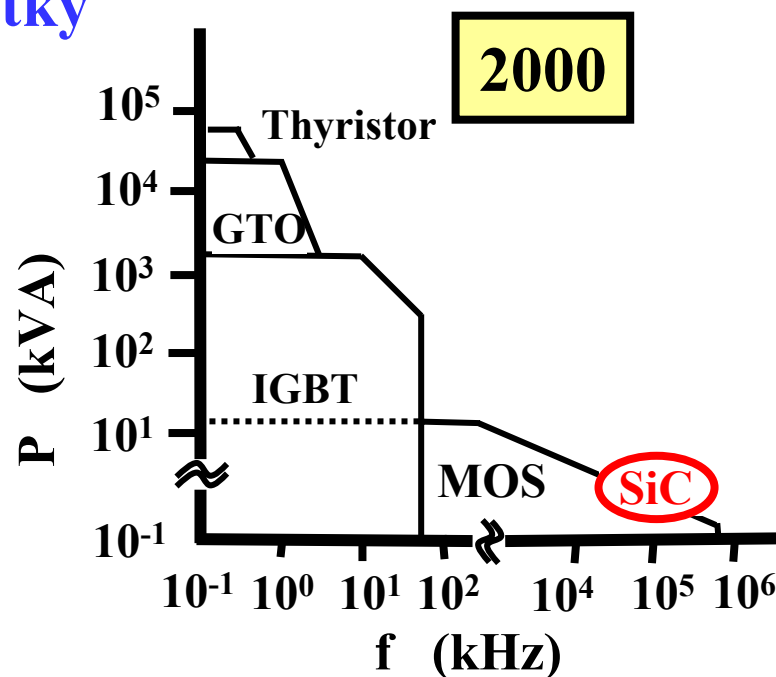
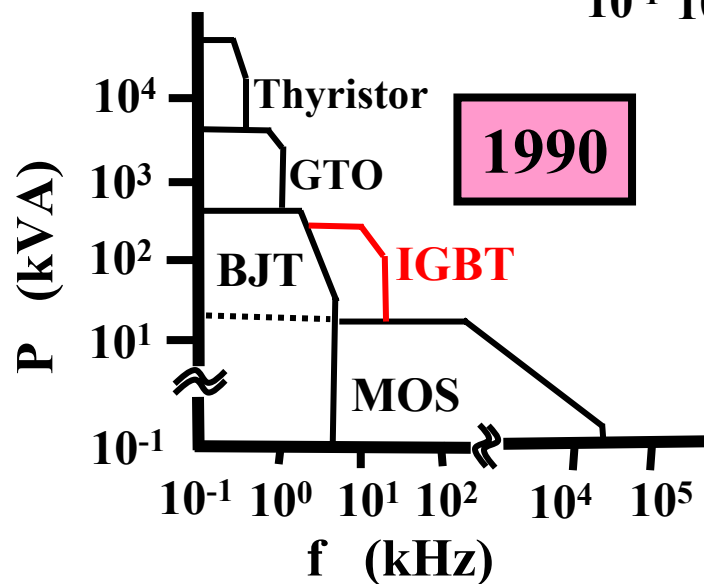
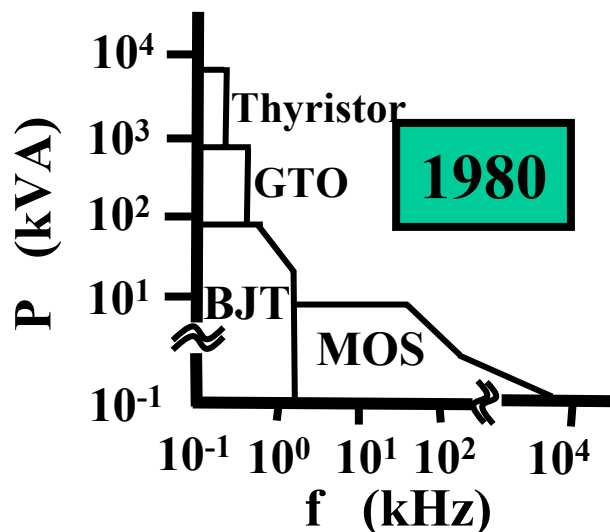


# Výkonové polovodičové součástky

VELKÝ VÝKON

SNADNÉ ŘÍZENÍ

VYSOKÁ FREKVENCE



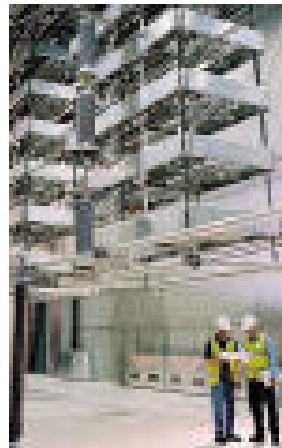
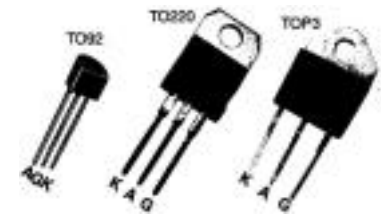
GTO = Gate Turn-Off thyristor  
IGBT = Insulated Gate Bipolar Transistor

# Tyristor

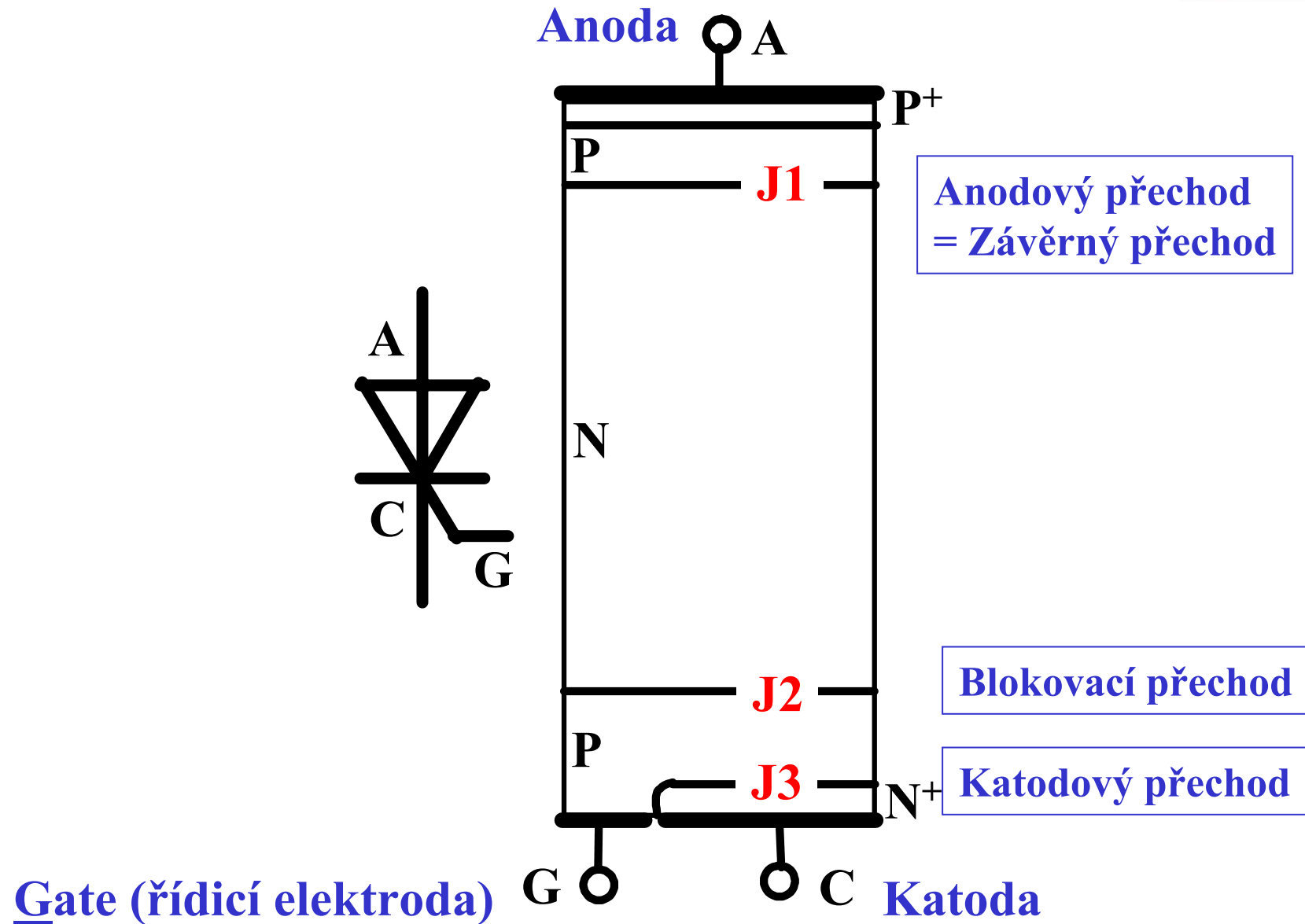


**1956: Bell Labs – Silicon Controlled Rectifier (SCR)**

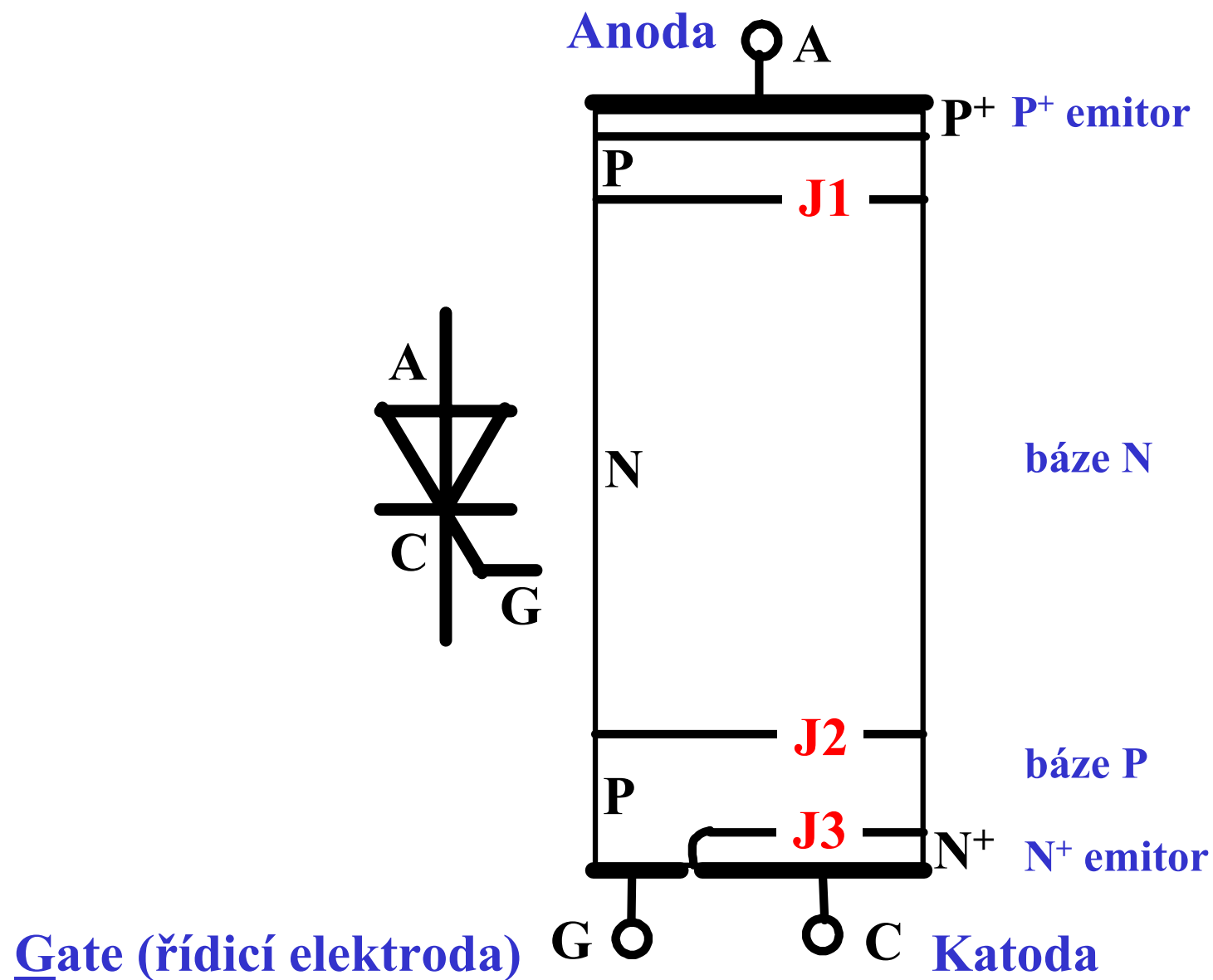
**1958: General Electric – Thyristor**



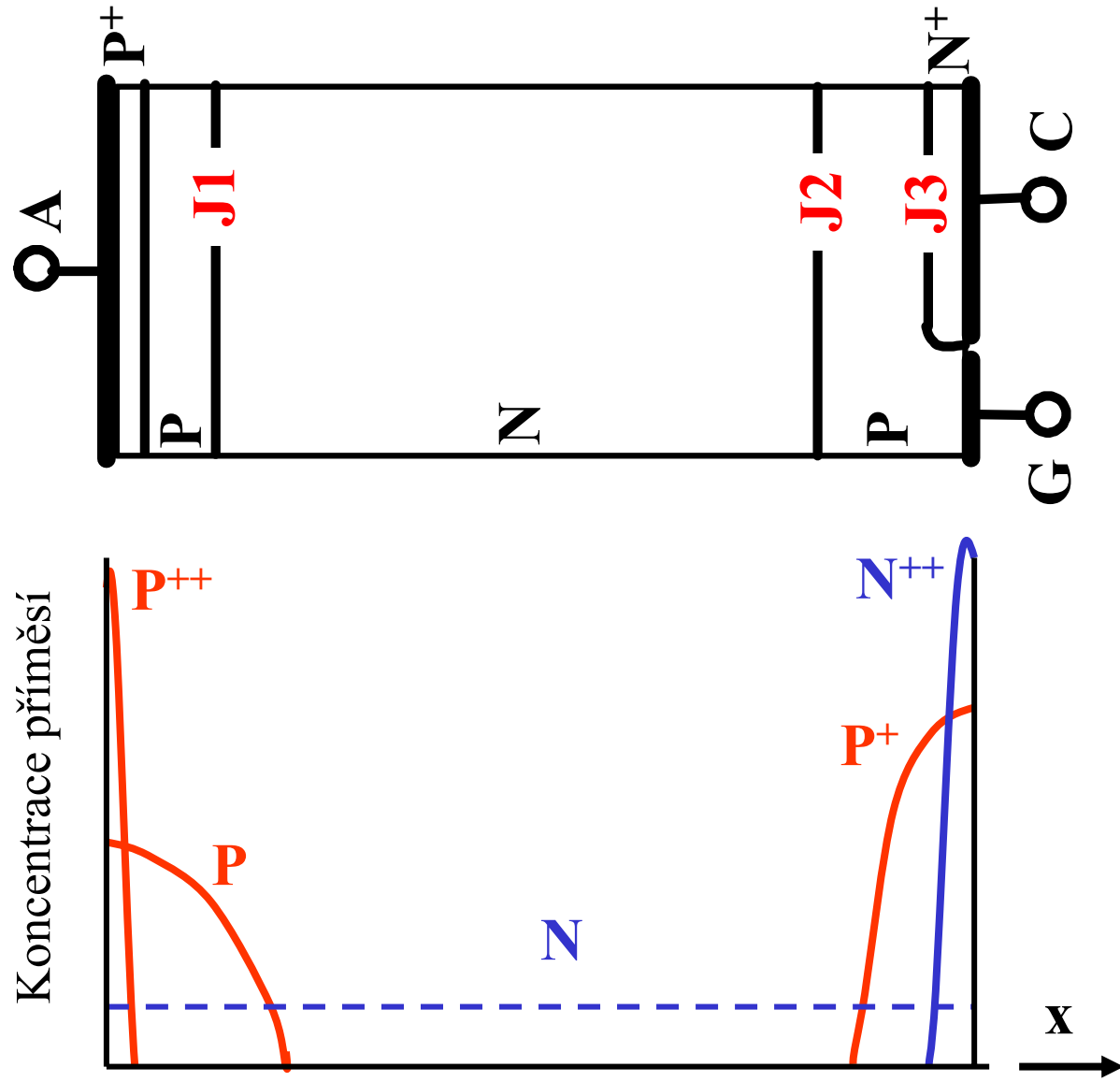
# Tyristor



# Tyristor



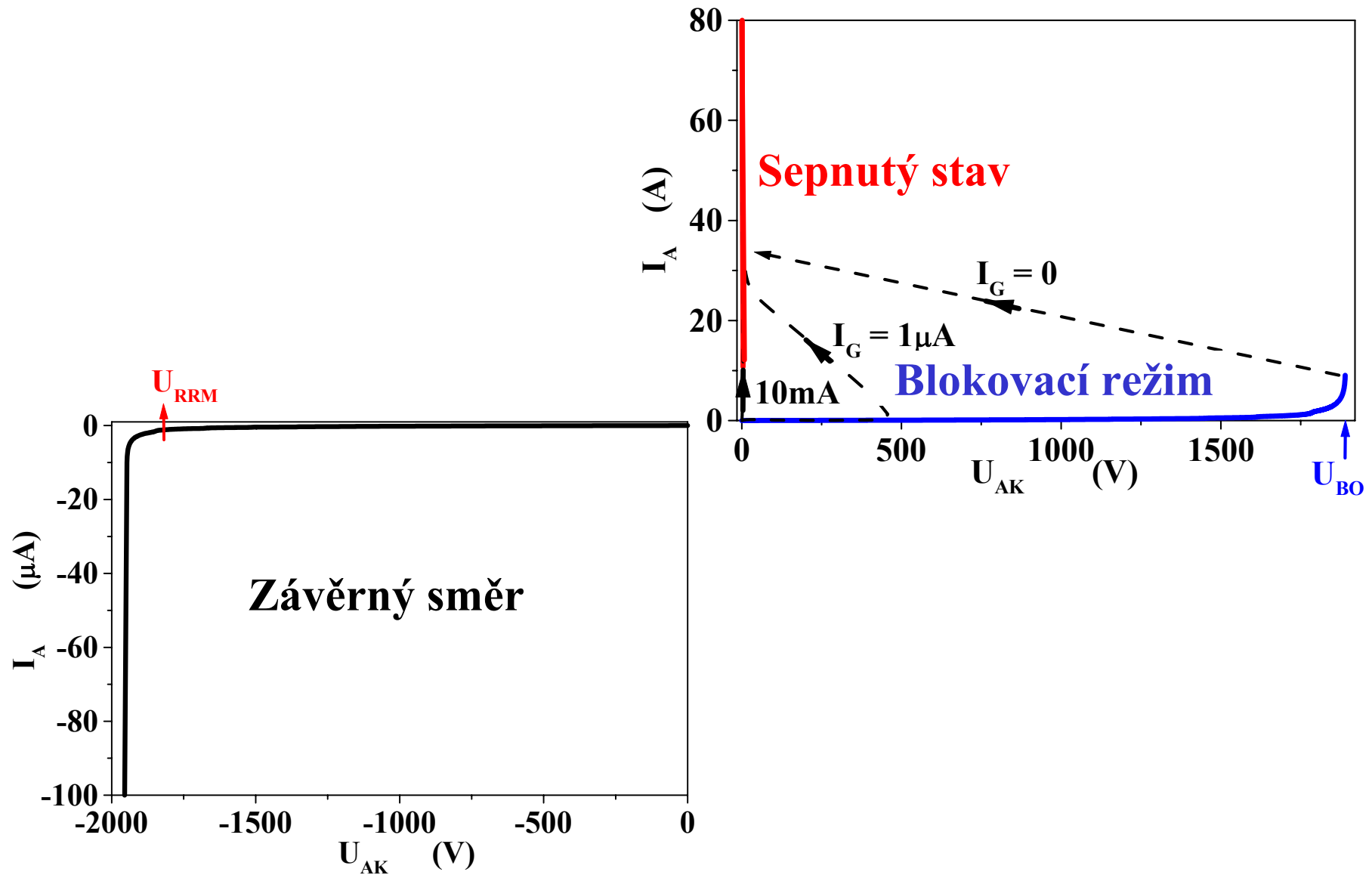
## DOTAČNÍ PROFIL



## Tyristor



# Tyristor – režimy činnosti

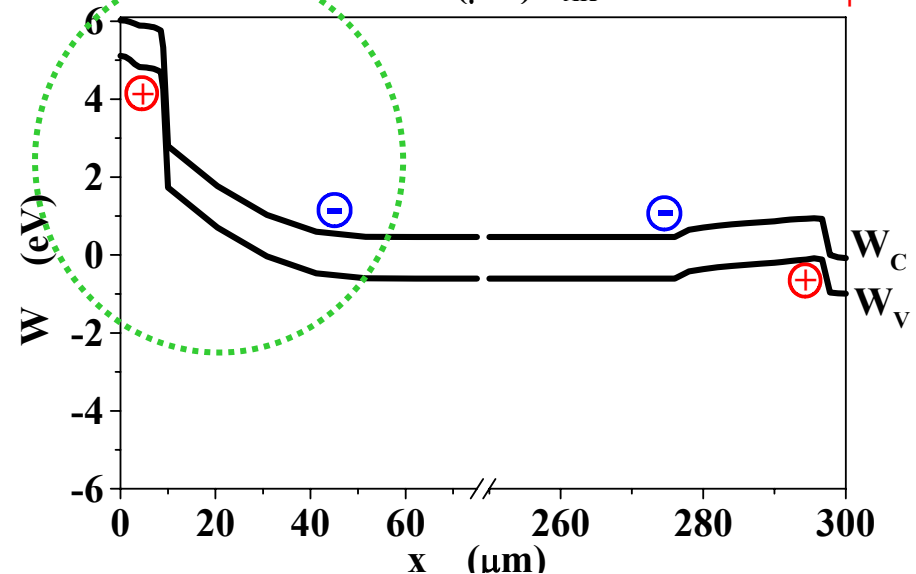
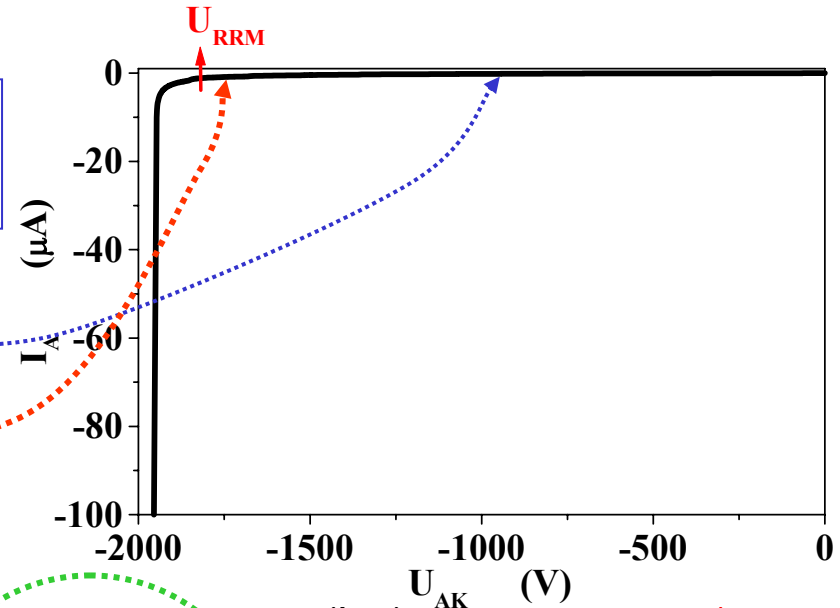
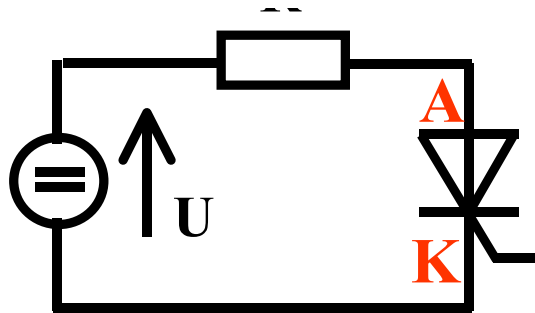


# Tyristor – závěrný směr



Anodový (závěrný) přechod J1 polarizován  
v závěrném směru  $\Rightarrow$  bariéra pro el. a díry

$\Rightarrow$  protéká závěrný proud  $\rightarrow 0$  @  $20^\circ\text{C}$   
až do průrazného napětí  $U_{RRM}$



# Tyristor – závěrný směr

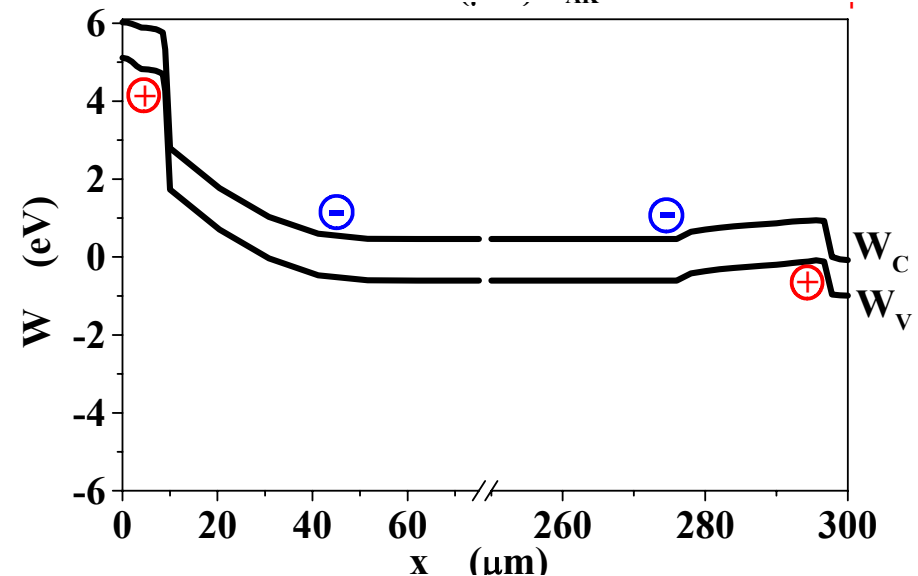
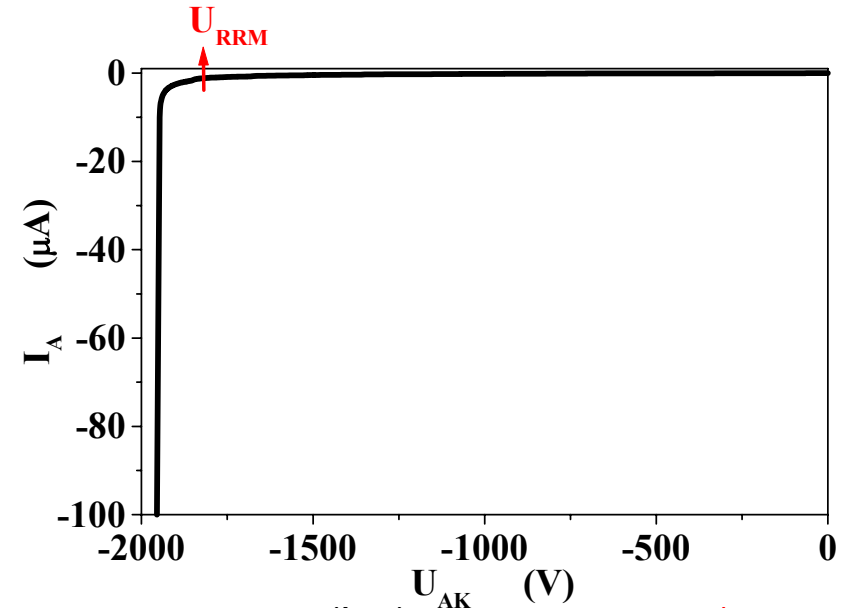
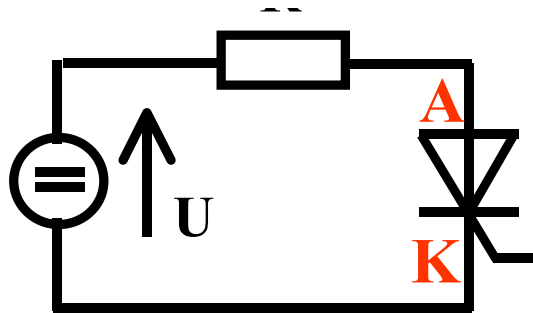


V závěrném směru se k tyristoru chováme  
jako k diodě:

Mezní parametr:

$U_{RRM}$

max. špičkové závěrné opakovatelné napětí





# Tyristor – spínání



**Tyristor je čistě spínací součástka!**

**Bud' je sepnuto, nebo rozepnuto.**

**Pracovní bod v sepnutém stavu nelze ovládat.**

**Způsoby sepnutí:**



**Proudovým impulsem ( $I_G$ )**



**Impulsem optického záření (světla)**

Překročením blokovacího napětí  $U_{BO}$

Překročením hodnoty  $dU_{ac}/dt$  nebo  $dI_a/dt$



# Tyristor – spínání



## Výjimečnost tyristoru:

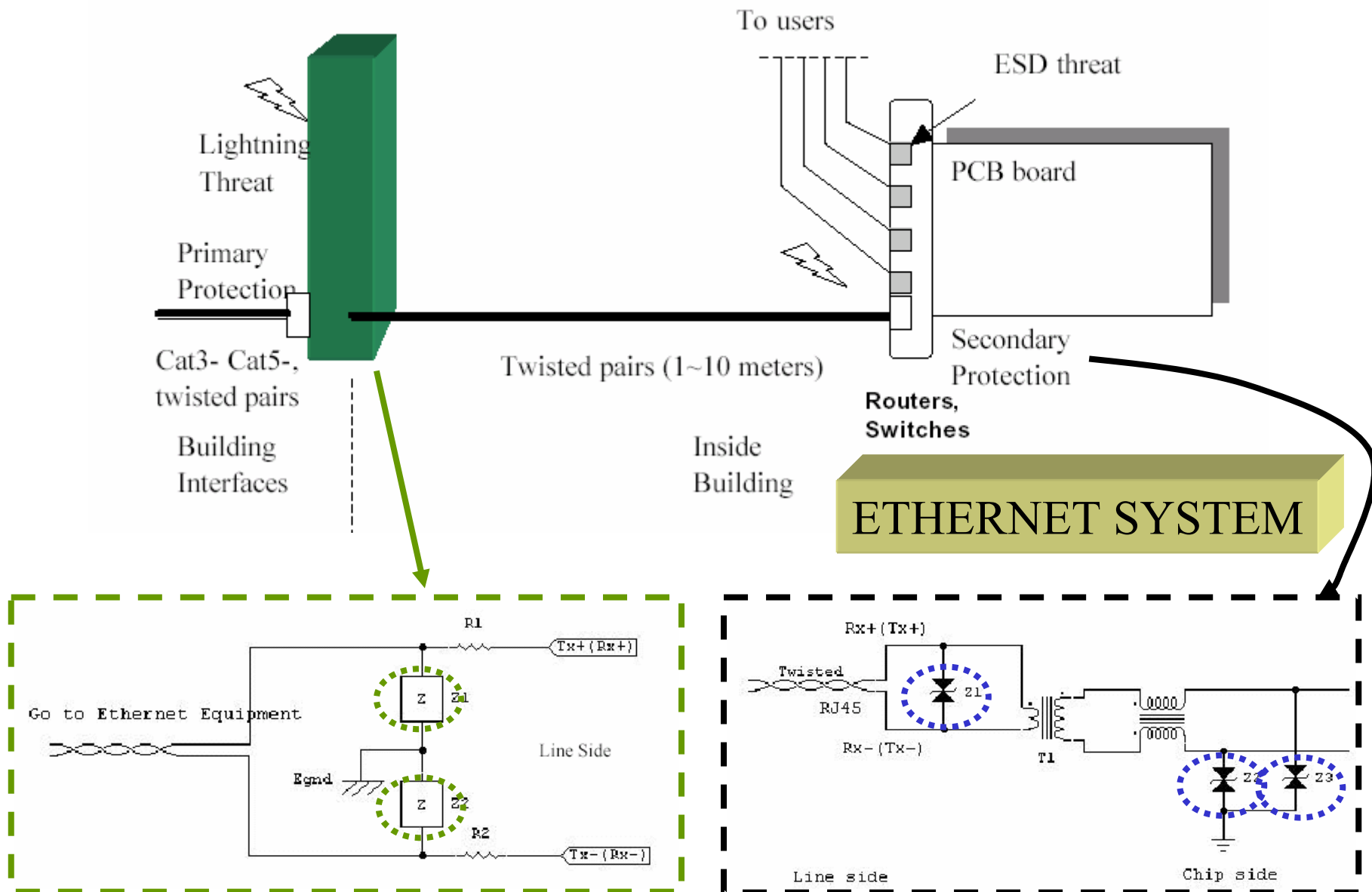
**Po sepnutí zůstává v sepnutém stavu i po odeznění spínacího impulsu** ( pokud anodový obvod dovolí protékání proudu).

**To tranzistory neumí!**

**V sepnutém stavu vykazuje nejnižší odpor ze všech existujících spínacích polovodičových součástek!**

**Tyristor má největší proudovou zatížitelnost.**

**Tyristor má největší proudovou zatížitelnost  $\Rightarrow$  CROWBAR PROTECTION.**



# Tyristor má největší proudovou zatížitelnost $\Rightarrow$ CROWBAR PROTECTION.

## MMT10B350T3


Preferred Devices

### Thyristor Surge Protectors

#### High Voltage Bidirectional TSPD

These Thyristor Surge Protective devices (TSPD) prevent overvoltage damage to sensitive circuits by lightning, induction and power line crossings. They are breakover-triggered crowbar protectors. Turn-off occurs when the surge current falls below the holding current value.

Secondary protection applications for electronic telecom equipment at customer premises.

- High Surge Current Capability: 100 Amps 10 x 1000  $\mu$ sec, for Controlled Temperature Environments
- The MMT10B350T3 Series is used to help equipment meet various regulatory requirements including: Bellcore 1089, ITU K.20 & K.21, IEC 950, UL 1459 & 1950 and FCC Part 68.
- Bidirectional Protection in a Single Device
- Little Change of Voltage Limit with Transient Amplitude or Rate
- Freedom from Wearout Mechanisms Present in Non-Semiconductor Devices
- Fail-Safe, Shorts When Overstressed, Preventing Continued Unprotected Operation
- Surface Mount Technology (SMT)
-  Indicates UL Recognized – File #E210057
- Device Marking: MMT10B350T3: RPDM

MAXIMUM RATINGS ( $T_J = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

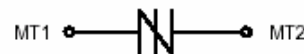
Rating	Symbol	Value	Unit
Off-State Voltage – Maximum	$V_{DM}$	300	Volts
Maximum Pulse Surge Short Circuit Current Non-Repetitive Double Exponential Decay Waveform (Notes 1 and 2) 10 x 1000 $\mu$ sec –25°C Initial Temperature)	$I_{PPS1}$	$\pm 100$	A(pk)
2 x 10 $\mu$ sec	$I_{PPS2}$	$\pm 500$	
10 x 160 $\mu$ sec	$I_{PPS3}$	$\pm 200$	
10 x 700 $\mu$ sec	$I_{PPS4}$	$\pm 180$	
Maximum Non-Repetitive Rate of Change of On-State Current Double Exponential Waveform, $R = 2.4 \Omega$ , $L = 2.0 \mu\text{H}$ , $C = 2.0 \mu\text{F}$ ,	$di/dt$	$\pm 100$	A/ $\mu$ s



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

**BIDIRECTIONAL TSPD (SMB)**  
**100 AMP SURGE**  
**350 VOLTS**



SMB  
(No Polarity)  
(Essentially JEDEC DO-214AA)  
CASE 403C

#### MARKING DIAGRAMS

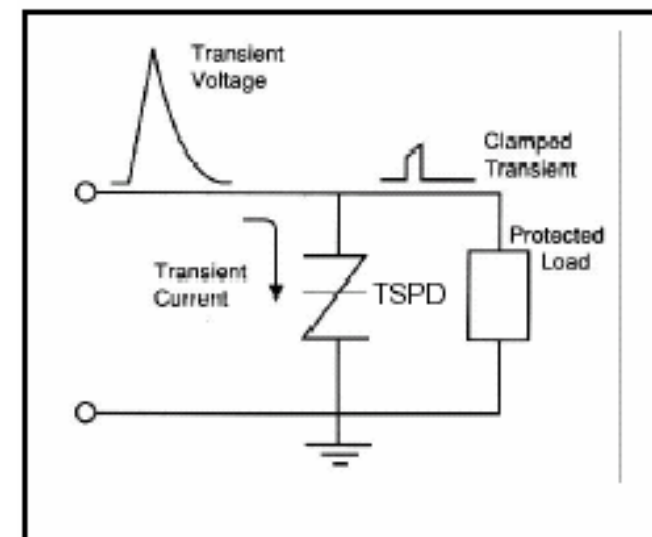
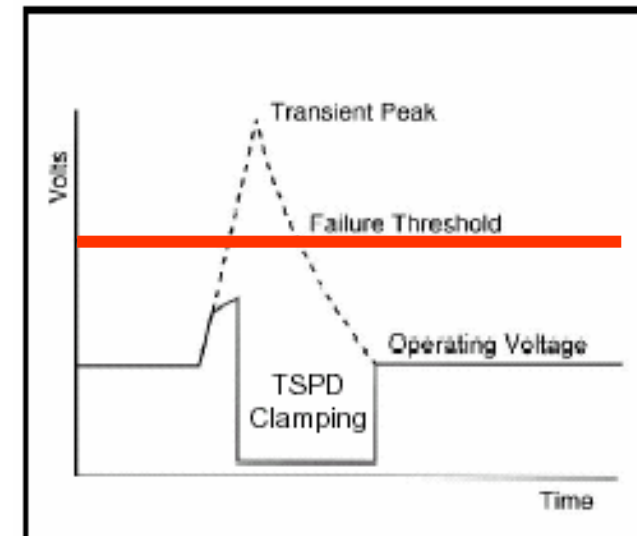


RPDM = Specific Device Code  
Y = Year  
WW = Work Week

#### ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping†
MMT10B350T3	SMB	12 mm Tape and Reel (2.5 K/Reel)

†For information on tape and reel specifications,

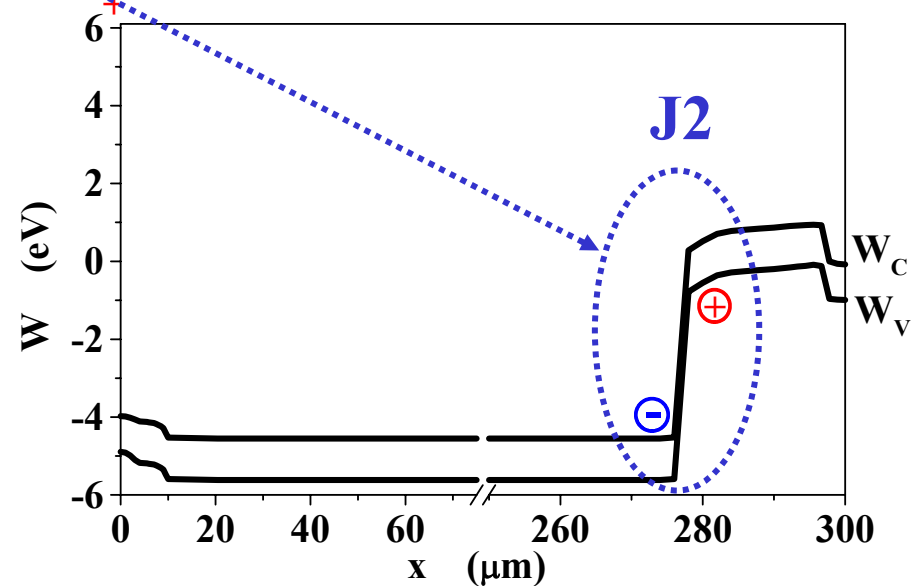
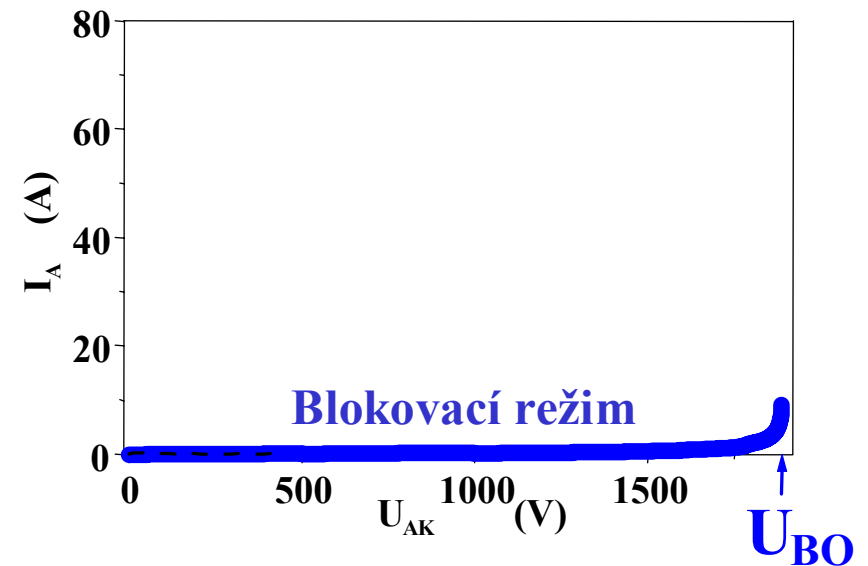
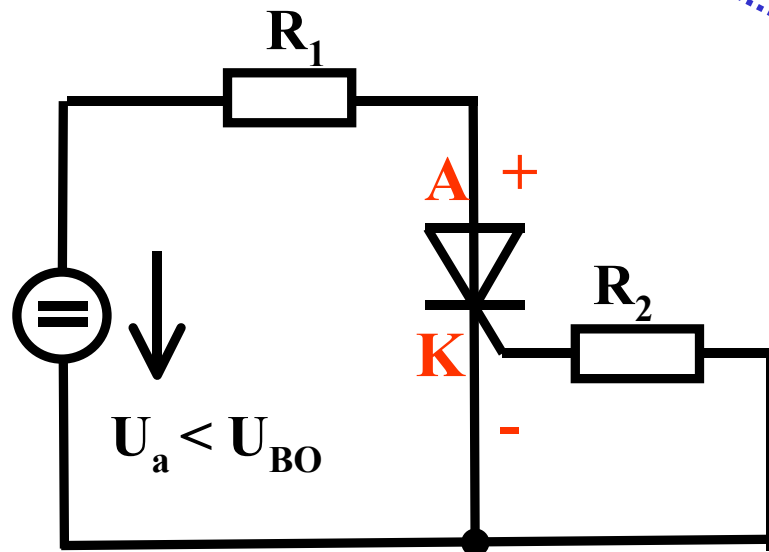


# Tyristor – blokovací režim



Na anodě plus, na katodě minus,  $I_G=0$ :

Blokovací přechod J2 v závěrném směru  
 $\Rightarrow$  J2 **BLOKUJE** průchod nositelů náboje  
 $\Rightarrow$  neteče proud.



# Tyristor – blokovací režim

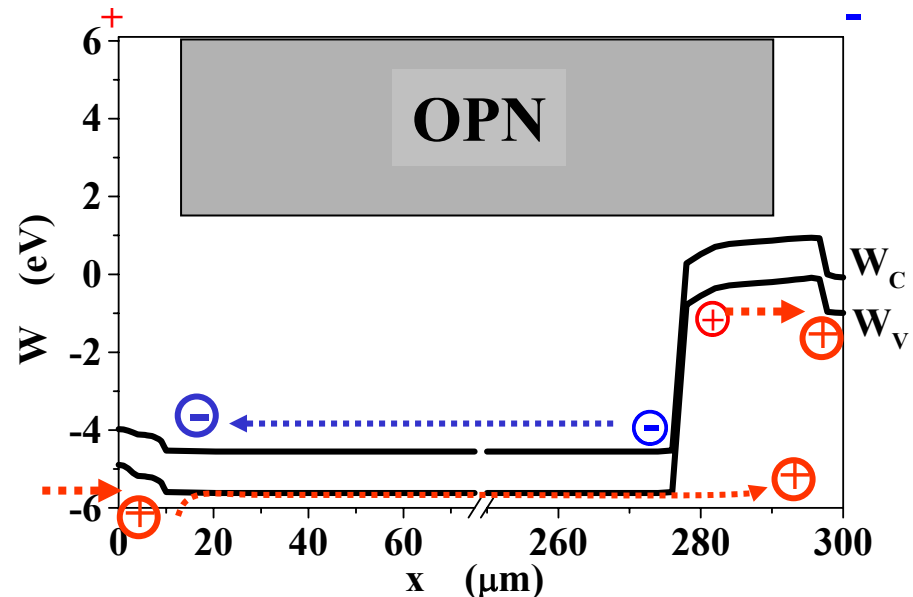
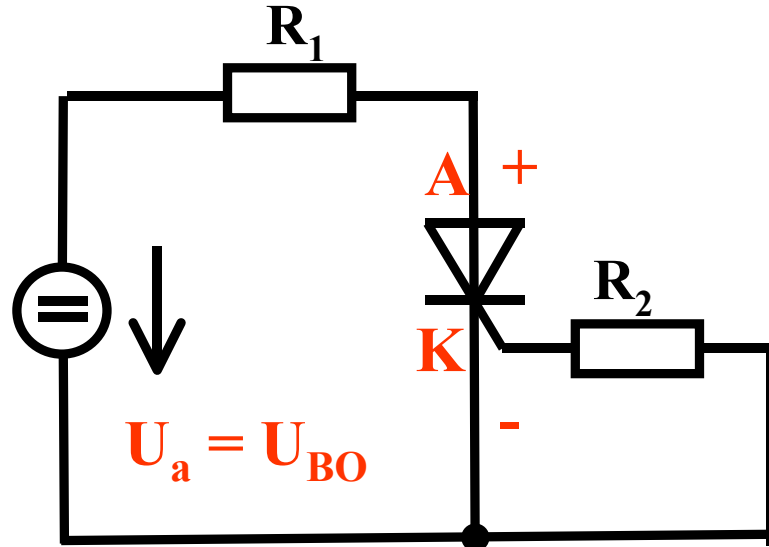


$U_A = U_{BO}$ : Nárazová ionizace na přechodu J2 generuje **elektrony** a **díry**.

**Elektrony** přitahovány na anodu, **díry** na katodu.

**Elektrony** u anody poruší svým záporným nábojem neutralitu prostorového náboje

⇒ injekce **děr** z anody (kompenzace kladným nábojem)



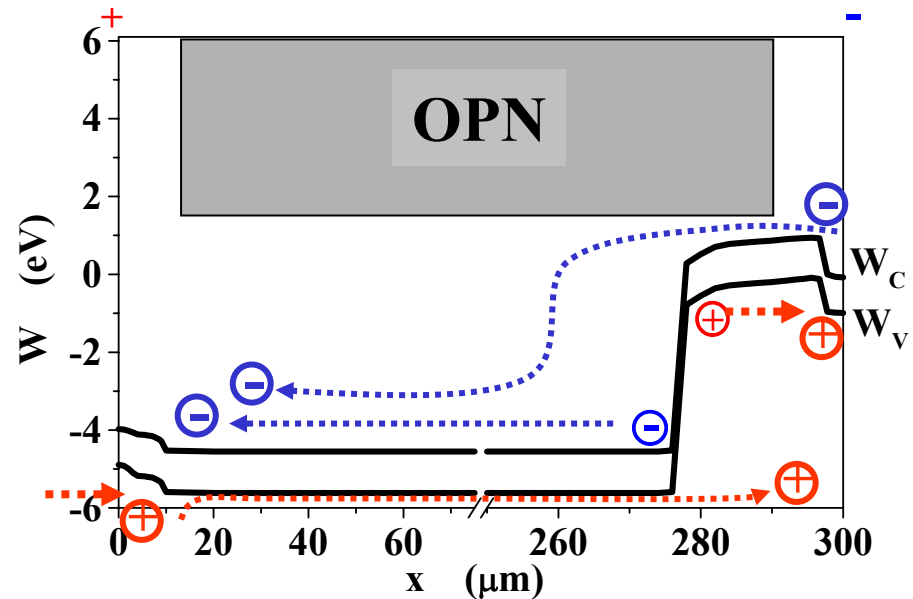
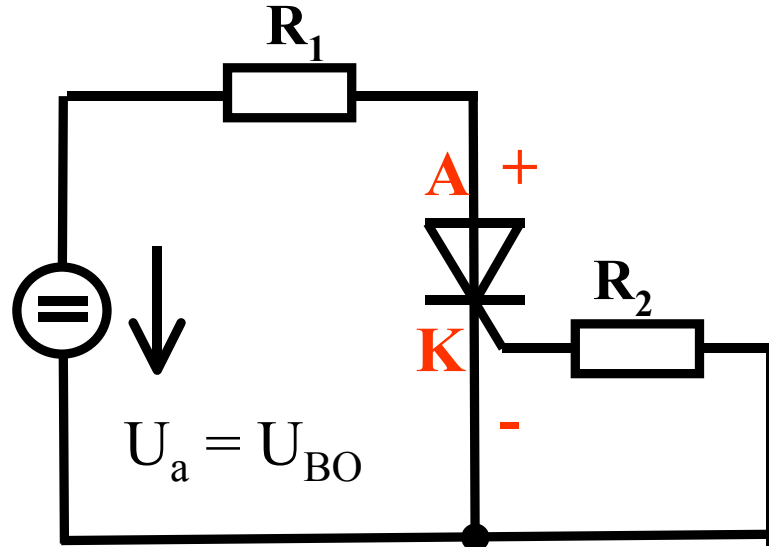
# Tyristor – blokovací režim



**Elektrony** u anody poruší neutralitu prostorového náboje  $\Rightarrow$  injekce **děr** z anody

**Díry** poruší neutralitu prostorového náboje u katody

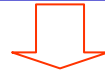
$\Rightarrow$  injekce **elektronů** z katody (kompenzace záporným nábojem)



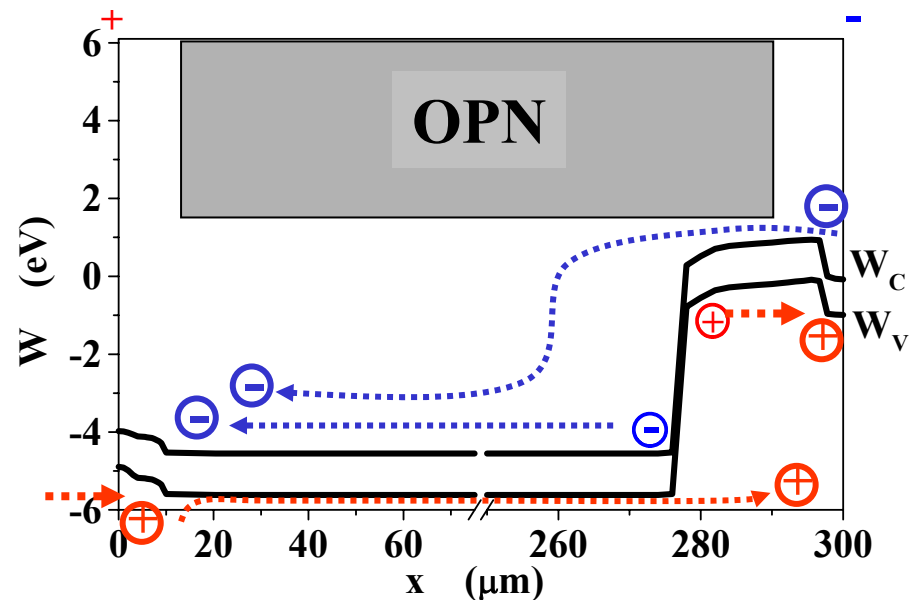
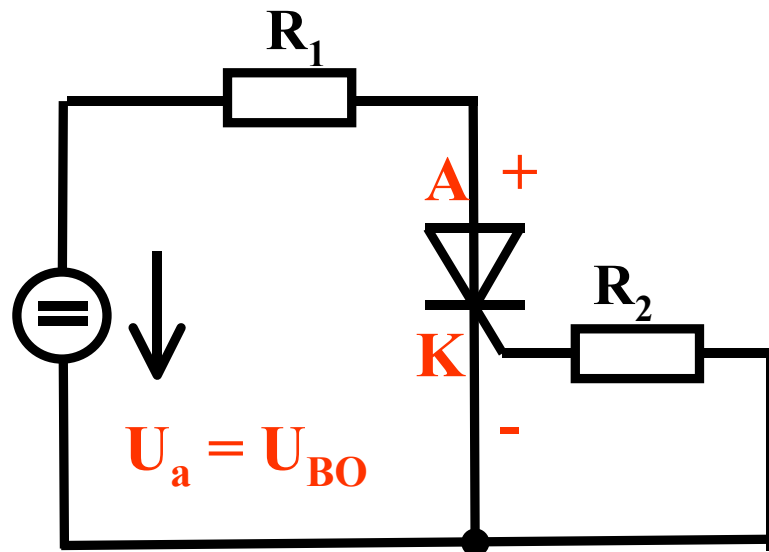
# Tyristor – blokovací režim



Injekce **elektronů** z katody a **děř** z anody se vzájemně stimuluje  
⇒ uzavření kladné (regenerativní) zpětné vazby  
⇒ zaplavení blokovacího přechodu volnými nositeli náboje



zaplavení tyristoru **elektrony** a **děřami** ⇒ sepnutí tyristoru





# Tyristor – blokovací režim

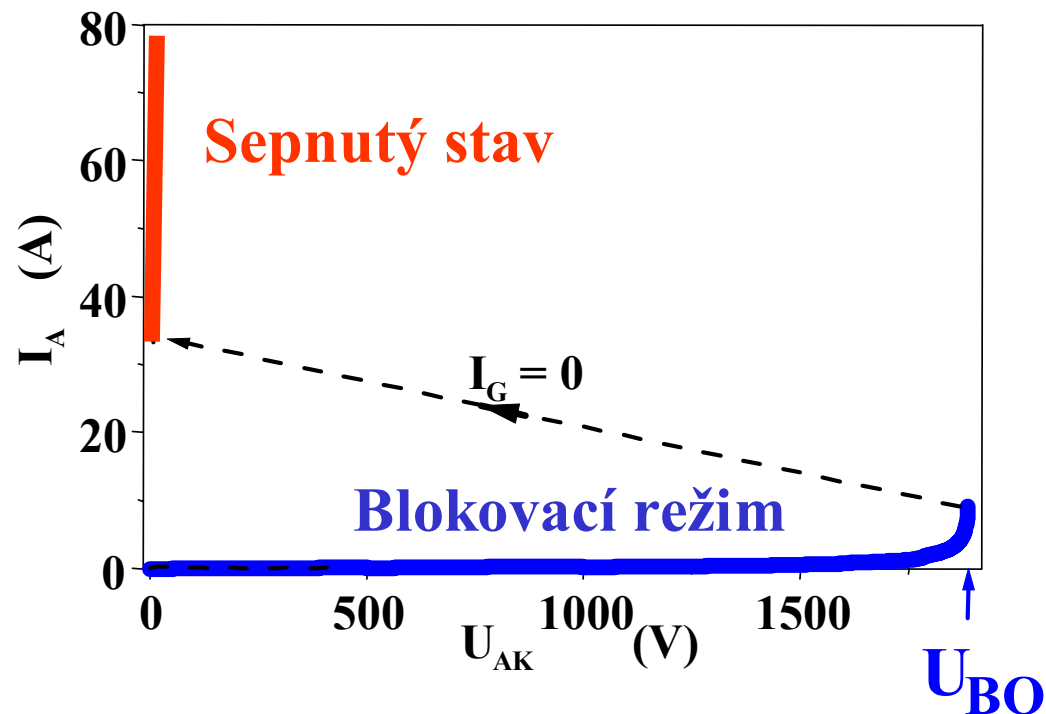


Injekce **elektronů** z katody a **děť** z anody se vzájemně stimuluje

⇒ uzavření kladné zpětné vazby

⇒ zaplavení tyristoru volnými nositeli náboje ⇒ sepnutí tyristoru

⇒ pokles odporu mezi anodou a katodou na minimum



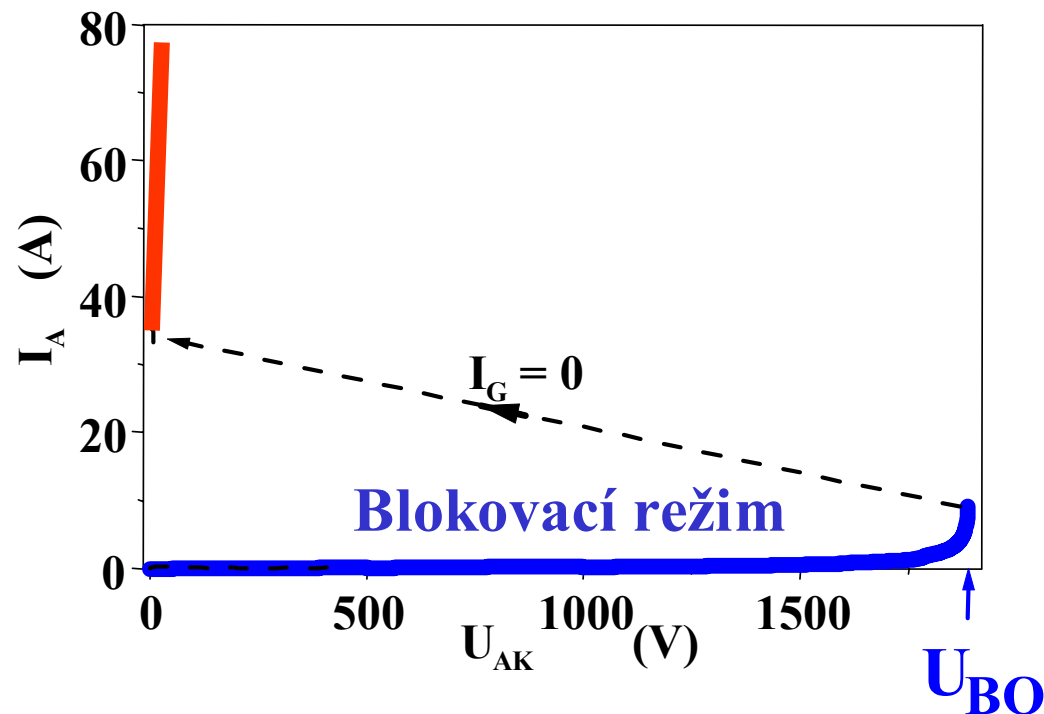
# Tyristor – blokovací napětí



**BLOKOVACÍ NAPĚTÍ  $U_{BO}$**  je anodové napětí  $U_{AK}$  při kterém tyristor přejde z blokovacího do sepnutého stavu při  $I_G = 0$ .

$U_{BO}$  = Break-Over voltage Někdy též nazýváno  $U_{DRM}$

Typické hodnoty  $U_{BO}$  jsou stovky až tisíce V.

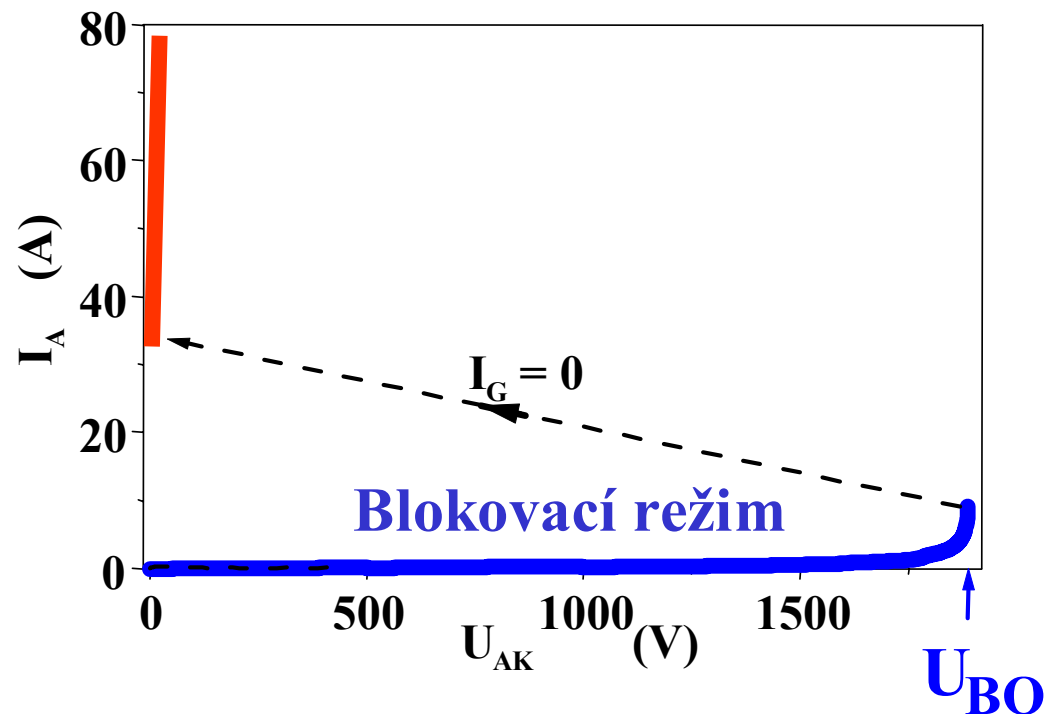


# Tyristor – blokovací napětí



**BLOKOVACÍ NAPĚTÍ  $U_{BO}$  je anodové napětí  $U_{AK}$ , při kterém tyristor přejde z blokovacího do sepnutého stavu při  $I_G = 0$ .**

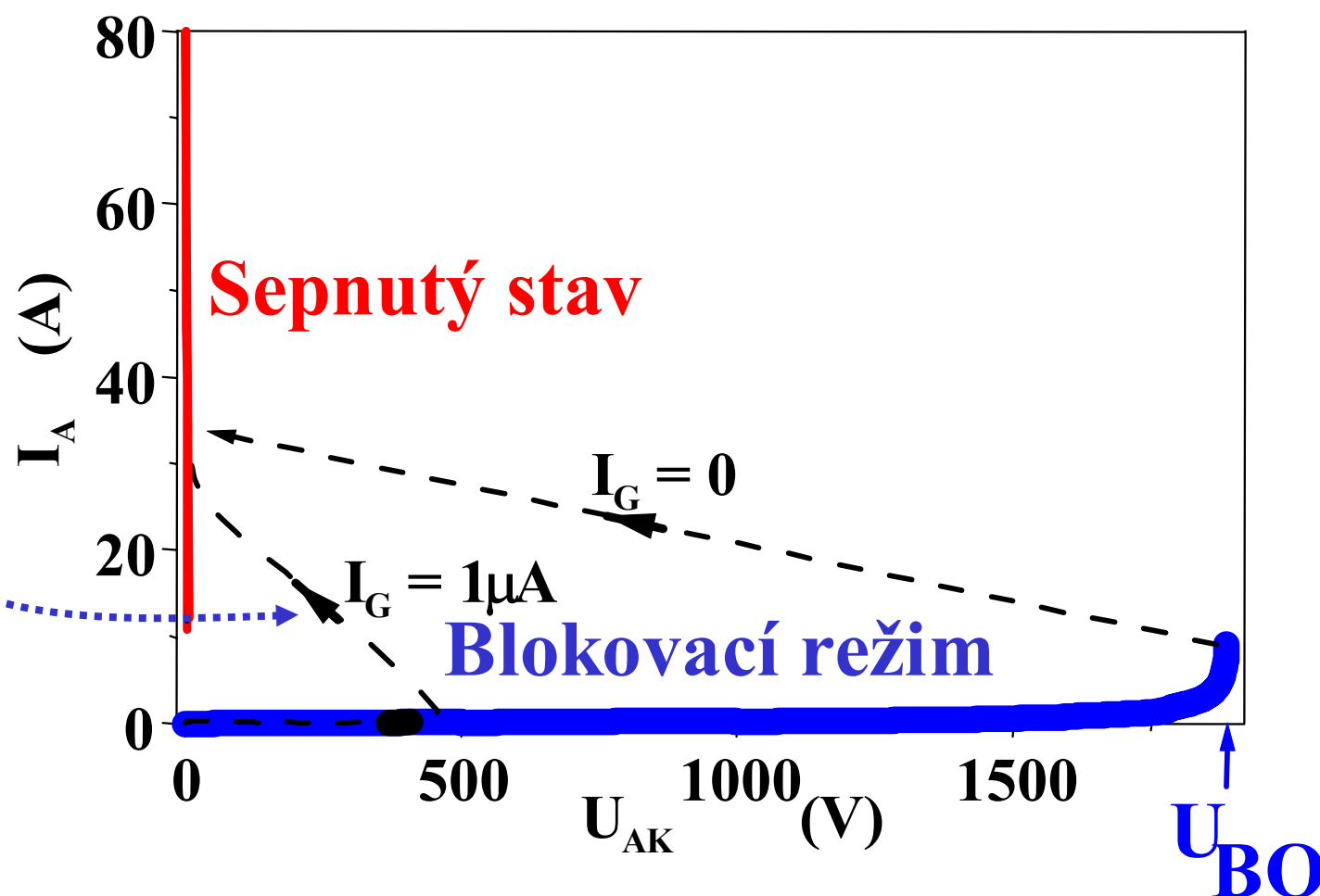
**Tento způsob sepnutí je nežádoucí (*nelze rozumně ovládat*).**



# Tyristor – blokovací napětí



Pro  $I_G > 0$  sepne tyristor i při nižším napětí než  $U_{BO}$ .

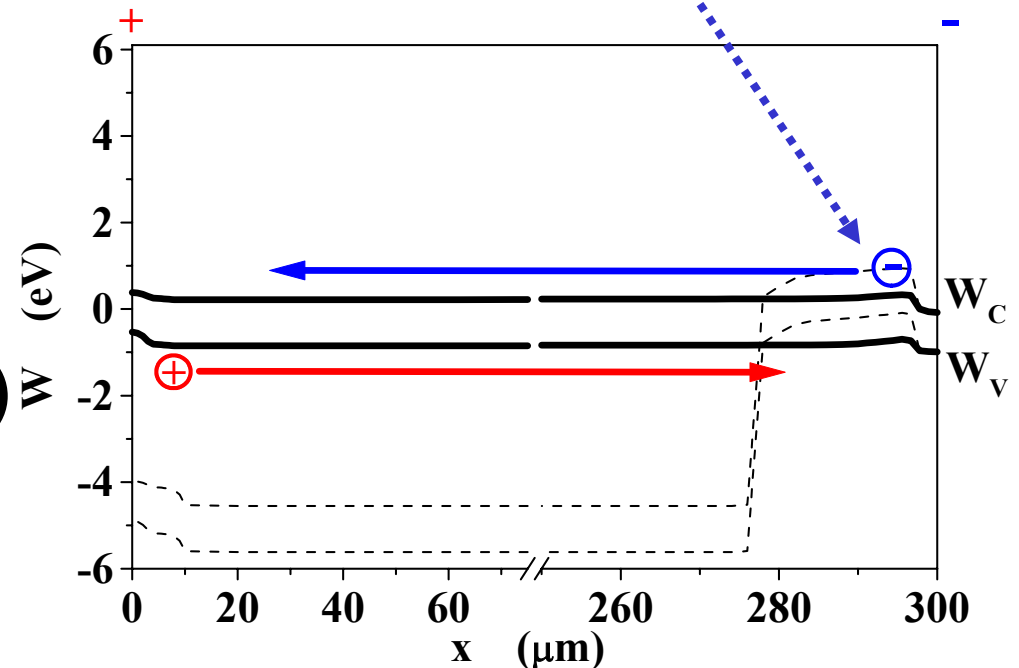
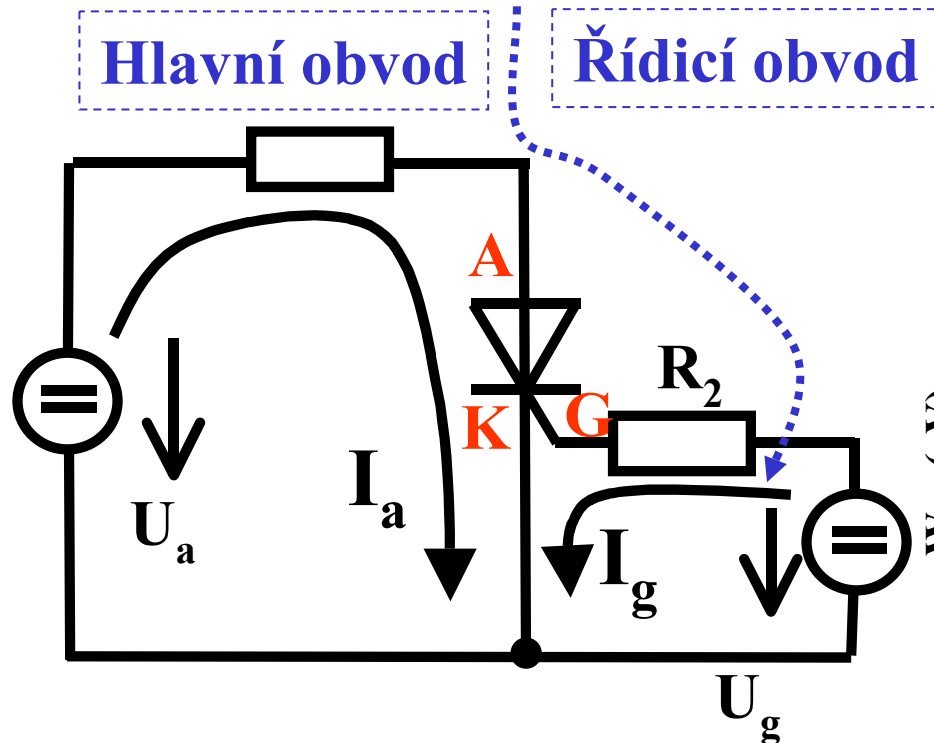


# Sepnutí tyristoru proudem $I_g$



Hlavní obvod zajišťuje *plus* na anodě, *minus* na katodě.

Přechod J3 polarizujeme do propustného směru proudem  $I_g$  tekoucím z Gate do Katody  $\Rightarrow$  **injekce elektronů do báze P.**



# Sepnutí tyristoru proudem $I_g$

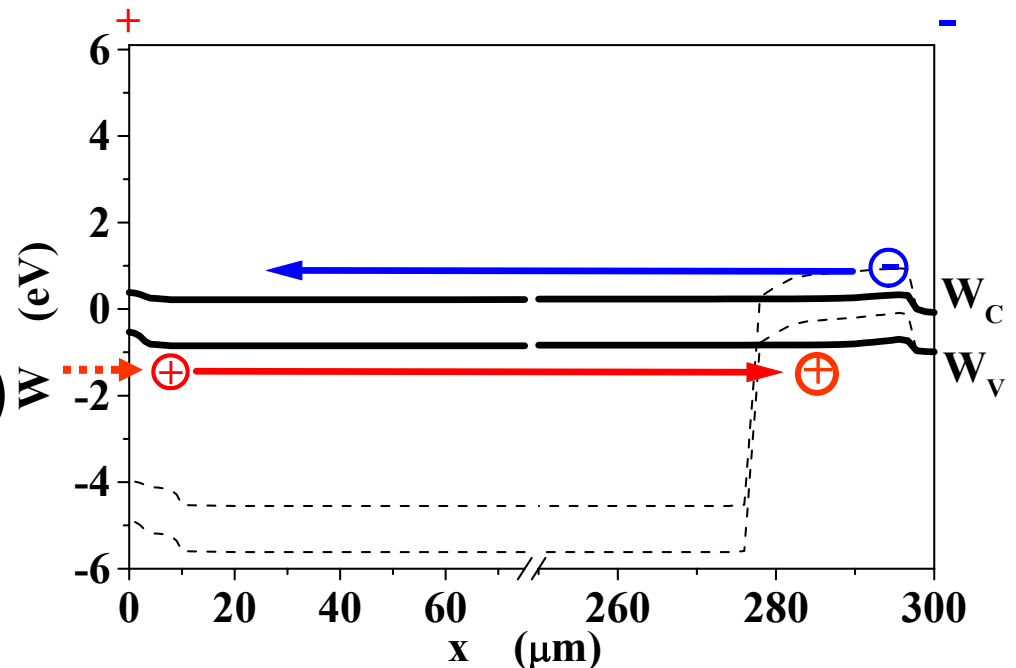
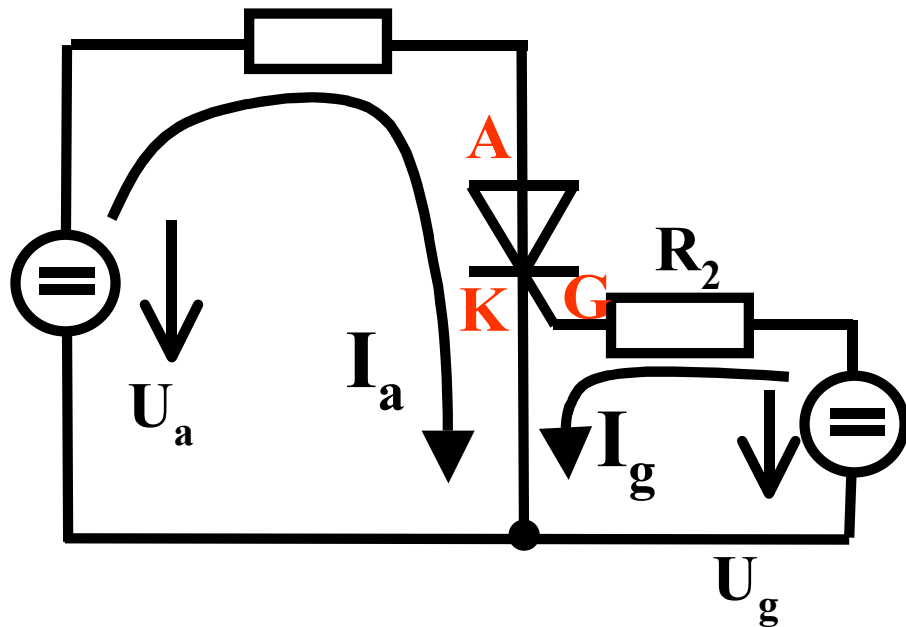


Přechod J3 polarizujeme do propustného směru proudem  $I_g$  tekoucím z Gate do Katody  $\Rightarrow$  **injekce elektronů do báze P.**

**Elektrony** u anody poruší neutralitu prostorového náboje  $\Rightarrow$  injekce **děr** z anody (kompenzace kladným nábojem)

Hlavní obvod

Řídicí obvod



# Sepnutí tyristoru proudem $I_g$



**Elektrony** u anody poruší svým záporným nábojem neutralitu prostorového náboje  
⇒ injekce **děr** z anody (kompenzace kladným nábojem)

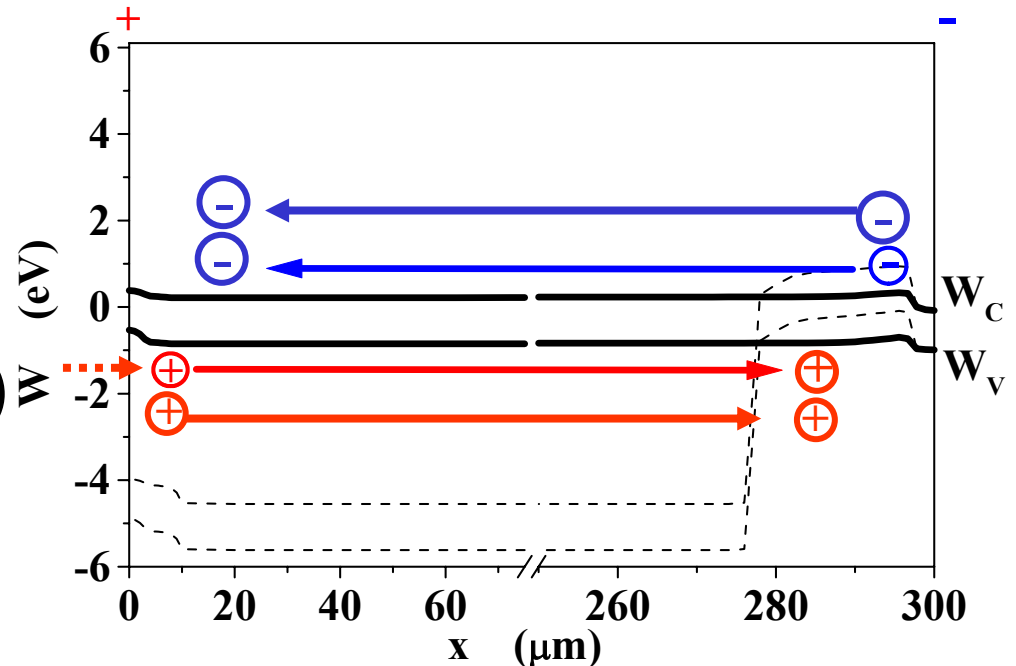
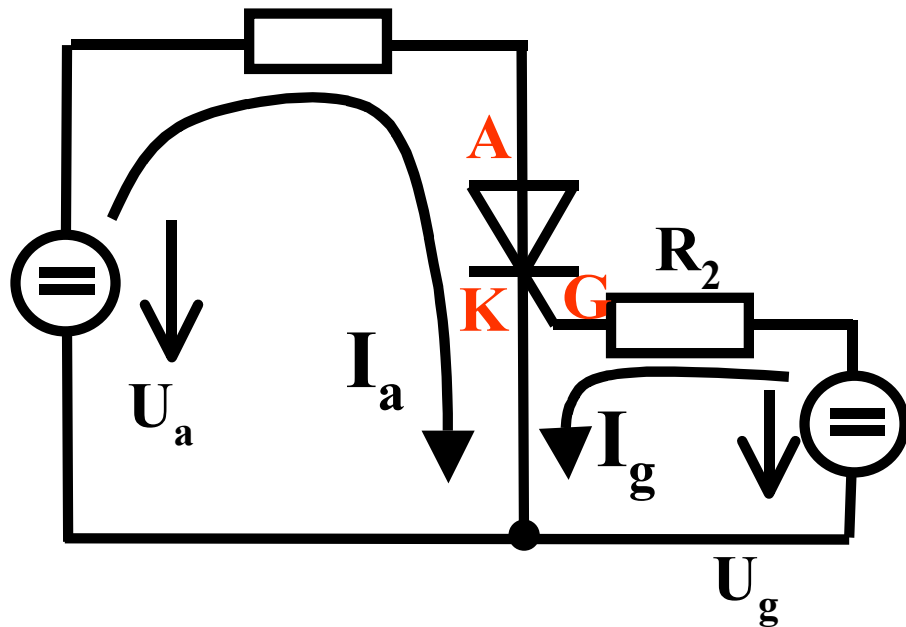
**Díry** z anody projdou ke katodě a vyvolají zde injekci **elektronů**

⇒ uzavření kladné zpětné vazby

⇒ zaplavení tyristoru volnými nositeli náboje ⇒ sepnutí

Hlavní obvod

Řídicí obvod

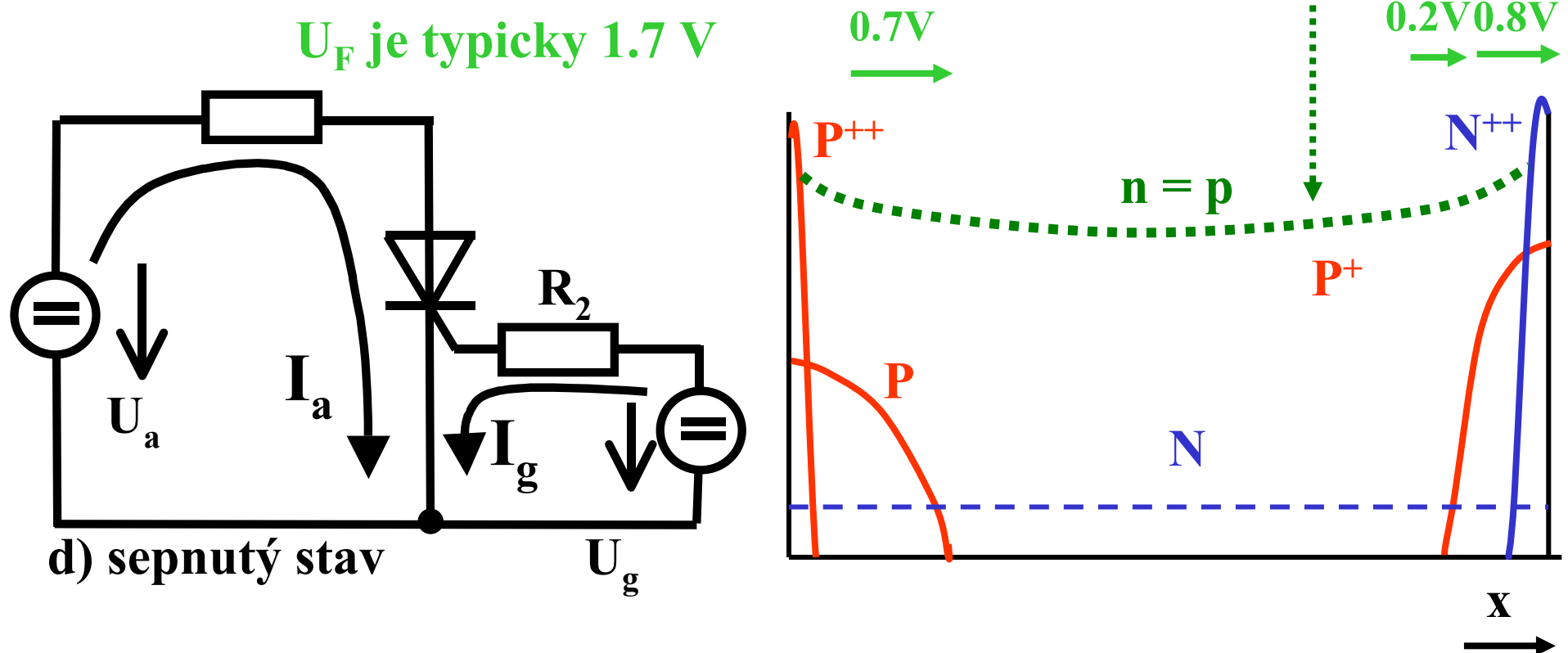


# Sepnutí tyristoru proudem $I_g$



uzavření kladné zpětné vazby + zaplavení tyristoru volnými nositeli náboje  
= sepnutí tyristoru (*latch-up*)

Rozložení koncentrace  $n=p$  je shodné jako u diody PIN  
(báze N, báze P a J2 zaplaveny)  $\Rightarrow$  obrovská vodivost



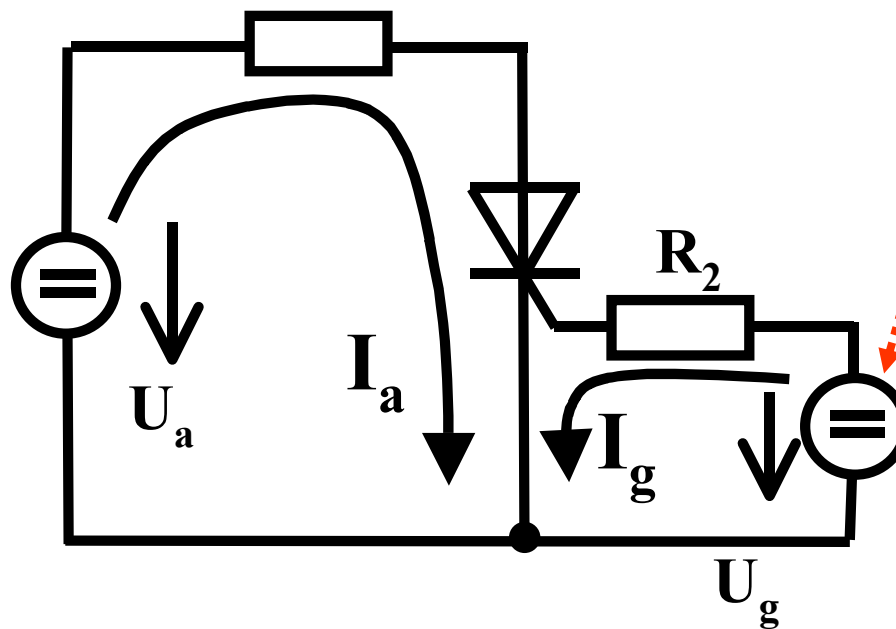


# Sepnutí tyristoru proudem $I_g$



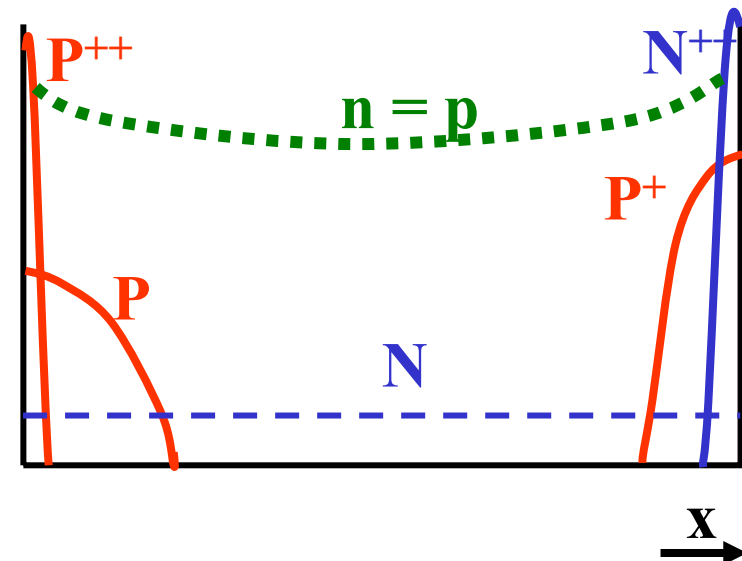
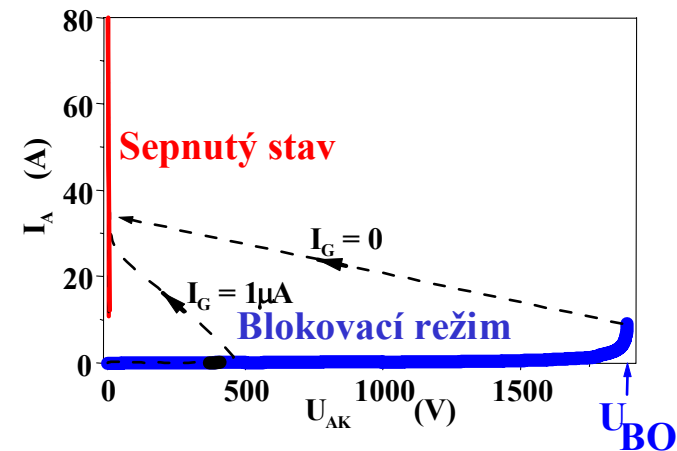
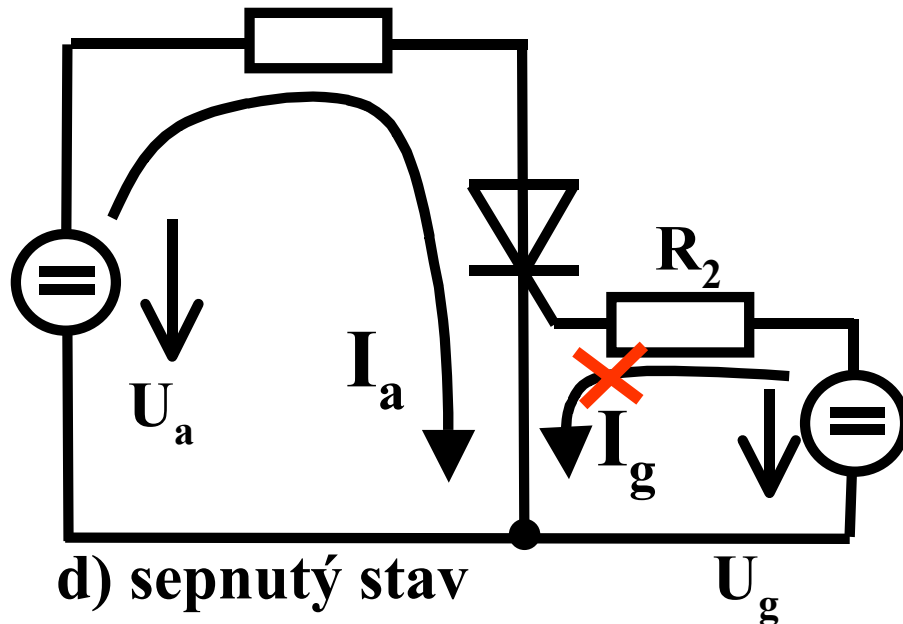
Tento způsob sepnutí je žádoucí (*nejdůležitější z možných*)

Tyristor lze spolehlivě sepnout  
- malým proudem  $I_G$   
- ze zdroje napětí nízké hodnoty.



# Sepnutí tyristoru proudem $I_g$

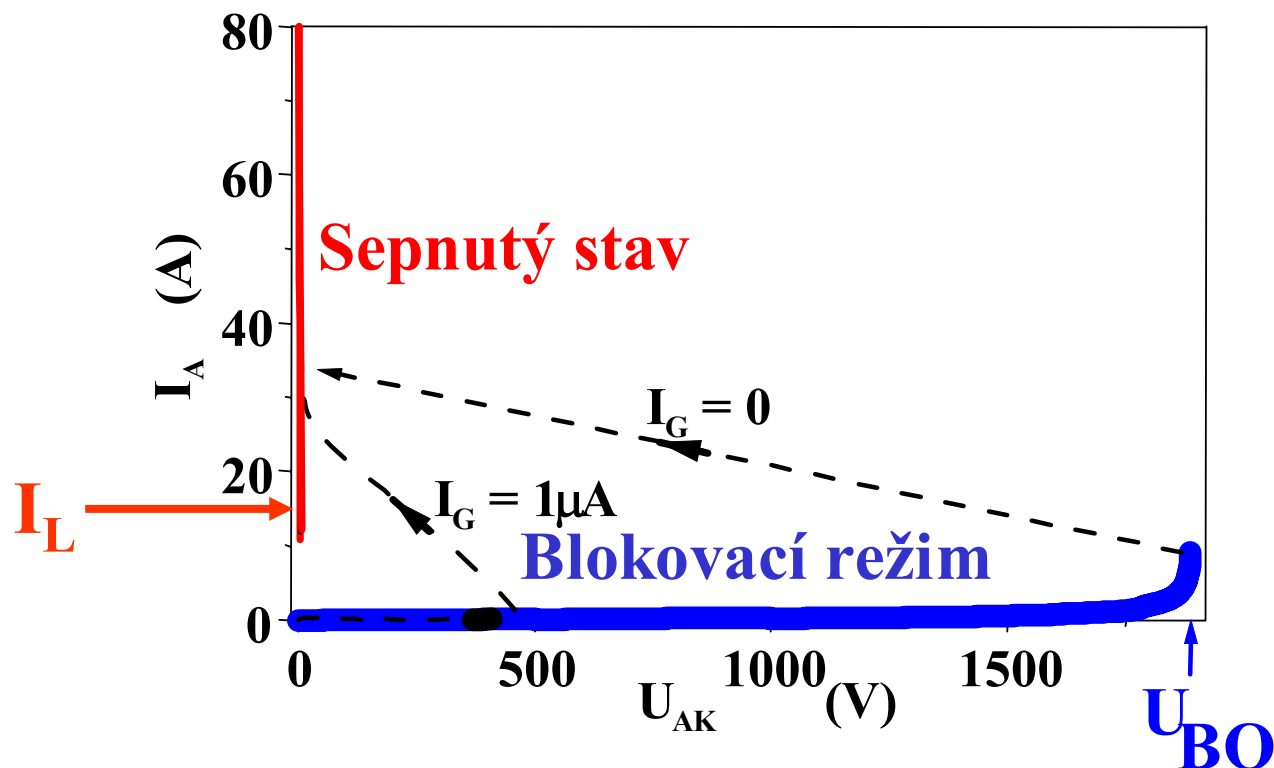
Tyristor zůstává sepnut i po skončení spínacího impulsu do Gate. Kladná zpětná vazba je trvale udržována anodovým proudem  $I_A$ .  
 $\Rightarrow$  vypnutí tyristoru je možné jen odstraněním  $I_A$ .



**Pozor! Tyristor zůstane trvale sepnut jen pro  $I_A > I_L$ ,  
který udrží kladnou zpětnou vazbu.**

**$I_L$  = přídržný proud = *Latching current***

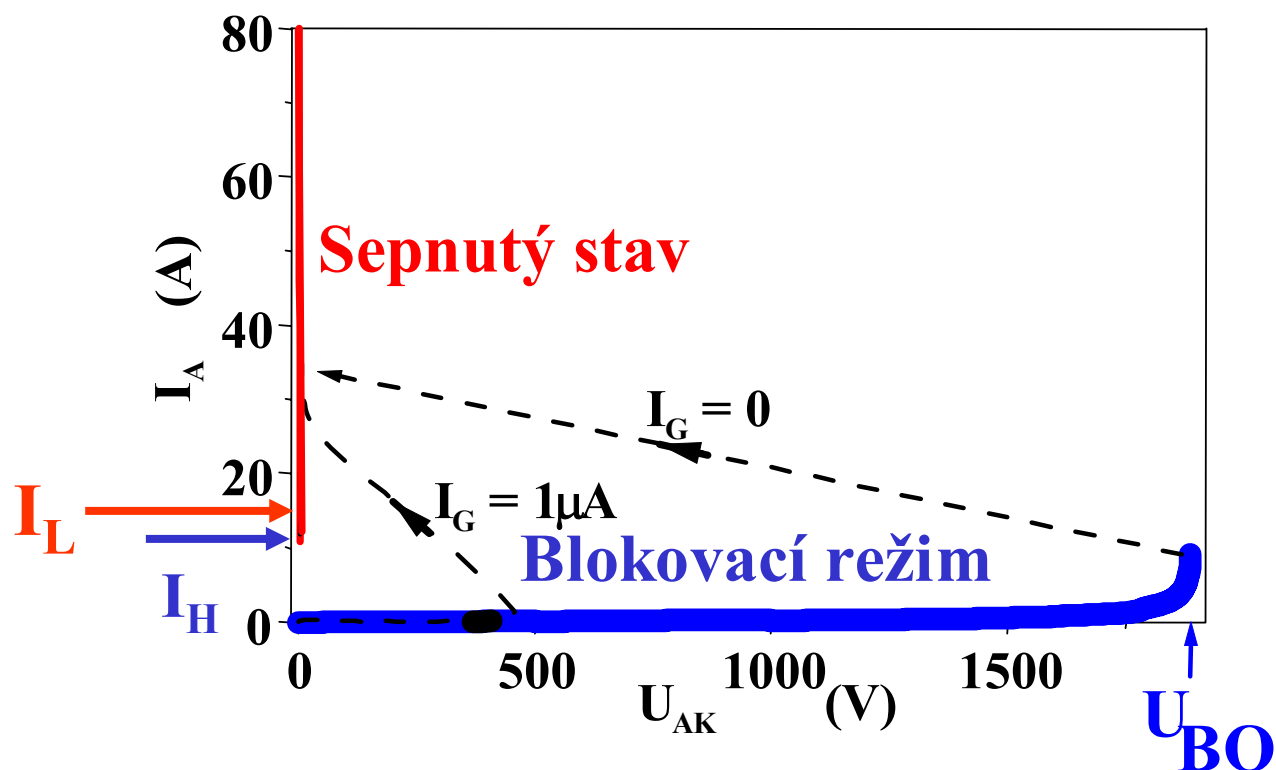
**je minimální hodnota proudu  $I_A$ , při níž zůstává tyristor v sepnutém stavu i po zániku řídicího proudu  $I_g$  bezprostředně po přechodu z blokovacího stavu.**



Chceme-li tyristor vypnout, musí  $I_A$  klesnout pod  $I_H$ ,  
kdy dojde k odstranění kladné zpětné vazby.

$I_H$  = vratný proud = *Holding current*

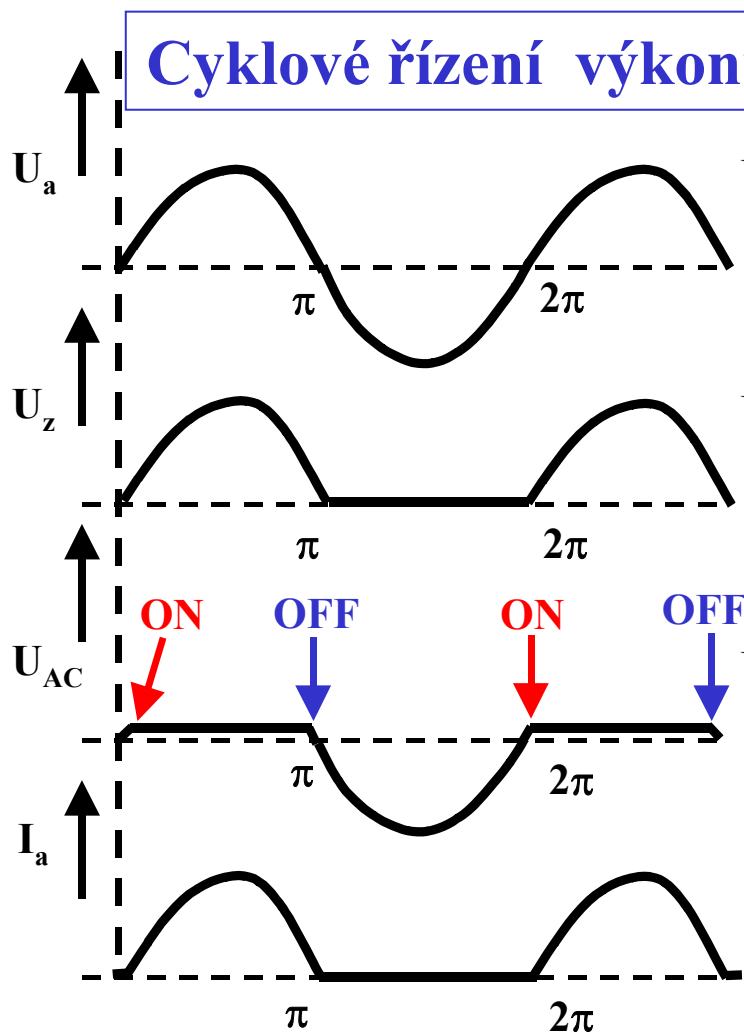
je minimální hodnota proudu  $I_A$   
potřebná k udržení tyristoru v sepnutém stavu.



# Vypnutí tyristoru

## Vnějšími prostředky:

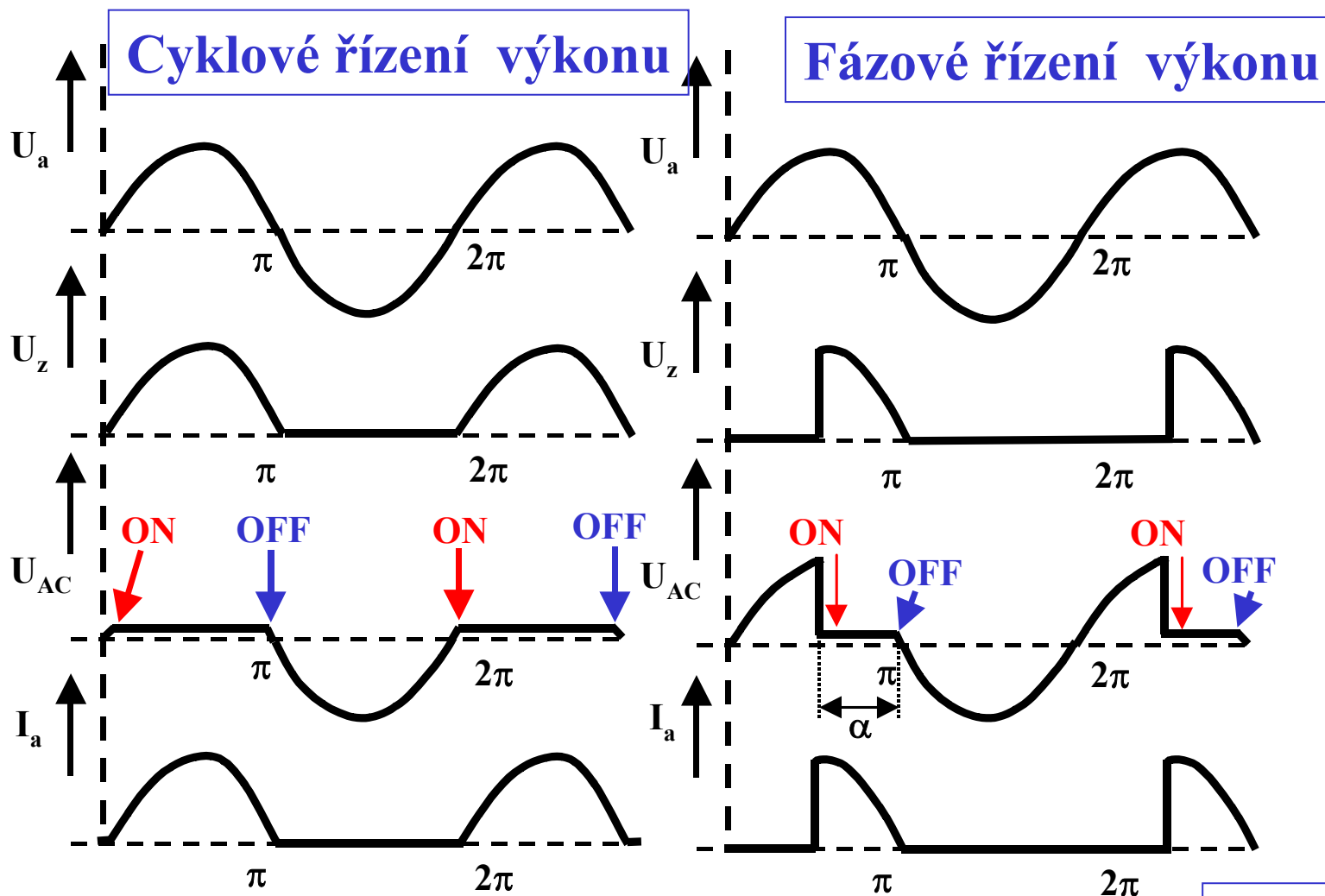
### 1. přirozenou komutací v obvodech střídavého napětí



# Vypnutí tyristoru

## Vnějšími prostředky:

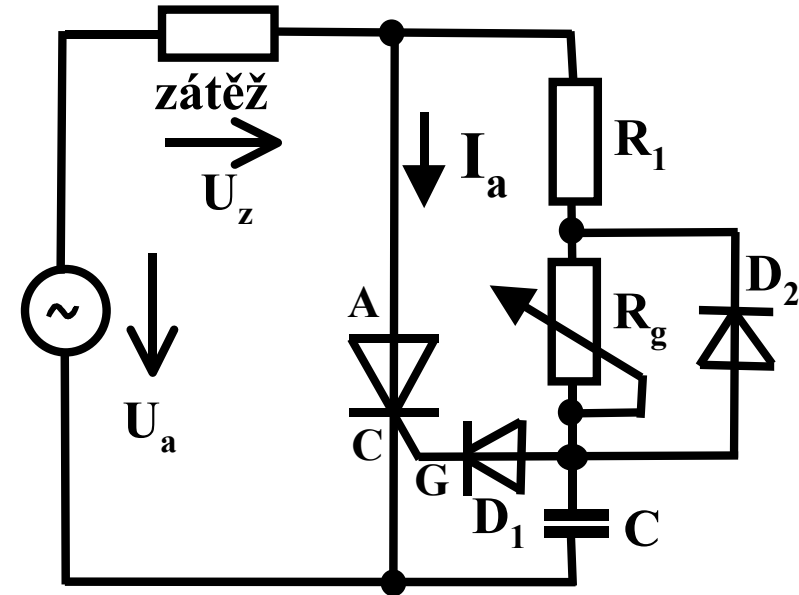
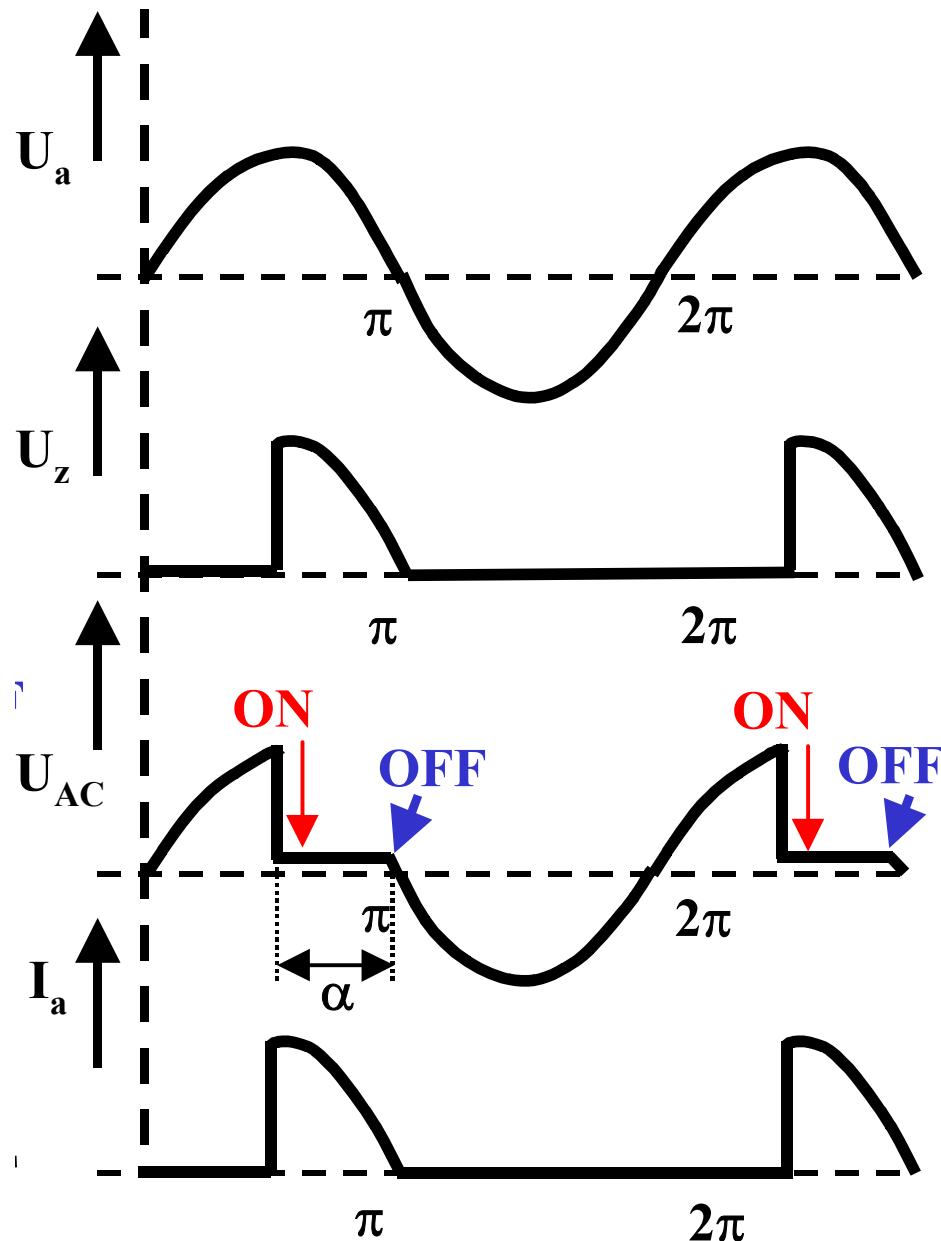
### 1. přirozenou komutací v obvodech střídavého napětí



Burst

Phase-angle

## Fázové řízení výkonu



**$R_1$** : pro  $R_g=0$  chrání přechod G-K ( $I_{FAV}$ )

**$D_1$** : ochrana přechodu G-K ( $U_{BR}$ )

**$D_2$** : aby  $R_g$  nemělo vliv na nabíjení  $C$  zápornou půlvlnou

**$C$** : tyristor sepne po nabití na

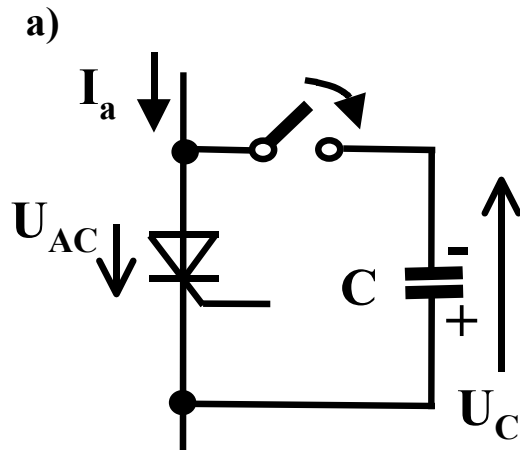
$$U_c = U_{D1} + U_{GK} = 0.7 + 0.8 = 1.5 \text{ V}$$

**$R_g$** : nastavuje časovou konstantu  $R_g \cdot C$

## Vypnutí tyristoru

### Vnějšími prostředky

#### 2. nucenou komutací v obvodech stejnosměrného napětí



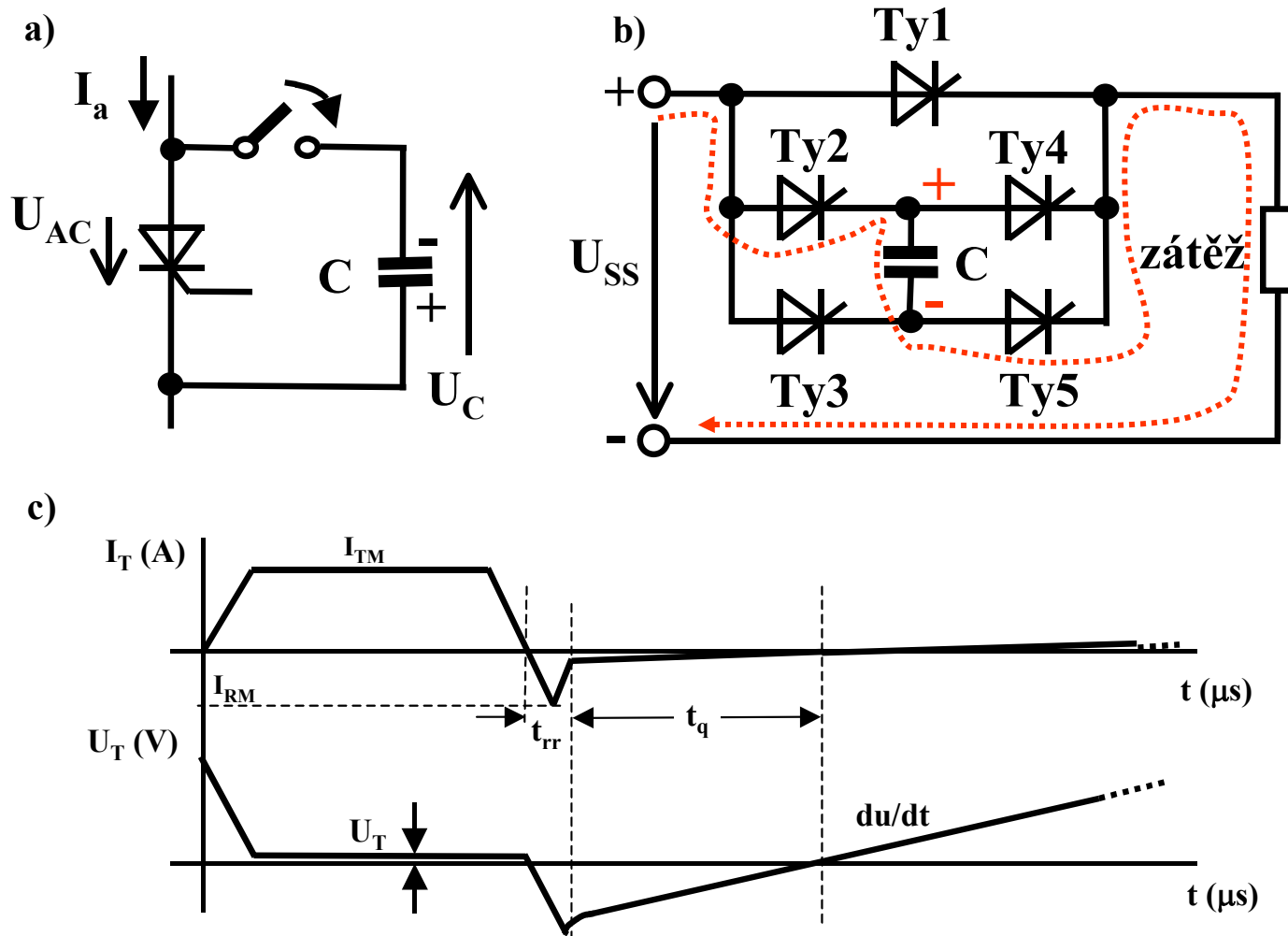
**komutace = obrácení polarity anodového napětí**  
(obdoba závěrného zotavení diody)



# Vypnutí tyristoru

## Vnějšími prostředky

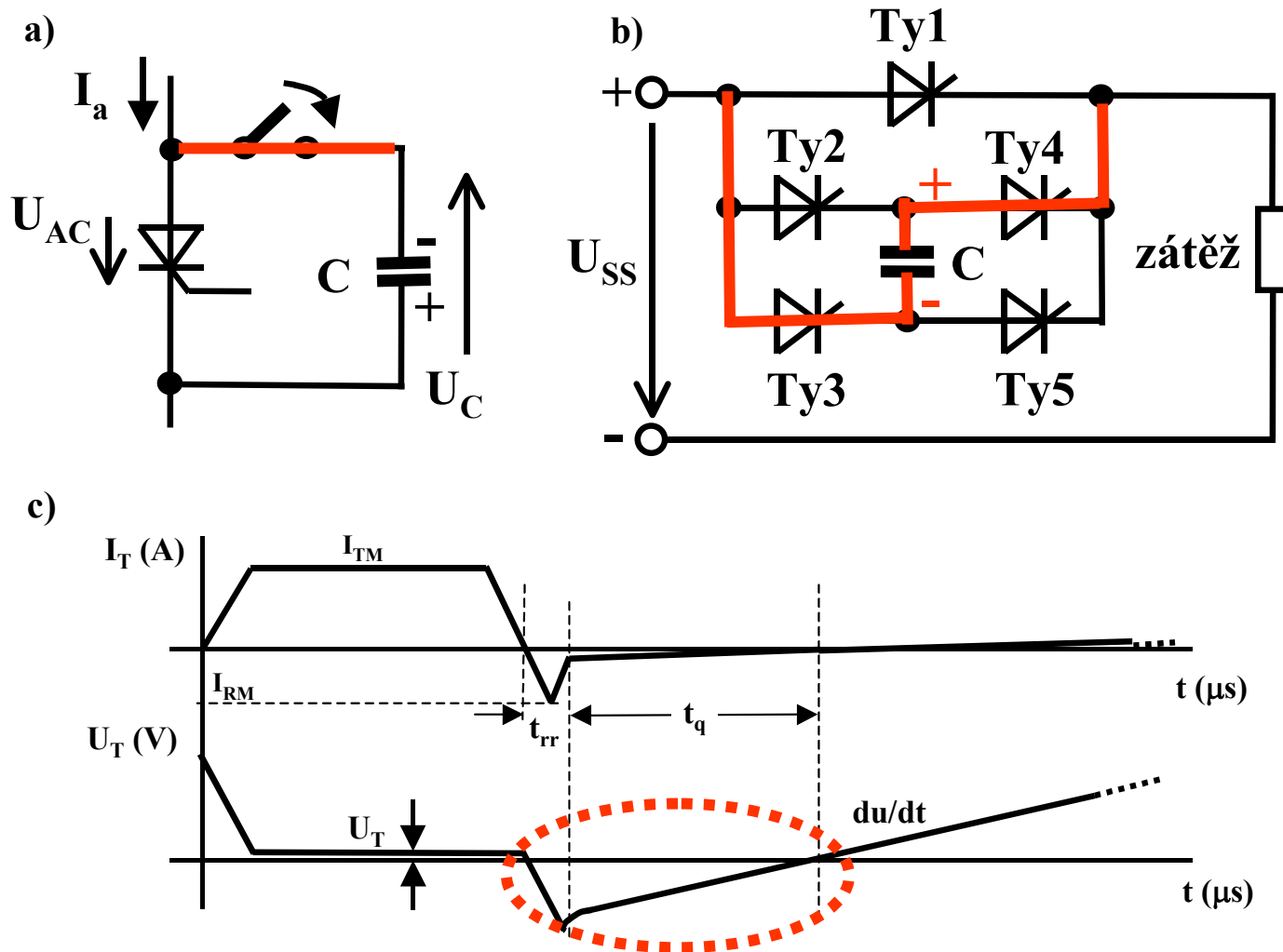
### 2. nucenou komutací v obvodech stejnosměrného napětí



# Vypnutí tyristoru

## Vnějšími prostředky

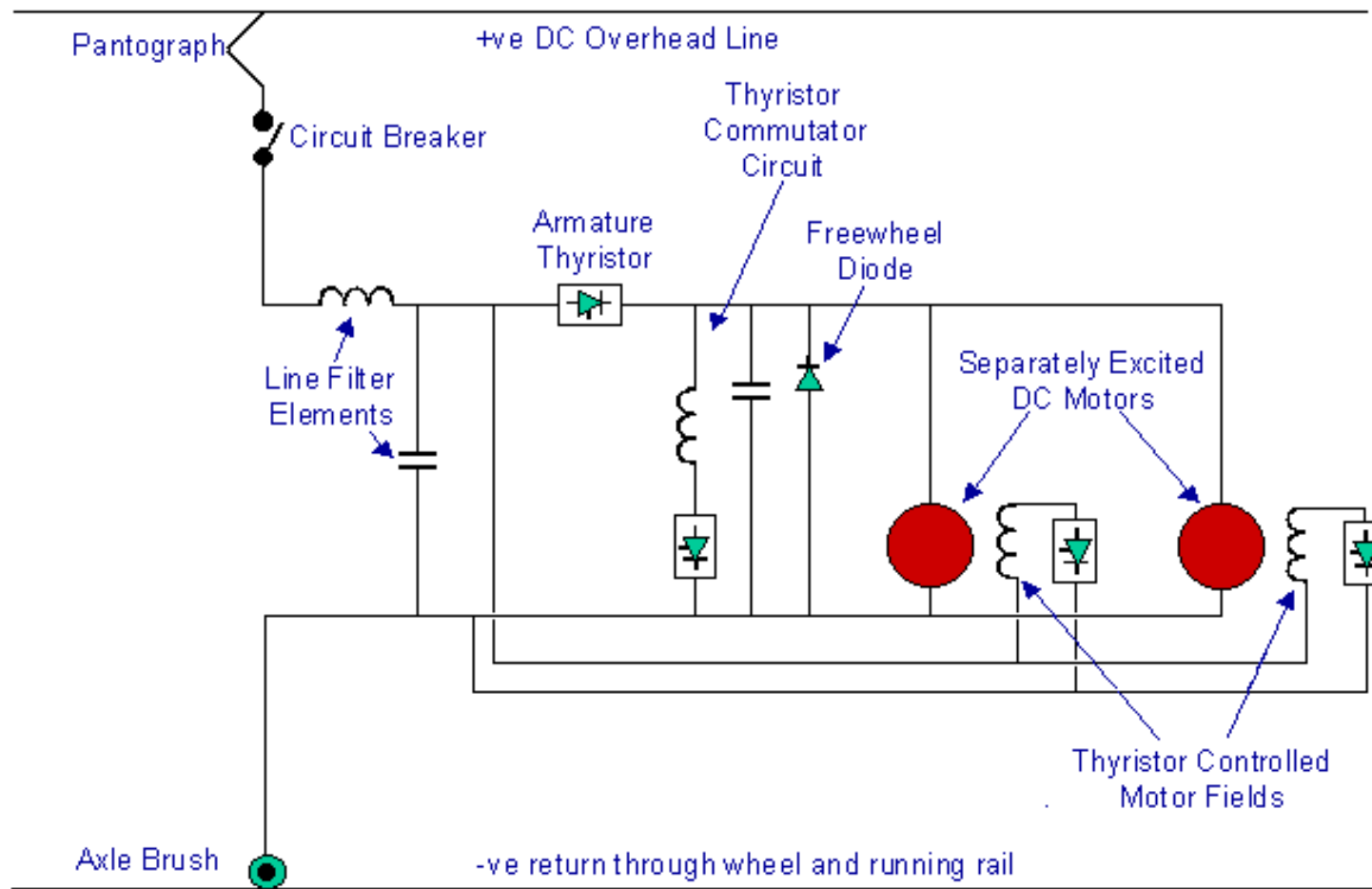
### 2. nucenou komutací v obvodech stejnosměrného napětí



# Vypnutí tyristoru

## Vnějšími prostředky

### 2. nucenou komutací v obvodech stejnosměrného napětí



Thyristor control circuit for DC supply to DC motors

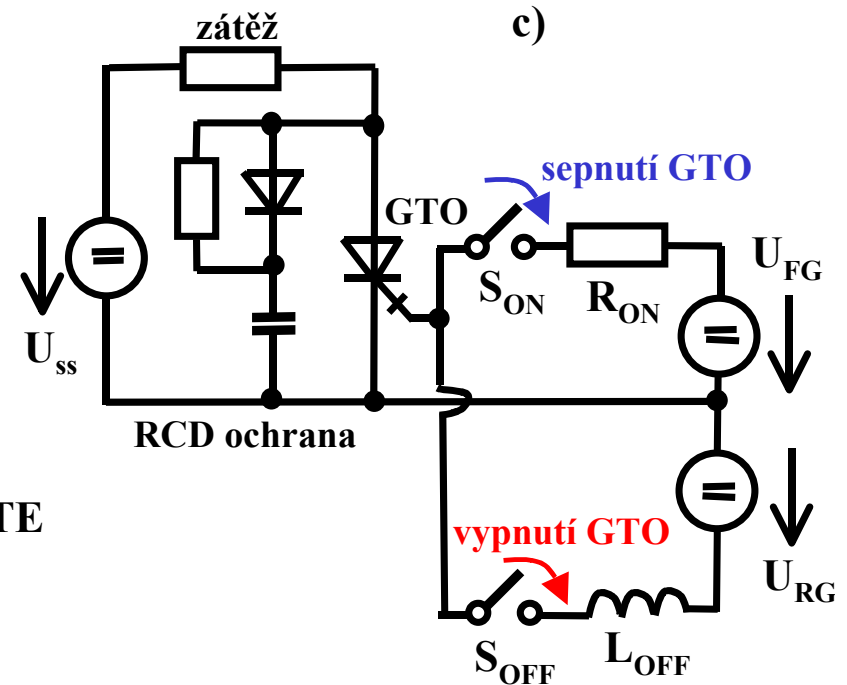
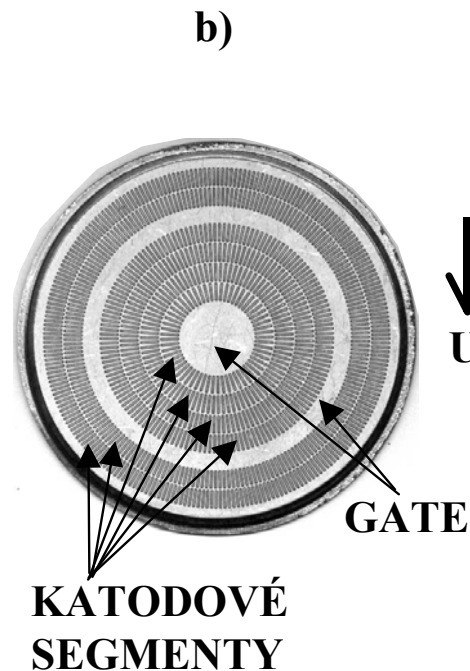
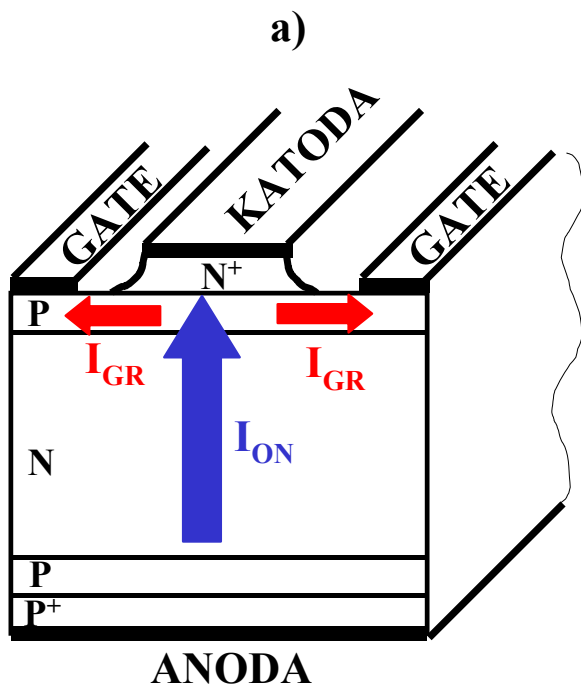
# Vypnutí tyristoru

Samotným tyristorem  
vypínací tyristor GTO (*Gate Turn-Off*)



Sepnutí kladným proudem  $I_G$

Vypnutí záporným proudem  $I_G$



# Volba tyristoru – mezní a char. parametry

Typ tyristoru volíme s pomocí parametrů  $U_{RRM}$ ,  $U_{BO}$ ,  $I_{FAV}$  danými zatížením tyr.

Příklad: zvolte tyristor pro  $U_a = 400V$ ,  $P_z = 1000W$

$U_{RRM}$  není podstatné (jen propustný směr)

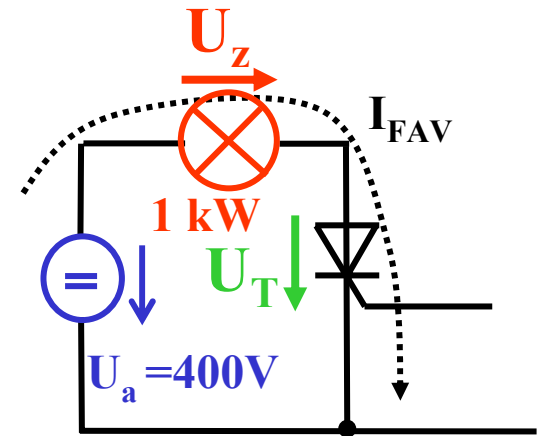
$$U_{BO} > 400 V$$

V sepnutém stavu bude:

$$U_z = U_a - U_T = 400 - 1.7 \approx 400 V$$

$$I_{FAV} = P_z / U_a = 1000 / 400 = 2.5 A$$

$$I_{FAV} = 2.5 A, U_{BO} = 400V, U_{RRM} \text{ nehraje roli}$$



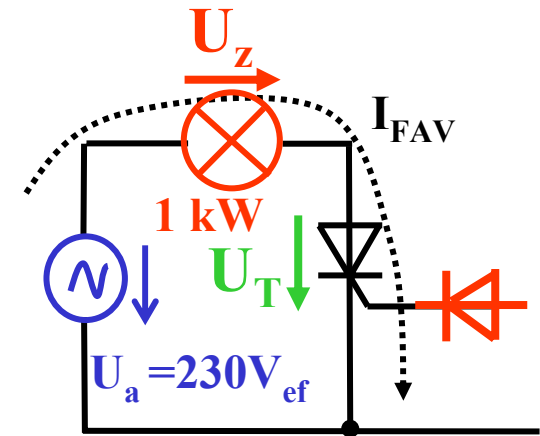
# Volba tyristoru – mezní a char. parametry

Typ tyristoru volíme s pomocí parametrů  $U_{RRM}$ ,  $U_{BO}$ ,  $I_{FAV}$  danými zatížením tyr.

Příklad: zvolte tyristor pro  $U_{aef} = 230V_{\sim}$ ,  $P_z = 1000W$

$$U_{RRM} > 230 \cdot \sqrt{2} = 325 \text{ V}$$

$$U_{BO} > 325 \text{ V}$$



Tyristorem teče proud jen jednu půlvlnu sinusového průběhu (:2)

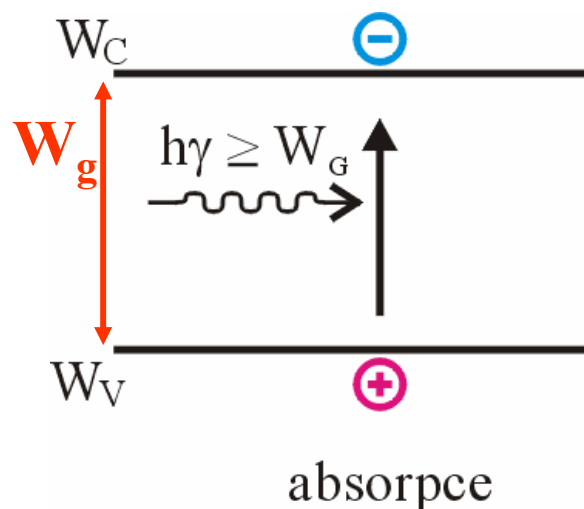
$$I_{FAV} \approx I_{Fef} = I_{zef} \approx (P_z / U_{aef}) / 2 = (1000 / 230) / 2 \approx 2.2 \text{ A}$$

$$I_{FAV} = 2.2 \text{ A}, U_{BO} = 325 \text{ V}, U_{RRM} = 325 \text{ V}$$

**Přechod J3 (gate-katoda) má průrazné napětí do 5V !  
⇒ je nutné jej chránit proti průrazu ochrannou diodou!**

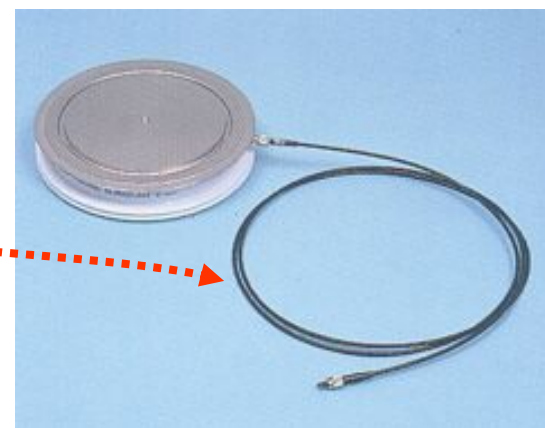
# Sepnutí tyristoru impulsem optického záření

Proud  $I_G$  nahradíme zářením dopadajícím na přechod J3 (G-K)



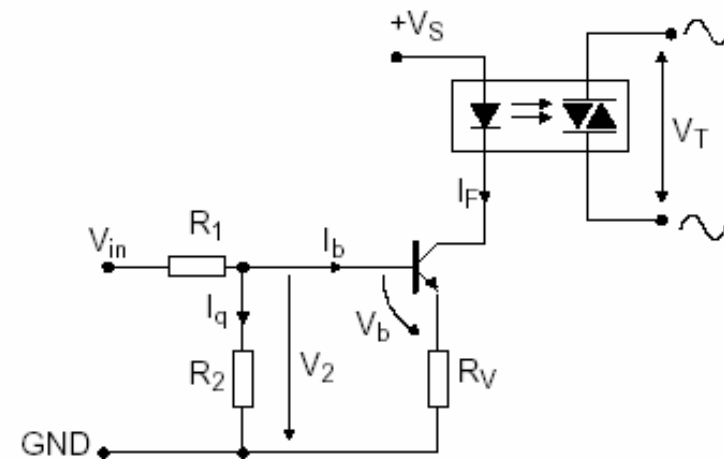
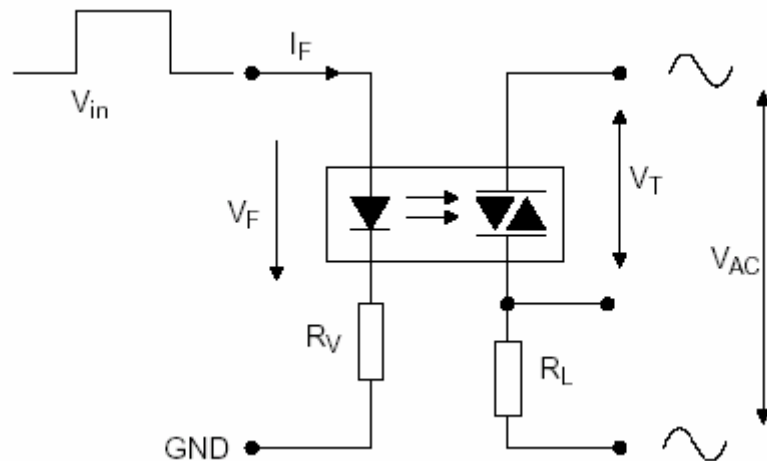
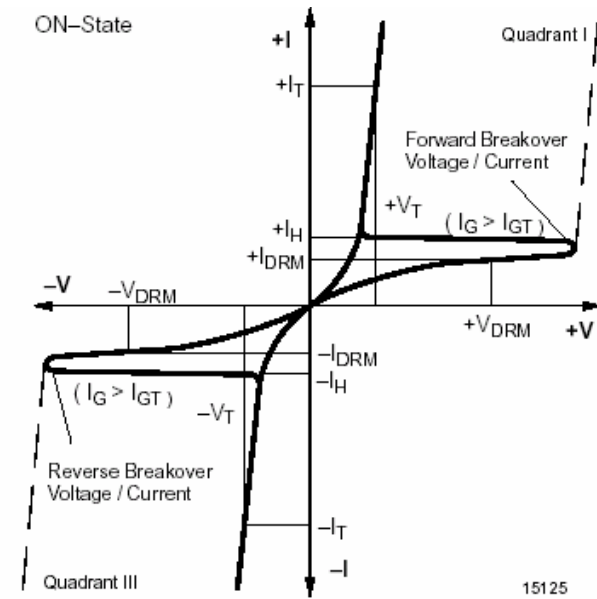
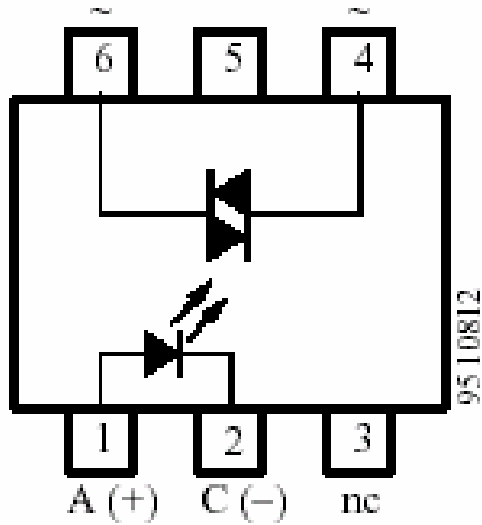
Absorpce záření na J3 způsobí vznik fotoproudu, který působí jako  $I_G$

záření přivádíme do tyristoru světlovodem  
 $\Rightarrow$  galvanické oddělení



**Light Triggered Thyristor – LTT**  
pro napětí  $U_{RRM} = 7 - 10 \text{ kV}$

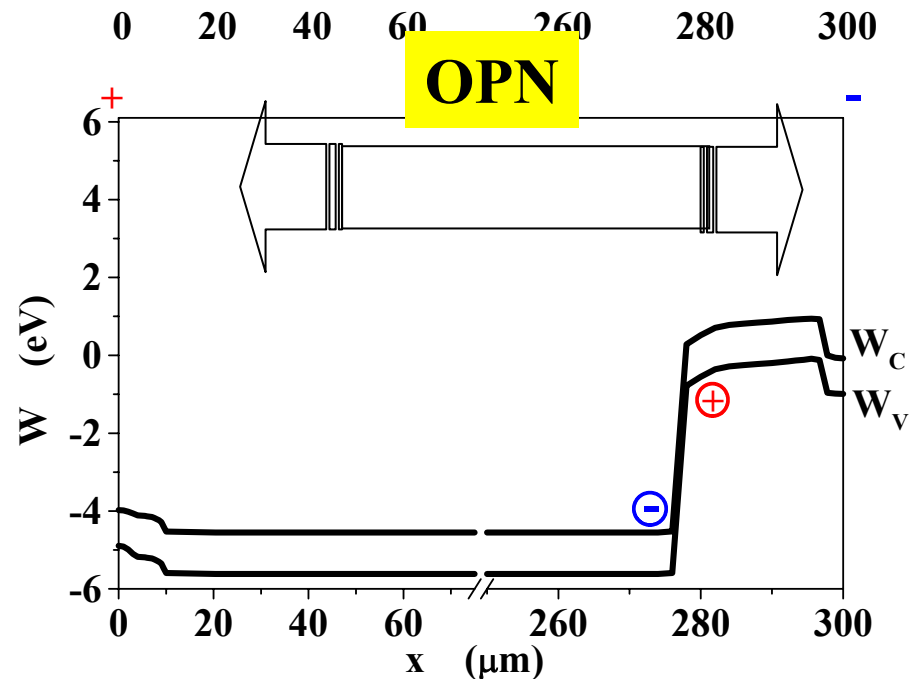
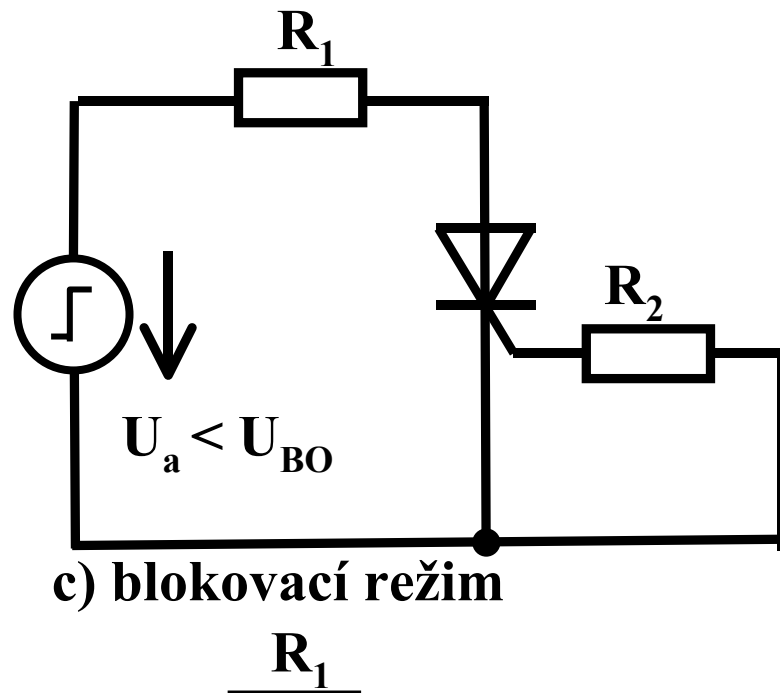
# OPTOTRIAC (*Dvojíť optotyristor*)





## Sepnutí tyristoru překročením hodnoty $dU_{ac}/dt$ ( $dI_a/dt$ )

- Strmý nárůst blokovacího napětí  $\Rightarrow$  rychlé rozšíření OPN
- $\Rightarrow$  vznik kapacitního proudu vyklížením volných nosičů z OPN
- $\Rightarrow$  uzavření kladné (regenerativní) zpětné vazby
- $\Rightarrow$  zaplavení tyristoru volnými nositeli náboje
- $\Rightarrow$  **SEPnutí TYRISTORU** při  $U_{AK} \ll U_{BO}$

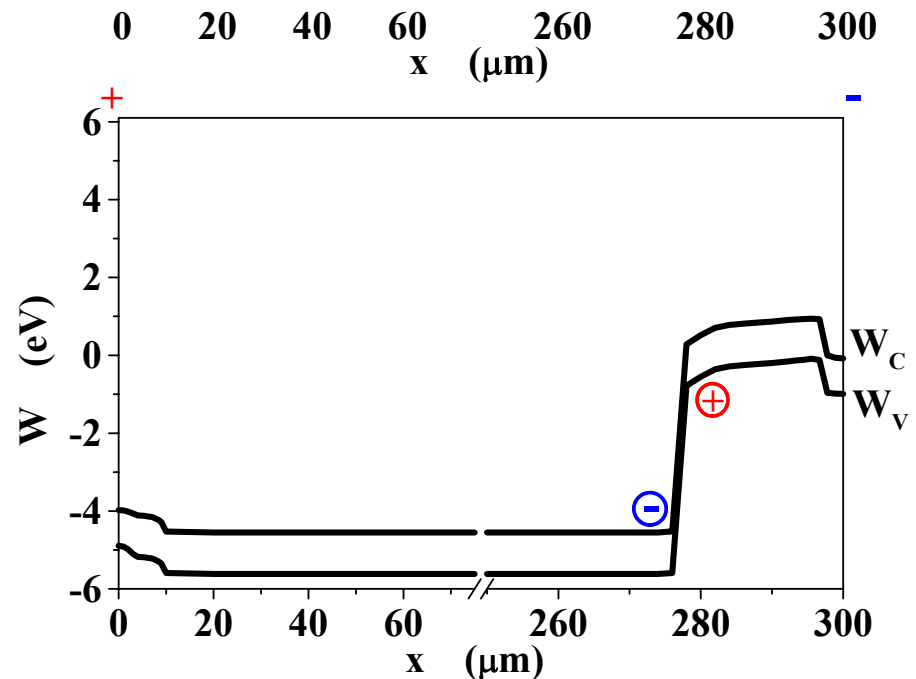
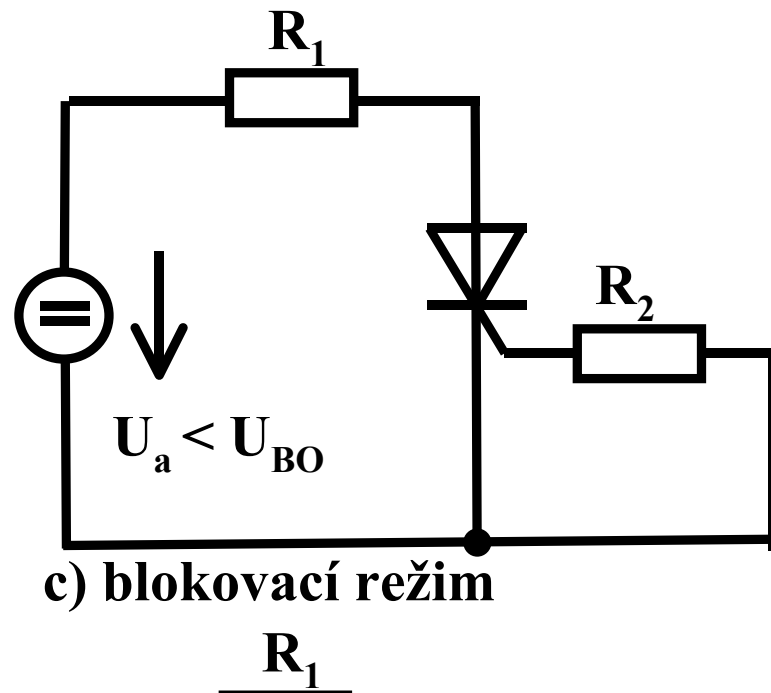


# Sepnutí tyristoru překročením hodnoty $dU_{ac}/dt$ ( $dI_a/dt$ )

je nežádoucí způsob sepnutí

**Nekontrolovatelné!**

**U velkoplošných tyristorů může způsobit lokální proudové přetížení!**  
(tyristor sepne jen u řídicí elektrody a než se anodový proud rozšíří laterálně po celé ploše, lokální proudové přetížení roztaví křemík)



# Tyristor - shrnutí



## Tyristor spínáme

- proudovým impulsem ( $I_G$ ) nebo
- impulsem optického záření (infračervené záření nebo světlo).

Tyristor zůstává sepnutý i po odeznění spínacího impulsu, protéká-li anodový proud větší než **přidržený proud  $I_L$** .

Tyristor je sepnutý, dokud jím protéká anodový proud větší než **vratný proud  $I_H$** .

## Tyristor vypínáme

- poklesem anodového proudu pod  $I_H$  ( $\approx$  obvody),
  - komutací anodového napětí (= obvody),
- záporným impulsem do gate (jen GTO tyristor)