FSM}$  Forward Surge Maximum Current

$U_F$  Forward Voltage

$I_R$  Reverse Current

**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR®

**1N4001 - 1N4007**

**General Purpose Rectifiers**

May 2009

### Features

- Low forward voltage drop.
- High surge current capability.



DO-41

COLOR BAND DENOTES CATHODE

### Absolute Maximum Ratings \* $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value							Units
		4001	4002	4003	4004	4005	4006	4007	
$V_{RRM}$	Peak Repetitive Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
$I_{F(AV)}$	Average Rectified Forward Current .375" lead length @ $T_A = 75^\circ\text{C}$	1.0							A
$I_{FSM}$	Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms Single Half-Sine-Wave	30							A
$I^2t$	Rating for Fusing ( $t < 8.3\text{ms}$ )	3.7							$\text{A}^2\text{sec}$
$T_{STG}$	Storage Temperature Range	$-55$ to $+175$							$^\circ\text{C}$
$T_J$	Operating Junction Temperature	$-55$ to $+175$							$^\circ\text{C}$

\* These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

### Thermal Characteristics

Symbol	Parameter	Value	Units
$P_D$	Power Dissipation	3.0	W
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	50	$^\circ\text{C/W}$

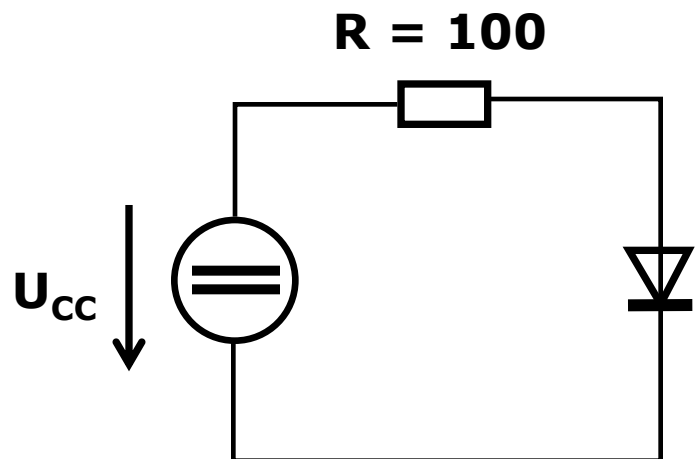
### Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
$V_F$	Forward Voltage @ 1.0A	1.1	V
$I_{rr}$	Maximum Full Load Reverse Current, Full Cycle $T_A = 75^\circ\text{C}$	30	$\mu\text{A}$
$I_R$	Reverse Current @ Rated $V_R$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 100^\circ\text{C}$	5.0	$\mu\text{A}$
		50	$\mu\text{A}$
$C_T$	Total Capacitance $V_R = 4.0\text{V}$ , $f = 1.0\text{MHz}$	15	pF

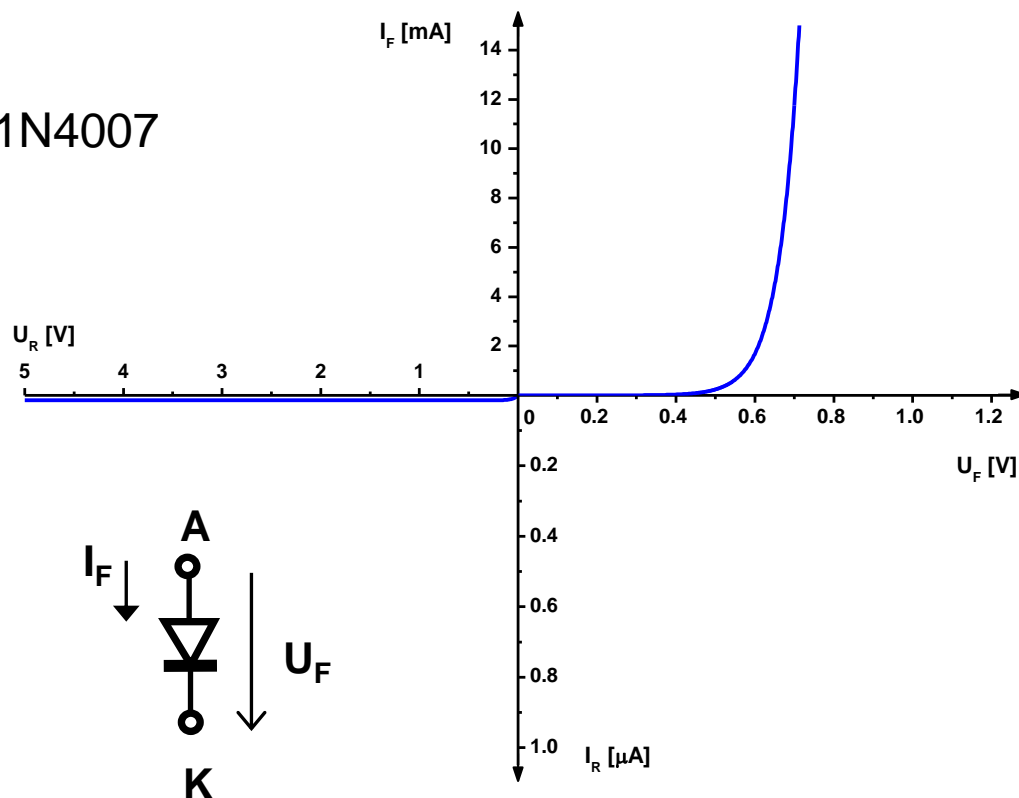


# 5.5 Dioda v obvodu

Příklad typu lineární obvodová síť s jedním nelineárním dvojpólem.



1N4007



# 5.5 Dioda v obvodu

## Grafické řešení



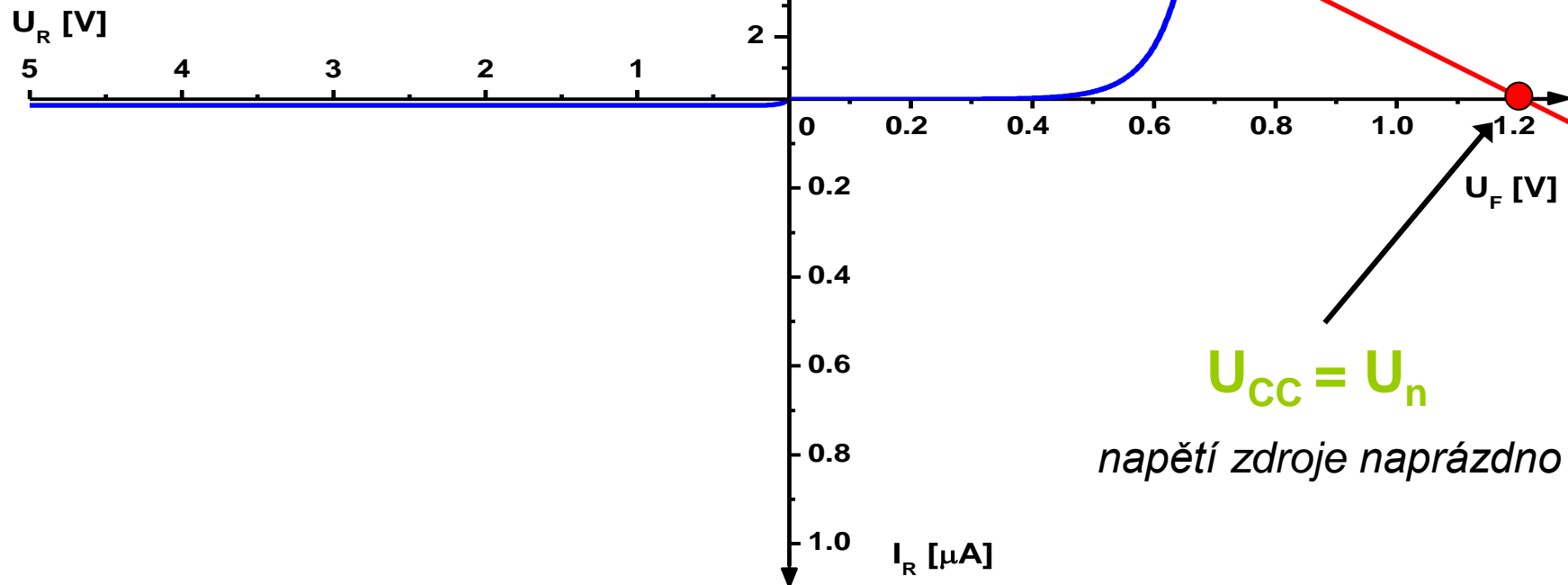
$$U_{CC} = R \cdot I_F + U_F$$



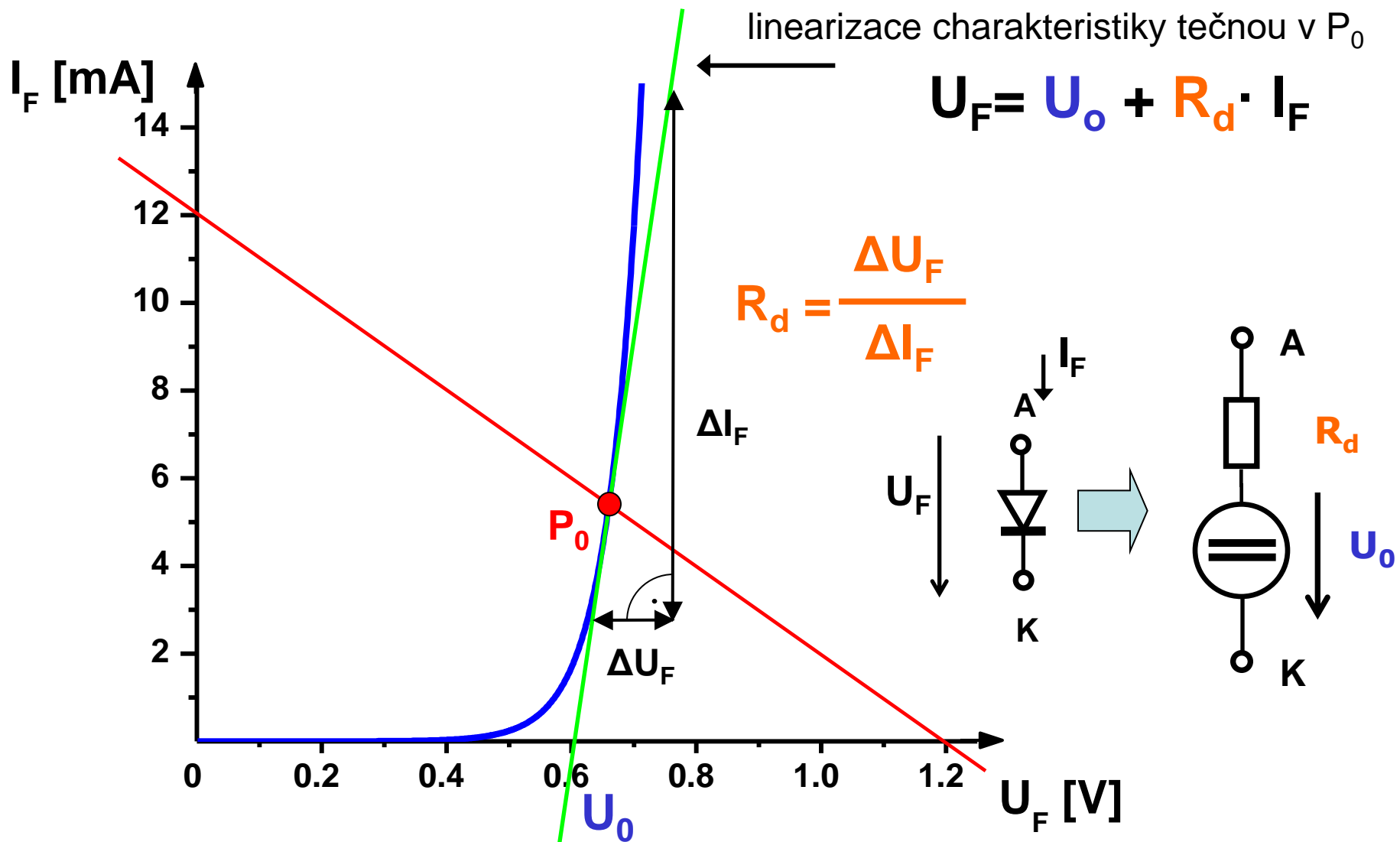
$$I_F = (U_{CC} - U_F) / R \quad (1)$$



GRAF rce (1)



## 5.5 Náhradní lineární obvod (NLO) pro okolí $P_0$



## 5.5 Diferenciální odpor diody $R_D$

$$R_D = \frac{dU}{dI}$$

Při odvození vyjdeme ze Shockleyho rovnice

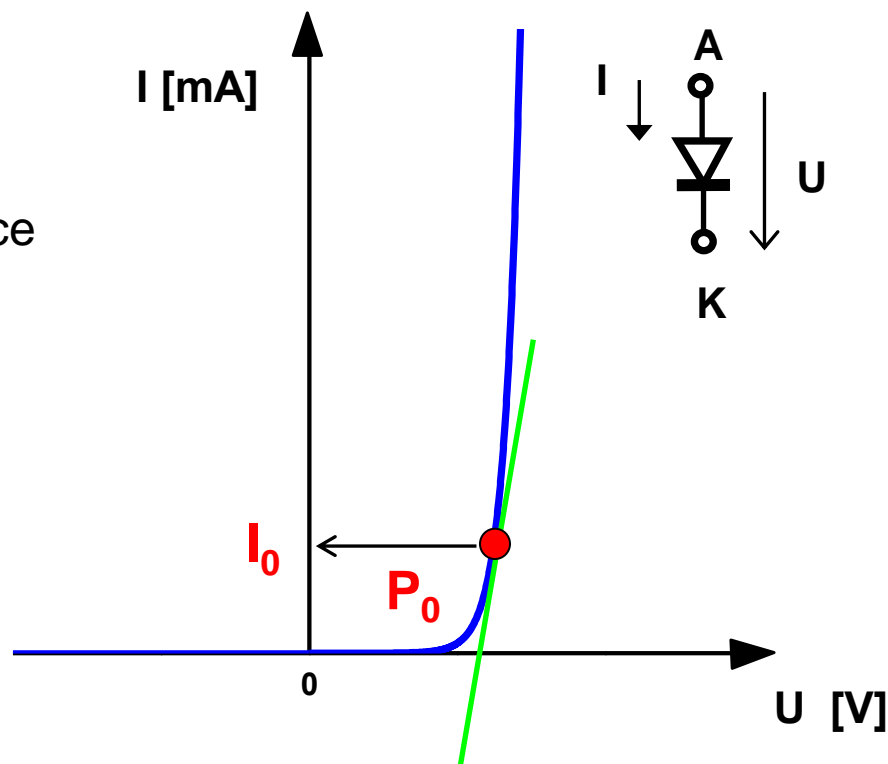
$$I = I_0 \left( e^{\frac{U}{U_T}} - 1 \right) \quad U_T = \frac{kT}{e}$$

$$\text{pro } U \gg U_T \quad I = I_0 e^{\frac{U}{U_T}}$$

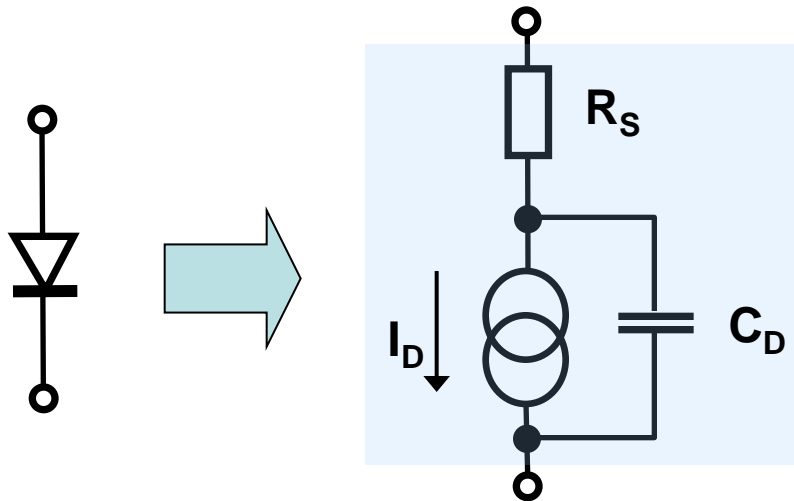
$$G_D = \frac{1}{R_D} = \left. \frac{dI}{dU} \right|_{P_0} = \frac{I_0}{U_T}$$

$$R_D = \frac{U_T}{I_0}$$

Diferenciální odpor diody hyperbolicky klesá s hodnotou propustného proudu



## 5.5 Model diody v PSpice



Mimo vlastní nelineární charakteristiku  $I_D = f(U_D)$  obsahuje i parazitní prvky (difúzní a bariérová kapacita, sériový odpor, apod.)

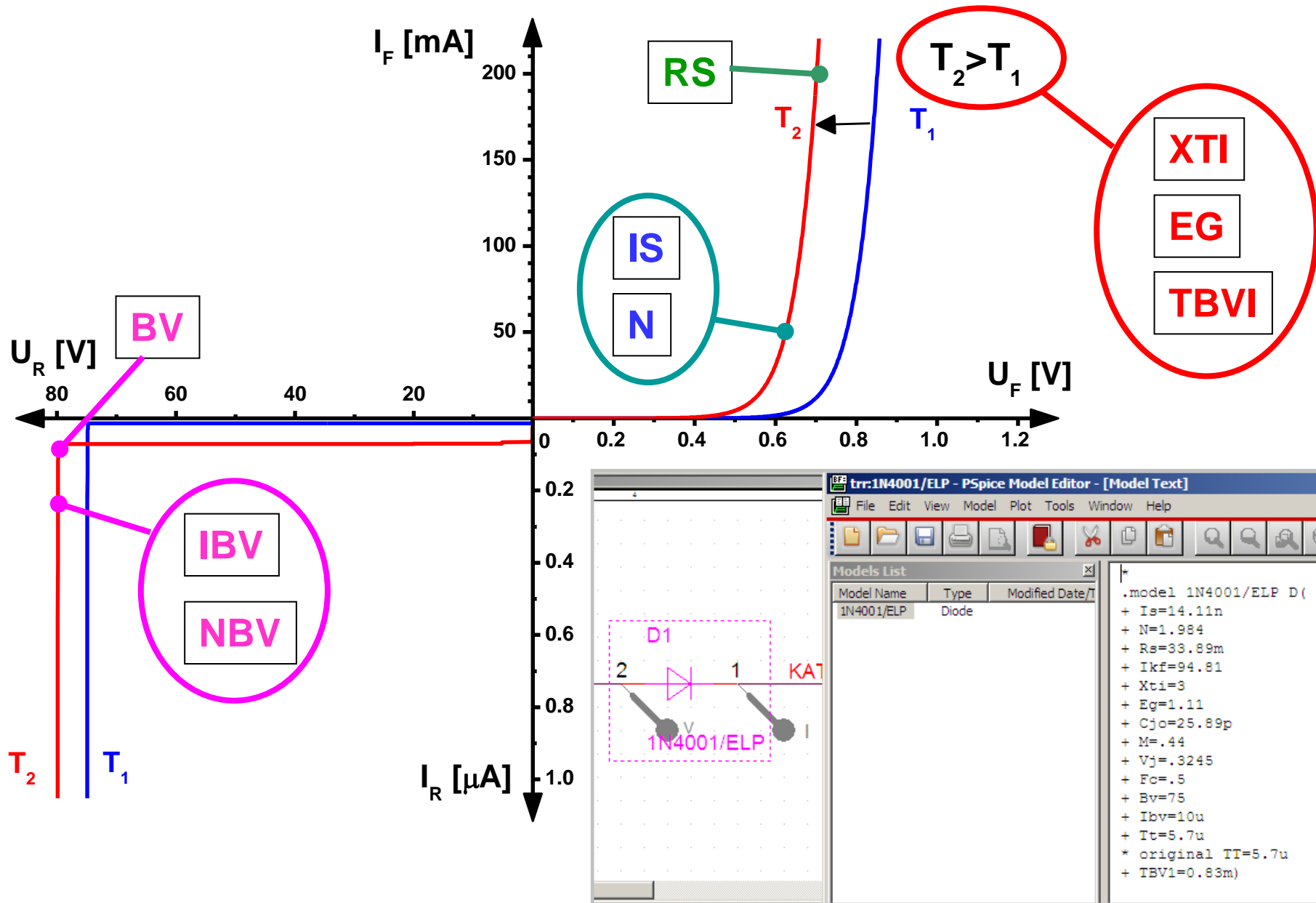
$$I_D = I_0 \cdot e^{\frac{U}{nU_T}}$$

$$U_T = kT/e$$

$$C_D = C_d + C_j = \frac{\tau_T}{U_T} I_0 e^{\frac{U}{nU_T}} + \frac{C_{j0}}{\left(1 + \frac{U}{U_D}\right)^m}$$

Parametr PSpice	Symbol	Název	Jednotka
IS	$I_0$	saturační proud	A
N	$n$	emisní koeficient	
RS	$R_s$	sériový odpor	$\Omega$
VJ	$U_D$	difúzní napětí	V
CJO	$C_{j0}$	bariérová kapacita při $U=0$	F
M	$m$	dotační koeficient	
TT	$\tau_T$	doba průletu	s
BV	$U_{BR}$	průrazné napětí	V
IBV	$I_{BR}$	závěrný proud pro $U_R=U_{BR}$	A

# 5.5 Parametry modelu diody v PSpice

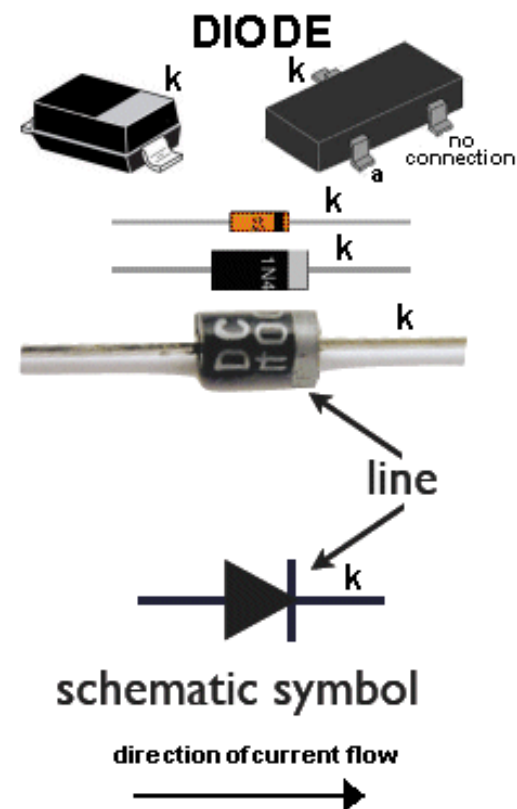


# 5.6 Typy polovodičových diod

Usměrňovací	- pro všeobecné použití ( <i>general-purpose</i> ) - s rychlým zotavením ( <i>fast recovery</i> ) - detekční
Zenerova	- stabilizace napětí (zdroj ref. napětí)
Varikap	- ladicí obvody, VCO, ...
Varaktor	- násobení kmitočtu ...

## Optoelektronické součástky:

Svítivka	LED ( <i>Light Emitting Diode</i> )
Fotodioda	( <i>Photodiode</i> )
Laserová dioda	( <i>Diode Laser</i> )



# 5.6 Typy diod ukázka nabídky dodavatele (DigiKey)

Typ

Manufacturer	Packaging	Series	Part Status	Diode Type
Avago Technologies GeneSiC Semiconductor Global Power Technologies Group Infineon Technologies IXYS Littelfuse Inc. M/A-Com Technology Solutions Micro Commercial Co Microsemi Corporation MICROSS/On Semiconductor Nexperia USA Inc.	- Bag Box Bulk Cut Tape (CT) Digi-Reel® Tape & Box (TB) Tape & Reel (TR) Tray Tube	Automotive, AEC-Q101, E Automotive, AEC-Q101, ECOPACK® Automotive, AEC-Q101, ECOPACK®1 Automotive, AEC-Q101, ECOPACK®2 Automotive, AEC-Q101, eSMP® Automotive, AEC-Q101, eSMP®, TMBS® Automotive, AEC-Q101, FRED Pt® Automotive, AEC-Q101, HEXFRED® Automotive, AEC-Q101, PAR®, SlimSMA™ Automotive, AEC-Q101, SBR®	Active Discontinued at Digi-Key Last Time Buy Not For New Designs Obsolete Preliminary	- Avalanche FERD (Field Effect Rectifier Diode) Schottky Schottky, Reverse Polarity Silicon Carbide Schottky Standard Standard, Reverse Polarity Super Barrier

Blokovací napětí $V_{rm}$ Voltage - DC Reverse (Vr) (Max)	Max Proud $I_{fav}$ Current - Average Rectified (Io)	Propustný úbytek $V_f$ Voltage - Forward (Vf) (Max) @ If	Rychlost zotavení Speed
180V 200V 220V 225V 240V 250V 300V 325V Min Max V	1.9A 1.9A (DC) 2A 2A (DC) 2.1A 2.1A (DC) 2.15A (DC) 2.2A 2.2A (DC) 2.3A	26mV @ 8A 65mV @ 10A 140mV @ 10A 140mV @ 16A 180mV @ 16A 200mV @ 30mA 220mV @ 10mA 220mV @ 1A Min Max mV	- Fast Recovery =< 500ns, > 200mA (Io) No Recovery Time > 500mA (Io) Small Signal =< 200mA (Io), Any Speed Standard Recovery >500ns, > 200mA (Io)

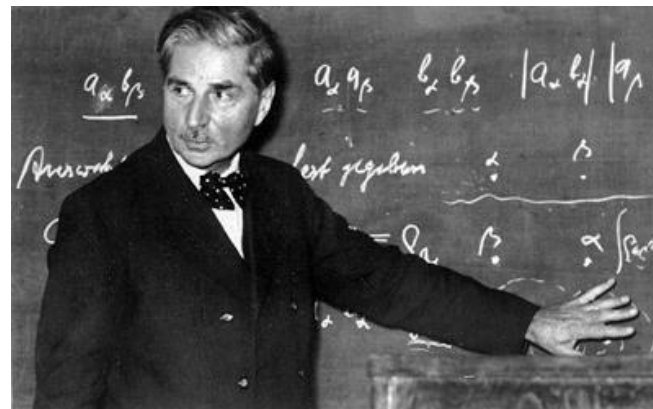
  

Závěrné zotavení $t_{rr}$ Reverse Recovery Time (trr)	Svod $I_R$ Current - Reverse Leakage @ Vr	Bariérová kapacita $C_j$ Capacitance @ Vr, F	Typ pouzdra Mounting Type
56ns 57ns 58ns 60ns 61ns 62ns 64ns 65ns Min Max ps	15µA @ 400V 15µA @ 500V 15µA @ 600V 15µA @ 1000V 15µA @ 1200V 15µA @ 1500V 18µA @ 1200V 20µA @ 10V Min Max pA	52pF @ 10V, 1MHz 52pF @ 4V, 1MHz 54pF @ 1200V, 1MHz 54pF @ 4V, 1MHz 54pF @ 5V, 1MHz 54.7pF @ 100V, 1MHz 55pF @ 0V, 1MHz 55pF @ 1V, 1MHz 55pF @ 4V, 1MHz 55pF @ 5V, 1MHz	Chassis Mount Chassis, Stud Mount Clamp On Pluggable into DIN Rail Base Screw Mount Solder Stud Mount Surface Mount Surface Mount, MLCC

Celkem v nabídce cca 50.000 diod

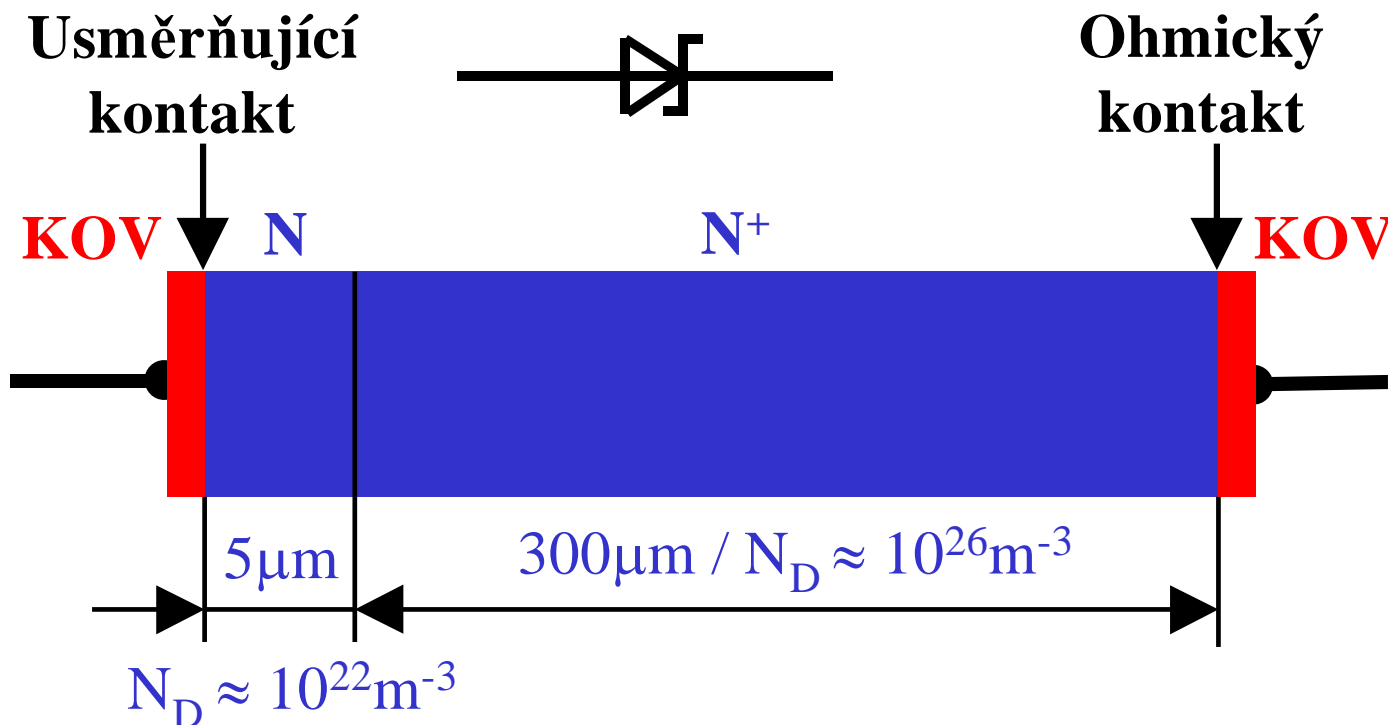


## 5.6 Schottkyho dioda



W. Schottky

- dioda využívající usměrňující přechod MS
- nízké propustné úbytky
- proud tvořen pouze majoritními nositeli
- rychlá rekce (není závěrné zotavení)
- nízké průrazné napětí a vysoký svod
- při vysokých proudových hustotách vysoké úbytky napětí
- 



# 5.6 Schottkyho dioda křemík Si

ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

**SCHOTTKY RECTIFIER**  
**4 AMPS, 200 VOLTS**



SMC  
CASE 403  
PLASTIC



**MBRS4201T3G,  
NRVBS4201T3G**

**200 V, 4 A Schottky  
Fast Soft-Recovery  
Power Rectifier**

**SMC Power Surface Mount Package**

## Features

- Lower Forward Voltage than any Ultrafast Rectifier:  
 $V_F < 0.61\text{ V}$  at  $150^\circ\text{C}$
- Fast Switching Speed: Reverse Recovery Time ( $t_{RR}$ )  $< 35\text{ ns}$
- Soft Recovery Characteristics: Softness Factor ( $t_b/t_a$ )  $\geq 1$
- Highly Stable Over Temperature
- AEC-Q101 Qualified and PPAP Capable
- NRVB Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Unique Site and Control Change Requirements
- These are Pb-Free Packages\*

## Benefits

- Significantly Reduced EMI
- Eliminates the Need of Snubber Circuits
- Low Switching and Heat Losses
- Improved Thermal Management

## Applications

- Engine and Convenience Control Systems
- Motor Controls
- Battery Chargers and Switching Power Supplies

## MAXIMUM RATINGS

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	$V_{RRM}$ $V_{RWM}$ $V_R$	200	V
Average Rectified Forward Current (Rated $V_R$ , $T_L = 70^\circ\text{C}$ )	$I_{F(AV)}$	4	A
Nonrepetitive Peak Surge Current (Surge Applied at Rated Load Conditions Halfwave, Single Phase, 60 Hz)	$I_{FSM}$	100	A
Operating Junction Temperature	$T_J$	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

## THERMAL CHARACTERISTICS

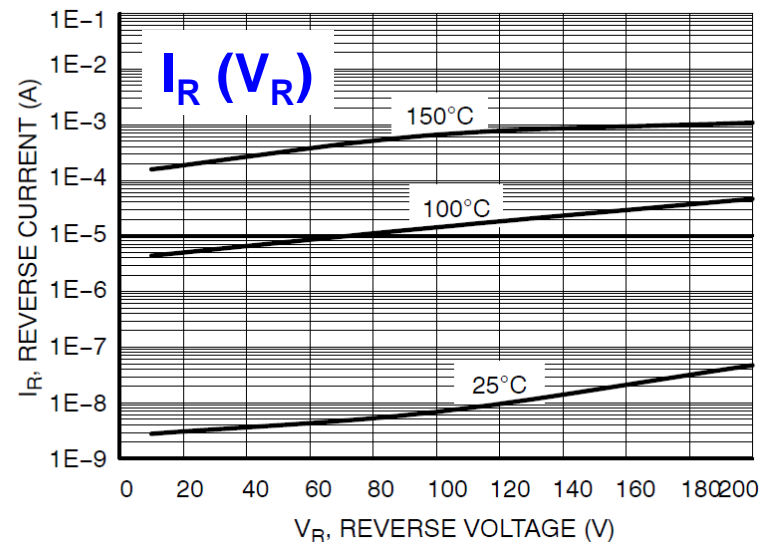
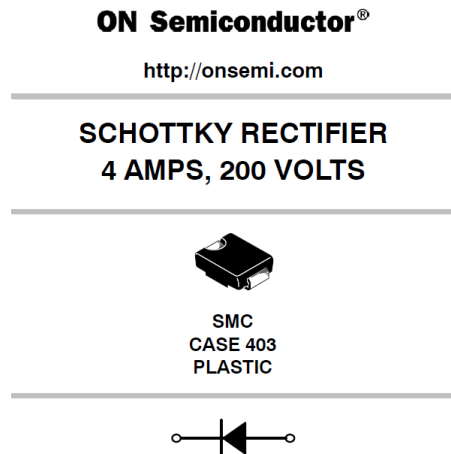
Characteristic	Symbol	Value	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Lead	$R_{\theta JL}$	11	$^\circ\text{C/W}$

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

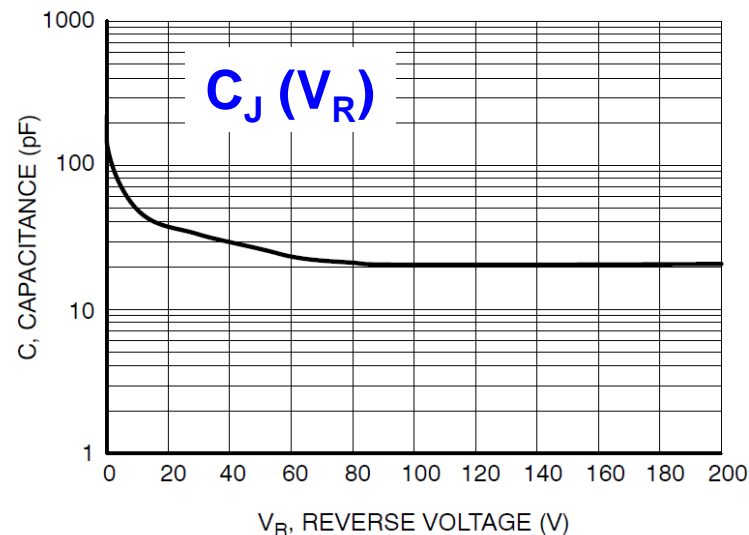
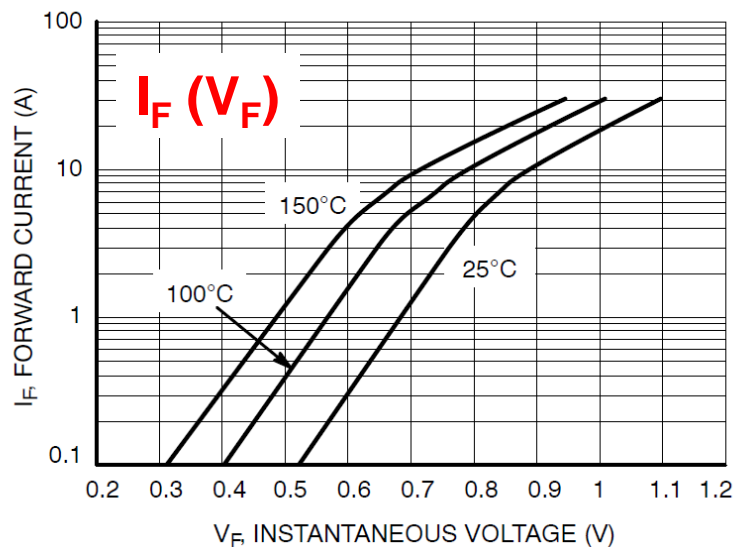
Characteristic	Symbol	Value	Unit
Maximum Instantaneous Forward Voltage ( $I_F = 4\text{ A}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$ ) ( $I_F = 4\text{ A}$ , $T_J = 150^\circ\text{C}$ )	$V_F$	0.86 0.61	V
Maximum Instantaneous Reverse Current (Rated $V_R$ ) (Rated DC Voltage, $T_J = 25^\circ\text{C}$ ) (Rated DC Voltage, $T_J = 150^\circ\text{C}$ )	$I_R$	1.0 5.0	mA mA
Maximum Reverse Recovery Time ( $I_F = 1.0\text{ A}$ , $di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}$ , $V_R = 30\text{ V}$ )	$t_{rr}$	35	ns

# 5.6 Schottkyho dioda Si I-V charakteristiky

závěrný směr



propustný směr



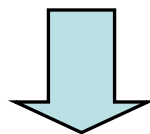
## 5.6 Vlastnosti Schottkyho diod

Výhody:

- malý  $U_F$  (0.25V) pro malé proudy a malé hodnoty  $U_{RRM}$  (Si)
- žádné závěrné zotavení  $\Rightarrow$  rychlé vypínání

Nevýhody:

- velký  $U_F$  pro velké proudy a vyšší hodnoty  $U_{RRM}$  (Si)
- nízké hodnoty  $U_{RRM}$  (typ. do 200 V u křemíku)



Přechod k materiálům s větší šířkou zakázaného pásu:

GaAs, GaP, **SiC**

$U_{RRM} \sim 600 \text{ V}, 1200 \text{ V}, 1700 \text{ V}$

$U_F \sim 1 - 2 \text{ V}$

vyšší provozní teploty

# 5.6 Schotkyho dioda z karbidu křemíku (SiC)



## C2D10120A–Silicon Carbide Schottky Diode ZERO RECOVERY® RECTIFIER

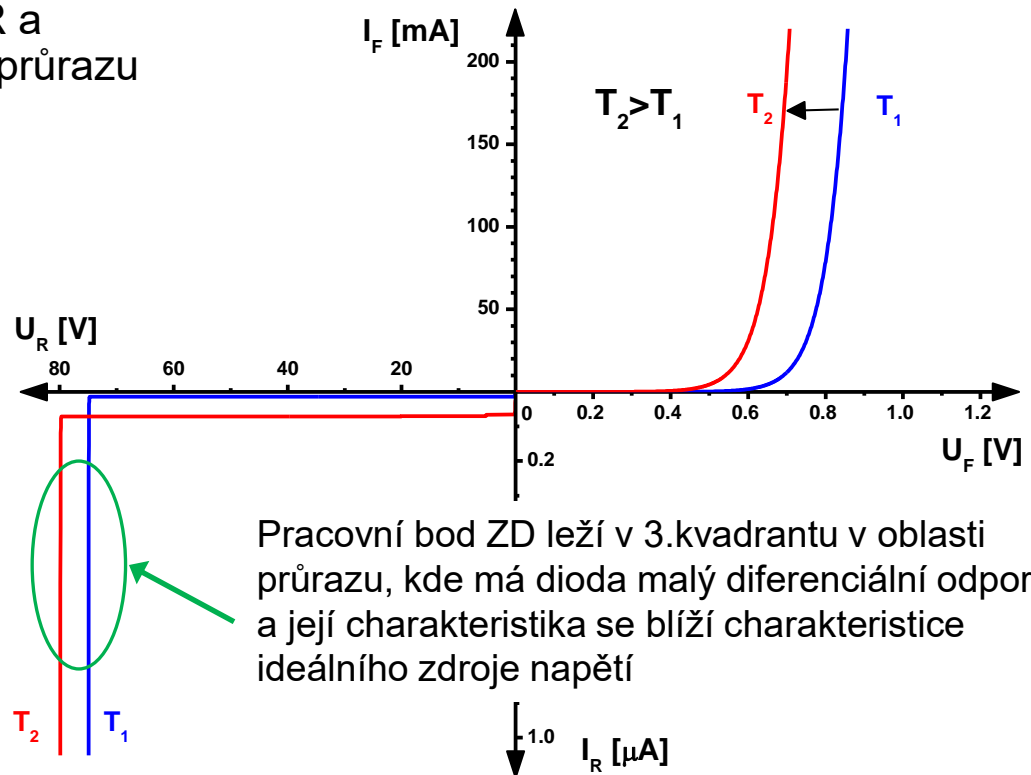
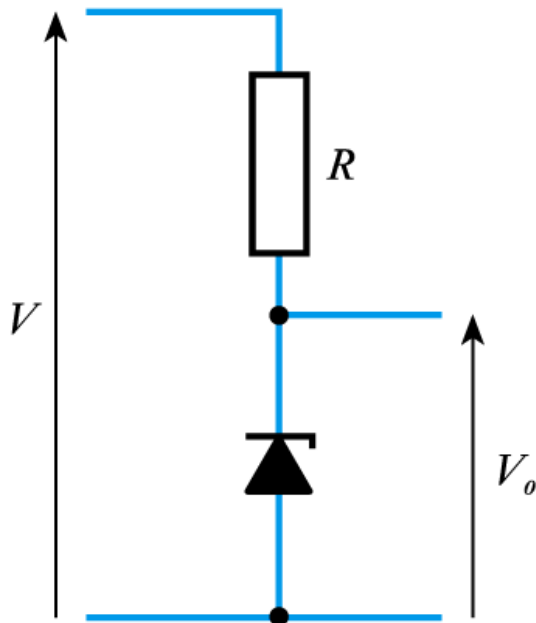
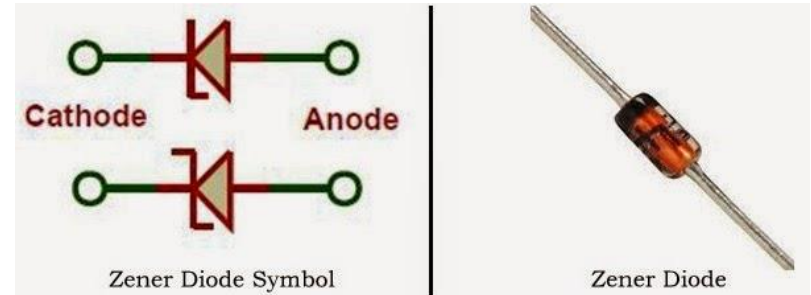
$V_{RRM} = 1200\text{ V}$   
 $I_F = 10\text{ A}$   
 $Q_c = 61\text{ nC}$

### Maximum Ratings

Symbol	Parameter	Value	Unit	Test Conditions	Note
$V_{RRM}$	Repetitive Peak Reverse Voltage	1200	V		
$V_{RSM}$	Surge Peak Reverse Voltage	1200	V		
$V_{DC}$	DC Blocking Voltage	1200	V		
$I_{F(AVG)}$	Average Forward Current	10 17	A	$T_c = 150^\circ\text{C}$ $T_c = 125^\circ\text{C}$	
$I_{F(Peak)}$	Peak Forward Current	25	A	$T_c = 125^\circ\text{C}$ , $T_{REP} < 1\text{ mS}$ , Duty=0.5	
$I_{FRM}$	Repetitive Peak Forward Surge Current	50	A	$T_c = 25^\circ\text{C}$ , $t_p = 10\text{ ms}$ , Half Sine Wave	
$I_{FSM}$	Non-Repetitive Peak Forward Surge Current	250	A	$T_c = 25^\circ\text{C}$ , $t_p = 10\text{ }\mu\text{s}$ , Pulse	
$P_{tot}$	Power Dissipation	312 104	W	$T_c = 25^\circ\text{C}$ $T_c = 125^\circ\text{C}$	
$T_J$ , $T_{stg}$	Operating Junction and Storage Temperature	-55 to +175	$^\circ\text{C}$		

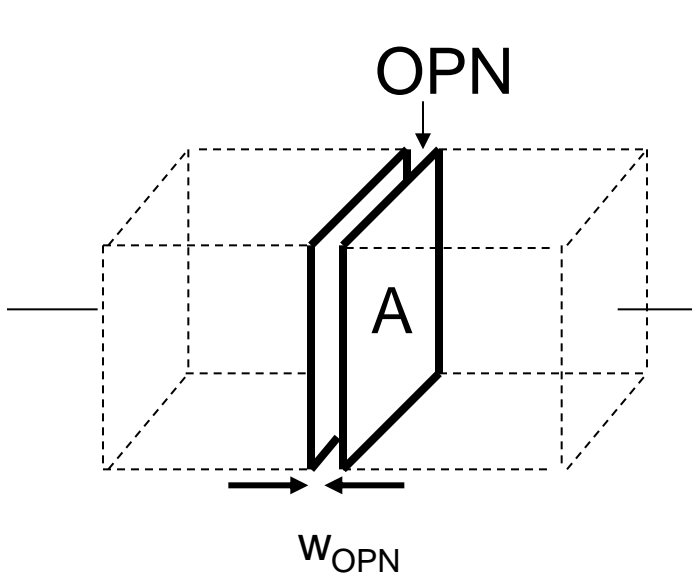
## 5.6 Zenerova Dioda – dioda s definovaným průrazným napětím

- využívá se jako zdroj referenčního napětí
- dioda má v oblasti průrazu malý diferenciální odpor, charakteristika se blíží ideálnímu zdroji napětí
- průrazné napětí ZD se nazývá **Zenerovo napětí,  $V_Z$**
- výstupní napětí obvodu je rovno  $V_Z$  nezávisle na hodnotě vstupního napětí
- odpor  $R$  omezuje proud diodou, činitel stabilizace je úměrný odporu  $R$  a diferenciálnímu odporu ZD při průrazu

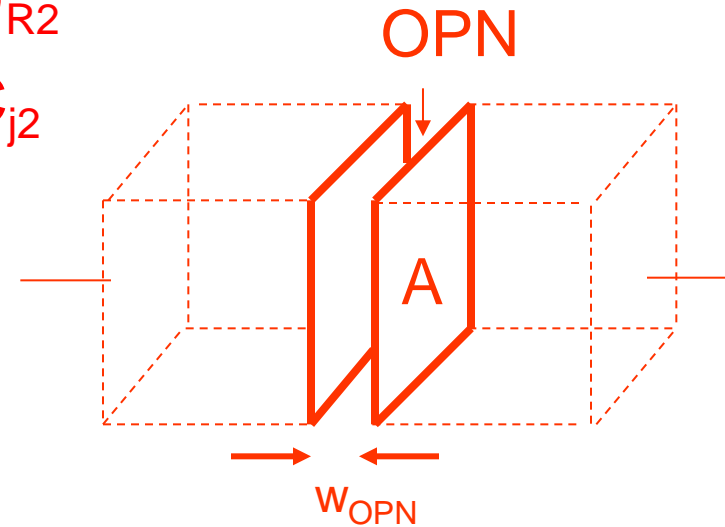


## 5.6 Varikap (*Variable capacitor*) kapacitní dioda

Praktické využití blokovací kapacity OPN p-n přechodu  
rozšiřování OPN (šířky dielektrické vrstvy) se závěrným napětím



$$U_{R1} < U_{R2}$$
$$C_{j1} > C_{j2}$$



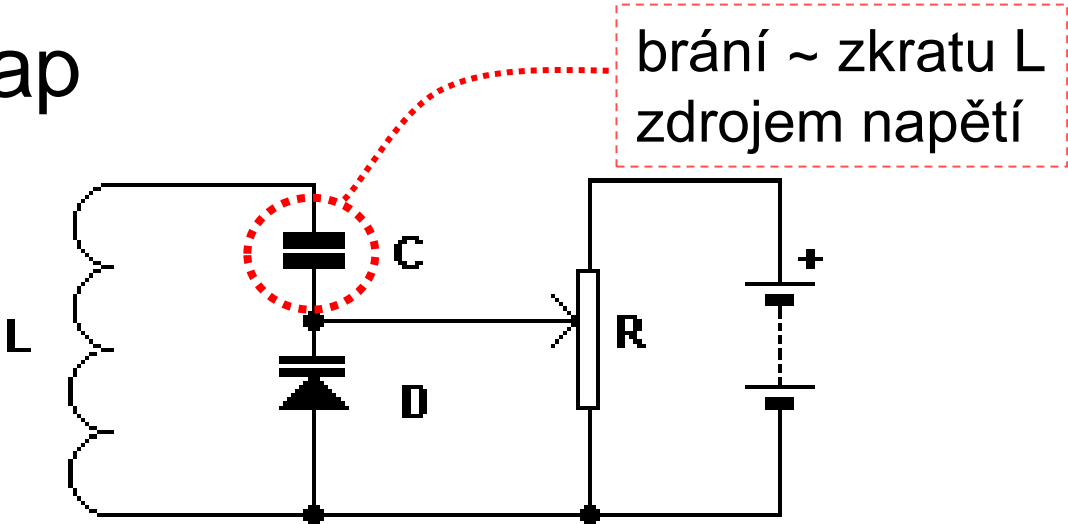
Pro strmý P+N přechod



$$C_j = \varepsilon \frac{A}{w_{OPN}}$$

$$C_j = A \left( \frac{\varepsilon_s e N_D}{2(U_D + U_R)} \right)^{1/2}$$

# 5.6 Varikap




Philips Semiconductors

Varicap diodes

Selection guide

VARICAP DIODES (continued)

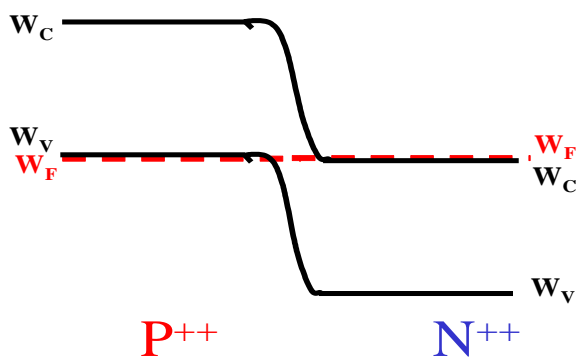
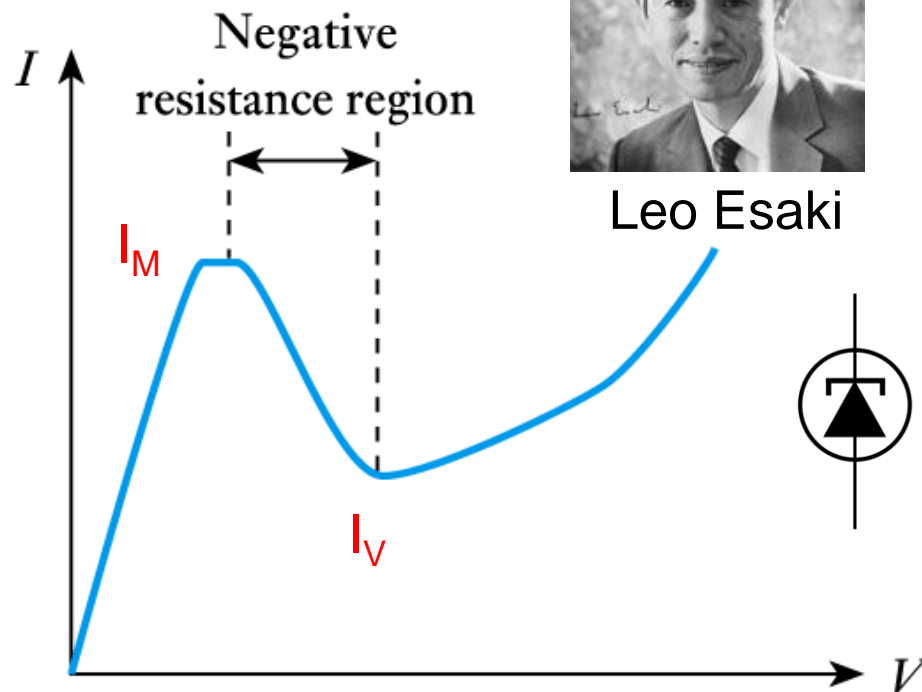
TV/SATELLITE VARICAP DIODES

TYPE NUMBER	C <sub>d</sub> @ V <sub>R</sub>		TUNING RANGE			r <sub>s</sub> max.	MATCHED SETS	DOUBLE DIODE	PACKAGE (not to scale)
			C <sub>d</sub> over voltage range						
	ratio	V <sub>1</sub>	to V <sub>2</sub>						
(pF)	(V)		(V)	(V)	(Ω)	(%)			
VHF tuning									
BB809	4.7	28	9	1	28	0.6	3	no	 SOD68 (DO34)
BB909A	>2.6	28	13.5	1	28	0.9	2.5	no	
BB909B	>2.8	28	13.5	1	28	0.9	2.5	no	
BB910	2.5	28	16	0.5	28	1	2.5	no	
BB911/A	2.7	28	25	0.5	28	2	2.5	no	



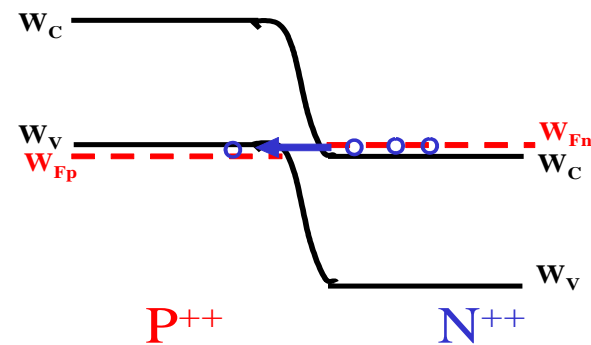
# 5.6 Tunelová dioda

- dioda vykazující zápornou diferenciální vodivost (ZDV)
- charakteristika využívá tunelování nositelů přes úzkou OPN
- ZDV je dána přechodem mezi oblastmi, kde proud teče tunelový proud a standardní difúzní proud
- ZDV se užívá se ve vf oscilátorech pro potlačení parazitních odporů
- potenciálně zajímavá součástka s minimálním uplatněním (za více než 50 let se nepodařilo zlepšit poměr mezi  $I_M$  a  $I_V$ )



$U = 0$  V

Elektronické prvky - B2B34ELPA - př.5



$U > 0$  V