

A blurred, high-angle photograph of a multi-lane highway at night, with light trails from cars creating a sense of motion. The image is dark with a warm, orange-brown tint. A white rectangular border is centered over the image.

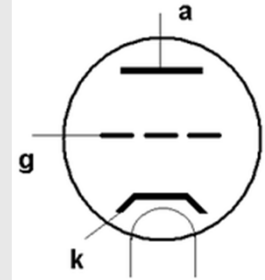
Vícevrstvé polovodičové součástky

Přednáška č. 7

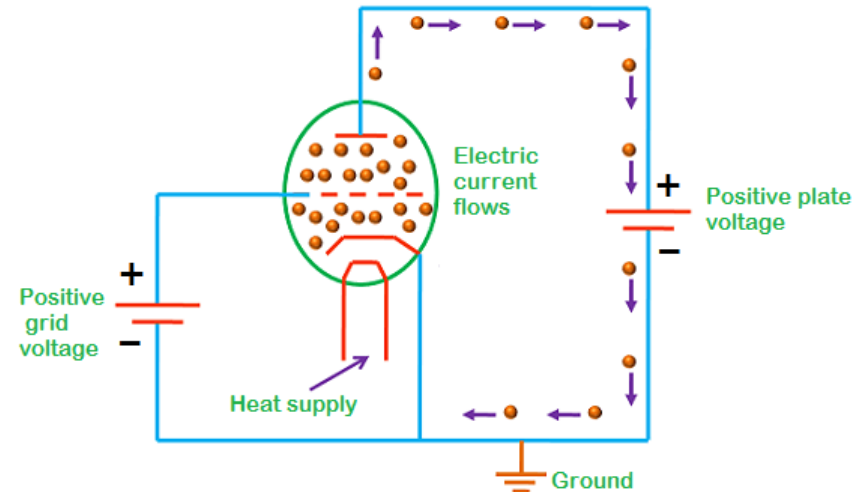
Kondenzátor – nebezpečí při odpojení
zdroji

Elektronky opakování

- Trioda je elektronka se třemi elektrodami: Anodou, katodou a mezi nimi umístěnou mřížkou
- Patřila k široce používaným součástkám, tvořícím základ elektronických zařízení v 1. polovině 20. století



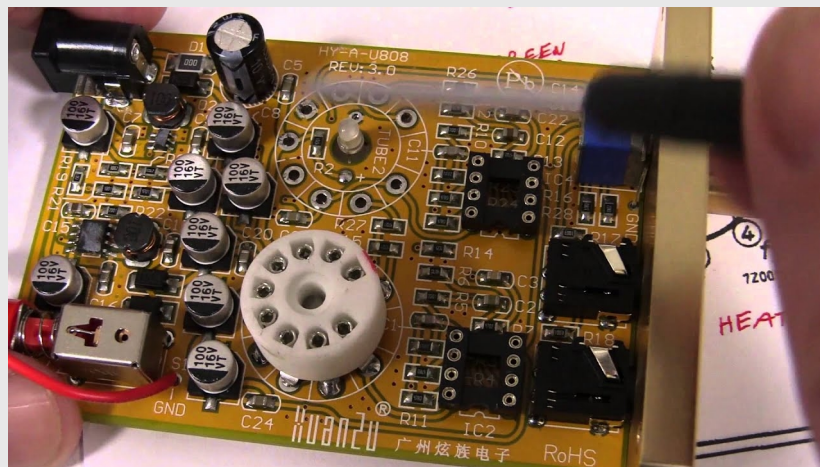
Vacuum triode with positive grid voltage



Elektronky v zesilovačích



Nobsound NS-08E Vacuum Tube Integrated Amplifier Mini Audio HiFi Stereo Headphone Amp.



Tranzistory - opakování

- https://www.youtube.com/watch?v=K_h7jxrQLQI



Tranzistory v procesorech

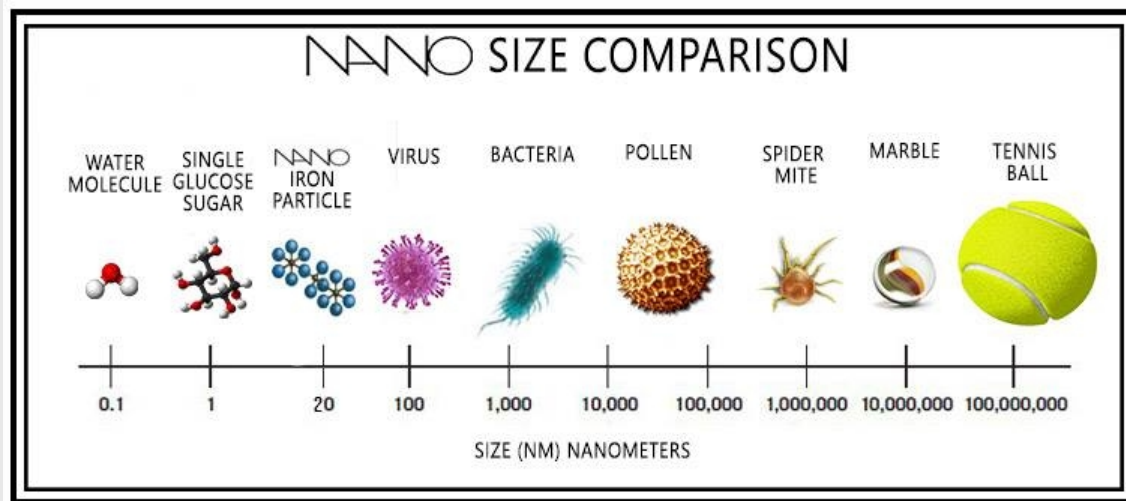
Nový šéf Intelu prozradil, kdy se dočkáme prvních 7nm procesorů

Jan Belka
10. listopadu 2019

 SDÍLET NA FACEBOOKU

 TWEETNOUT

Zdroj: Intel.com



Výroba procesorů



Ako sa vyrábajú procesory Intel

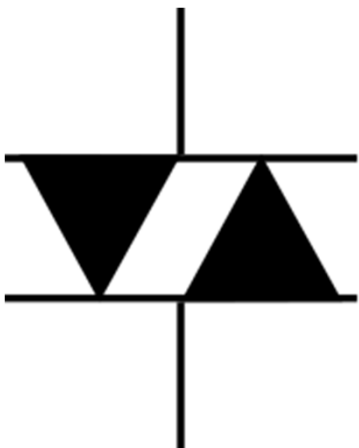
<https://www.youtube.com/watch?v=A0X9IkKBkTM>

Od elektronek k integrovaným obvodům - video

<https://www.youtube.com/watch?v=PW0RL565hIA>



Od elektronek k integrovaným obvodům (1973)

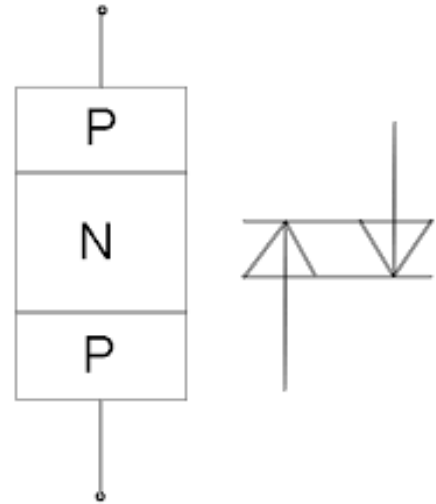


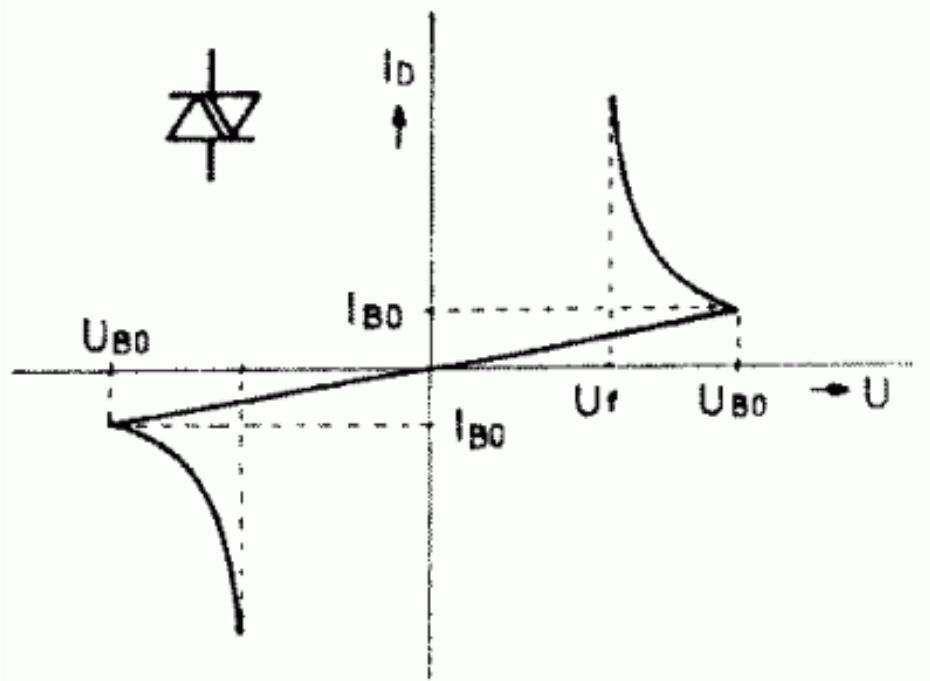
Diak

- Diak (z anglického diode for alternating current (DIAC) = dioda pro střídavý proud)
- nelineární polovodičový spínací prvek se symetrickou VA charakteristikou
- do průrazného napětí (většinou okolo 30 V) je prakticky nevodivý
- při dosažení průrazného napětí, díky lavinovému průrazu, dojde ke zvýšení vodivosti
a skokovému snížení úbytku napětí na diaku o jednotky voltu
- k nevodivosti dojde snížením proudu pod přídržnou hodnotu
- proud diakem, jak vybíjecí, tak i přídržný musí být omezen sériovým odporem

Diak - vlastnosti

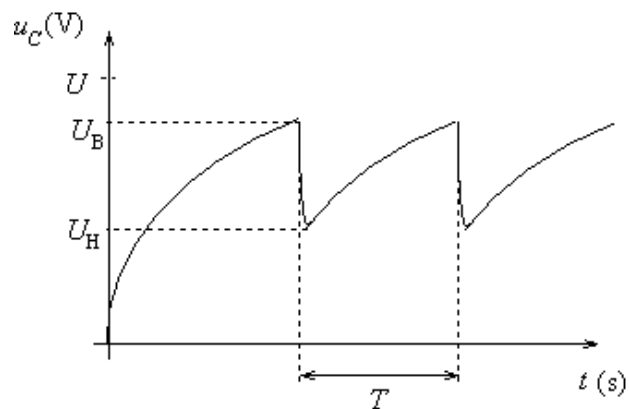
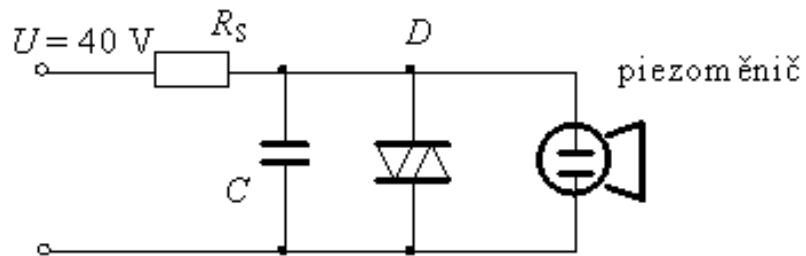
- diak má stejně jako tranzistor 3 polovodičové vrstvy uspořádané do dvou PN přechodů
- diak má však jen dva vývody, vyvedené ze stejného typu polovodiče
- může být typu NPN i PNP
- protože nezáleží na polaritě napětí, není potřebné označovat vývody





Diak - funkce

- **nejdůležitějším parametrem je tedy spínací napětí** (značené většinou U_{B0}), které se často pohybuje v řádech desítek voltů
- po překročení tohoto napětí dojde k lavinovému průrazu a diak začne vést proud



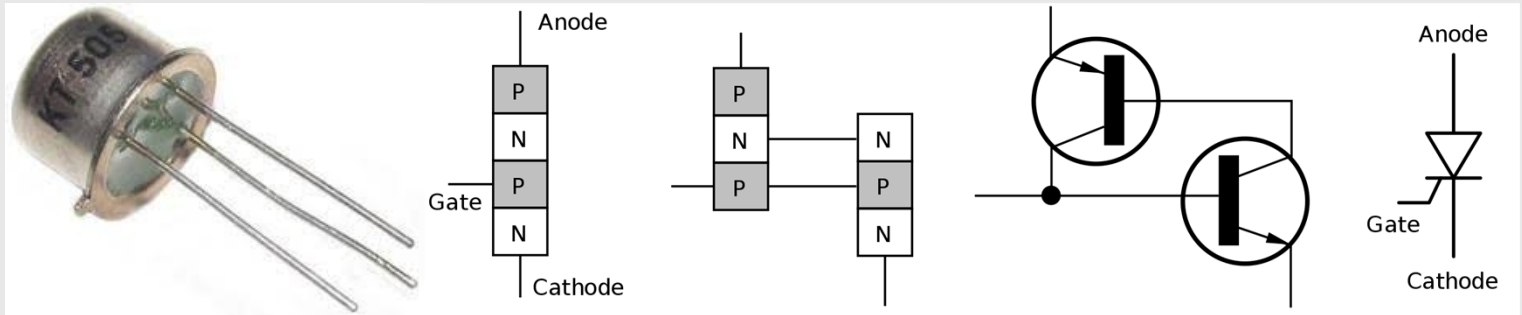
Obr. 3: Relaxační oscilátor – průběh napětí na kondenzátoru C

Diak - použití

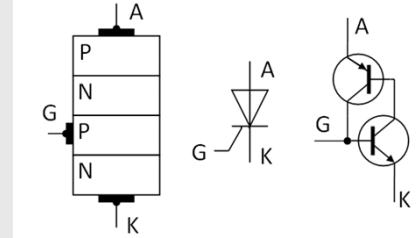
- Nejčastěji se používá jako řídicí součástka pro spínání triaku v časovačích a relaxačních generátorech/oscilátorech
- Odpor R_s musí být takový, aby nabíjecí proud byl menší než I_{\max} . Použijeme $R_s = 120\text{ k}\Omega$ a kondenzátor $C = 130\text{ nF}$.
- Zapojíme a postupně zvyšujeme napájecí napětí nad U_B daného diaku. Po překročení blokovacího napětí oscilátor kmitá. Napájecí napětí nastavíme na 40 V a změříme frekvenci kmitů.

Tyristor

- Tyristor je polovodičová součástka sloužící ke spínání elektrického proudu (nejčastěji výkonových obvodů), **fungující jako řízený elektronický ventil (průchod)**.
- Tyristor je čtyřvrstvá spínací součástka (obvykle PNPN), která nevykazuje usměrňující účinky jako dioda, avšak je možné ji ovládat (spínat) pomocí impulsu do řídicí elektrody G (Gate)
- Anoda (A) a katoda (K) se v obvodu nesmí zaměnit, **zátěž je vždy připojena k anodě**.



Tyristor - funkce



- Jedná se o velice účinný nástroj pro řízení **velmi výkonných elektrických strojů**
- V moderních elektrických lokomotivách se používá nejčastěji pro pulzní regulaci výkonu trakčních motorů pro stejnosměrný proud
- K regulaci výkonu asynchronních motorů se používají vyspělejší zařízení IGBT

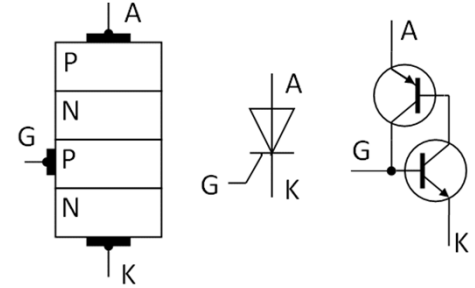
Bipolární tranzistor s izolovaným hradlem (Anglicky Insulated Gate Bipolar Transistor IGBT) je druh tranzistorů, který je zkonstruován pro velký rozsah spínaných výkonů (od zlomků W až po desítky MW)[zdroj?] a vysokou pulzní frekvenci. IGBT je integrovaná kombinace unipolární a bipolární součástky.



IGBT 3300V 1200A Mitsubishi

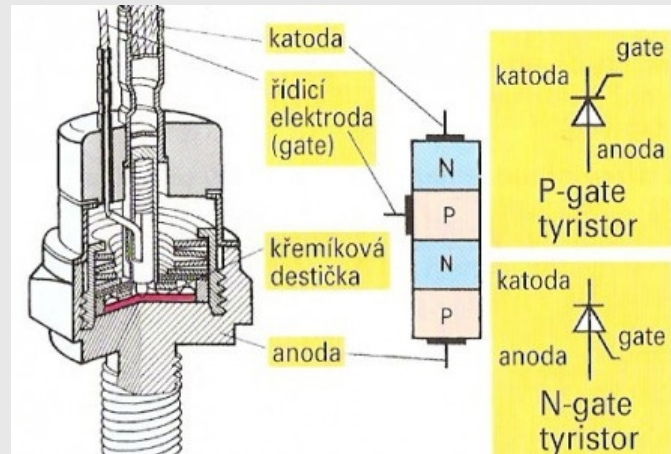
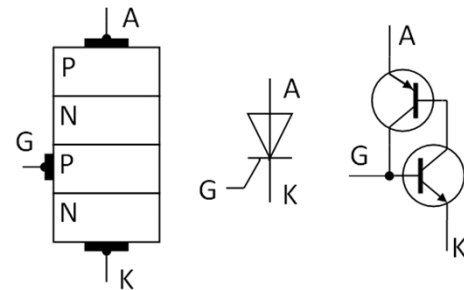
Zapnutí tyristoru

- Krátkodobým proudovým pulsem do řídicí elektrody G (Gate).
- Překročením kritické hodnoty anodového napětí dojde k průrazu druhého PN přechodu. (Tento způsob je obvykle nežádoucí.)
- Rychlým nárůstem anodového napětí, tj. nadkritickou strmostí U_{AK} ($S = \Delta U / \Delta t = i / C$). Při velké strmosti se vyvolá velký proud I přes přechod, který dále vyvolá lavinovou ionizaci krystalové mřížky a tím uvede tyristor do sepnutého stavu. Tento způsob sepnutí bývá většinou nežádoucí a je nutno mu předejít například tlumivkou nebo jiným zpomalovacím členem.
- Teplotou při určitém napětí U_{AK} . (Také většinou nežádoucí.)
- Osvětlením druhého (PN) přechodu, takto pracuje fototyristor.
- Vysokoenergetickým (tedy vysokofrekvenčním, krátkovlnným) elektromagnetickým zářením (od určité hranice energie sepne každý polovodič.)

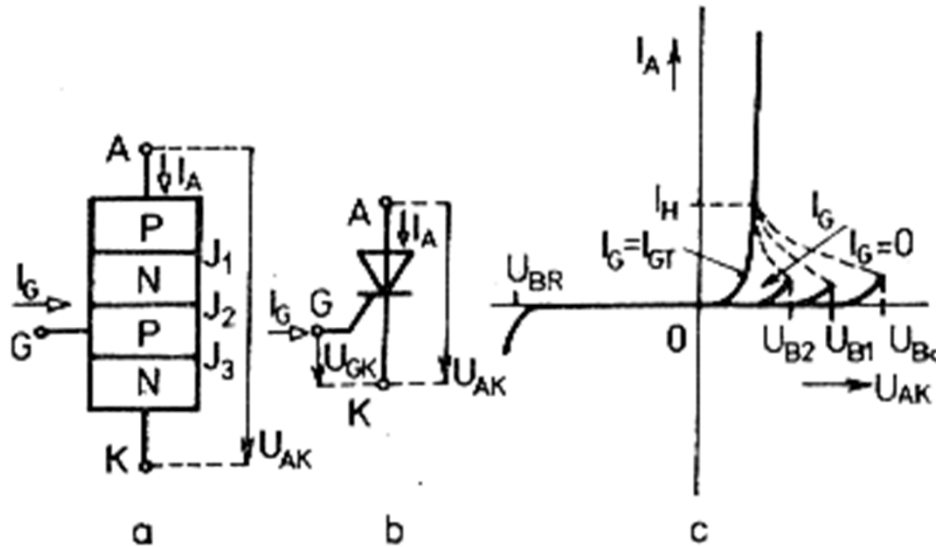


Vypnutí tyristoru

- Přerušením anodového proudu.
- Komutací anodového napětí (přepólování).
 - U střídavých proudů se tak děje automaticky v každé záporné půlvlně, ve stejnosměrných obvodech je nutno použít komutační zařízení (Tyristorová regulace výkonu).
- Zkratem mezi anodou (A) a katodou (K).



VA charakteristika tyristoru



Struktura, značka a charakteristika tyristoru

- Bude-li řídící elektroda odpojena a přiložíme-li na anodu malé kladné napětí proti katodě, otevrou se přechody J1 a J3. Přechod J2 zůstává uzavřen, neboť do vrstvy N proniká kladné napětí přes otevřený přechod J1 a do vrstvy P záporné napětí přes otevřený přechod J3. Nyní je tyristor zablokován. Odpor mezi katodou a anodou je několik megaohmů.
- Při zvyšování napětí mezi anodou a katodou dojde ke zvětšování intenzity elektrostatického pole v oblasti J2. Při určité velikosti tohoto napětí dosáhne intenzita pole své kritické hodnoty a dochází k ionizaci krystalové mřížky a odpor se rychle zmenší až na desetiny až setiny ohmu! Přestože stoupl proud, kleslo napětí na 1 až 2V. Tyristor přešel do sepnutého (vodivého) stavu. Doba potřebná k ionizaci se nazývá zapínací doba (asi 1ms a označuje se t_{on}).
- Pokud chceme sepnout tyristor již při nižším napětí než U_{B0} , musíme přivést do oblasti uzavřeného přechodu J2 volné nosiče náboje (proudem do G). Elektrostatické pole je využito k vytrhávání nosičů náboje z vazeb a dojde až k sepnutí tyristoru. Velikostí proudu I_G můžeme řídit velikost spínacího napětí U_B . Pokud $I_G = I_{GT}$ přechází tyristor plynule do sepnutí a jestliže $I_G > I_{GT}$ nevzniká blokovací stav tzn. Tyristor se chová jako usměrňovací dioda.
- Důležité je, že k udržení vzniklé ionizace krystalové mřížky postačí průchod anodového proudu většího než tzv. přídržný proud I_H . Proud I_G může zaniknout. **Proto je možné uvést tyristor do trvale sepnutého stavu pouze krátkým impulsem I_G .**

Tyristorová regulace výkonu

- Tyristorová (pulzní) regulace výkonu je ovládání elektrického výkonu ve stejnosměrném obvodu měničem s tyristory
- V Československu začala být používána od 70. let a používá se prakticky dodnes (i když je v poslední době nahrazována zejména regulací tranzistory IGBT)
- Jsou jí vybaveny např. lokomotivy řad 111, 163/162, 210, 263, 363/362 nebo elektrická jednotka řady 680 (Pendolino). Dále ji používají tramvaje T6A5, KT8D5 a některé tramvaje T3 (s brzdovými rezistory na zadní části střechy vozu, až na pár výjimek, např. Ostravské vozy T3G).
- Je také užívána u některých typů trolejbusů značky Škoda a lze ji použít i pro vozy metra.

Tyristorová regulace výkonu



Tyristorová regulace výkonu

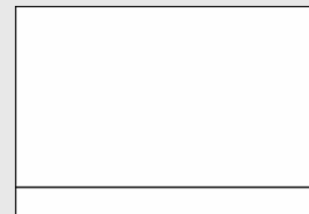


Tyristorová regulace výkonu - výhody

- Oproti dříve používané odporové regulaci má tyristorová regulace vyšší účinnost, protože odpadá problém se ztrátovou přeměnou elektrické energie na teplo v rozjezdovém odporu
- Přesto i v případě tyristorové regulace dochází k určitým ztrátám vlivem komutace
- Výhodou je také možnost plynulé regulace výkonu.

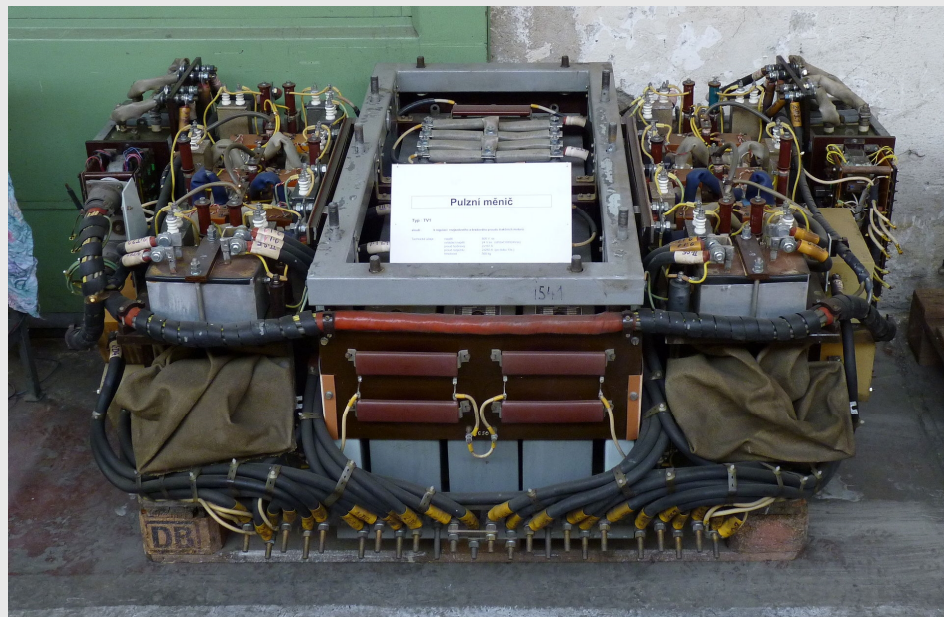
Tyristorová regulace výkonu - princip

- Tyristorová regulace je založena na funkci tyristoru, který se chová jako výkonový spínač s velmi krátkou dobou sepnutí i rozepnutí (v řádu jednotek až stovek mikrosekund) a **v rychlém rytmu zapíná a vypíná proud do zátěže** (trakčního elektromotoru).
- Výsledná střední hodnota napětí se ovládá pulzně šířkovou modulací.
- Trakční měnič sestává z hlavního tyristoru, vypínacího tyristoru, diod, komutačního obvodu a je chlazen vzduchem, olejem, případně jinou kapalinou.
- **Hlavní tyristor pravidelně střídá činnost v propustném, závěrném a blokujícím režimu.**
 - Krátkým proudovým pulsem do řídicí elektrody přejde do propustného režimu, kdy je na zátěži téměř celé napětí zdroje.
 - Sepnutím vypínacího tyristoru se napětí na hlavním tyristoru na okamžik přepóluje, což jej uvede do závěrného režimu a po obnovení polarity do blokujícího režimu, kdy zátěž neprochází proud.



Průběh signálu PWM; cyklicky v hodnotách 100%...0%...100%

Tyristorová regulace výkonu



Pulzní měnič tyristorové elektrické výzbroje TV1 tramvaje
Tatra T3M

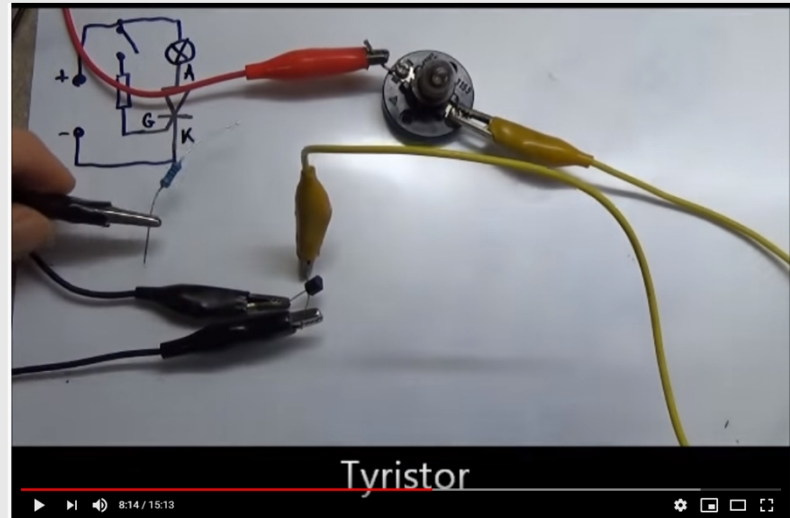
Tyristorová regulace výkonu

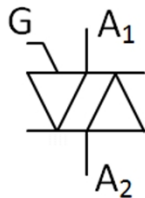
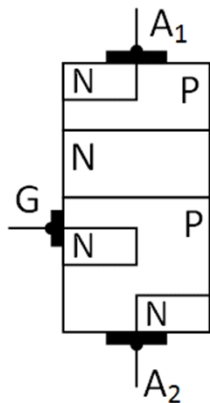
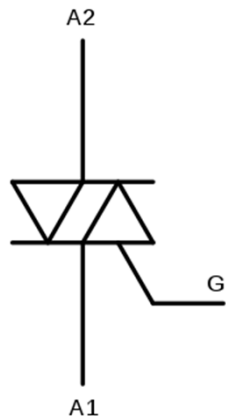
- Tyristorová regulace se projevuje také akusticky, jedná se o ono známé hvízdavé bzučení tramvají a lokomotiv při rozjezdu
- Výška tónu je dána právě frekvencí – např. u lokomotiv 163/363 ČD je to $33 \frac{1}{3}$ Hz (okamžitě po rozjezdu), následují frekvence 100 Hz a potom 300 Hz.
- Za jízdy je používána frekvence 100 Hz – tzv. horní stovka

<https://www.youtube.com/watch?v=3bNI9YgsmEw>

Tyristor vs. tranzistor

- https://youtu.be/kUbWC6e_e20?t=293





Triak

- Triak (z anglického TRIode Alternating Current switch = triodový spínač střídavého proudu) je **polovodičový spínací prvek schopný vést elektrický proud oběma směry**.
- Vlastnosti triaku přibližně odpovídají vlastnostem **dvou antiparalelně zapojených tyristorů**, u kterých jsou řídicí elektrody propojeny v jednu (ovšem A1 a A2 nelze zaměnit), každý tyristor pro jednu půlvlnu napětí.
- Triaky jsou konstruovány pro běžná napětí v rozvodných sítích až po kilovolty a pro proudy do několika (desítek) ampérů.

Triak - použití

- Typické použití je v regulaci domácího osvětlení, otáček praček, vrtaček a podobných nízkovýkonových elektrických spotřebičů.
- Hlavní výhodou je jednoduché zapojení do elektrických obvodů.

https://aukro.cz/pwm-regulator-otacek-ac-motoru-220v-2000w-stmivac-6956628131?gclid=CjwKCAiAqqTuBRBAEiwA7B66hSWLkhF7-HFTguEu6BQNUePweCoOJx5zSJSmSO2tJb6UI6TrdPHthoCv_YQAvD_BwE



Triakový stmívač otočný KS DREAM



Triakový regulátor

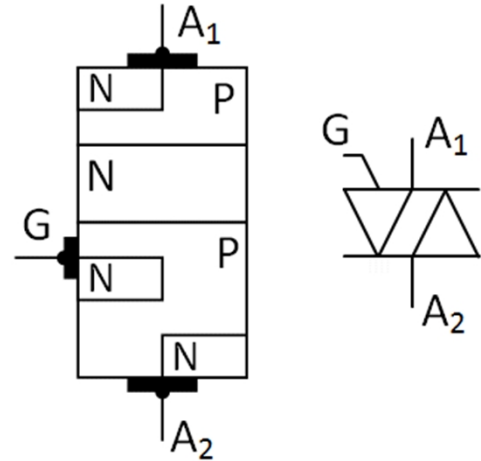
Triak – sepnutí a rozepnutí

- **Sepnutí**

- Na hlavních elektrodách musí být dostatečně velké napětí.
- Do řídicí elektrody musí být přiveden proudový impuls o hodnotě vyšší, než je proud spínací (obvykle 5-50 mA).

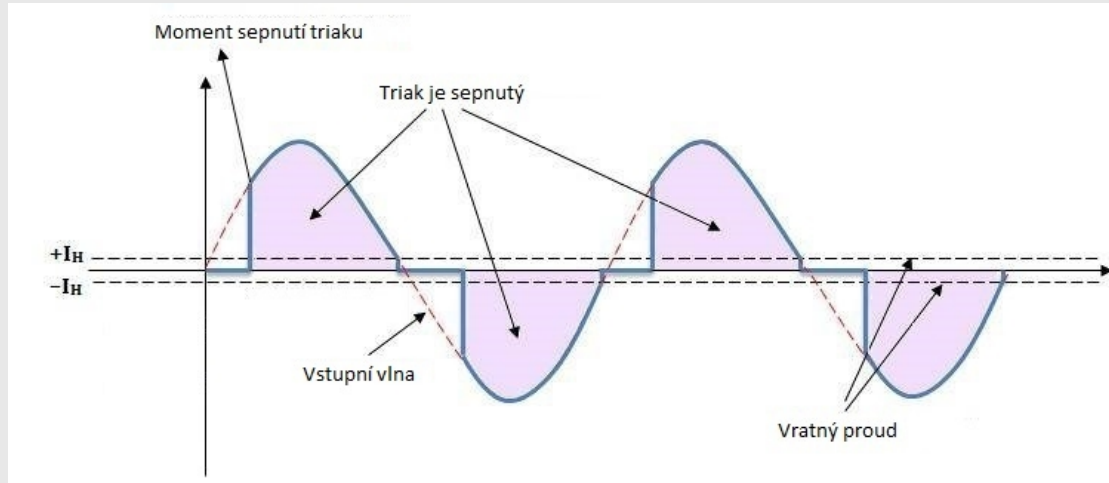
- **Rozepnutí**

- Triak je sepnutý a **vede tak dlouho, dokud se velikost protékajícího proudu nesníží pod hodnotu vratného proudu (tj. do okolí nuly).**
- Uzavírání triaku nastane při poklesu proudu pod hodnotu vratného proudu, a to při jakémkoliv proudu řídicí elektrody.
- Pokud triakem neprotéká žádný proud a hodnota proudu na řídicí elektrodě je nižší než hodnota spínacího proudu, triak se ihned uzavře (rozepne)



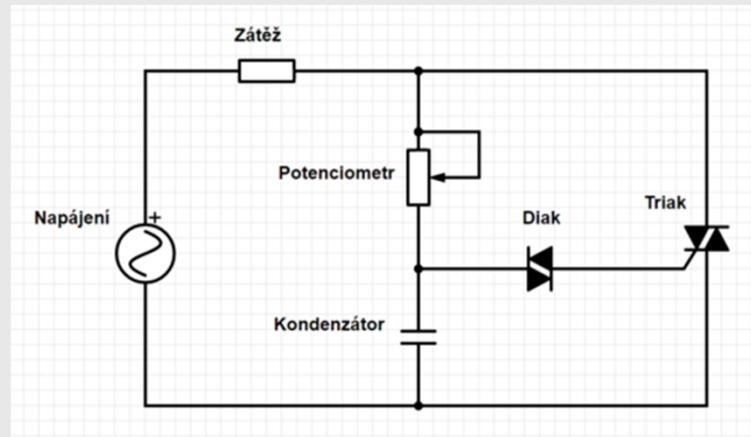
Triaková regulace výkonu

- Při regulaci výkonu triakem nedochází k regulaci výstupního napětí způsobem, že by docházelo k transformaci napětí, ale k „osekávání“ sinusové vlny.
- Z toho důvodu **je triak nevhodný jako náhrada transformátoru** pro laboratorní zdroje či jiné přístroje, kde bude docházet k usměrňování na stejnosměrný proud, jelikož výstup z triaku nelze dobře vyhladit a navíc obsahuje napěťové (i proudové) špičky původní vlny - v určitý moment je na výstupu z triaku stále maximální amplituda původní vlny.
 - Proto je také regulace výkonu vhodnější název než regulace napětí.



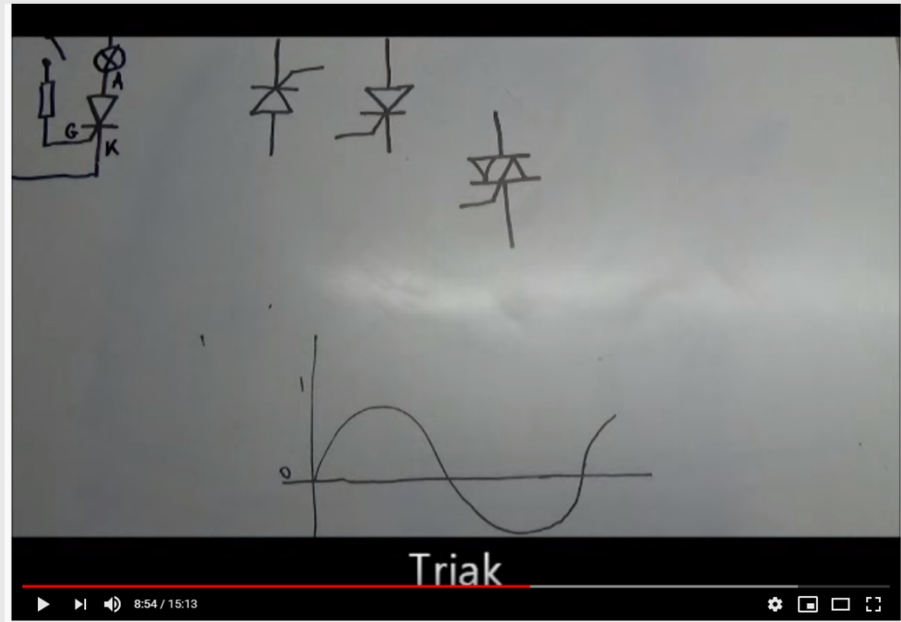
Triaková regulace výkonu

- Kondenzátor se postupně nabíjí přes potenciometr, kterým lze regulovat rychlost tohoto nabíjení.
- Jakmile dosáhne napětí na kondenzátoru hodnoty spínacího napětí diaku, začne diak propouštět proud do řídicí elektrody triaku.
- Příchodem proudu do řídicí elektrody triak sepne a je sepnutý, dokud půlvlna neklesne do okolí nuly - potom se celý proces opakuje.
- Pokud klade potenciometr (téměř) nulový odpor, kondenzátor se nabije téměř okamžitě a dojde k okamžitému sepnutí diaku a následně i triaku, takže výstupní vlna je kompletní - stejná, jako vstupní.
- Pokud potenciometr klade maximální odpor, kondenzátor se nabije na spínací napětí ke konci půlvlny, nebo to ani nestihne, proto může být na výstupu regulace téměř nulové napětí - vše záleží na zvolených parametrech kondenzátoru, potenciometru a diaku.

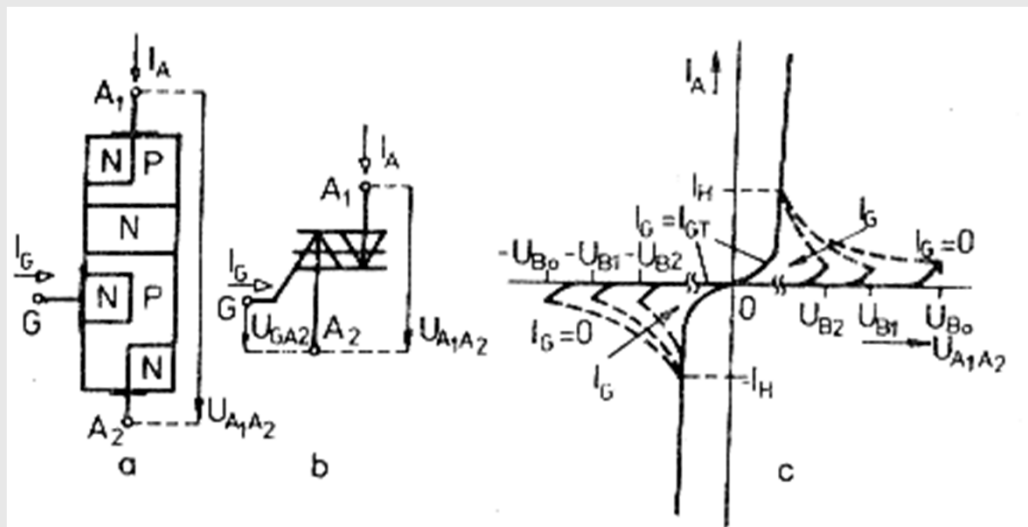


Triaková regulace výkonu - video

- https://youtu.be/kUbWC6e_e20?t=534



Triak – VA charakteristika



Struktura, značka a voltampérové charakteristiky triaku

Děkuji za pozornost