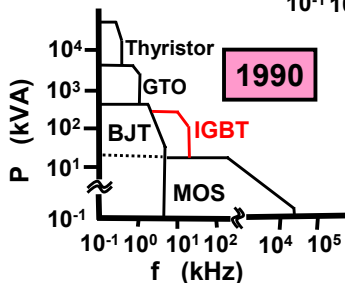
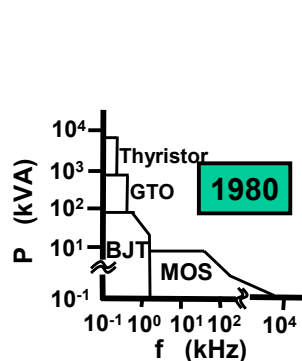
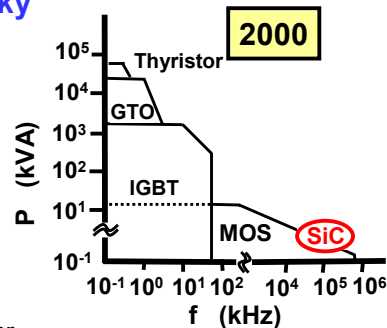


Výkonové polovodičové součástky

VELKÝ VÝKON

SNADNÉ ŘÍZENÍ

VYSOKÁ FREKVENCE



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

1

Tyristor

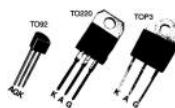


2

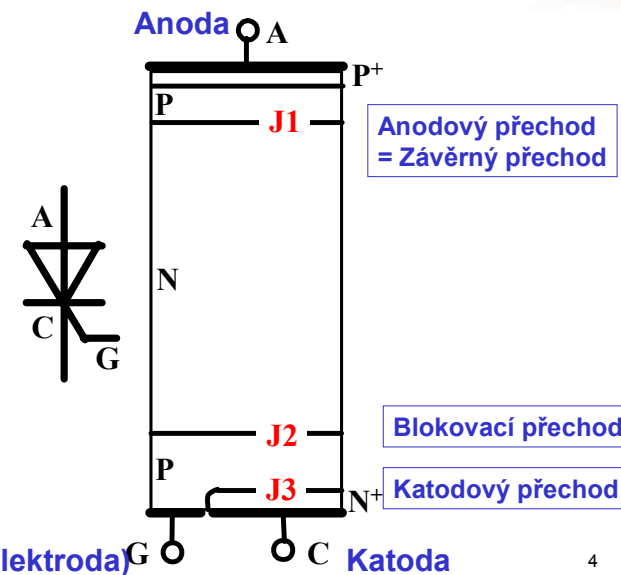
Tyristor



1956: Bell Labs – Silicon Controlled Rectifier (SCR)
1958: General Electric – Thyristor

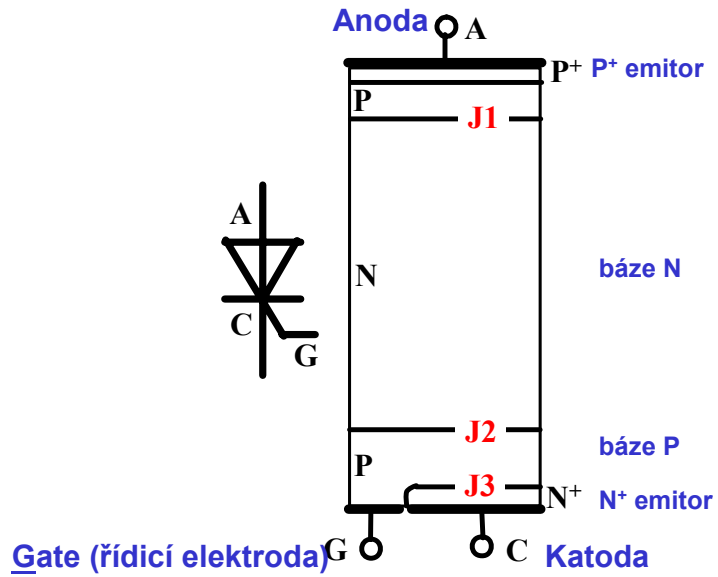


Tyristor



4

Tyristor

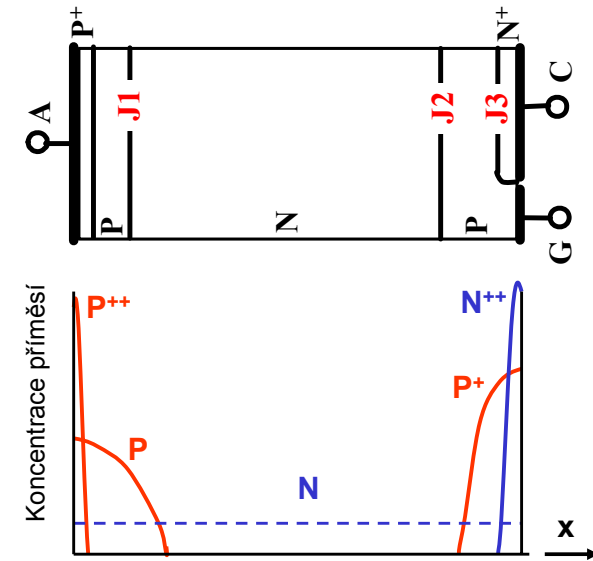


5

Tyristor

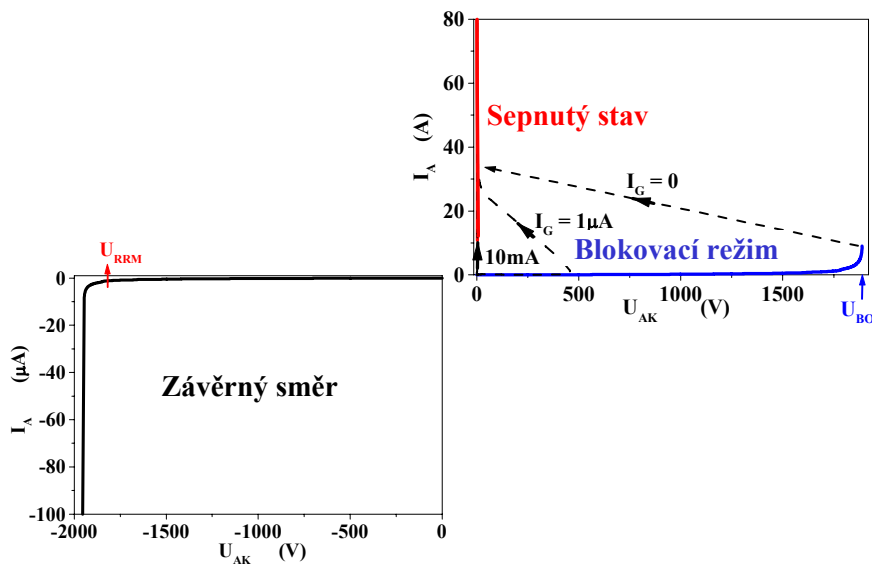


DOTAČNÍ PROFIL



6

Tyristor – režimy činnosti

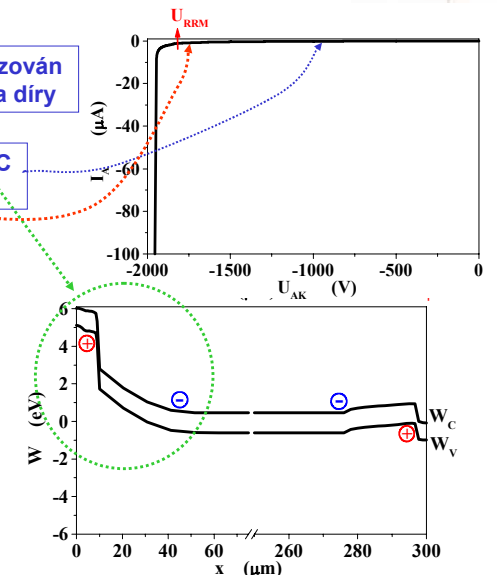
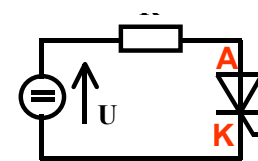


Tyristor – závěrný směr



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

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



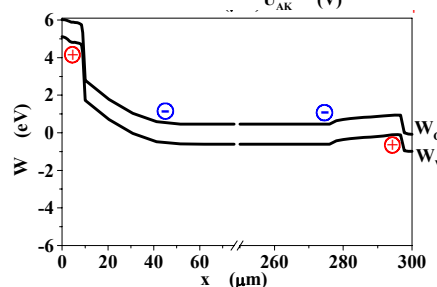
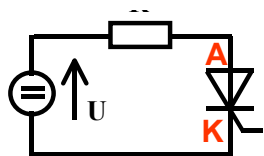
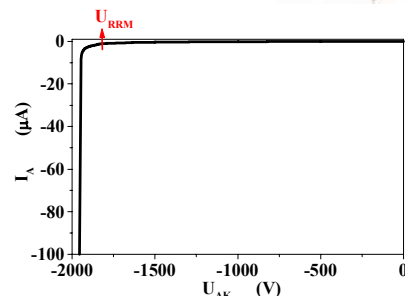
Tyristor – závěrný směr



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!

Buď 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

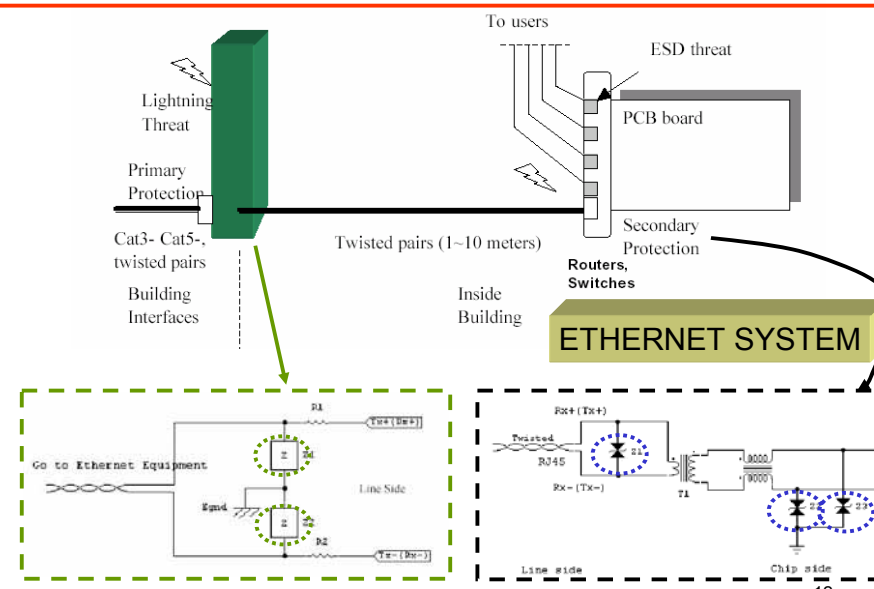


Výjimečnost tyristoru:

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 ⇒ CROWBAR PROTECTION.



Tyristor má největší proudovou zatížitelnost ⇒ 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 μsec, 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

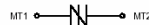
MAXIMUM RATINGS (T_J = 25°C unless otherwise noted)

| Rating | Symbol | Value | Unit |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------|-------|
| Off-State Voltage - Maximum | V _{AK} | 300 | Vdc |
| Maximum Pulse Surge Short Circuit Current Non-Repetitive Double Exponential Decay Waveform (Notes 1 and 2) | | | A(pk) |
| 10 x 1000 μsec | I _{PS1} | ± 100 | |
| -25°C Initial Temperature | I _{PS2} | ± 500 | |
| 2 x 10 μsec | I _{PS3} | ± 200 | |
| 10 x 160 μsec | I _{PS4} | ± 180 | |
| 10 x 700 μsec | I _{PS5} | ± 180 | |
| Maximum Non-Repetitive Rate of Change of On-State Current Double Exponential Waveform, R = 2.4 Ω, L = 2.0 μH, C = 2.0 μF | di/dt | ± 100 | A/us |



ON Semiconductor®
http://onsemi.com

BIDIRECTIONAL TSPD (SMB)
100 AMP SURGE
350 VOLTS



(SMB) (No Polarity) (Essentially JEDEC DO-214AA) CASE 463C

MARKING DIAGRAMS

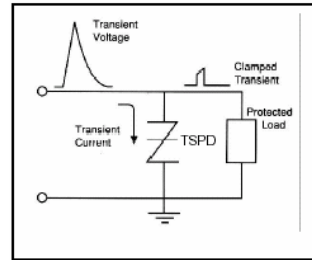
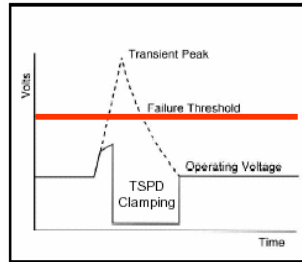


RPDM = Specific Device Code
YY = Year
WW = Work Week

ORDERING INFORMATION

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

†For information on tape and reel specifications.



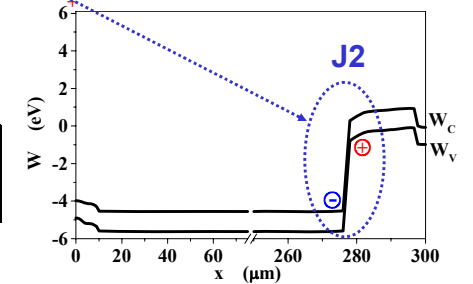
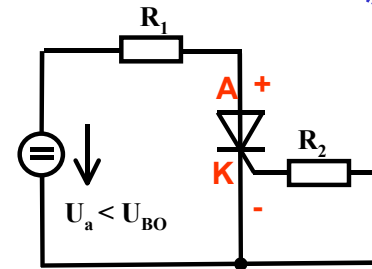
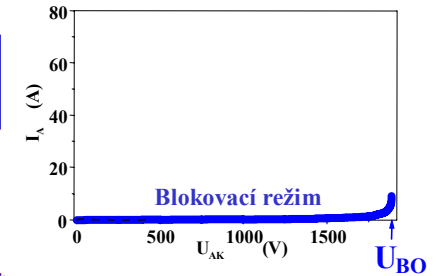
13

Tyristor – blokovací režim



Na anodě plus, na katodě minus, I_C=0:

Blokovací přechod J2 v závěrném směru
⇒ J2 **BLOKUJE** průchod nositelů náboje
⇒ **neteče proud.**



Tyristor – blokovací režim

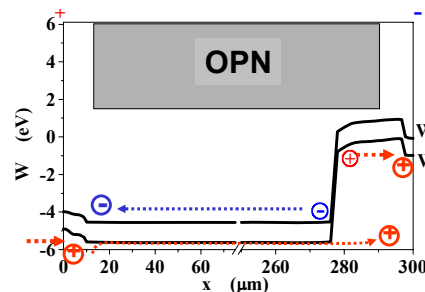
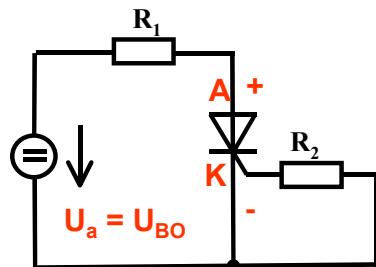


U_A = U_{BO}: Nárazová ionizace na přechodu J2 generuje **elektrony** a **díry**.

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

Elektrony u anody poruší svým záporným nábojem neutralitu prostorového náboje

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



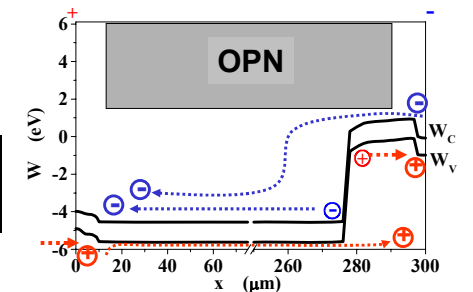
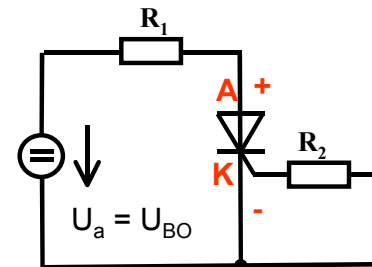
Tyristor – blokovací režim



Elektrony u anody poruší neutralitu prostorového náboje ⇒ **injekce děr** z anody

Díry poruší neutralitu prostorového náboje u katody

⇒ **injekce elektronů** z katody (kompenzace záporným nábojem)



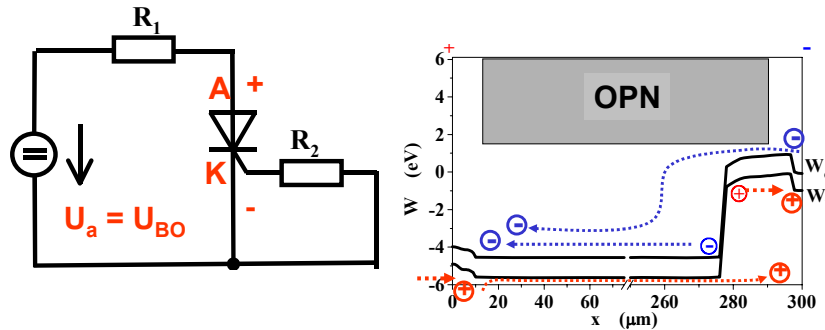
Tyristor – blokovací režim



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



zaplavení tyristoru **elektrony a děrami** ⇒ sepnutí tyristoru

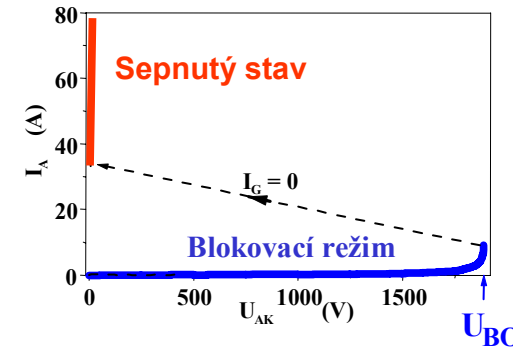


Tyristor – blokovací režim



Injekce **elektronů** z katody a **děry** z anody se vzájemně stimuluje
 ⇒ uzavření kladné zpětné vazby
 ⇒ zaplavení tyristoru volnými nositeli náboje ⇒ sepnutí tyristoru

⇒ pokles odporu mezi anodou a katodou na minimum



18

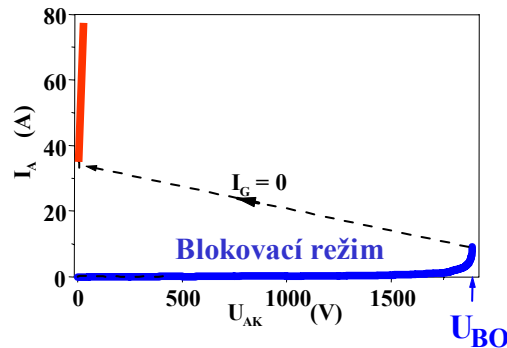
Tyristor – blokovací napětí



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.



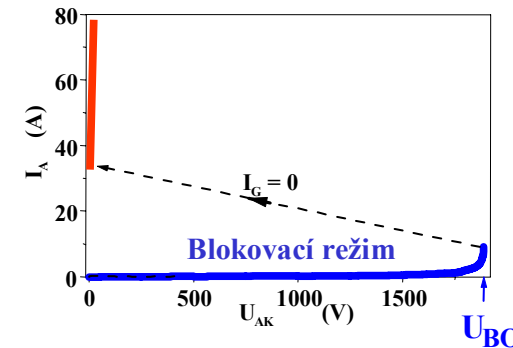
19

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*).

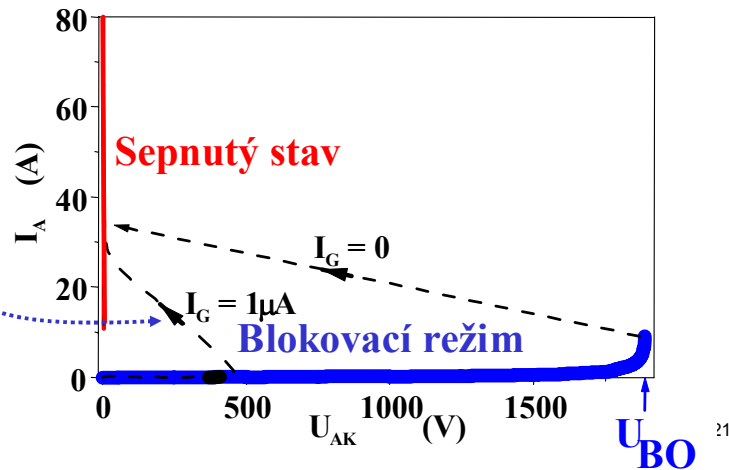


20

Tyristor – blokovací napětí



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

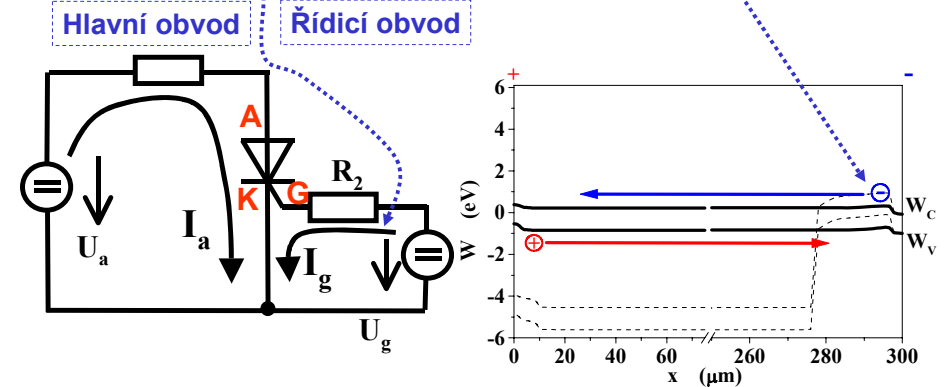


Sepnutí tyristoru proudem I_g



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**.

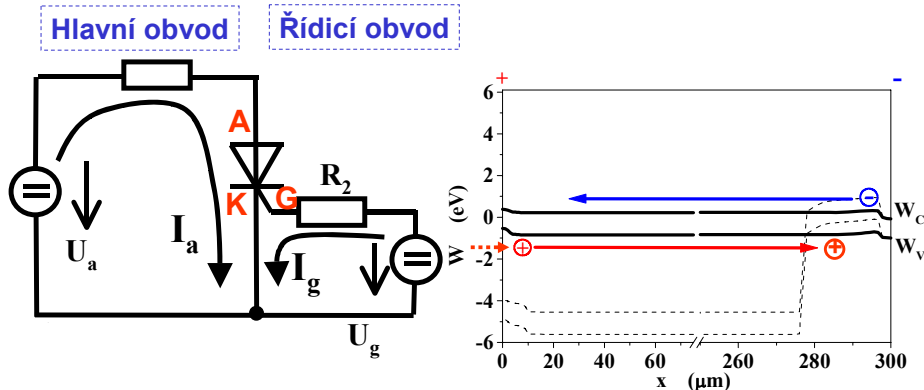


Sepnutí tyristoru proudem I_g



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)

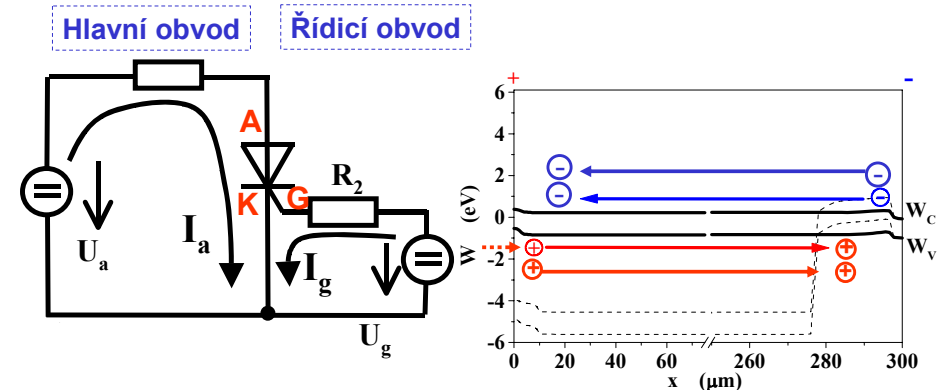


Sepnutí tyristoru proudem I_g



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

Děry z anody projdou ke katodě a vyvolají zde injekci **elektronů**
 \Rightarrow uzavření kladné zpětné vazby
 \Rightarrow zaplavení tyristoru volnými nositeli náboje \Rightarrow sepnutí

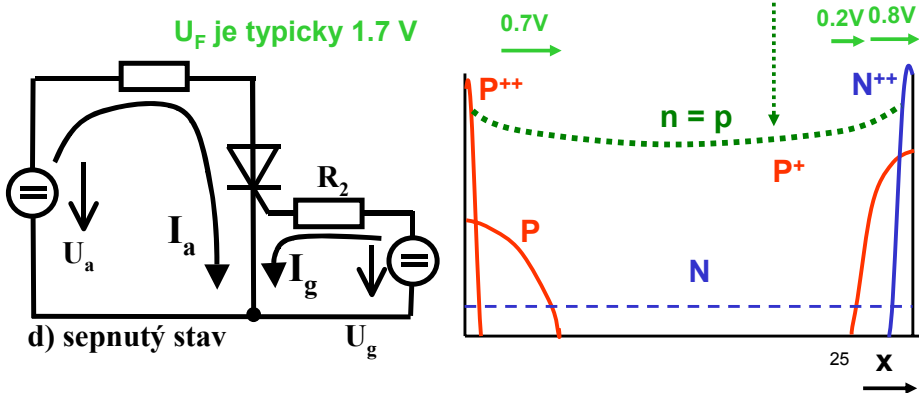


Sepnutí tyristoru proudem I_g



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

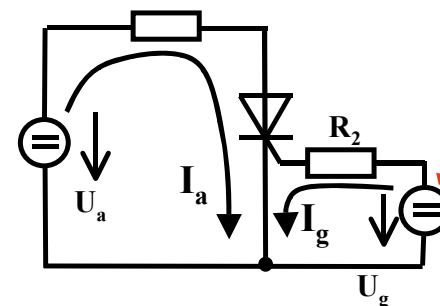


Sepnutí tyristoru proudem I_g



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

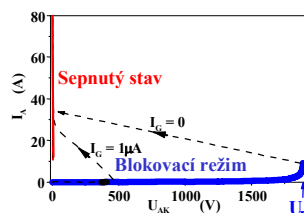
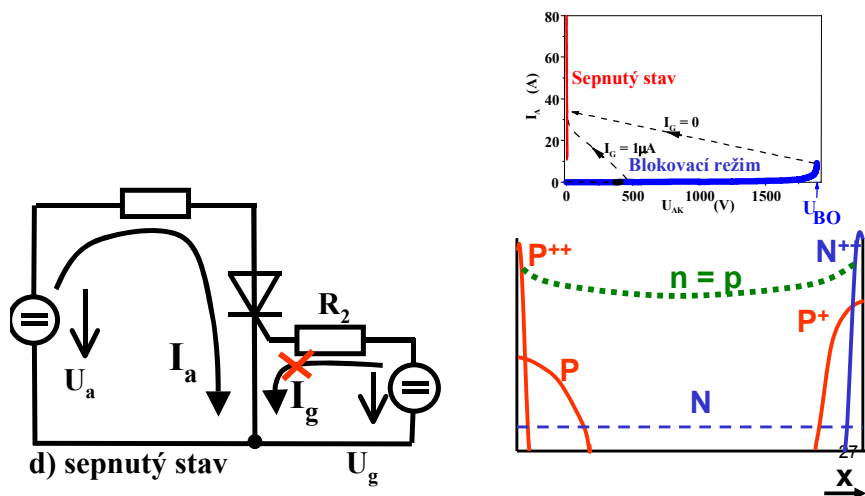
Tyristor lze spolehlivě sepnout
- malým proudem I_G
- ze zdroje napětí nízké hodnoty.



26

Sepnutí tyristoru proudem I_g

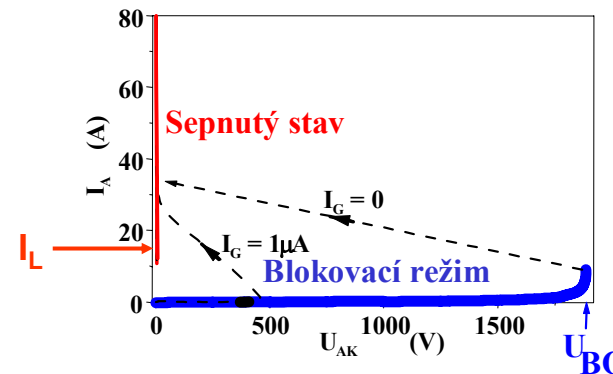
Tyristor zůstává sepnut i po skončení spínacího impulsu do Gate. Kladná zpětná vazba je trvale udržována anodovým proudem I_A . \Rightarrow vypnutí tyristoru je možné jen odstraněním I_A .



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.

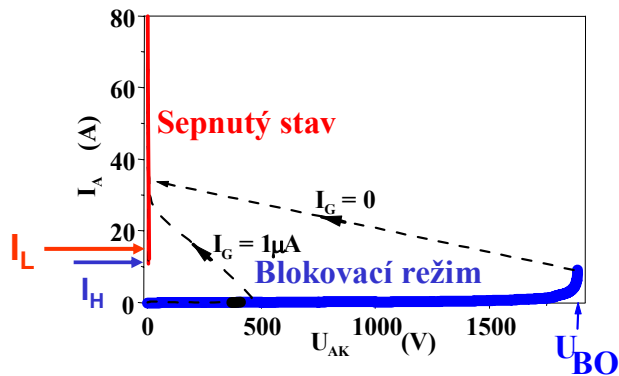


28

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.

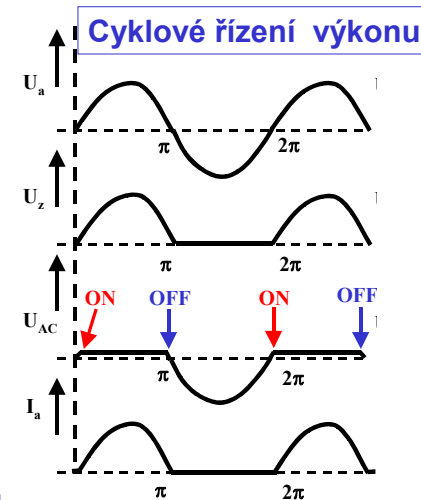


29

Vypnutí tyristoru

Vnějšími prostředky:

1. přirozenou komutací v obvodech střídavého napětí



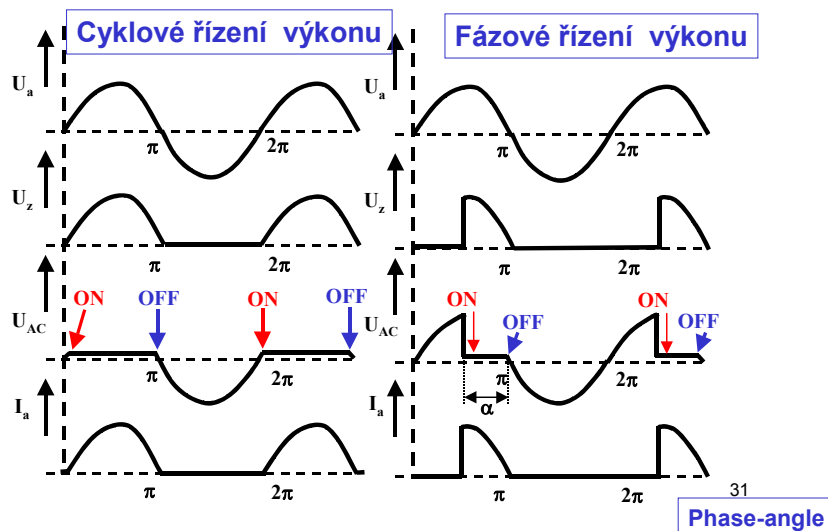
Burst

30

Vypnutí tyristoru

Vnějšími prostředky:

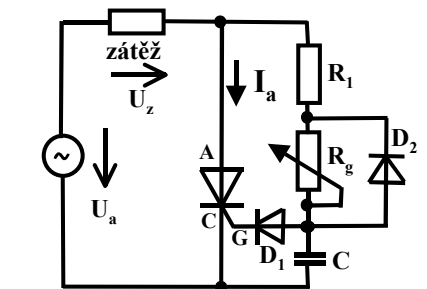
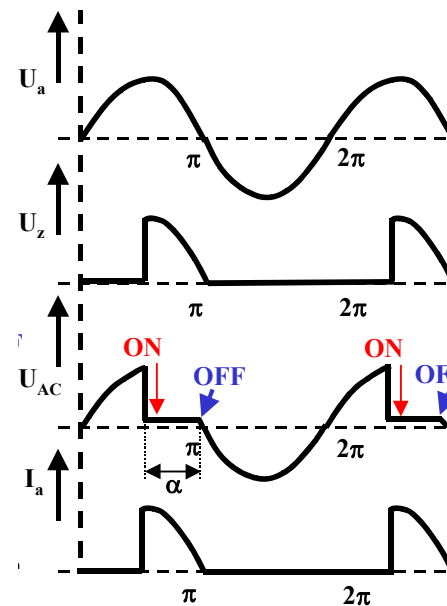
1. přirozenou komutací v obvodech střídavého napětí



31

Burst

Fázové řízení výkonu



R1: pro $R_g=0$ chrání přechod G-K (I_{FAV})

D1: ochrana přechodu G-K (U_{BR})

D2: aby R_g nemělo vliv na nabíjení C
zápornou půlvlnou

C: tyristor sepne po nabíjení na
 $U_c = U_{D1} + U_{GK} = 0.7 + 0.8 = 1.5 \text{ V}$

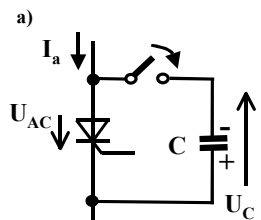
R_g : nastavuje časovou konstantu $R_g \cdot C$

32

Vypnutí tyristoru

Vnějšími prostředky

2. nucenou komutací v obvodech stejnosměrného napětí



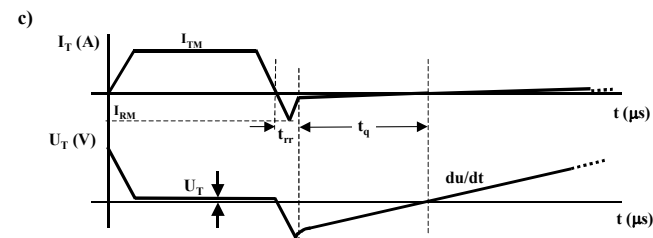
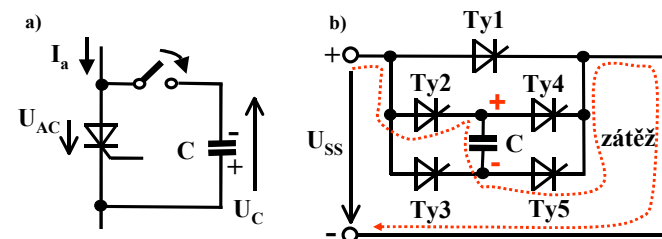
komutace = obrácení polaroty anodového napětí
(obdoba závěrného zotavení diody)

33

Vypnutí tyristoru

Vnějšími prostředky

2. nucenou komutací v obvodech stejnosměrného napětí

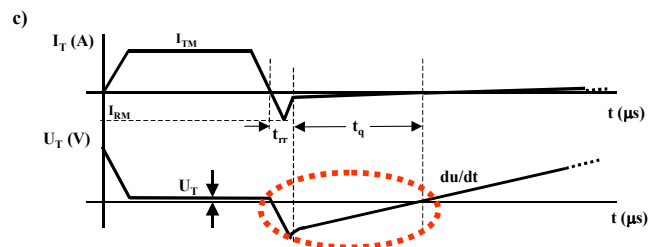
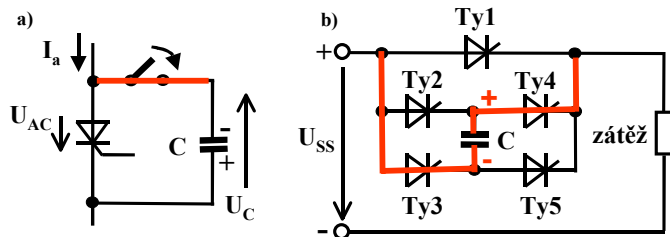


34

Vypnutí tyristoru

Vnějšími prostředky

2. nucenou komutací v obvodech stejnosměrného napětí

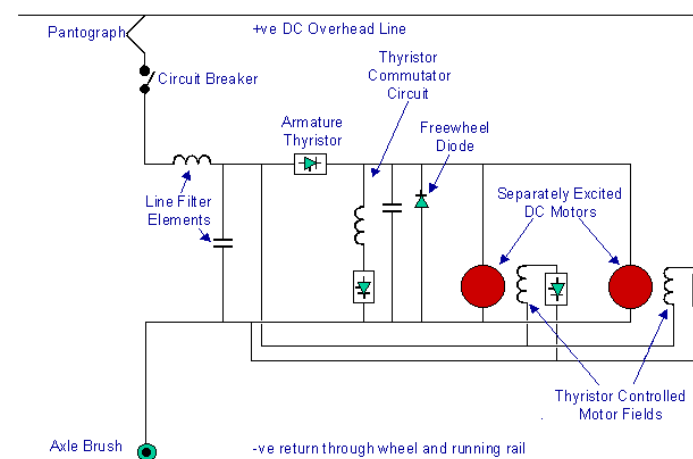


35

Vypnutí tyristoru

Vnějšími prostředky

2. nucenou komutací v obvodech stejnosměrného napětí



Thyristor control circuit for DC supply to DC motors

36

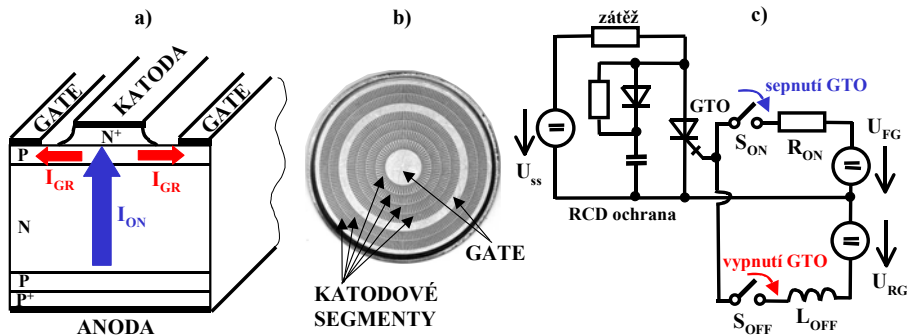
Vypnutí tyristoru

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)

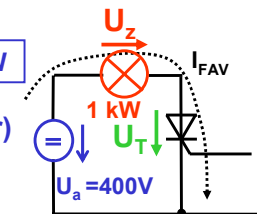
$U_{BO} > 400V$

V sepnutém stavu bude:

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

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

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



38

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 $U_{aef} = 230V_{\sim}$, $P_z = 1000W$

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

$U_{BO} > 325V$

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

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

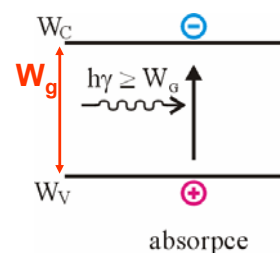
$I_{FAV} = 2.2A$, $U_{BO} = 325V$, $U_{RRM} = 325V$

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

39

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
=> galvanické oddělení



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

40

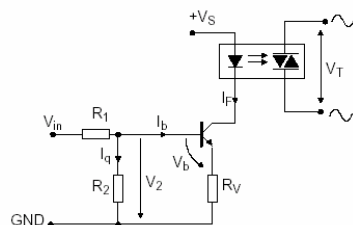
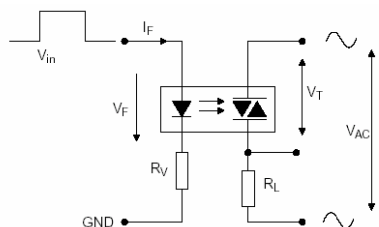
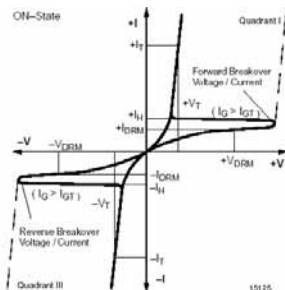
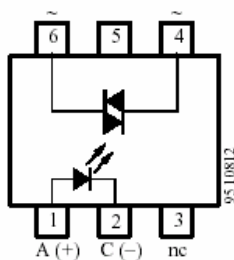
Light Triggered Thyristor – LTT

250 kV dc LTT - HVDC link



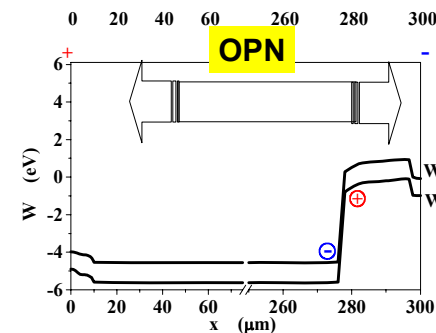
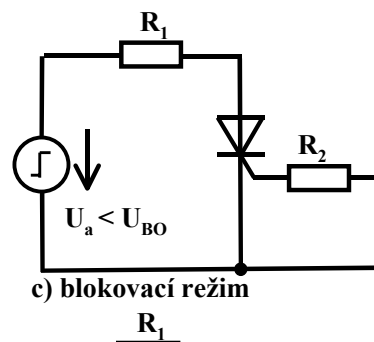
Back to back link
LTT

OPTOTRIAC (Dvojité tyristor)



Sepnutí tyristoru překročením hodnoty dU_{ac}/dt (di_a/dt)

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

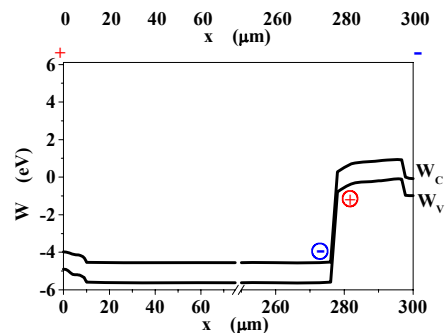
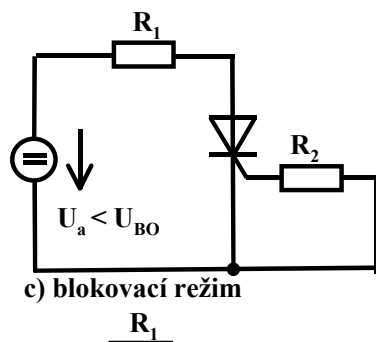


Sepnutí tyristoru překročením hodnoty dU_{ac}/dt (di_a/dt)

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)