ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni

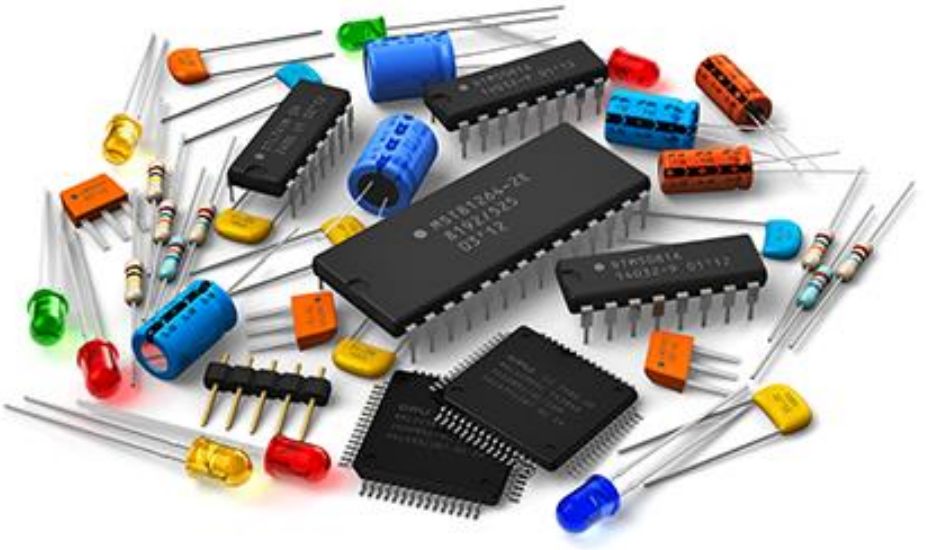
reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Fyzikální elektronika

KET/FYE



Součástky s více PN přechody

Přednáška 8

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Co se v přednášce dozvíte?

- Dozvíte se, co jsou součástky s více PN přechody a k čemu se používají.
- Dozvíte se, jaký je princip tyristoru a jaké je jeho využití.
- Zjistíte, co je diak a jak funguje.
- Dozvíte se, jaký je rozdíl mezi diakem a triakem.

Součástky s více PN přechody

- první realizace – 1952

- **třívrstvé**
  - tranzistor
- **čtyřvrstvé**
  - tyristor
- **pětivrstvé**
  - triak
  - Diak

- součástky s vyšším počtem přechodů – kombinace čtyřvrstvých a pětivrstvých součástek

Součástky s více PN přechody

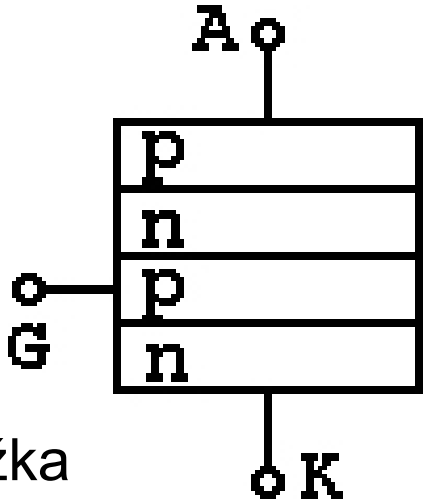
- **spínací součástky tyristorového typu**
- součástky se třemi a více PN přechody – **bistabilní polovodičové součástky**
- **přepínání mezi blokovacím a propustným stavem**
- rozdělení podle průběhu V-A charakteristiky
  - **závěrně blokující** – spínají jen při jedné polaritě napětí, pro opačnou polaritu jako dioda v závěrném směru
  - **obousměrně spínací** – spínají při obou polaritách napětí
  - **závěrně vodivé** – spínají jen při jedné polaritě napětí, pro opačnou polaritu jako dioda v propustném směru

Tyristor

- **čtyřvrstvá součástka → 3 PN přechody**
- základ tvoří struktura PNPN nebo NPNP
- různý počet vývodů
  - **diodový tyristor** (dinistor) – bez řídící elektrody
  - **triodový tyristor** – obsahuje řídící elektrodu
  - **tetrodový tyristor** (binistor) – 2 řídící elektrody



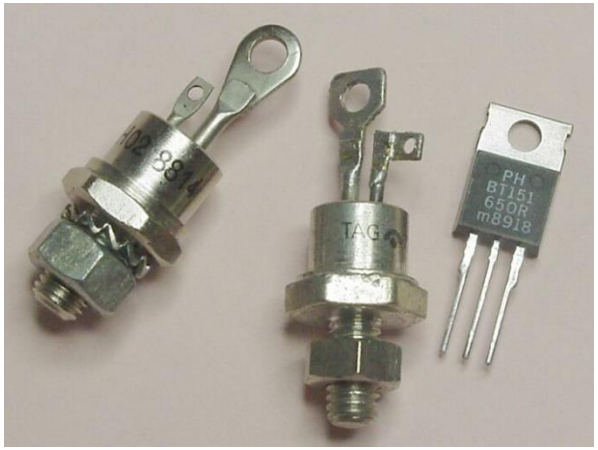
- tři elektrody (trojpól)
  - anoda (A)
  - katoda (K)
  - gate (řídící elektroda) (G)

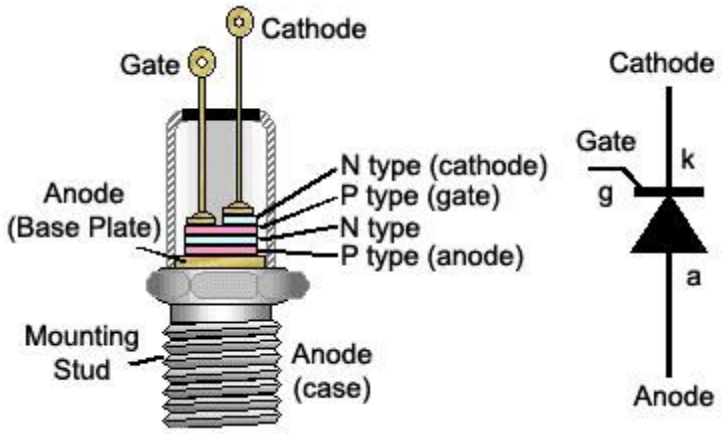


G (grid) – mřížka

Princip činnosti

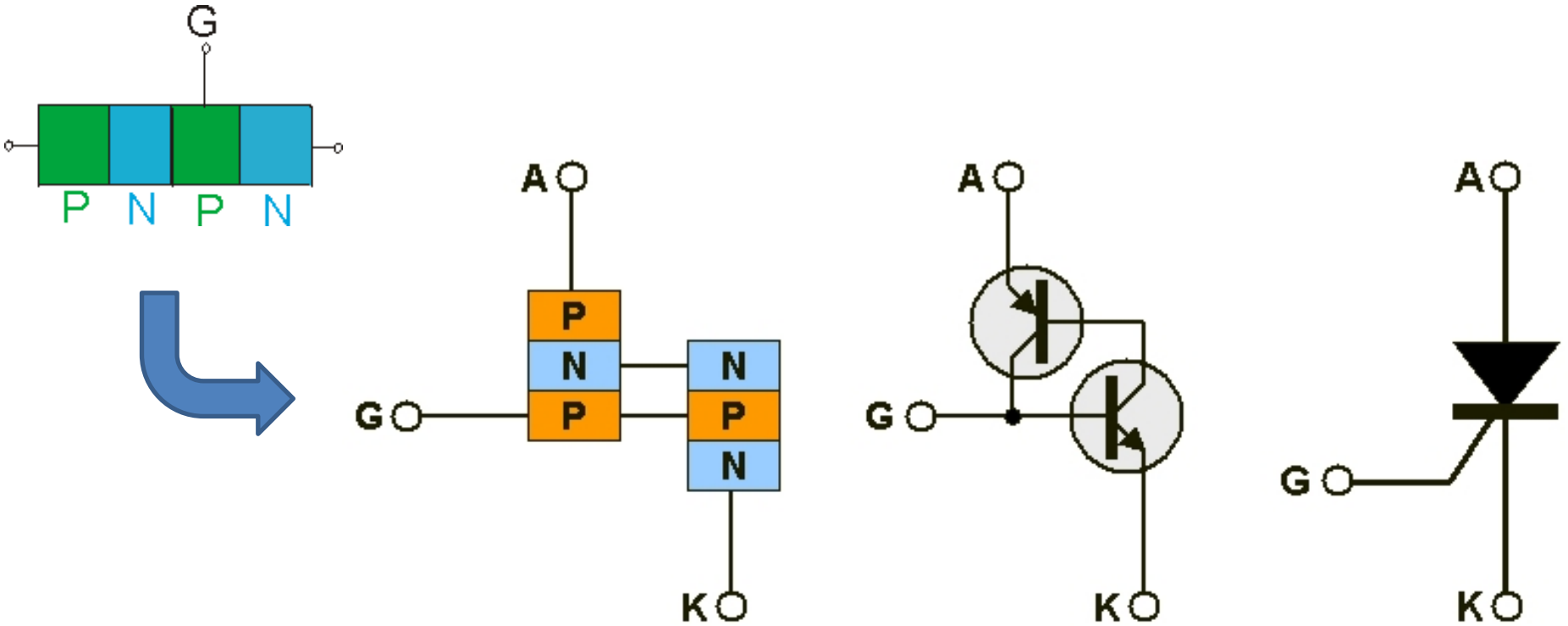
- princip činnosti založen na **tyristorovém jevu**
- **uvedení do propustného směru řídícím proudem (napětím) na řídící elektrodě**
- řídící napětí – kladné vzhledem k polaritě na katodě
- 3 stavy tyristoru
  - **závěrný stav** – vysoký odpor v závěrném směru
  - **blokovací stav** – vysoký odpor v přímém směru
  - **propustný stav** – nízká impedance v propustném stavu





Princip činnosti

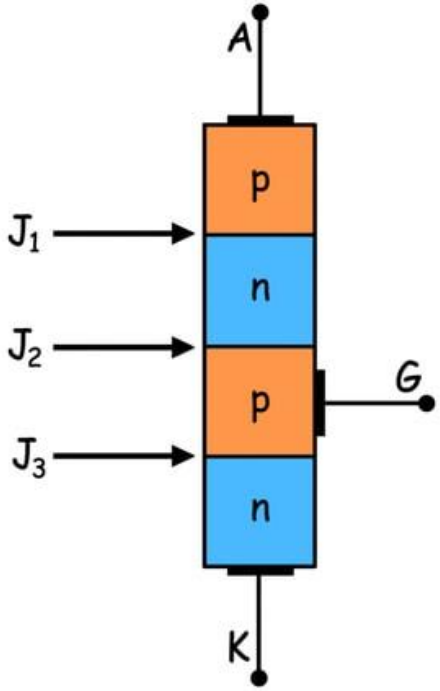
- náhradní elektrické schéma
  - klopný obvod s kladnou zpětnou vazbou



nefunkční – nesplnění podmínky tenkosti báze ve srovnání s difúzní délkou

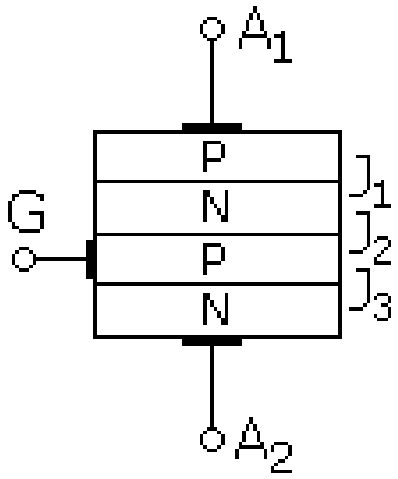
Princip činnosti

- aktivní režim – anoda (+), katoda (-)
  - J1 + J3 otevřen
  - J2 uzavřen → **žádný proud neteče**



Princip činnosti – zapnutí tyristoru

- **otevření J_2 - musí nastat průraz (vodivý stav) → lavinový průraz**
  - napětí U_A – překonání lavinového napětí $U_A > U_L$ (nežádoucí – vede ke zničení)
  - impulz na G – pomůže lavině, vstříknutí minoritních nosičů **(žádoucí – nejčastěji využíváno)**
  - změnou napětí (dU_A/dt) – otevření napěťovým skokem (derivací), způsobeno parazitní kapacitou na J_2 (nežádoucí)



$$dQ = U_A dC_{J2} + C_{J2} dU_A$$

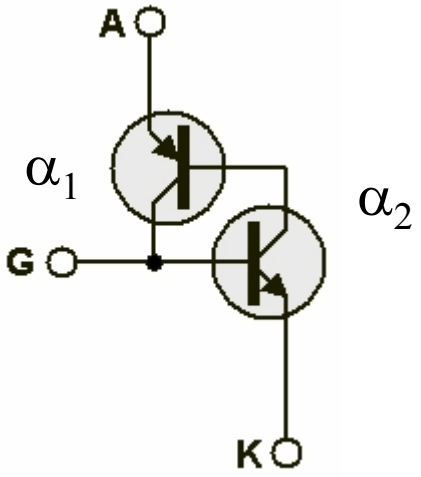
$$i_C = \frac{dQ}{dt} = U_A \frac{dC_{J2}}{dt} + C_{J2} \frac{dU_A}{dt} \approx i_G$$

Princip činnosti

- α – proudový přenos v uzavřené smyčce
- I_{S2} – sytný proud přechodu J_2
- I_G – proud do řídící elektrody
- zavřeno - $\alpha_1, \alpha_2 \rightarrow 0$ $\quad$ $I_A = I_{S2}$
- otevřeno - $\alpha_1 + \alpha_2 \rightarrow 1$ $\quad$ $I_A \rightarrow \infty$

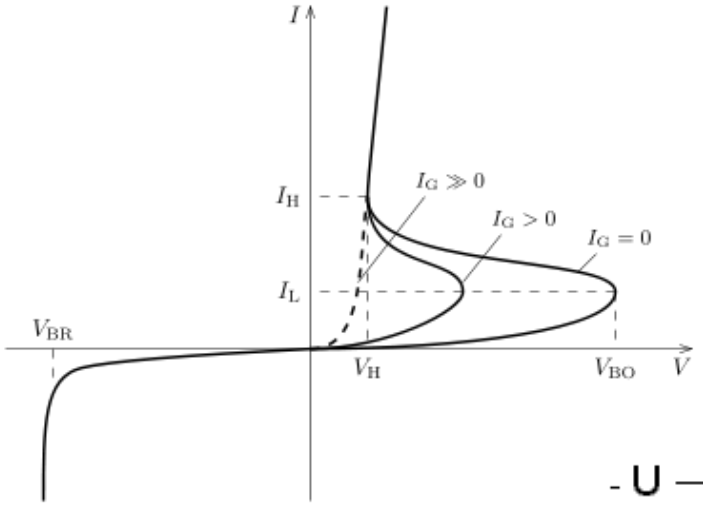
$$\alpha = \alpha_1 \alpha_2$$

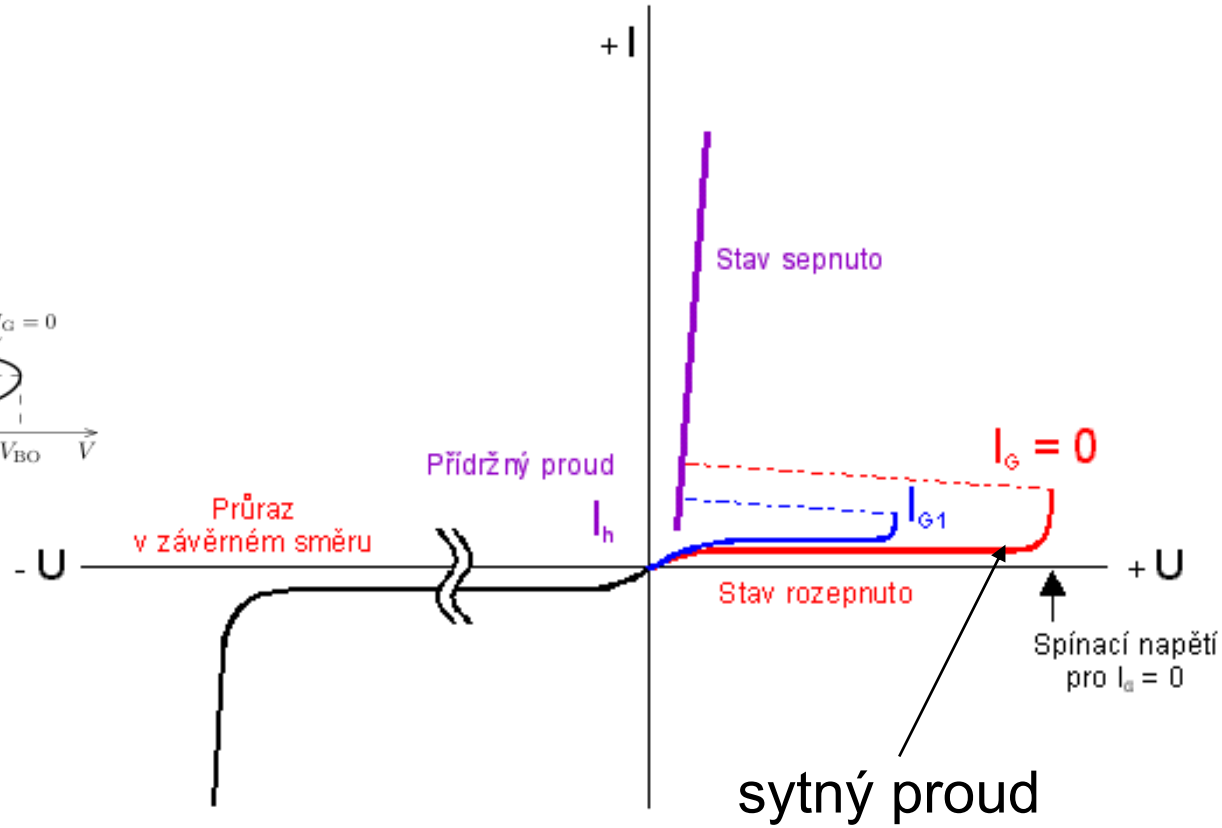
$$I_A = \frac{I_{S2}}{1-(\alpha_1+\alpha_2)} \approx \frac{I_{S2}+\alpha_1 I_G}{1-(\alpha_1+\alpha_2)}$$



Princip činnosti – V-A charakteristika

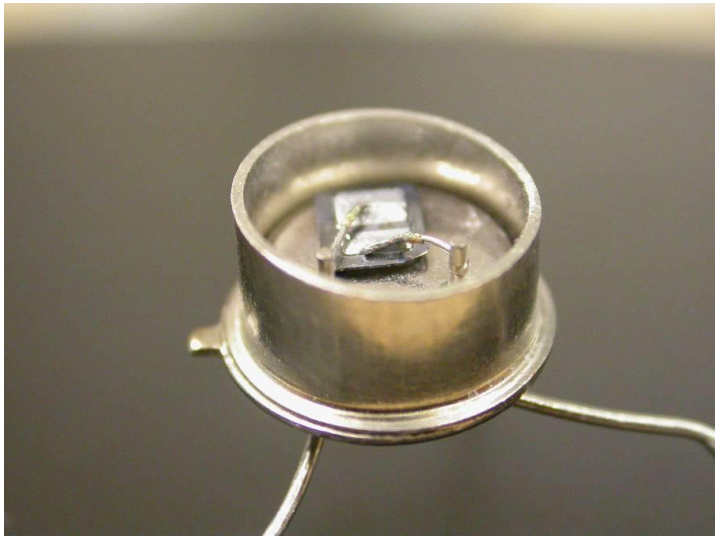
- **přídržný proud I_H – minimální proud, který udržuje tyristor v sepnutém stavu**
- **větší proud I_G → menší napětí U_A pro sepnutí tyristoru**

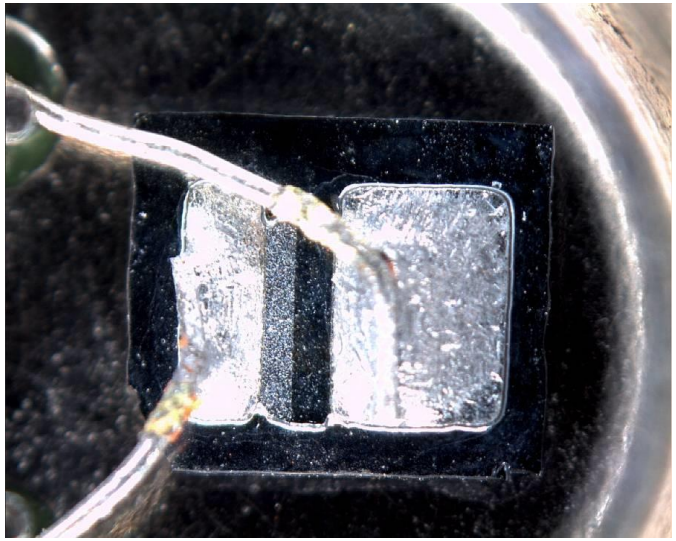




Princip činnosti – vypnutí tyristoru

- **pokles proudu I_A pod hodnotu přídržného proudu I_H**
- vypínací tyristor (GTO)
  - impulzem do G se řídí zapnutí
  - impulzem do G se řídí vypnutí – záporný proudový impulz (odvedení přebytečných nosičů náboje)

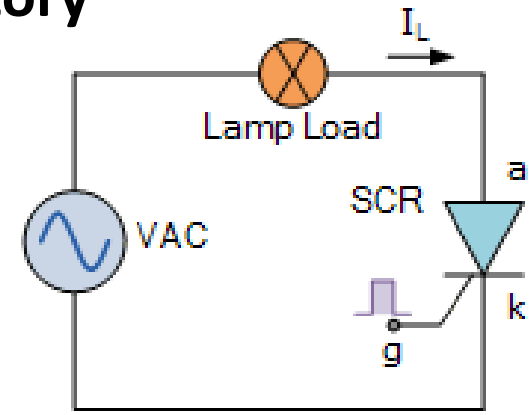




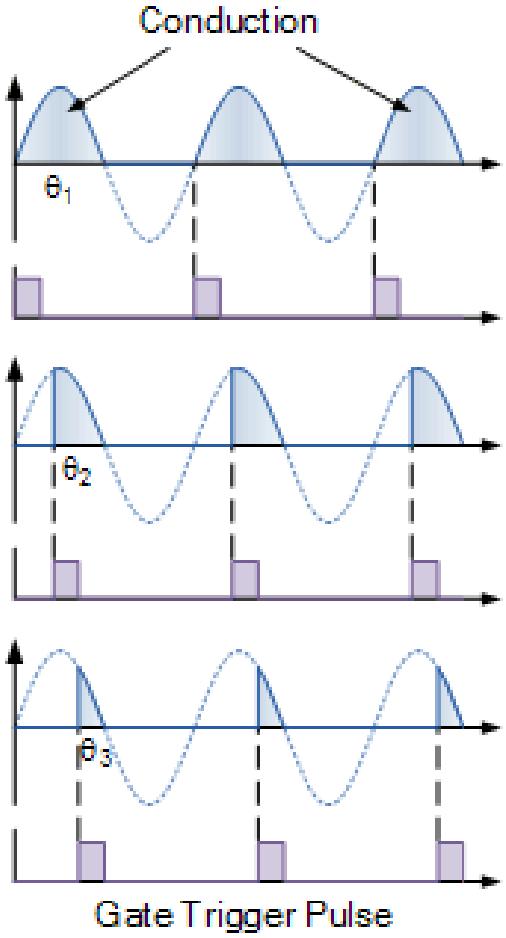
Princip činnosti: https://www.youtube.com/watch?v=v58KiktJLyE

Použití tyristoru

- někdy označován jako **triodový tyristor**
- **spínací součástka**
- stav – sepnuto, rozepnuto
- ostatní stavy jsou nestabilní
- **zdroje, měniče, regulátory**

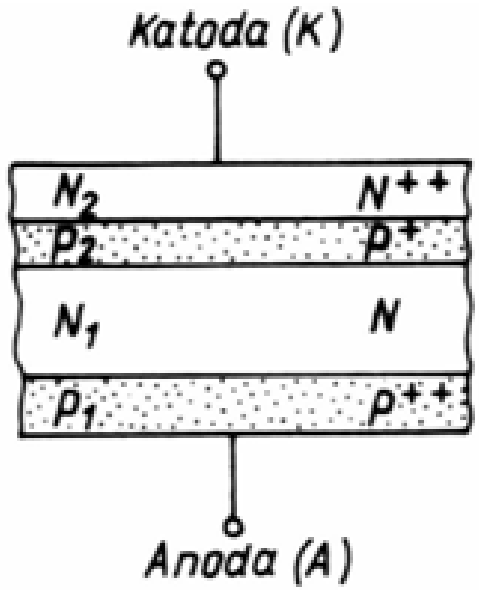


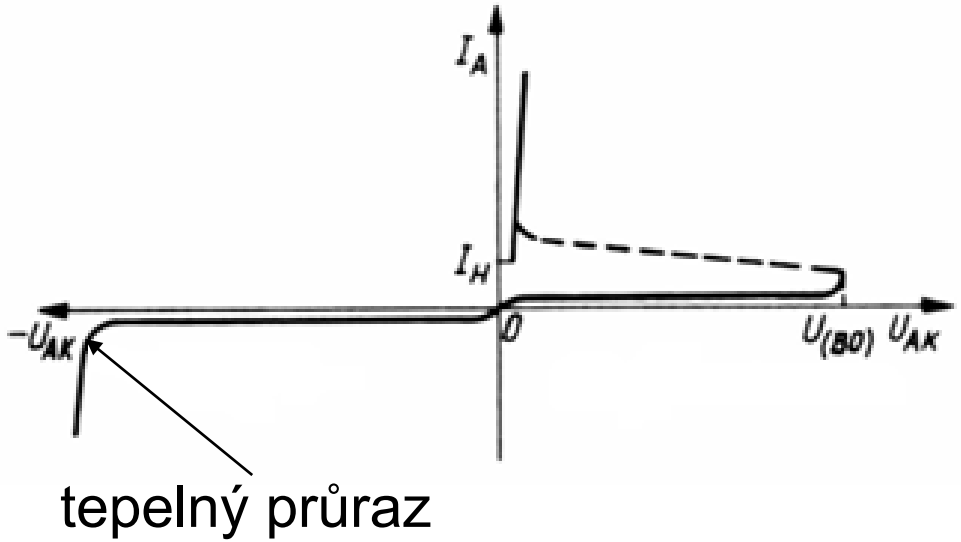




Diodový tyristor

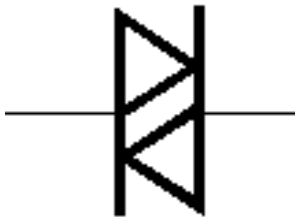
- Shockleyova dioda – dvojpól
- **otevření tyristoru pomocí napětí U_A– vznik lavinového průrazu**

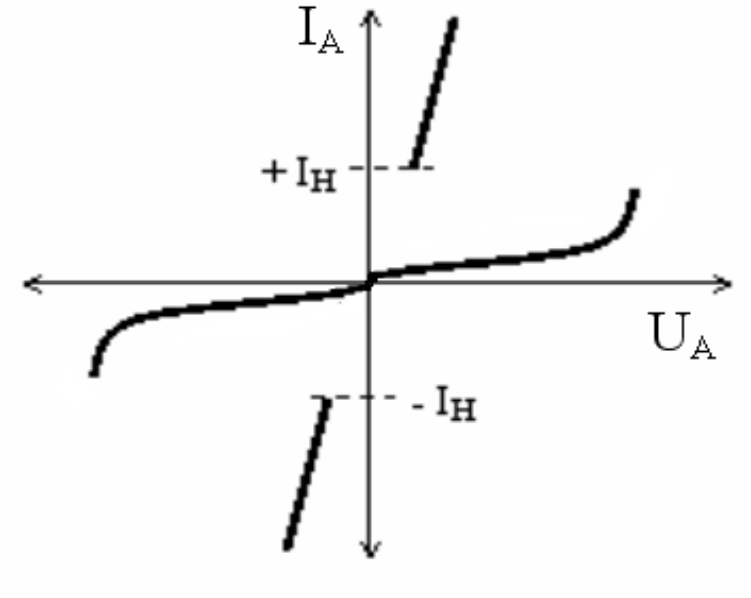


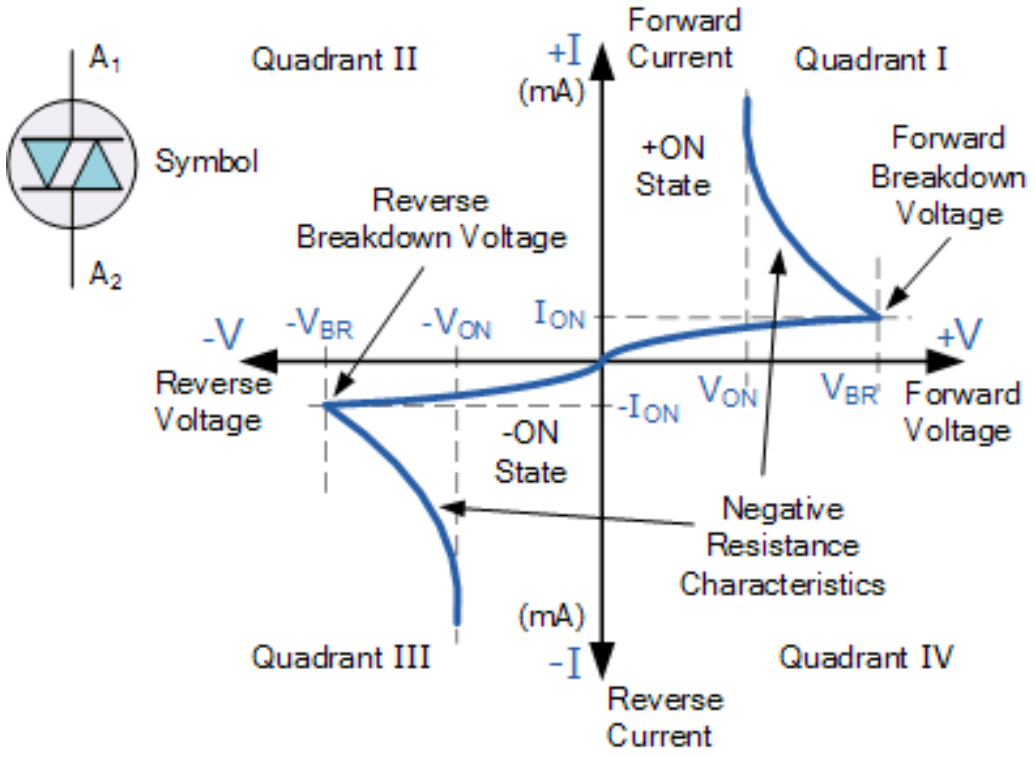


Diak

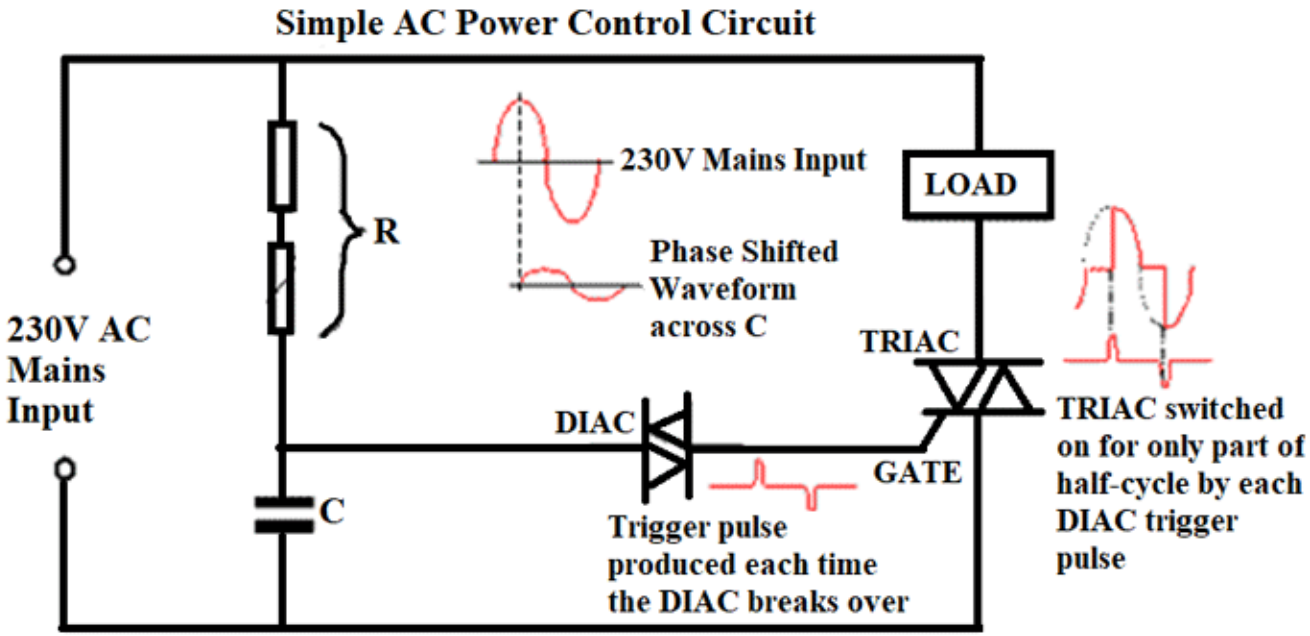
- **diodový obousměrný tyristor**
- antiparalelní zapojení dvou diodových tyristorů
- **pětivrstvý prvek bez řídící elektrody**
- použití jako spouštěcí dioda v řídících obvodech tyristorů
- lepší kvalita spínání



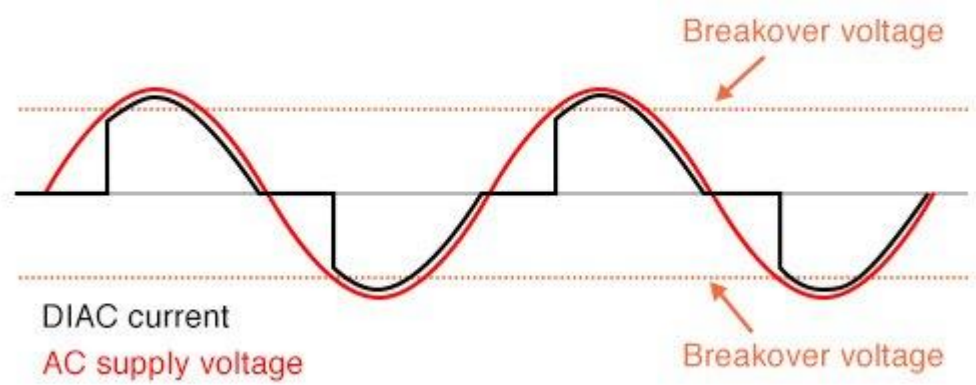




Princip činnosti

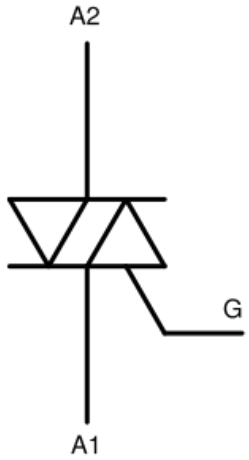


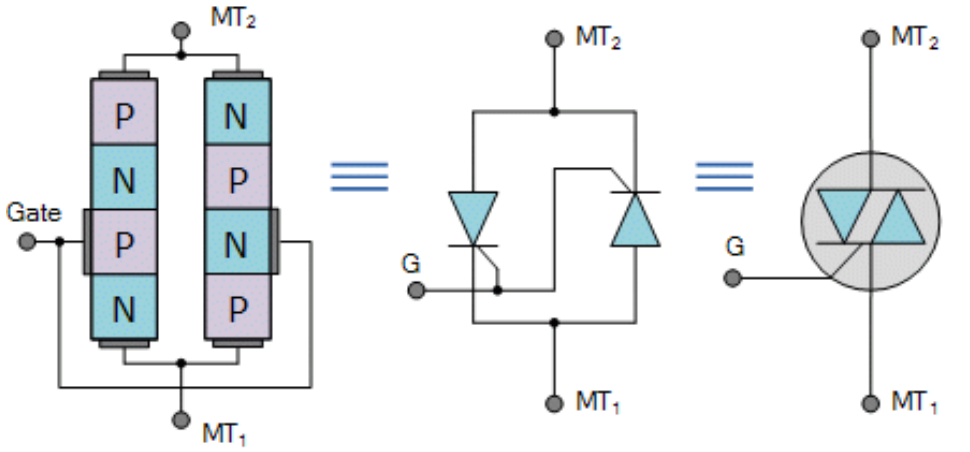




Triak

- polovodičový spínací prvek
- **triodový obousměrný tyristor**
- antiparalelní zapojení dvou triodových tyristorů
- **pětivrstvý spínací prvek s řídící elektrodou**
- **spíná kladná i záporná anodová napětí**
- kladné i záporné řídící impulzy
- **elektronický stykač → rychlejší bez mechanických částí**
- méně výkonový než tyristor



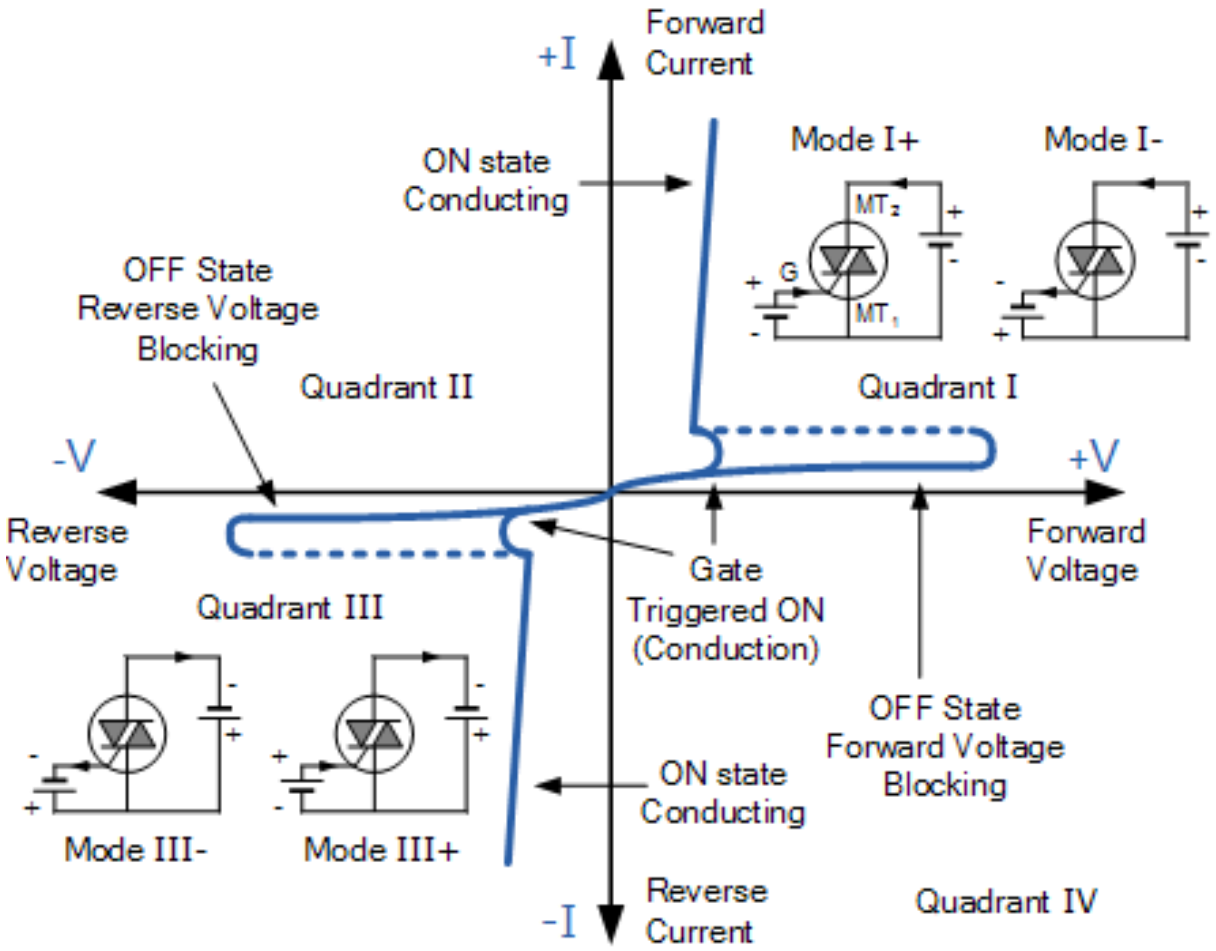


Physical Construction Two-Thyristor Analogy Circuit Symbol

Princip činnosti

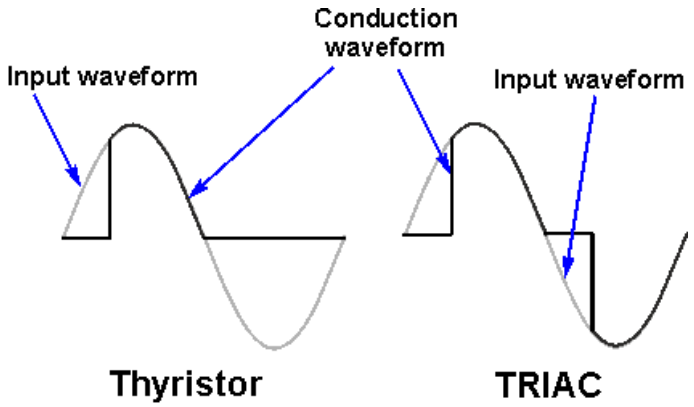
- **pro sepnutí musí být na elektrodách dostatečně velké napětí**
- **do řídící elektrody přiveden proudový impulz** – vyšší než je spínací proud
- **sepnutý triak – dokud neklesne proud pod hodnotu přídržného proudu**
- uzavření triaku – proud pod hodnotou přídržného proudu při jakémkoliv proudu do řídící elektrody
- žádný proud neprotéká + proud na řídící elektrodě klesne pod spínací hodnotu → okamžité uzavření

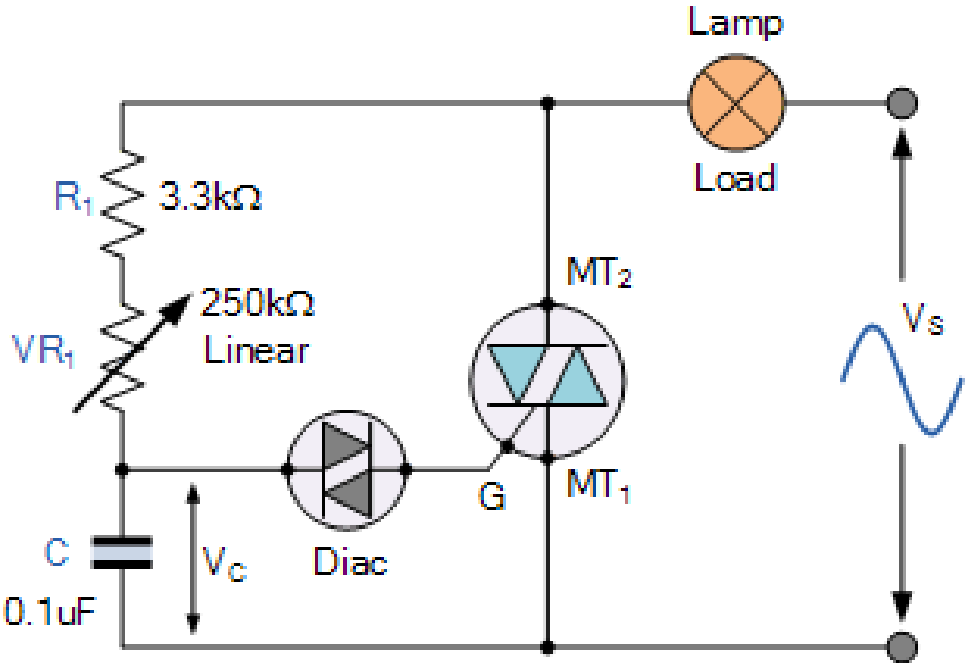
Princip činnosti – V-A charakteristika



Použití triaku

- regulace domácího osvětlení
- regulace otáček motoru





- speciální součástky
  - symistor – tunelování nosičů (tenké přechody)

Kontrolní otázky

- Vysvětlete princip činnosti tyristoru.
- Nakreslete a vysvětlete V-A charakteristiku tyristoru pro různé hodnoty proudu do řídicí elektrody.
- Co je přídržný proud?
- Nakreslete a vysvětlete V-A charakteristiku diaku.
- Nakreslete a vysvětlete V-A charakteristiku triaku.



Použitá literatura

- Musil, V.: **Elektronické součástky.** VUT Brno, 2005, ISBN 80-214-2627-6
- Vaníček, F.: **Elektronické součástky: principy, vlastnosti, modely.** ČVUT Praha, 2004, ISBN 80-01-03112-8
- Jerhot, J.: **Elektronické součástky a zesilovače.** VŠSE Plzeň, 1979
- FOIT, J.; HUDEC, L.: **Základy elektroniky.** ČVUT v Praze, 2009, ISBN 978-80-01-04236-6
- Vobecký, J.; Záhlava, V.: **Elektronika : součástky a obvody, principy a příklady.** Grada Publishing, 2005, ISBN 80-247-1241-5
- Sze, S.M.; Kwok, K.Ng.: **Physics of semiconductor devices.** Wiley-Interscience, 2007, ISBN 978-0-471-14323-9
- Kasap, S.O.: **Principles of electronic materials and devices.** McGraw-Hill, 2006, ISBN 0-07-124458-1
- Schroder, D.K.: **Semiconductor material and device characterization.** John Wiley & Sons, 2006, ISBN 0-471-73906-5