

Tranzistor

Tranzistor je aktivní polovodičová, nesymetrická součástka, tvořená třemi elektrodami a dvěma přechody. Princip činnosti spočívá v tom, že malé změny napětí a proudu na vstupu vyvolávají velké změny napětí a proudu na výstupu. V principu je dělíme na tři části.

1. Bipolární – (BJT – Bipolar Junction Transistor) Je řízen proudem do báze.
2. Unipolární – (FET – Field Effect Transistor) Je řízen napětím (elektrostatickým polem) na G(gate) elektrodě.
3. Tranzistory IGBT - kombinace předchozích typů – izolovaná řídící elektroda (Insulated Gate Bipolar Transistor)

Bipolární tranzistor

má tři elektrody označené jako E,B, C (emitor, báze, kolektor) a pracuje tak, že umožňuje malým proudem do báze řídit velký proud kolektoru. Z toho vyplývá, že:

$$I_E = I_B + I_C$$

Jedním z parametrů tranzistoru je tzv. proudový zesilovací činitel označovaný jako h_{21E} nebo také řeckým písmenem β .

Udává poměr výstupního proudu k proudu vstupnímu, tudíž proud kolektoru je β krát větší než proud báze.

Informaci o vlastnostech tranzistoru definují jednak jeho vstupní a výstupní charakteristiky, tzv. hybridní parametry čtyřpólu.

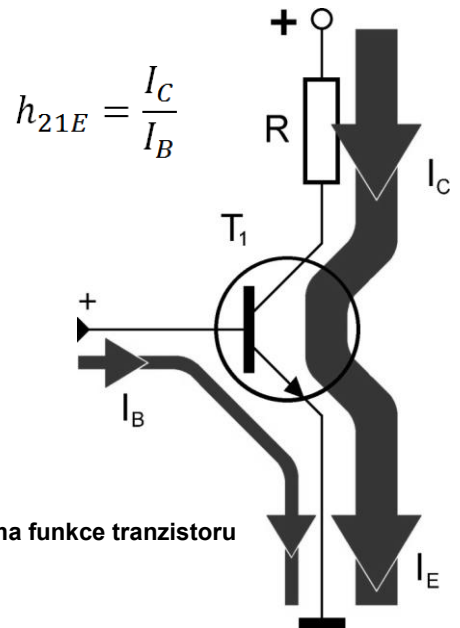
(1-vstup, 2-výstup)

- h_{11} – vstupní impedance při výstupu nakrátko
- h_{12} – zpětnovazební napěťový činitel při vstupu naprázdno
- h_{21} – proudový zesilovací činitel
- h_{22} – výstupní admittance naprázdno

a dále také impedanční parametry čtyřpólu:

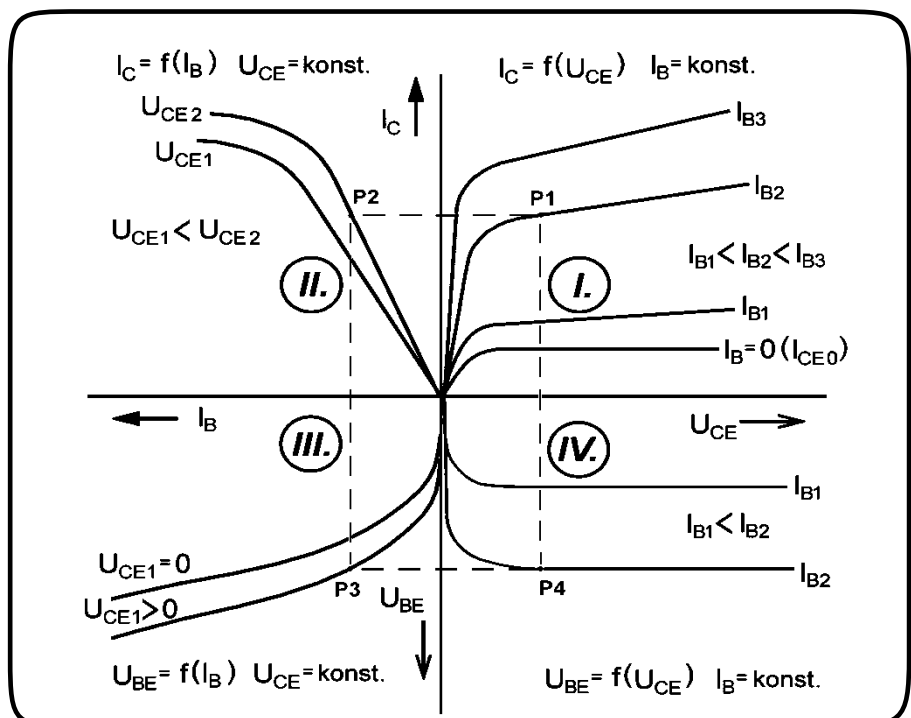
- Z_{11} – vstupní impedance naprázdno
- Z_{12} – zpětnovazební impedance
- Z_{21} – přenosová impedance
- Z_{22} – výstupní impedance naprázdno

Obr. 1 – Schéma funkce tranzistoru

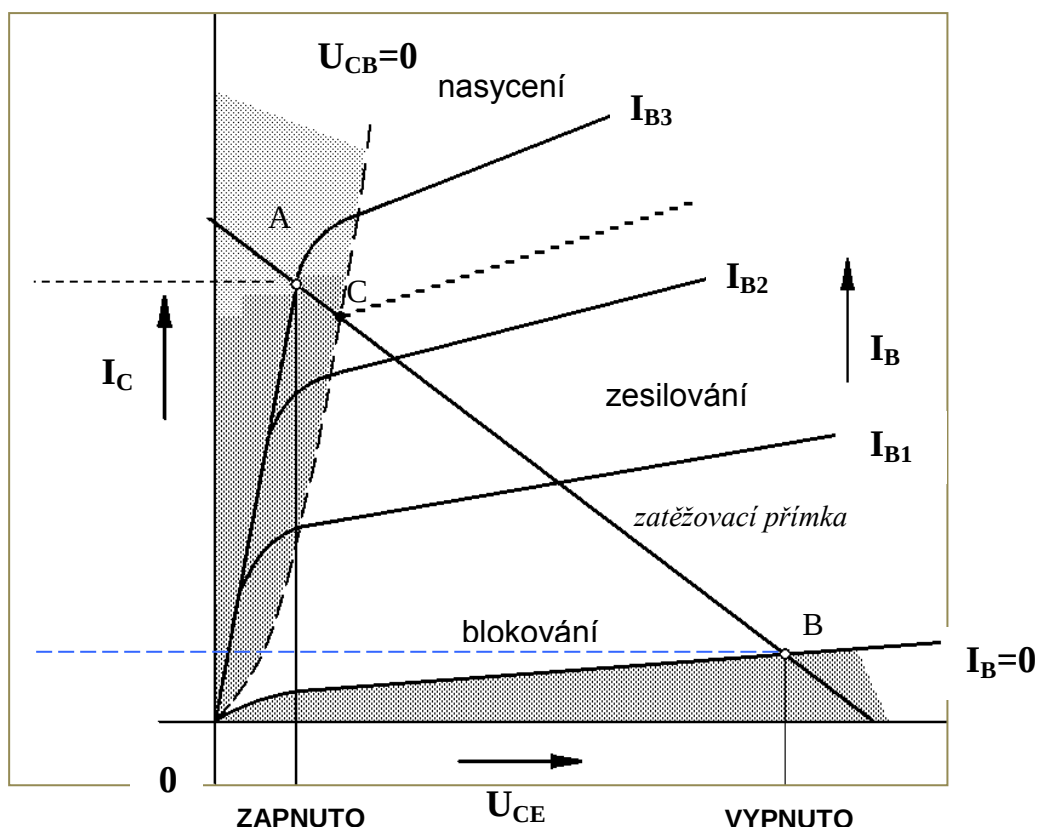


Velká písmena označují statické hodnoty a malá dynamické – tzn. že velká písmena vyjadřují chování v ustáleném stavu při stejnosměrných veličinách, kdežto malá písmena určují chování (okamžité hodnoty) při střídavých veličinách.

Obr. 2 - Přehled voltampérových charakteristik tranzistoru



Tranzistor jako spínač

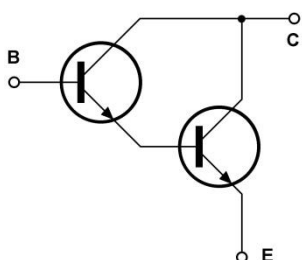


Obr. 3 – VA charakteristika spínacích vlastností tranzistoru

Tranzistor v této funkci zastupuje mechanický, případně elektromagnetický spínač. Dva základní stavy tranzistoru (vypnuto, zapnuto) jsou vyznačeny pracovními body A a B na zatěžovací přímce. Ve stavu vypnuto ($I_B=0$) prochází zatěžovacím odporem jen velmi malý proud a na tranzistoru je téměř celé napětí zdroje. Posuneme-li pracovní bod tranzistoru do bodu A, prochází jím maximální proud, který se blíží proudu procházejícího přes sepnutý mechanický spínač. Tranzistor je v **saturaci**, což znamená, že další zvyšování proudu báze nezvyšuje proud kolektoru a napětí na tranzistoru poklesne na nepatrnou hodnotu. V obou základních stavech A a B je výkon na tranzistoru velmi malý. Pokud má spínací impuls ostrou náběžnou hranu, probíhá spínání velmi rychle a také doba po kterou je během spínání (vypínání) překročen maximální kolektorový proud je velmi krátká a uvolněné teplo je zanedbatelné. Tranzistor proto může spínat výkony až o dva řády vyšší než $P_{C\ max}$.

Darlingtonovo zapojení

Jedná se o zapojení dvou bipolárních tranzistorů, využívá se tam, kde je třeba velké proudové zesílení, tzn. malý proud báze a velký proud kolektoru) např. koncové stupně zesilovačů, výkonové části napájecích zdrojů apod. Darlingtonovy tranzistory se vyrábějí přímo jako dvojice v jednom pouzdře.



Obr. 4 - Schéma zapojení darlingtonovy dvojice

Unipolární tranzistor

Unipolární tranzistory využívají k řízení proudu procházejícího tranzistorem elektrostatické pole. Průchod proudu ovlivňují pouze náboje jedné polarity, proto se tranzistory nazývají unipolární. Někdy se můžeme setkat s označením FET – z anglického *field effect transistor* (tranzistor řízený elektrickým polem). Unipolární tranzistory jsou elektrostaticky citlivé součástky vyžadující speciální zacházení. Hlavní výhodou unipolárních tranzistorů je řízení elektrickým polem (napětím), na rozdíl od bipolárních tranzistorů, které řídíme proudem do báze. Tato přednost znamená menší ztráty při řízení tranzistoru a to umožňuje miniaturizaci v integrovaných obvodech a procesorech, kde jsou unipolární tranzistory využívány.

U polarita	Typ	MOS kanál - n		MOS kanál - p		JFET	
		vodivý (ZABUDOVANÝ)	indukovaný	vodivý (ZABUDOVANÝ)	indukovaný	n	p
+		vede	vede	nevede	nevede	x	nevede
0		vede	nevede	vede	nevede	vede	vede
-		nevede	nevede	vede	vede	nevede	x
schem. značka							

Obr. 5 - Tabulka zapojení a funkce unipolárních tranzistorů

Tranzistory IGBT

Tranzistor s izolovanou řídící elektrodou. Jde o polovodičovou součástku, která je zkonstruována pro velký rozsah spínaných výkonů, kombinuje bipolární a unipolární tranzistor. Na straně vstupu má podobné vlastnosti jako unipolární tranzistor (má izolované hradlo), na straně kolektoru a emitoru obsahuje PN přechod. Tranzistory jsou typu PN, nebo NP. Jejich hlavní výhodou je vysoká rychlost spínání. Využívají se ve výkonové elektronice, frekvenčních měničích a v dalších aplikacích pro spínání velkých proudů.



Obr. 6 - Schématické značky PN a NP IGBT tranzistorů

Dioda

Z hlediska konstrukce a funkce existuje celá řada typů diod pro nejrůznější použití.

Rozdělení nejpoužívanějších typů diod podle funkce:

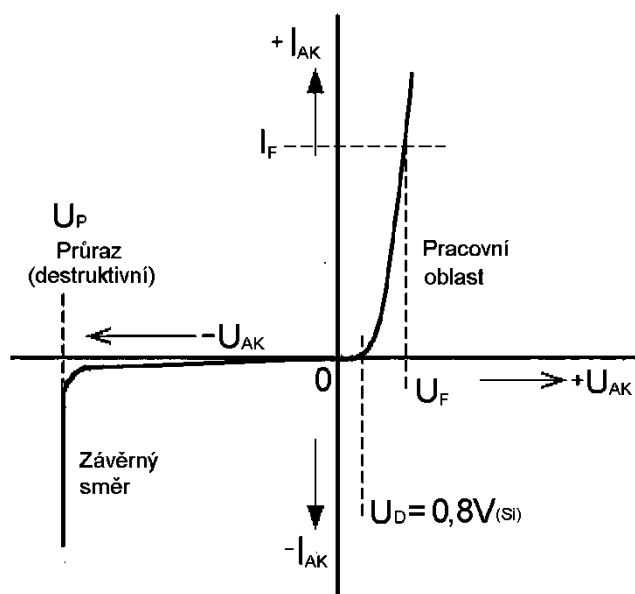
1. **Dioda** – běžná dioda, použití – usměrňovače, detektory, ochranné obvody
2. **Schottkyho dioda** – rychlá dioda, vysoké frekvence, rychlé spínače
3. **Zenerova, lavinová dioda** – stabilizace napětí, napěťové ochrany
4. **LED dioda** (Light Emitting Diode) světlo emitující dioda – přístrojové kontrolky, osvětlení
5. **Kapacitní dioda** – varikap, varaktor – náhrada ladících kondenzátorů, rez. obvody, oscilátory
6. **Tunelová dioda** – rychlé spínače, oscilátory, proudové ochrany
7. **Fotodioda** – dioda měnící parametry s dopadem světla, fotosnímače, zdroje el. napětí.

Dioda je dvouvrstvý polovodičový prvek s vrstvami P/N a jedním přechodem. Obsahuje dvě elektrody **zápornou** katodu a **kladnou** anodu. Při této polarizaci je dioda v propustném směru a protéká přes ni proud z anody na katodu. Pokud je polarita na diodě opačná, je dioda v závěrném směru a proud přes ni neteče.



Schématická značka

U_D – Difúzní napětí (cca 0,6-0,8V)
 U_F – Úbytek napětí při provozu (1 – 1,5V)
 I_F – Maximální provozní proud
 U_P – Maximální přípustné napětí v záv. směru



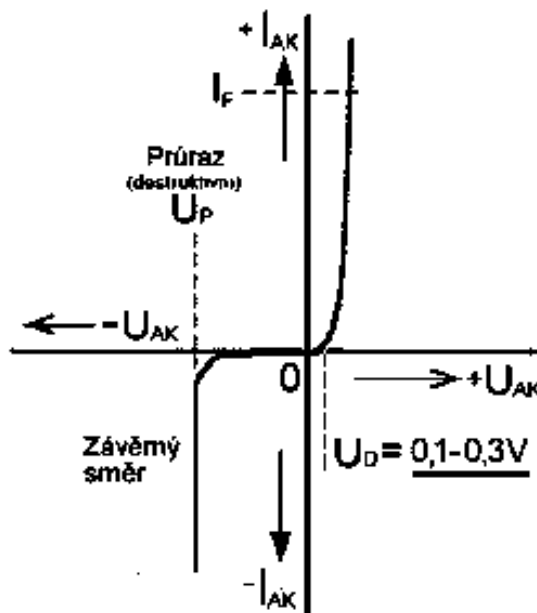
Obr. 13 - Voltampérová charakteristika diody

Schottkyho dioda

V tomto druhu diody nejsou použity dva druhy polovodiče (P-pozitivní, N-negativní), ale je použit přechod **kov - polovodič**. Její předností je velmi krátká doba zotavení při změnách polarity a nižší úbytek napětí (0,1 - 0,3V) Proti běžné diodě má nižší max. závěrné napětí (cca 10-100V) Používá se pro velké spínací rychlosti a v oblasti V_f techniky.



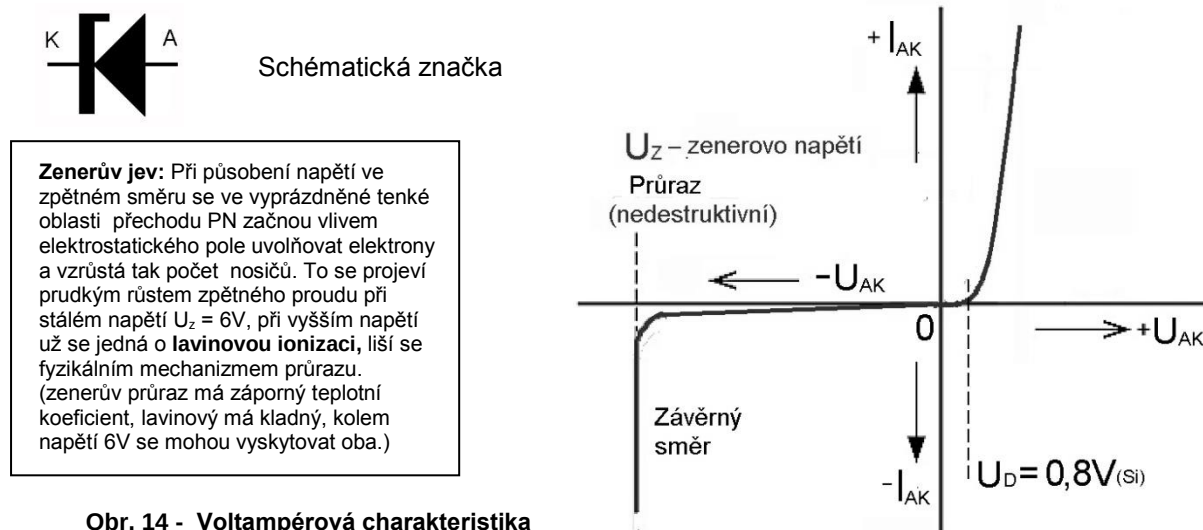
Schématická značka



Obr. 14 - Voltampérová charakteristika

Zenerova – lavinová dioda

Zenerova (lavinová) dioda je křemíková dioda, která pracuje v závěrném průrazném režimu. Průraz není destruktivní a v propustném směru pracuje jako klasická křemíková dioda. V závěrném směru začne propouštět až v okamžiku kdy napětí překročí tzv. U_Z – zenerovo napětí, které je pevně dáno její konstrukcí. Pracuje na principu zenerova jevu nebo lavinového jevu.



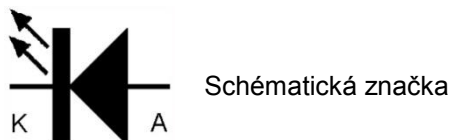
Zenerův jev: Při působení napětí ve zpětném směru se ve vyprázdněné tenké oblasti přechodu PN začnou vlivem elektrostatického pole uvolňovat elektrony a vzrůstá tak počet nosičů. To se projeví prudkým růstem zpětného proudu při stálém napětí $U_Z = 6V$, při vyšším napětí už se jedná o lavinovou ionizaci, liší se fyzikálním mechanismem průrazu. (zenerův průraz má záporný teplotní koeficient, lavinový má kladný, kolem napětí 6V se mohou vyskytovat oba.)

LED dioda

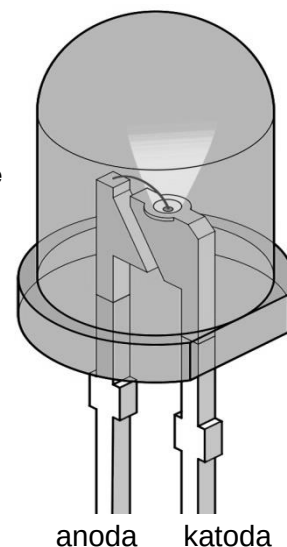
Světlo emitující dioda – LED (Light Emitting Diode) Při působení elektrického proudu na některé anorganické látky vzniká elektroluminiscence (Henry Joseph Round – 1907) U zrodu LED diod stál američan ruského původu Nick Holoniak. První LED diody byly červené (1962), následně vývojem vznikaly LED v jiných částech spektra. Laserová dioda (quantum well laser) – 1970, žlutá, zelená, oranžová – 1971, modrá – 1993, bílá – 1995. Svítivé diody mají široké uplatnění, jako kontrolky v různých zařízeních, osvětlení – náhrada žárovek, oblast laserové techniky apod. Led diodu nelze použít pro usměrnění, protože má malé závěrné napětí a malý propustný proud. Katalogový údaj stanovuje pro každou LED diodu maximální povolený proud, který se pohybuje v rozmezí asi 5 – 30mA, podle konstrukce a typu.

Při zapojování LED diody do obvodu je nutno si uvědomit, že se nejedná o „žárovku“, proto ji nelze přímo připojit ke zdroji a LED není určena na žádné napětí, pouze max. proud. Do série proto musíme zapojit rezistor, který upraví proud a vznikne tak jakýsi napěťový dělič. Existují sice LED diody určené na různá napětí (12, 24, 230V...případně blikající.), ale tyto diody obsahují přímo v pouzdru kromě čipu diody i elektroniku, která upravuje proud samotnou diodou. Podle katalogového proudu diody a napájecího napětí, které máme k dispozici, jednoduše vypočítáme hodnotu pracovního odporu (ohmův zákon). Proud diodou nastavíme cca na 80% maximálního, dioda nebude pracovat na hranici a rozdíl v intenzitě svitu je naprosto zanedbatelný.

Každá z používaných barev LED diod má jiný úbytek napětí.



Obr. 15- Vnitřní konstrukce LED diody



Obr. 16 - Příklady různých typů LED diod

Kapacitní dioda – varikap, varaktor

Křemíková dioda, která využívá parazitní kapacitu přechodu PN, závislou na připojeném závěrném napětí U_R . Jde vlastně o napětově řízený kondenzátor. Kapacita diody se pohybuje řádově v rozmezí jednotek až stovek pF.

Při zvyšování závěrného napětí se kapacita diody **zmenšuje**,
při snižování napětí se kapacita **zvětšuje**.

Jestliže se kapacita mění změnou stejnosměrného ladícího napětí, jedná se o **varikap**.
Jestliže dioda pracuje s velkou amplitudou signálu – signál mění značně kapacitu diody (nelineární reaktance) jedná se o **varaktor**.

Varikap se využívá v laděných a rezonančních obvodech místo ladícího kondenzátoru, použití varaktoru je ve směšovačích a násobičích kmitočtu.



Schématická značka



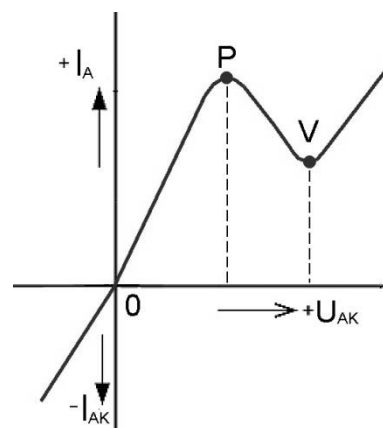
Tunelová dioda

Tato dioda pracuje na principu tunelového jevu – zákony kvantové mechaniky. Anodový proud v propustném směru roste lineárně s anodovým napětím a dosáhne maxima v bodě P (vrchol). Při dalším nárůstu anodového napětí začne proud klesat až do bodu V (sedlo). Při dalším zvyšování napětí (nad 0,4V) začne fungovat jako klasická usměrňovací dioda (charakteristika podobná vakuové tetrodě – dynatronový jev). Oblast mezi body P a V nazýváme **záporný diferenciální odpor**.

Používá se pro rychlé spínání jako aktivní prvek v oscilátorech, proudové ochrany aj.



schématická značka



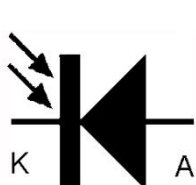
Obr. 19 - VA charakteristika tunelové diody

Fotodioda

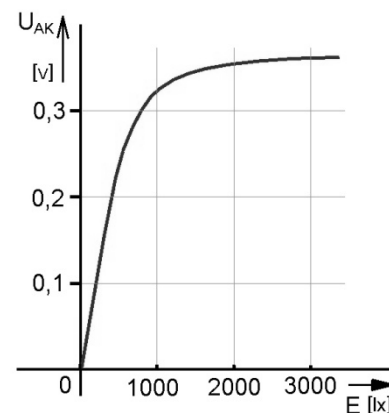
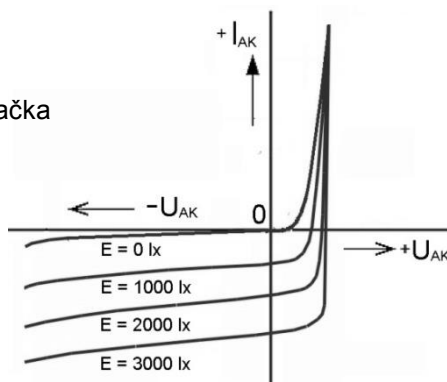
Konstrukce diody umožňuje osvětlit polovodičový přechod PN. Pokud na fotodiodu nedopadá světlo, její voltampérová charakteristika má stejný průběh jako běžná dioda. Při osvětlování diody dochází k růstu anodového proudu, znamená to, že proud v závěrném směru závisí na osvětlení. Fotodioda může pracovat ve dvou režimech podle jejího zapojení.

1. **Vodivostním** – dioda se chová jako fotorezistor
2. **Fotovoltaickém** – dioda se chová jako zdroj el. energie

Používají se k měření osvětlení, při přenosu dat, v optočlenech, optických spojích apod.



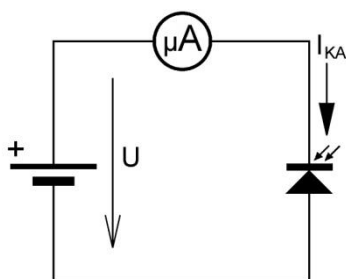
Schématická značka



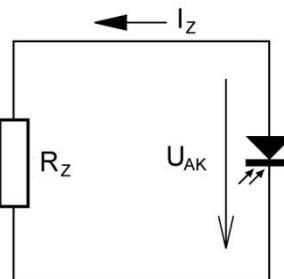
Obr. 20 – VA charakteristika fotodiody

vodivostní

fotovoltaická



Připojený vnější zdroj. Čím větší bude intenzita dopadajícího světla, tím větší bude proud v závěrném směru. Tento způsob zapojení se používá k měření intenzity světla, světelné závoři apod.



Dioda zapojená bez vnějšího zdroje. Dopadající světlo uvolňuje elektrony a obvodem teče el. proud. Dioda pracuje jako fotovoltaický článek, vyrábí el. energii o napětí několika desetin voltu, přímo úměrné osvětlení.

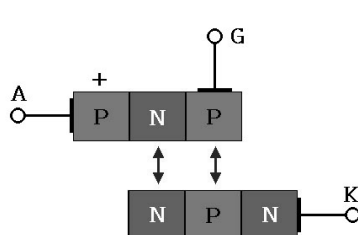
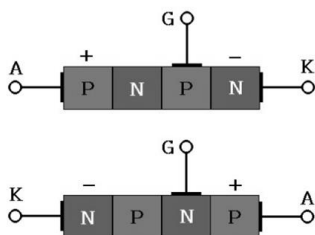
Obr. 21 – Vodivostní režim

Obr. 22 – Fotovoltaický režim

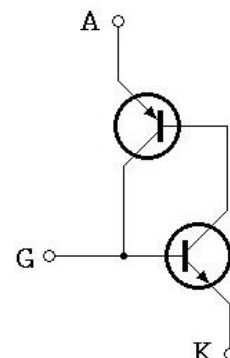
Tyristor

Tyristor je polovodičový spínací prvek se čtyřvrstvou strukturou a se třemi navazujícími přechody PN. Tyristor zapojený v obvodu el. proudu zůstává v nevodivém stavu až do okamžiku příchodu impulsu příslušné polaritě na G elektrodu. Tyristor může sepnout i v okamžiku kdy hodnota napětí U_{AK} překročí průraznou hodnotu, případně, je-li vytaven radioaktivnímu záření. Tyristor vypíná v okamžiku, kdy hodnota proudu v obvodu klesne pod přidrznou mez, což v praxi znamená, že tyristor vypne, pokud dojde k jeho přemostění nebo přerušení obvodu.

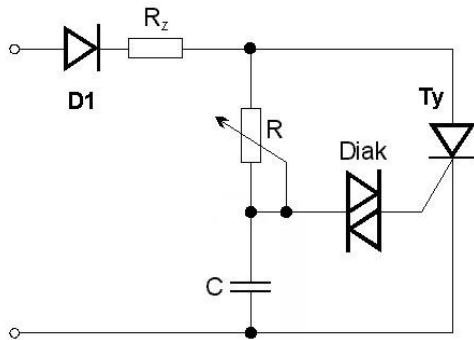
Speciální typy tyristorů lze vypnout obrácenou polaritou impulsu na řídící elektrodě G. Tyristory mají označení GTO (gate turn off).



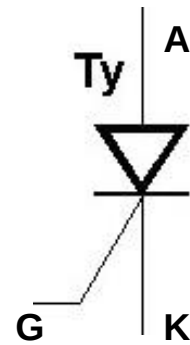
Obr.23 - Struktura tyristoru



Obr.24 - Náhradní schéma tyristoru



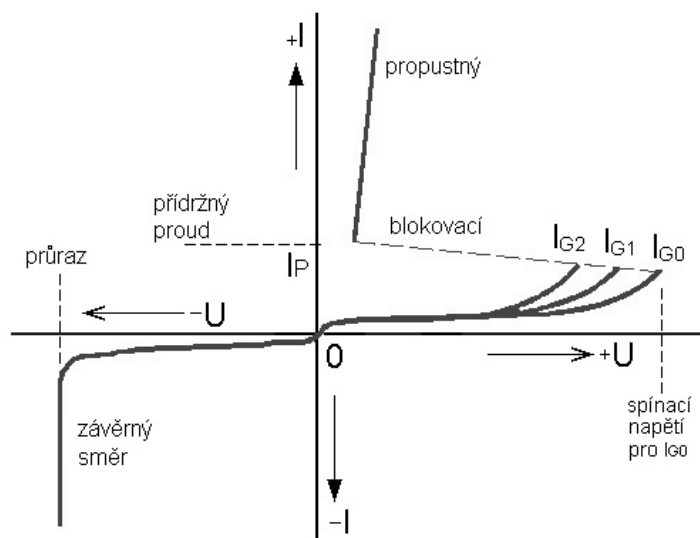
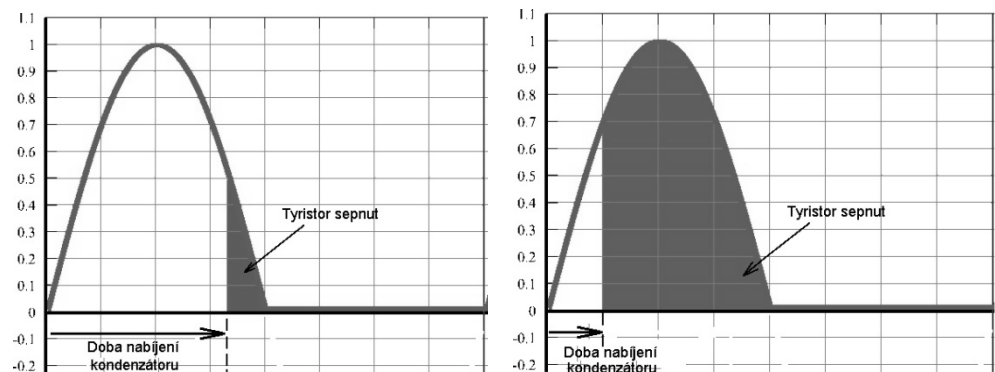
Obr. 25 - Princip řízení výkonu tyristorem



Obr. 26 - Schématická značka tyristoru

Jedna z možností využití tyristoru je tzv. fázové řízení výkonu. Přestože má tyristor pouze dva provozní stavy (sepnut, rozepnut), lze jím do určité míry plynule řídit výkon – Obr. 25. Přes proměnný odpor R se nabíjí kondenzátor C . Podle velikosti nastaveného odporu se mění i čas nabíjení kondenzátoru. V okamžiku, kdy se na kondenzátoru objeví napětí o velikosti spínacího napětí diaku, diak sepne a následně spíná i tyristor. Nastavený nabíjecí čas kondenzátoru určí v které části sinusovky tyristor sepne a mění se tak příkon dodávaný do spotřebiče R_z . Tyristor samozřejmě vypne při průchodu proudu nulou. Vzhledem k tomu, že tyristor je vlastně řízená dioda, pracuje pouze v jedné půlvlně a tudíž řídí pouze 50ti procentní výkon.

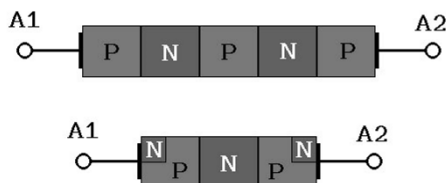
Obr. 27 - Princip fázového řízení výkonu



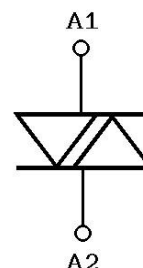
Obr. 28- Voltampérová charakteristika tyristoru

Diak

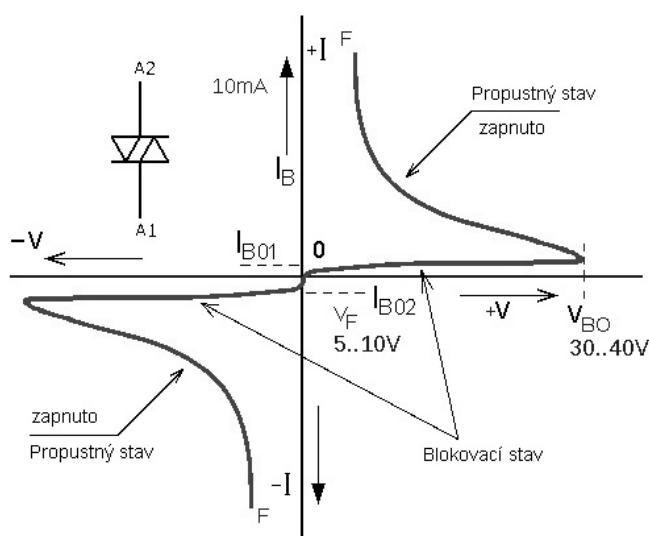
Diak je symetrický pětivrstvý polovodičový prvek, který může mít krajní přechody ve dvojím provedení (usměrňující nebo zkratované). Při zapojení diaku do obvodu je vždy jeden PN přechod v propustném a jeden v závěrném směru. Přechod v propustném směru má o mnoho menší elektrický odpor než přechod v závěrném směru. Na přechodu v závěrném směru je tedy větší napětí (prakticky celé napětí na diaku). V okamžiku, kdy napětí dosáhne hodnoty průrazného napětí, se přechod stává vodivým - diak je v sepnutém stavu. Toto průrazné (spínací) napětí je obvykle 24 V - 48 V. I v sepnutém stavu má diak poměrně značný odpor - několik kiloohmů. Diak je z hlediska funkce v podstatě polovodičový ekvivalent doutnavky.



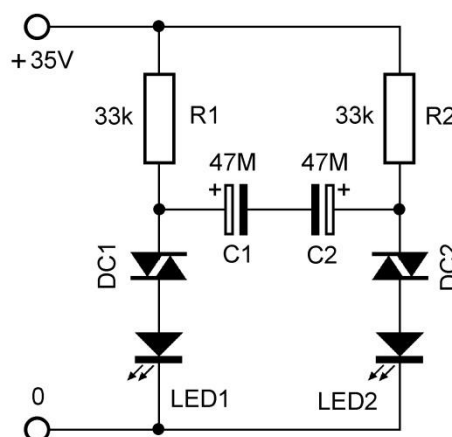
Obr. 29 - Struktura diaku



Obr. 30 – schématická značka



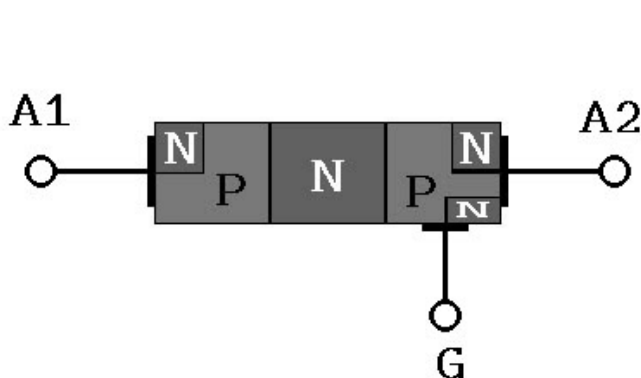
Obr. 31 - Voltampérová charakteristika diaku



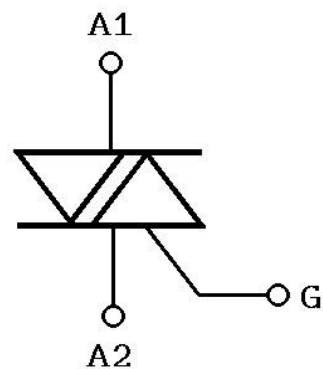
Obr. 32 – Příklad použití diaku – blikání LED

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. Triaky jsou konstruovány pro běžná napětí v rozvodných sítích a pro proudy do několika ampérů. Typické použití je v regulaci domácího osvětlení, otáček motorů, vrtaček a podobných nízkovýkonových elektrických spotřebičů. Hlavní výhodou je jednoduché zapojení do elektrických obvodů



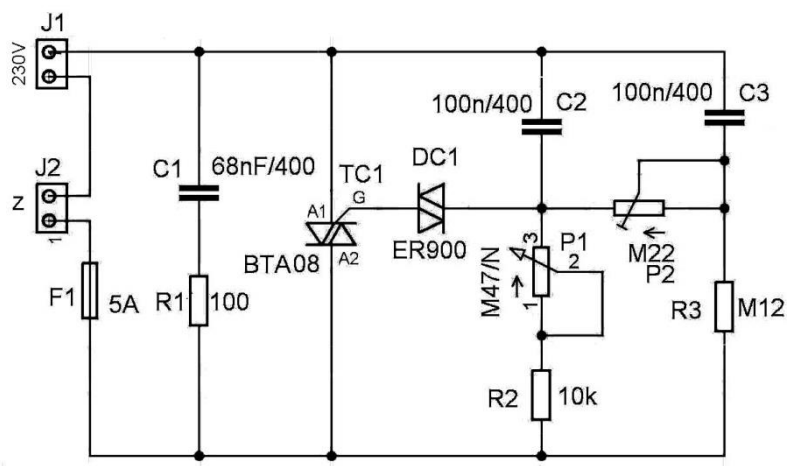
Obr. 33 - Struktura triaku



Obr. 34 - Schématická značka

Řízení výkonu pomocí triaku pracuje na stejném principu jako řízení výkonu tyristorem, funguje ovšem v celovlnné oblasti.

Obr. 35 – Schéma zapojení pro řízení výkonu s triakem



Transil

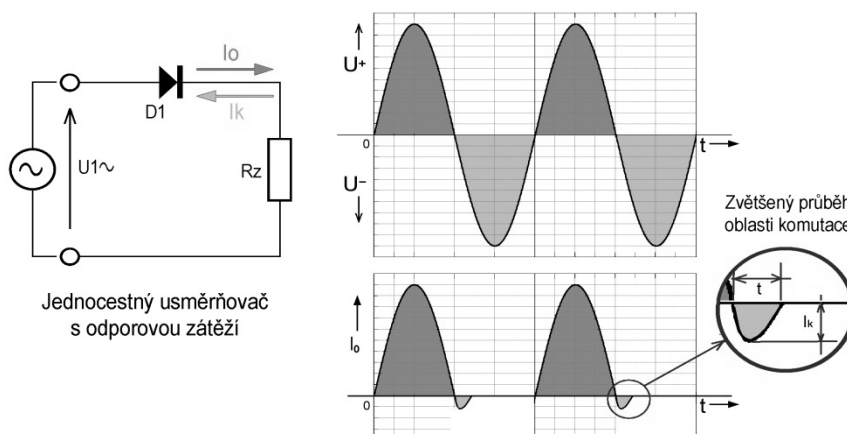
Transil je polovodičový prvek, sloužící k ochraně elektronických zařízení proti napětovým špičkám. Připojuje se paralelně ke vstupům zařízení a v případě velkého napětového přetížení transil sepne a zkratuje příslušný vstup, čímž chrání připojené zařízení proti poškození. Je konstruován tak, že snese značné špičkové proudy, je schopen svést výkony řádu několika kW po dobu řádově μs . Má obdobnou charakteristiku jako zenerova dioda, ale na rozdíl od ní má strmější přechod v oblasti průrazu, takže reakce je mnohem rychlejší.

Obr. 36 - Schématické značky transilu



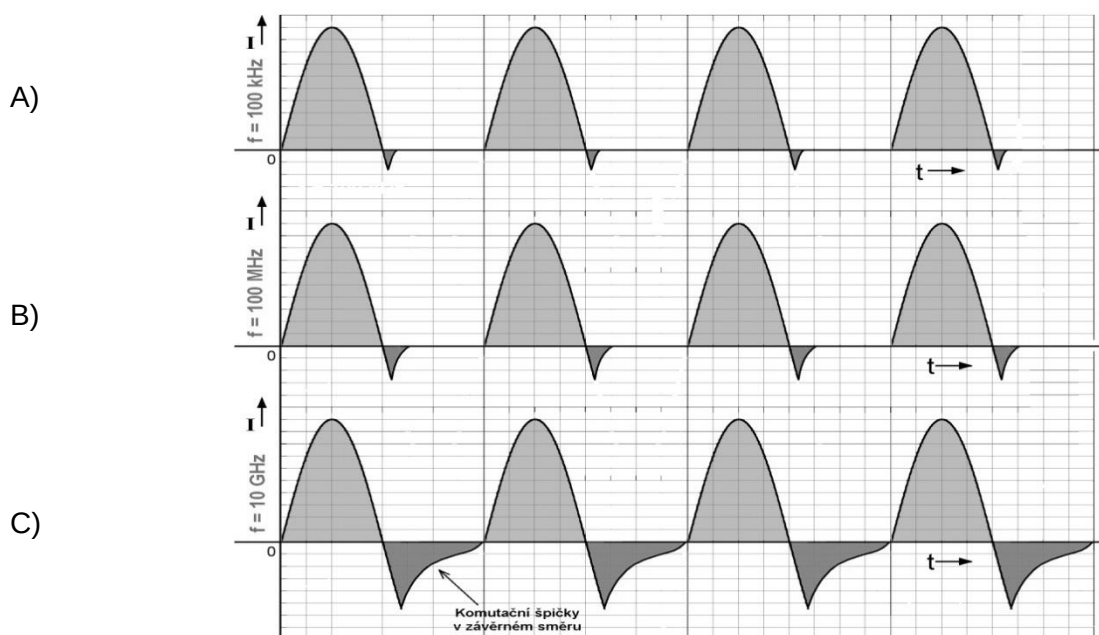
Komutace; mezní kmitočet diody

Při přechodu diody ze stavu propustného do závěrného se projevuje určitá setrvačnost nosičů náboje. To se projeví zvýšením závěrného proudu po určitou dobu. Této době říkáme závěrná zotavovací doba diody. Obecně mluvíme o komutaci diody. Na obr. 37 je zvětšená oblast přechodu pracovních stavů diody. Je zde vidět jakási špička v závěrném směru. Velikost této špičky je jedním z parametrů kvality diod. Velikost špičky je dána jednak velikostí vrcholu a především dobou trvání. Jelikož nás zajímá spíše doba trvání, udává se v katalogu jako informativní hodnota při doporučených pracovních podmínkách. Její hodnoty se pohybují v ns. Obecně lze říct, že se jedná o nežádoucí jev. Pro lepší vnímavost velikosti špičky se udává obsah špičky, který pak v poměru s obsahem pracovního impulsu v propustném směru určí výslednou účinnost diody. Doba, kdy vliv komutace končí se nazývá ustálený závěrný proud.



Obr. 37 - Komutace diody demonstrována na jednocestném usměrňovači

Jestliže by dioda s určitou dobou komutace měla zpracovávat kratší impulsy, dostane se do stavu, kdy se dioda nestačí (z časových důvodů) v závěrném směru rehabilitovat a klesá její usměrňovací účinek. To je patrné z obr. 38, kdy je daný typ diody vystaven různým velikostem kmitočtu. V případě C/ je usměrňovací účinek téměř nulový. Výrobce proto udává přiměřenou hodnotu kmitočtu, kdy je dioda efektivní. Této hodnotě říkáme mezní kmitočet diody. Ten zpravidla bývá uveden v katalogu. Diody s vysokým mezním kmitočtem nazýváme rychlé.



Obr. 38 - Komutační vlastnosti PN přechodu při různých frekvencích