

## 8.7 Tyristory

### 8.7.1 Tyristorová trioda zhášena zpětným napětím

Tyristorová trioda zhášena zpětným napětím, krátce nazývaná tyristor<sup>1</sup>, je tvořena křemikovou destičkou se čtyřmi vrstvami střídavě P a N (obr. 1). Takové tyristory jsou dimenzovány na napětí 50 až 5000 V a proudy od 0,4 do 1500 A. Adekvátní těmto rozpětím jsou i mechanické rozměry (obr. 2). Anoda je vodivě spojena s kovovým pouzdem. Napětí tedy může být připojeno na pouzdro.

Tyristory je možno rozdělit na **P-Gate tyristory** a **N-Gate tyristory** podle připojení řídicí elektrody (Gate), viz obr. 1. V praxi se používají většinou P-Gate tyristory, které mají na vnější P-vrstvě anodu, na vnější N-vrstvě katodu a na vnitřní P-vrstvě řídicí elektrodu (Gate).

Vedle názvu tyristor se také lze setkat s obecným označením řízený usměrňovač a jeho anglickou zkratkou SCR (Silicon Controlled Rectifier).

**Pokus 1:** Zapojte tyristor, např. BSt B01 nebo TIC 106 M, sériově s žárovkou, anodou k žárovce. Toto sériové spojení připojte na stejnosměrný zdroj, např. baterii 4,5 V, a to +pólem na žárovku a -pólem na katodu tyristoru. Řídicí elektrodu připojte na napětí přes nastavitelný odpor a ampérmetr s rozsahem v mA. Zvyšujte řídicí proud a sledujte údaj ampérmetru.

Již při nepatrném řídicím proudu (podle typu tyristoru 1 mA až 100 mA) žárovka svítí.

Tyristory jsou bipolární spínací součástky přepínané impulzem do řídicí elektrody složené ze čtyř po sobě jdoucích polovodičových zón s vodivostmi typu: PNPN.

Proud řídicí elektrody (Gate)  $I_G$  zahltní vnitřní P-polovodič tak silně, že překoná účinek uprostřed ležící závěrné vrstvy. Ostatní 2 přechody jsou podle polarity napětí na tyristoru (mezi anodou a katodou) buď oba v propustném, nebo oba v závěrném směru a chovají se jako 2 diody za sebou (obr. 3).

Tyristor se chová jako dioda, pokud protéká proud.

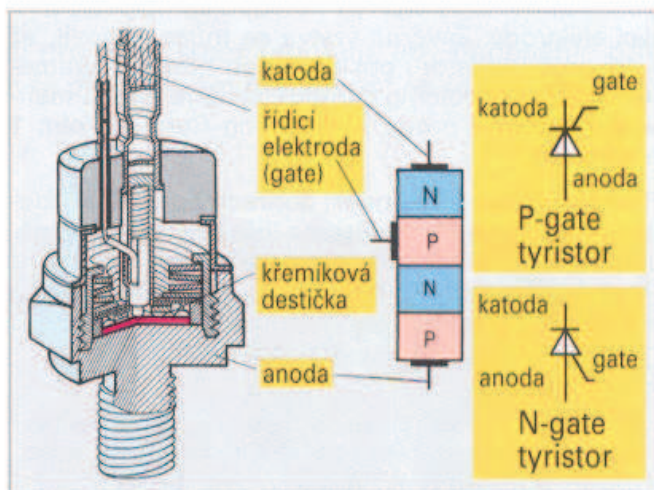
Napětí v propustném směru  $U_F$  je 0,6 V až 3 V, napětí řídicí elektrody ( $U_{GK}$ ) potřebné k zapálení (otevření) tyristoru je 0,6 V až 2,5 V.

**Pokus 2:** Opakujte pokus 1, připojte ale sériové spojení tyristoru a žárovky na regulační transformátor a zvyšuje při nezapojené řídicí elektrodě napětí postupně až ke jmenovitému napětí žárovky. Pak přepóluje napětí.

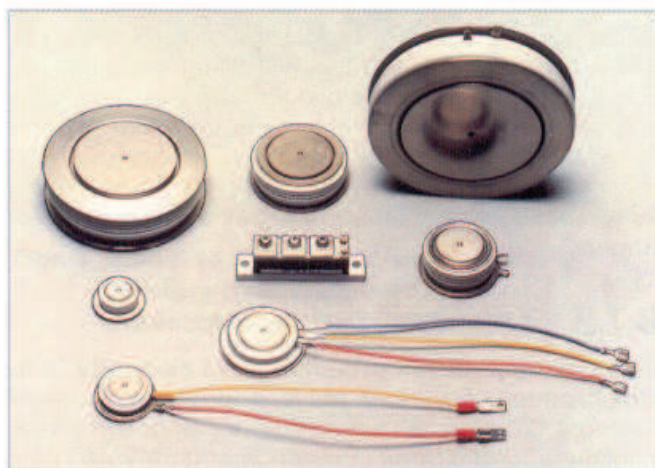
Žárovka nesvítí ani v jednom případě.

Tyristor má 3 závěrné vrstvy. Připojíme-li na katodu a anodu napětí, je alespoň jedna z těchto vrstev v závěrném směru. Směr napětí, při kterém je alespoň jedna z těchto vrstev v nepropustném směru, se nazývá dopředný a tyristor bez proudu je v tzv. **blokovacím režimu**. Směr, ve kterém jsou v závěrném směru 2 vrstvy, se nazývá zpětný a tyristor bez proudu je v tzv. **závěrném režimu**.

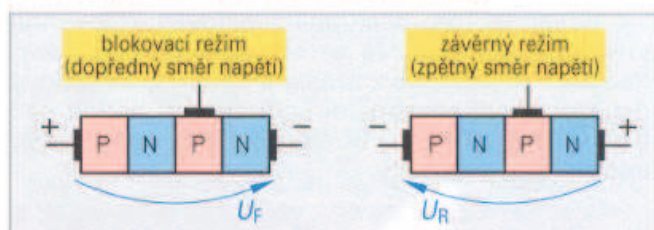
<sup>1</sup> thyristor (tyristor) je umělé slovo z **Ty**ratron (spínací usměrňovací výbojka plněná plynem) a **Resistor** = odpor



Obr. 1 Tyristor a jeho schematické značky



Obr. 2 Tyristor – provedení (příklady)



Obr. 3 Blokovací a závěrný režim tyristoru, resp. dopředný a zpětný směr napětí

Tyristory se dají používat jako řízené usměrňovače nebo jako bezkontaktní spínače. Je-li proudem řídící elektrody odstraněna závěrná vrstva prostředního přechodu, tak protékající proud tyristoru zabraňuje obnovení závěrné vrstvy i po odpojení napětí od řídící elektrody. Závěrná vrstva se může obnovit, až když proud tyristoru poklesne pod hodnotu vratného proudu  $I_H$  (Holding current), který je trochu menší než přídržný proud  $I_L$  (Latching Current) (obr. 1 a tabulka).

Přídržný proud je nejmenší dopředný proud, při kterém tyristor při  $I_G = 0$  zůstane ještě ve vodivém stavu. Po přerušení proudu tyristoru lze proud obnovit novým zapalovacím (otvíracím) impulzem na řídící elektrodu. Při větším anodovém napětí stačí menší napětí zapalovacího (otevřovacího) impulsu.

Při zapojení tyristoru v obvodu střídavého proudu poklesne na konci každé půlperiody proud pod úroveň vratného proudu a tyristor se zavře.

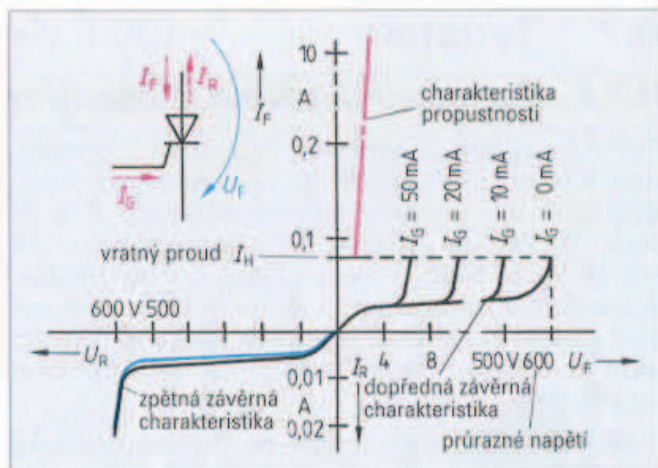
Běžný způsob otevření tyristoru z blokovacího režimu pro dopředný proud je přivedení spouštěcího, u tyristoru zvaného zapalovacího impulsu (analogie s tyratronem) na řídící elektrodu (gate), tedy zapálení tyristoru zapalovacím impulzem. Při obrácení polaroty napětí na tyristoru, např. při střídavém proudu, se tyristor zavře a k otevření je pak třeba zapalovací impuls.

### 8.7.2 Zapálení tyristoru

Je-li tyristor vybuzen proudem řídící elektrody (řídícím proudem  $I_G$ ), který právě odpovídá minimální hodnotě (udržovaného proudu), je pak bezprostřední okolí řídící elektrody vodivé. Ostatní převážná část blokovacího prostředního přechodu se stává vodivou až s narůstajícím proudem mezi anodou a katodou tyristoru. Toto postupné zapalování (otevírání) tyristoru škodí, protože se silně zahřívá blokovací přechod PN. Proto se k zapálení používají proudové impulsy, jejichž maximální hodnota leží hodně nad nejvyšší přípustnou hodnotou stejnosměrného proudu řídící elektrody.

K rychlému zapálení je řídící elektroda tyristoru vybuzena silným proudovým impulzem.

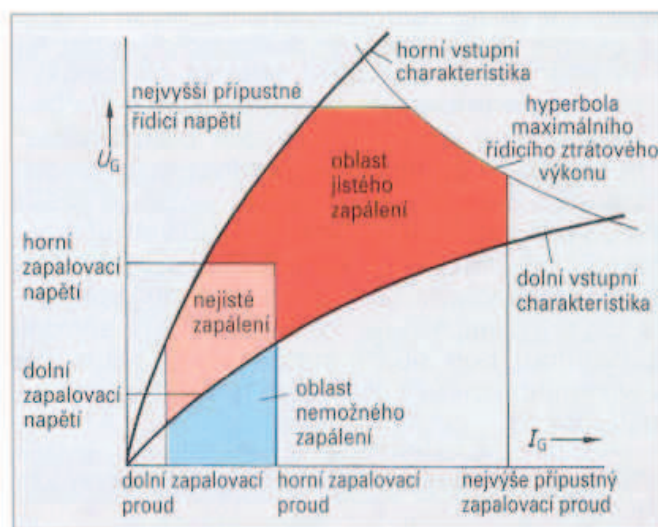
Pro rozmanitost podmínek řízení nelze přesně stanovit potřebný zapalovací proud určitého typu tyristoru. Rozlišuje se však oblast bezpečného zapálení, oblast nejistého zapálení a oblast nemožného zapálení (obr. 2). Aby nedošlo k nechtěnému, chybnému zapálení tyristoru, je třeba respektovat tzv. dobu závěrného zotavení. Doba závěrného zotavení (10–100  $\mu$ s) je doba, za kterou se po poklesu proudu tyristoru na nulu (při  $I_G = 0$ ) obnoví blokovací schopnost blokovacího PN-přechodu. Při nedodržení této doby by mohl být tyristor opět sepnut. Zapalovací napětí  $U_{GK}$  a zapalovací proud  $I_G$  potřebné k zapálení tyristoru ve stejnosměrném obvodu je možné zjišťovat měřením v zapojení dle obr. 3.



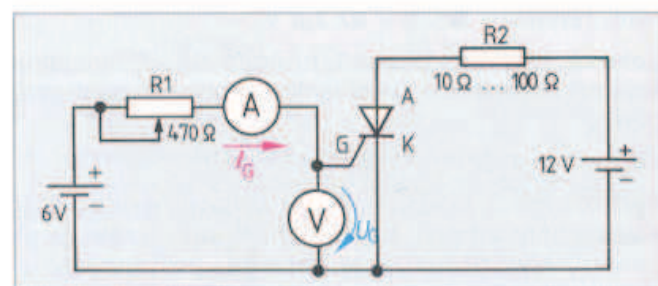
Obr. 1 Charakteristiky tyristoru

Tabulka: Jmenovité a mezní hodnoty tyristoru TIC 106 D

|  |                                |        |
|--|--------------------------------|--------|
|  | <b>jmenovité hodnoty:</b>      |        |
|  | zapalovací napětí $U_{GK}$     | 0,8 V  |
|  | zapalovací proud $I_G$         | 0,2 mA |
|  | vratný proud $I_H$             | 5 mA   |
|  | <b>mezní hodnoty:</b>          |        |
|  | závěrné napětí $U_R$           | 400 V  |
|  | proud v propustném směru $I_F$ | 5 A    |



Obr. 2 Zapalovací diagram tyristoru



Obr. 3 Zapojení k měření zapalovacího napětí a zapalovacího proudu

Při provozu tyristoru (str. 196) je třeba zabránit příliš rychlému nárůstu provozního napětí, který by mohl vést k samozapálení tyristoru průrazem, což je zapálení při nulovém řídícím proudu. Nárůst proudu nesmí být rychlejší, než je daná mezní napěťová strmost  $\Delta u/\Delta t$ , která bývá v rozptěí 200 V/ $\mu$ s až 2000 V/ $\mu$ s. Kritická proudová strmost  $\Delta i/\Delta t$  je podle typu 20 A/ $\mu$ s až 200 A/ $\mu$ s.

Je třeba dávat pozor na povolenou velikost napětí pro daný směr zapojení, aby nedosáhlo průrazné hodnoty, tj. hodnoty, při které se tyristor otevře při nulovém řídícím napětí (**obr. 1, str. 186**).

### 8.7.3 Ochrana tyristorů

Tyristory chráníme před:

- proudovým přetížením,
- kritickými strmostmi napětí a proudu,
- přepětím.

Tyristory nebo celé bloky tyristorů se umísťují do kovových pouzder s rovnou hladkou plochou určenou pro dobrý kontakt s chladičem (**obr. 1**).

Tyristory je třeba i při dostatečném chlazení chránit před proudovým přetížením, protože ony samotné mají malou tepelnou kapacitu. Proto musí být používány obzvláště rychlé proudové ochrany.

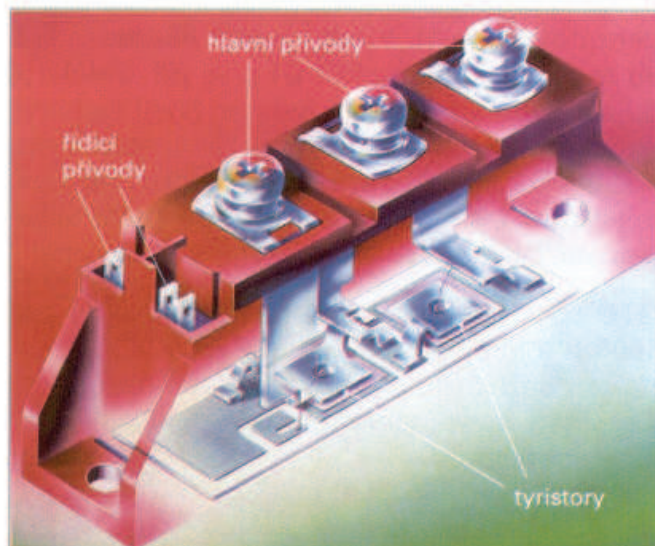
K ochraně tyristorů před proudovým přetížením se používají tavné pojistky třídy aR nebo superrychlé jističe.

Nadproudové jističe dáváme buď do přívodů sítě před vnitřní rozvody, nebo přímo do jednotlivých větví rozvodu (**obr. 2**).

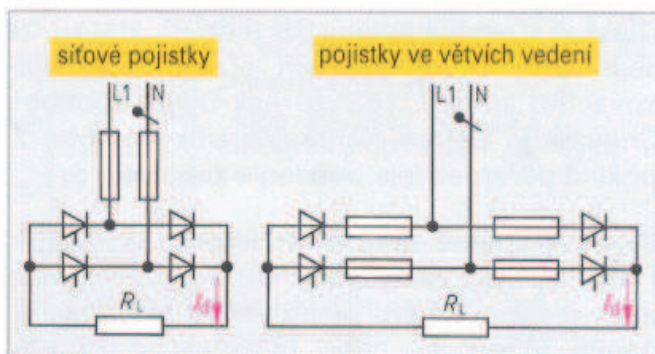
K omezení rychlého náběhu proudu se používají ochranné tlumivky tyristorů. K rychlému nárůstu proudu může dojít při zapínání kondenzátorů nebo spotřebičů bez indukčnosti.

Tyristory jsou citlivé na přepětí (přepěťové špičky). Napěťové špičky vznikají například při odpojování zařízení s velkou indukčností.

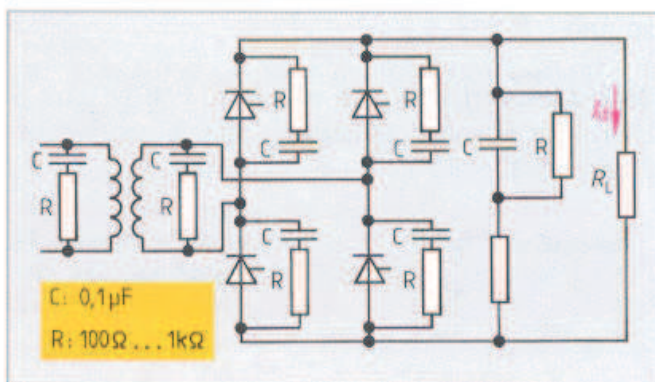
K ochraně tyristorů před přepětím se používá sériové zapojení kondenzátoru a rezistoru, kterým se tyristor paralelně přemostí (**obr. 3**). Toto spojení může při přemostění vstupu i výstupu transformátoru zachycovat a tlumit napěťové špičky v síti, při přemostění zátěže zase může tlumit napěťové špičky spojené s vypínáním. Požadovaná kapacita a odpor zmíněného přemostění jsou závislé na tom, zda jsou tlumeny napěťové špičky nebo proudové špičky. Velikosti jsou uváděny v elektrotechnických tabulkách.



Obr. 1 Modul se dvěma obousměrnými tyristory (triaky) v pouzdře uzpůsobeném k montáži na chladič



Obr. 2 Nadproudová ochrana tyristorů



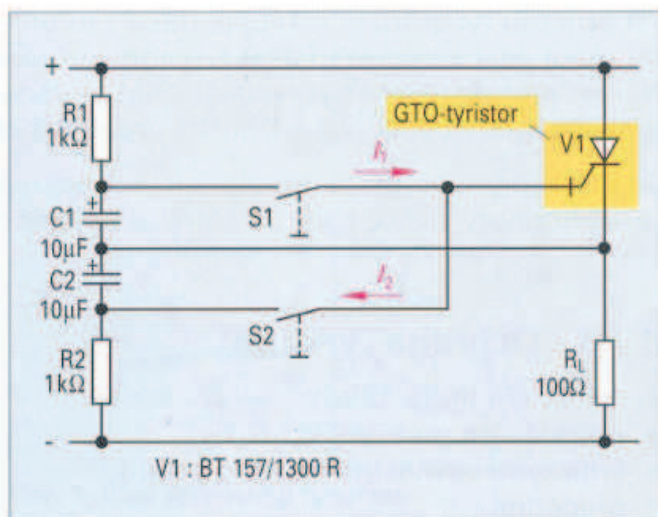
Obr. 3 RC-přemostění tyristorů proti přepětí

### 8.7.4 Vypínací tyristor GTO

Běžné tyristory nemohou být vypnuty řídicím proudem. Avšak u vypínacího tyristoru GTO<sup>1</sup> je to možné. Tyristor je zapínán i vypínán (zapalován a zhasen) pomocí napětí opačných polarit na řídicí elektrodě.

Máme-li k dispozici jen jeden napěťový stejnosměrný zdroj, můžeme napětí pro zapínání i vypínání tyristoru získat pomocí děliče s kondenzátory (obr. 1). V odpojeném klidovém stavu se nabije kondenzátor C1 přes řídicí elektrodu a katodu a tak zapálí tyristor. Nyní se nabíjí kondenzátor C2 přes otevřený tyristor. Stiskem tlačítka S2 se připojí na řídicí elektrodu kondenzátor C2 s polaritou opačnou k polaritě zapalovacího impulsu a GTO-tyristor se vypne.

GTO-tyristory mají jmenovité proudy do 1000 A a jmenovitá napětí do 2500 V. Je možno je používat např. jako usměrňovače, nebo k zapínání a vypínání motorů vozidel s elektrickým pohonem.

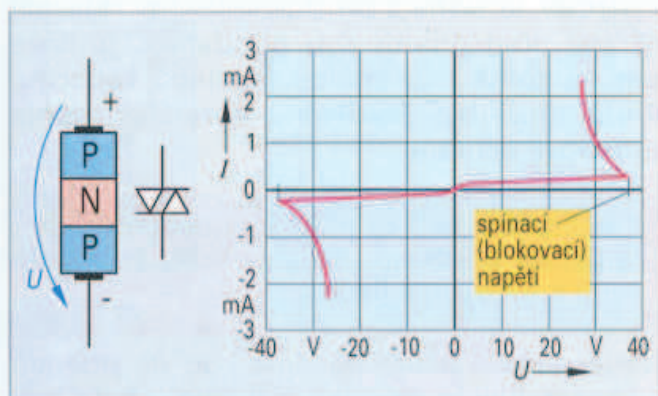


Obr. 1 Řízení GTO-tyristoru zapojené na společný zdroj napětí

### 8.7.5 Tyristorové diody

Tyristory bez řídicí elektrody dělíme podle počtu vrstev na třívrstvé, čtyřvrstvé a pětivrstvé diody.

**Diak<sup>2</sup>** je třívrstvá součástka (obr. 2), kterou lze sepnout v obou směrech překročením blokovacího napětí  $U_{BO}$  (Break-Over Voltage). Chování je zřejmé z charakteristiky na obr. 2, příklad parametrů je uveden v tabulce.



Obr. 2 Uspořádání, schematická značka a charakteristika třívrstvého diaku

**Diodový zpětně závěrný tyristor** je čtyřvrstvá PNPN spínací součástka, kterou lze sepnout jen v jednom směru překročením blokovacího napětí (0,5–3 V), nebo blokovacího proudu (1 mA–45 mA), nebo světlem v případě fototyristoru. Používá se v pulzních generátorech, tvarovacích obvodech nebo jako elektronický spínač.

**Diak v provedení s pěti vrstvami** PNPNP má podobné vlastnosti jak diak se třemi vrstvami, používá se v řídicích obvodech triaků pro nastavení spínacího napětí. Typické hodnoty  $U_{BO}$  jsou v rozpětí 30 – 50 V.

Tyristorové diody jsou využívány hlavně v řídicích obvodech triaků pro generování zapalovacích impulsů. K tomu účelu se připojují k řídicí elektrodě triaku.

Tabulka: Technická data diaku A9903

|  |                            |          |
|--|----------------------------|----------|
|  | spínací (blokovací) napětí | 32 V     |
|  | průrazný proud             | 0,4–1 mA |
|  | max. proud                 | 1 A      |

<sup>1</sup> z anglického Gate Turned Off = vypínaný řídicí elektrodou

<sup>2</sup> Diac (česky diak) je zkratkou Diode Alternating Current Switch = diodový spínač střídavého proudu

## 8.7.6 Triak

K řízení střídavého proudu je možno použít dvou tyristorů v antiparalelním zapojení, jeden typu P-Gate a druhý typu N-Gate v zapojení dle obr. 1.

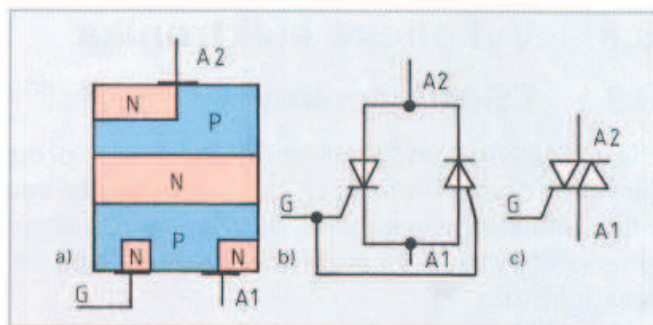
Realizace tohoto zapojení v rámci jedné součástky se nazývá triak<sup>1</sup>. Je to triodový obousměrný tyristor s jednou řídicí elektrodou (obr. 1b, 1c). Zapalovací impuls zapálí dle polarity jeden ze dvou tyristorů v triaku (obr. 2).

Triak lze v obvodech střídavého proudu i v obvodech stejnosměrného proudu opět otevřít v libovolném směru.

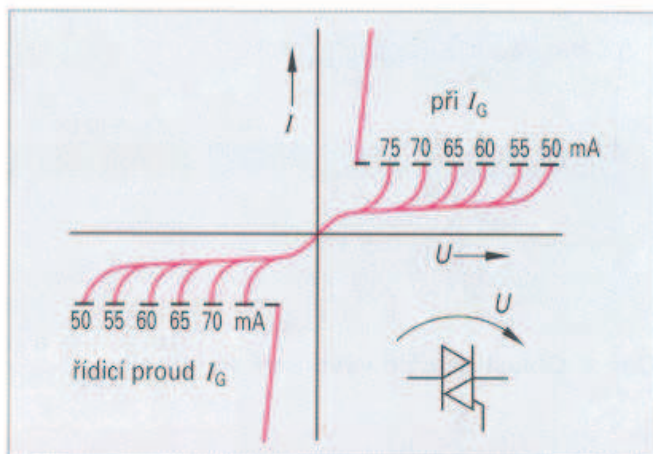
Zapálení (otevření) je v každé půlperiodě střídavého proudu (kladné či záporné) možné libovolně polarizovaným zapalovacím impulzem mezi G a A1. Při zapálení mohou nastat tyto 4 případy kombinací polarit vnějšího a zapalovacího napětí (ve 4 kvadrantech přechodových charakteristik):

1. napětí A2 – A1 kladné, G – A1 kladné
2. napětí A2 – A1 kladné, G – A1 záporné
3. napětí A2 – A1 záporné, G – A1 kladné
4. napětí A2 – A1 záporné, G – A1 záporné

Triaky jsou vyráběny pro napětí až do 1200 V a proudy až 120 A. Používají se jako nastavovací prvky pro spotřebiče na střídavé napětí, např. stmívače (str. 201) a jako elektronické stykače.



Obr. 1 Skladba triaku, náhradní zapojení, schematická značka



Obr. 2 Charakteristika triaku znázorňující blokovací a propustné stavy

Tabulka: Jmenovité a mezní hodnoty triaku TIC 226 D

|  |                          |          |
|--|--------------------------|----------|
|  | <b>Jmenovité hodnoty</b> |          |
|  | zapalovací napětí $U_G$  | 2,5 V    |
|  | zapalovací proud $I_G$   | 50–75 mA |
|  | vratný proud             | 50 mA    |
|  | <b>Mezní hodnoty:</b>    |          |
|  | závěrné napětí $U_R$     | 400 V    |
|  | proud v propustném směru | 4 A      |

### Otázky k opakování

1. Popište skladbu tyristoru na křemikové destičce.
2. Co je to dopředný směr u tyristoru?
3. Jakou úlohu má řídicí proud tyristoru?
4. Proč lze použít tyristory jako usměrňovače?
5. Co se rozumí průrazným napětím u tyristoru?
6. K čemu se používá 4 vrstvá tyristorová dioda?
7. Jaká spínací napětí mívá diak?
8. Jaké vývody má triak?
9. K čemu se používá triak?
10. Jaké polarizace napětí jsou ve 4. kvadrantu přechodových charakteristik triaku?

<sup>1</sup> z anglického Triac (Triode Alternating Current Switch = triodový spínač střídavého proudu)