

**STŘEDNÍ ŠKOLA ELEKTROTECHNICKÁ, OSTRAVA,
NA JÍZDÁRNĚ 30, p. o.**

ELEKTRONIKA

Ing. Pavel VYLEGALA

2006

Obsah

Elektrické obvody	4
Základní pojmy	4
Polovodičové součástky	6
Polovodič typu P, typu N, přechod P-N	6
Dioda	9
Tranzistor bipolární	13
Tranzistor unipolární	16
Tyristor	20
Diak	25
Triak	27
Dvojbrany (čtyřpól)	28
Parametry čtyřpólu	29
Přenosové vlastnosti čtyřpólů	31
Dolnofrekvenční a Hornofrekvenční propust	33
Usměrňovače, filtry a stabilizátory napětí	34
Jednofázové usměrňovače	34
Trojfázové usměrňovače	37
Vyhlažovací filtry	38
Stabilizátory napětí	40
Zesilovače	43
Rozdělení zesilovačů	43
Základní parametry zesilovače	43
Nastavení a stabilizace pracovního bodu zesilovače	44
Pracovní třídy zesilovačů	46
Jednostupňový zesilovač	49
Výkonové zesilovače	51
Vysokofrekvenční zesilovače	53
Stejnoseměrné zesilovače	55
Operační zesilovače	55
Oscilátory	59
Vlastnosti oscilátoru	59
Princip činnosti oscilátorů	60
Oscilátory LC	61
Krystalové oscilátory	63
Oscilátory RC	64
Modulátory a demodulátory	65
Amplitudová modulace	66
Frekvenční modulace	67
Fázová modulace	68
Digitální modulace	69
Amplitudové modulátory	69
Frekvenční a fázové modulátory	71
Spínací obvody	72
Diodové spínače	72
Řízené usměrňovače	73

Střídače.....	74
Stejnoseměrné měniče	74
Střídavé měniče	75
Tranzistorové spínací obvody	77
Klopné obvody (astabilní, monostabilní,bistabilní)	77
Logické obvody	80

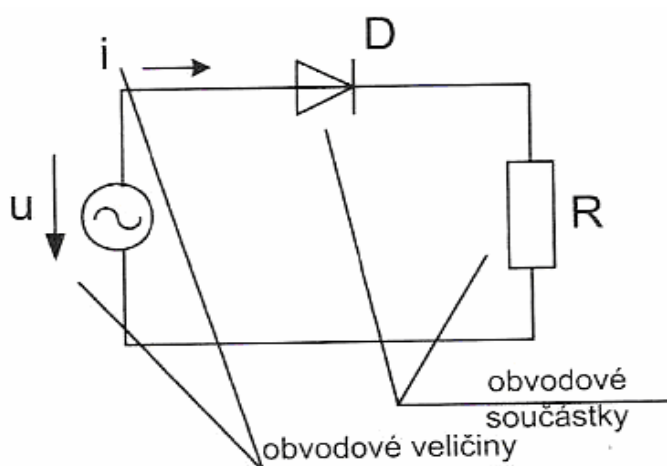
Elektrické obvody

Elektronické obvody jsou konstrukční útvary vzniklé spojením elektronických součástek se zdrojem elektrické energie.

Základní pojmy

Elektronická zařízení :

Zpracovávají signály buď analogově nebo číslicově, nebo tyto signály vytvářejí .



Elektronický obvod

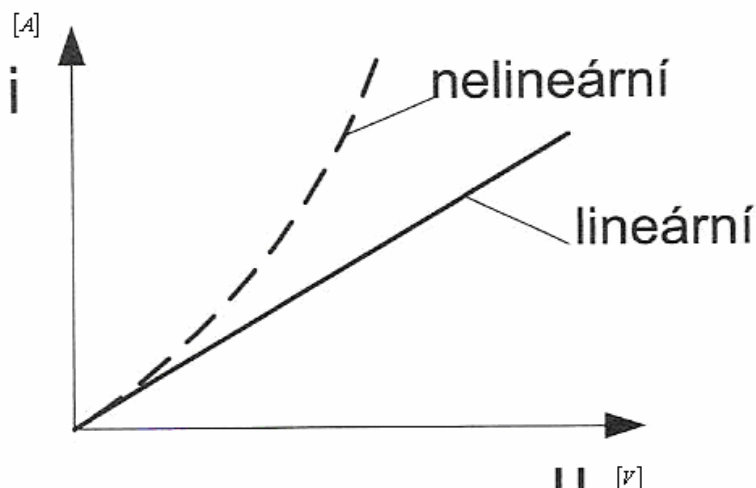
Obvodová součástka:

Je neoddělitelná součást obvodu která má dané elektrické vlastnosti(parametry)

Součástky můžeme posuzovat podle několika hledisek:

1. Podle voltampérové charakteristiky je dělíme na:

- a) **Lineární prvky** – jejichž základní parametr (kapacita, indukčnost) nezávisí na procházejícím proudu či napětí, mají lineární V-a charakteristiku a platí zde Ohmův zákon.
- b) **Nelineární prvky** – Chování těchto prvků se znázorňuje na voltampérovou charakteristiku. Jde o křivku závislosti proudu, který prvkem protéká na přiloženém napětím nebo opačně.



Lineární a nelineární závislost proudu I na napětí U

Lineární – $I = \frac{U}{R} = UG$

Nelineární – nelze popsat lineární rovnicí

2. Podle množství vývodů kterými je prvek připojen rozlišujeme:

- a) **dvoupóly** – odpory, diody
- b) **čtyřpóly** – transformátory
- c) **vícépóly** – integrované obvody

3. Z energetického hlediska prvky můžeme rozdělit na:

a) **aktivní** – v obvodu se chovají jako zdroje (zesilovač).

Jejich elektrické vlastnosti jsou proměnlivé a říditelné změnou napětí nebo proudu přivedeného na jejich vývody (zprostředkovávají přenos energie ze stejnosměrného zdroje do střídavého signálu). V obvodu se chovají jako zdroje – do této skupiny řadíme zesilovač, některé druhy foto diody, atd.

b) **pasivní** – v obvodu se chovají jako spotřebiče elektrické energie (rezistor, kondenzátor). Mají elektrické vlastnosti stálé a v širokých mezích nezávislé na přiváděném proudu nebo napětí. V obvodu se chovají jako spotřebiče elektrické energie. (rezistor nebo kondenzátor)

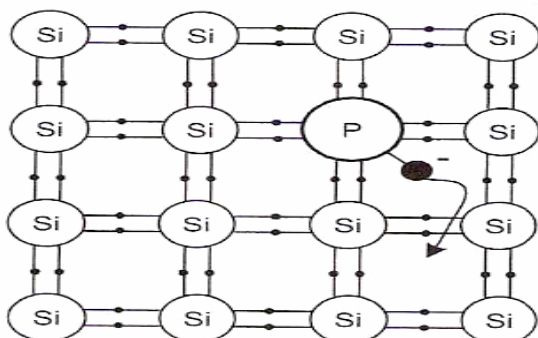
4. Podle kmitočtové závislosti

- a) **kmitočtově závislé prvky** – (cívky, kondenzátory)
- b) **kmitočtově nezávislé prvky** – (ostatní)

Polovodičové součástky

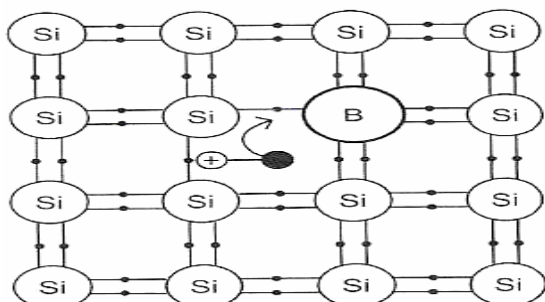
Polovodič typu P, typu N, přechod PN

Polovodič typu N – je-li atom krystalové mřížky čtyřmocného prvku (Si nebo Ge) nahrazen atomem pětímocného prvku (prvku V. skupiny – např. P, As, Sb), pak čtyři z jeho valenčních elektronů se zúčastní vytvoření vazby se sousedními atomy. Pátý elektron je nadbytečný. Tento elektron může být uvolněn velmi malou aktivační energií. Tuto energii získá již při nízkých teplotách. Vznikají tak volné elektrony. Proto se pětímocné příměsi nazývají **donory**. V polovodiči typu N převažují jako nosiče proudu elektrony – nazýváme je většinové nosiče, nepohyblivé díry se nazývají menšinové nosiče.



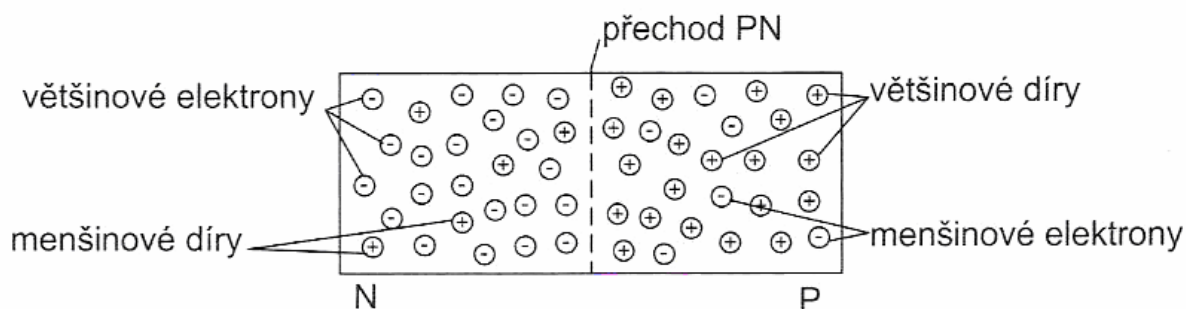
Krystalová mřížka Si s jedním donorovým atomem

Polovodič typu P – podobně nahradíme-li atom krystalové mřížky čtyřmocného prvku atomem trojmocného prvku (prvku III. skupiny – např. B, In, Ga, Al), pak se všechny tři valenční elektrony účastní vazeb se sousedními atomy a čtvrtá zůstane neúplná. Stačí malá energie, aby se některý z elektronů se sousedních vazeb uvolnil a zaplnil neúplnou vazbu trojmocného atomu (neutrální atom). Na místě které opustil elektron, se vytvoří kladná díra. Trojmocné příměsi se nazývají **akceptory**. V polovodiči typu P jsou většinovými nosiči díry, menšinovými nosiči elektrony.



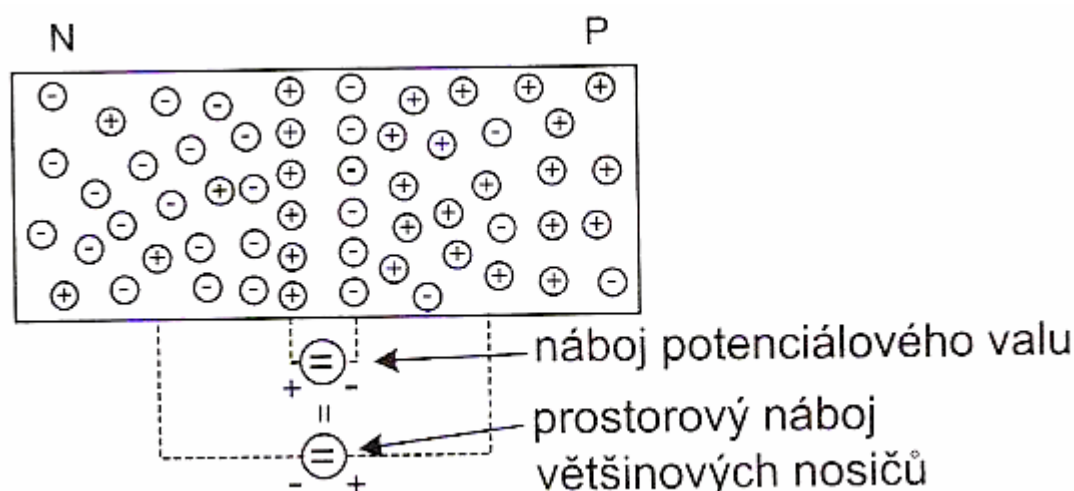
Krystalová mřížka Si s jedním akceptorovým atomem

Přechod PN – velmi tenká vrstva polovodiče v níž vodivost typu N přechází ve vodivost typu P se nazývá přechod PN (neboli metalurgický přechod). Důležitou podmínkou přechodu PN je to, že v místě přechodu nesmí být porušena souvislost krystalické mřížky, aby elektrony mohly volně přecházet z jedné vrstvy do druhé.



Vznik přechodu PN

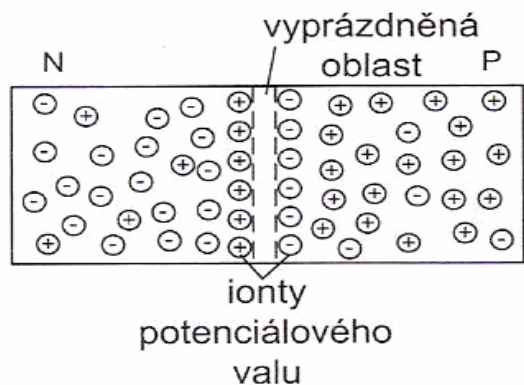
Jelikož v oblasti P je přebytek děr a v oblasti N přebytek elektronů, působí ihned po vytvoření přechodů mezi oblastmi přitažlivá elektrostatická síla. To má za následek, že v nejbližší oblasti přechodu PN přecházejí díry z oblasti P do oblasti N a většinové elektrony z oblasti N do oblasti P. Po přechodu PN se z těchto původních většinových nosičů ve své oblasti stávají nosiče menšinové v oblasti druhé.



Znázornění rovnováhy mezi oběma prostorovými náboji

S dalším přechodem nosičů přes přechod vzrůstá počet těchto menšinových nosičů v nejbližší oblasti přechodu, kde začínají vytvářet nepohyblivý prostorový náboj (v oblasti N- prostorový náboj kladných iontů, v oblasti P – prostorový náboj elektronů). S dalšími přecházejícími náboji přes přechod tento nepohyblivý náboj roste, až po určité době nastane rovnováha mezi přitažlivou silou původního prostorového náboje většinových nosičů v oblastech P a N a nábojem potenciálového valu menšinových nosičů v bezprostřední blízkosti přechodu PN (obrázek a).

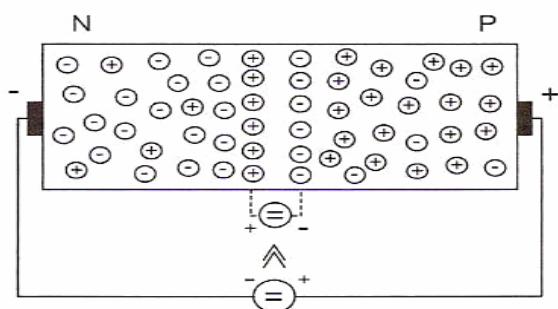
To má za následek, že žádné většinové nosiče přes přechod nepronikají. V těsném okolí přechodu PN tak vznikne vyprázdněná oblast, vzniklé elektrostatické pole nepohyblivých iontů se nazývá potenciálový val.



Vznik vyprázdňené oblasti a potenciálového valu

Přechod PN v propustném směru

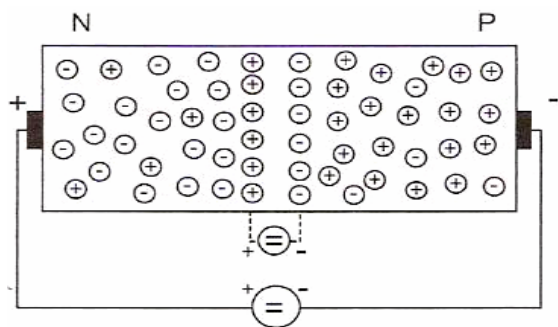
Připojme nyní kladný pól stejnosměrného vnějšího zdroje k oblasti P a záporný pól k oblasti N (viz.. obrázek). Při určité velikosti toto vnější napětí překoná vliv potenciálového valu a navíc dochází k odpuzování většinových nosičů od pólů směrem k přechodu PN. Přechodem nyní začnou opět přecházet většinové nosiče – jedná se o propustný směr nebo-li propustnou polarizaci přechodu PN.



Přechod PN v propustném směru

Přechod PN v závěrném směru

Připojíme-li kladný pól vnějšího stejnosměrného zdroje k oblasti N a záporný pól k oblasti P, posílí se vliv potenciálového valu a přechodem nepřečází žádné většinové nosiče. Naopak přechodem začnou procházet menšinové nosiče. Jelikož je však koncentrace těchto menšinových nosičů v obou oblastech malá, je tudíž i proud velmi malý a oproti velikosti proudu v propustném směru říkáme, že je tento proud nulový.



Přechod PN v závěrném směru

Dioda

Polovodičové diody

Jedná se o polovodičové součástky, které obsahují jeden přechod PN. Existuje tzv. Gunnová dioda, která neobsahuje žádný přechod PN.

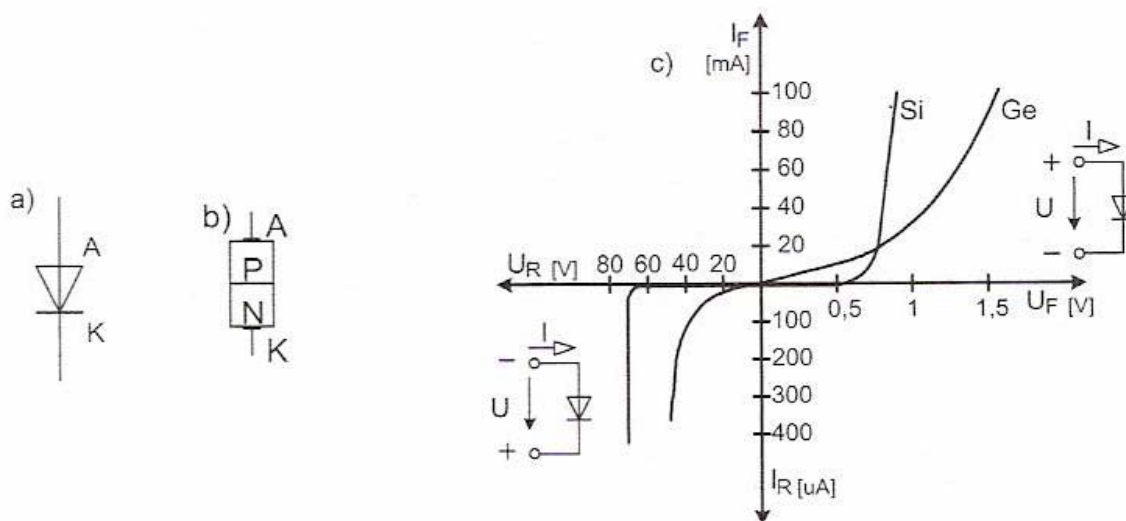
Z hlediska konstrukce rozeznáváme diody:

- hrotové
- plošné
- mikroplošné

Podle použití rozeznáváme diody:

- usměrňovací
- detekční a spínací
- stabilizační a referenční (Zenerovy)
- tunelové
- kapacitní
- fotodiody

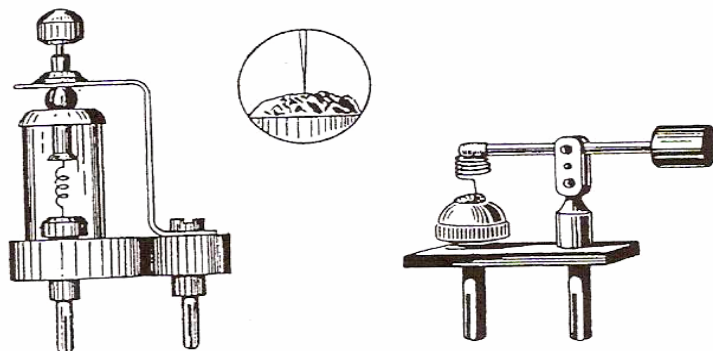
Jde tedy o polovodičové součástky obsahující jeden přechod PN opatřeny dvojicí vývodů a pouzdrem. Její schématická značka (obrázek a) a označení vývodů (obrázek b) a voltampérová charakteristika (obrázek c). Vývod připojený k oblasti s vodivostí P se nazývá anoda a označuje se A, vývod připojený k oblasti N se nazývá katoda a označuje se K



Polovodičová dioda a) schématická značka, b) struktura, c) voltampérové charakteristiky Ge-diody a Si-diody

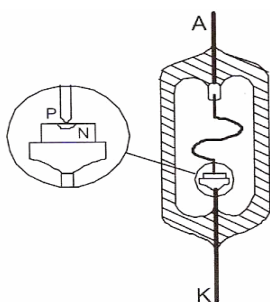
Hrotové diody

Tyto diody využívají přechodu kov – polovodič. Ve skutečnosti se jedná většinou o miniaturní přechod PN. Mezi tyto diody patří i z historie galenitový detektor. Ten se používal v prvních krystalových přijímačích – krystalkách.



galenitový detektor

Hrotové germaniové diody se vyrábějí z germania typu N. Čtvercová opracovaná destička Ge se připájí k držáku, který se umístí do skleněné trubičky. Proti ní se posunuje držák s esovitě zahnutým wolframovým drátkem s hrotem, na jehož konci je oblast vodivosti typu P. V okamžiku, kdy dojde k přitlačení hrotu do germania (dojde k elektrickému kontaktu), posun drátku se zastaví a skleněná trubička se na obou koncích zataví. Takto vzniklá dioda formuje elektrickým impulsem v propustném směru. Vlivem značné teploty se pod hrotem změní krystalická struktura a vznikne přechod PN.



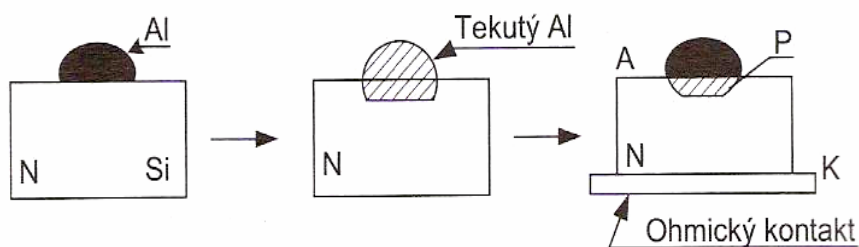
Hrotová polovodičová dioda

Plošné diody

Vyrábějí se několika technologiemi:

Slitinová technologie

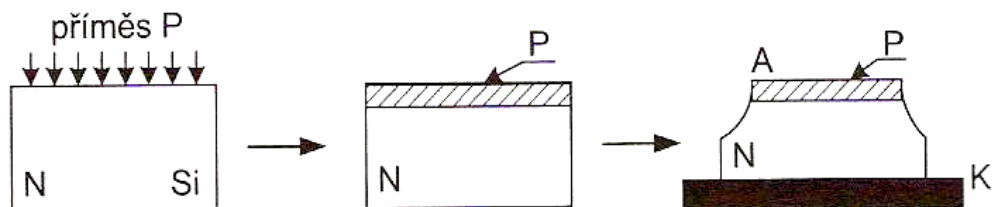
Na základní destičku monokrystalu typu N se položí legující materiál (indium protyp P ve tvaru kuličky). Destička se uloží do pece a zahřívá se na požadovanou hodnotu. Legující látka se roztaví a slije se s částí základního materiálu. Po vychladnutí a rekrystalizaci zůstane část legujícího materiálu v destičce. Vytvoří inverzní oblast vůči původní a vznikne přechod PN.



Slitinová technologie

Difuzní technologie

Jedná se o nejčastější technologii výroby v přechodu PN. Spočívá v difuzi příměsí plynné nebo kapalně. Fáze do základní destičky při vyšších teplotách. Např. Si destička s požadovanou vodivostí N se vloží do plynné atmosféry a nechá se působit dotující plyn (sloučeniny fosforu PROPE) tak dlouho až dotující molekuly proniknou do požadované hloubky. Na rozhraní obou prostředí vznikne přechod PN.



Difuzní technologie

Schottkyho dioda

Využívá přechodu kov – polovodič. Vedle kovu je polovodič N. Většinové elektrony při styku obou látek pronikají z polovodiče do kovu. V polovodiči vznikne v blízkosti kovu tak silné odčerpání elektronů, že převládnu do počtu menšinové díry, dochází ke změně vodivosti z N na P. V polovodiči tedy vznikne přechod s jednosměrným ventilovým účinkem. Schottkyho diody se zhotovují z křemíku nebo GaAs.

Detekční a spínací diody

Detekční diody

Používají se pro detekci a demodulaci v diodových detektorech a demodulátorech, kdy se z modulovaného vysokofrekvenčního signálu získává zpět původní modulační signál.

Spínací diody

Používají se v obvodech pro spínání elektrických signálů. Pracují obvykle se signály obdélníkového průběhu a přecházejí ze stavu vodivého do stavu nevodivého. Použitelnost diod pro spínání je omezena setrvačností diody při přepnutí z vodivého do nevodivého stavu. Příčinou je nahromadění menšinových nosičů v blízkosti přechodu PN.

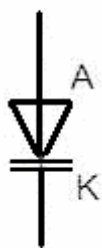
Stabilizační diody

Používáme je ke stabilizaci napětí při kolísání vstupního napětí. Přitom zanedbáváme vliv teploty okolí.

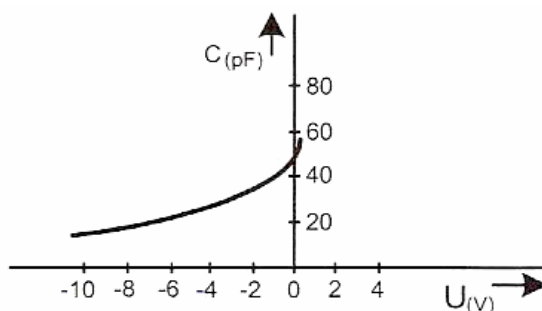
Referenční diody

Jedná se o diody, které vytvoří na svých vývodech referenční napětí jestliže proud procházející diodou a teplota okolí je ve stanoveném rozsahu.

Kapacitní diody



schematická značka



Závislost kapacity přechodu diody a jejím závěrném napětí

Rozděluje se na varikapy a varaktory.

Varikapy

Využívají kapacitního charakteru přechodu PN polarizovaného v závěrném směru. Varikap mění svou hodnotu kapacity v závislosti na přiloženém stejnosměrném napětí. Přivedené vysokofrekvenční napětí a jeho změny jsou relativně malé, takže nepůsobí změnu kapacity. Jedná se o lineární kondenzátor, jehož kapacita se dá měnit pomocným (konstantním, nebo pomalu se měnícím) napětím na (obrázku a).

Tyto diody se využívají k elektronickému ladění rezonančních obvodů.

Varaktory

Jsou to kapacitní diody pracující s velkým vysokofrekvenčním signálem, že během periody dochází k výrazné změně kapacity.

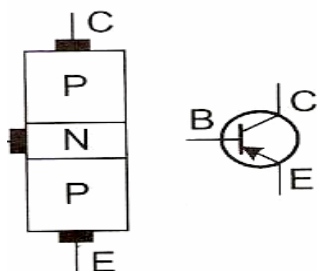
Usměrňovací diody

Jsou konstruovány pro usměrňování střídavého proudu jak nízkých, tak i vysokých kmitočtů. U těchto diod se požaduje malý úbytek napětí v propustném směru, velký propustný proud a velké závěrné napětí.

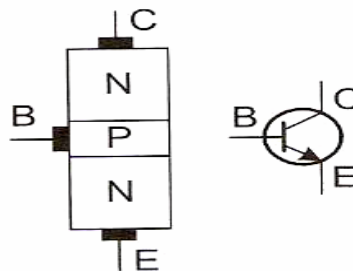
Tranzistor bipolární

Je založen na principu injekce (vstřikování) a extrakce (odsávání) nosičů náboje, přičemž vedení proudu tohoto tranzistoru je uskutečňováno oběma typy nosičů – tedy jak elektrony, tak děrami. Jedná se o třívrstvou polovodičovou součástku, která v podstatě představuje antisériovou kombinaci přechodu PN uspořádaných v jediném monokrystalu tak, že jedna z oblastí je oběma přechodům společná. Tato oblast se nazývá Báze. Další dvě oblasti jsou opačným typem vodivosti než Báze a nazývají se Emitorem E a Kolektorem C. Podle uspořádání vrstev rozlišujeme dva typy těchto tranzistorů:

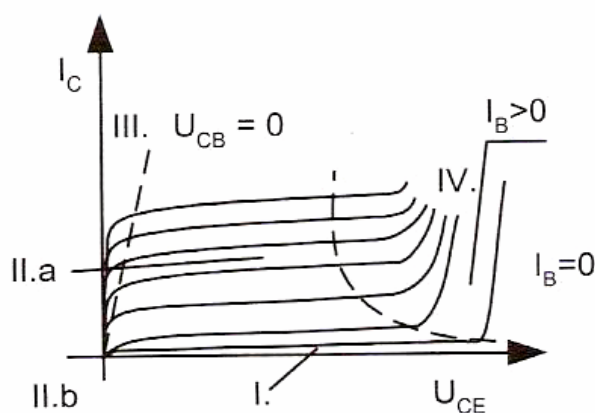
1) PNP



2) NPN



Činnost tranzistoru je možné rozdělit do čtyř pracovních režimů obou přechodů. Tyto stavy si popíšeme pro tranzistory typu NPN.



Výstupní kolektorové charakteristiky tranzistoru zapojení se společným emitorem

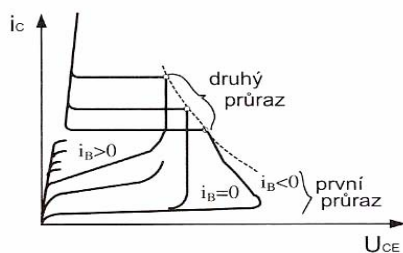
Popis režimů bipolárního tranzistoru (kde se nachází pracovní bod):

Režim I - představuje rozpojený tranzistor, tj. ten, který nevede. Tento režim se používá pracuje-li tranzistor jako spínač.

Režim II - tranzistor zde pracuje jako zesilovač signálu, a to buď ve směru od editoru ke kolektoru (normální aktivní – II a), nebo od kolektoru k editoru (inverzní aktivní – II b). Vyměněním těchto dvou režimů získáme režimy u tranzistorů PNP.

Režim III - představuje sepnutý tranzistor, kdy zvláštním jevem, tj. velkou koncentrací menšinových nosičů při přechodu zavřeným přechodem, se tento otevře. Název vychází z pojmu „nasycení“ tranzistoru, a to vystihuje stav, kdy v bázi je nadbytek volných nosičů náboje. Tento nadbytečný náboj už nemůže vyvolat další proudové zesílení vstupního signálu, ale vyvolá přepolarizaci kolektorového přechodu PN do propustného směru. Tento režim se opět používá v případě, pracuje-li tranzistor jako spínač.

Režim IV - průraz – jedná se o nežádoucí režim tranzistoru, při kterém může dojít ke zničení součástky. Rozeznáváme dva druhy průrazů:



Výstupní charakteristiky tranzistoru – první a druhý průraz

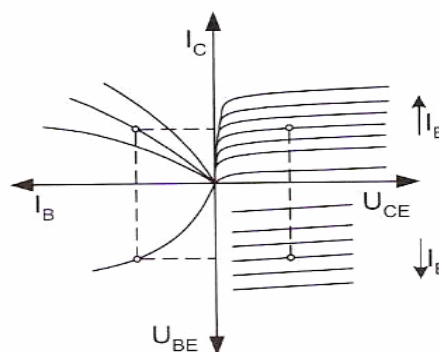
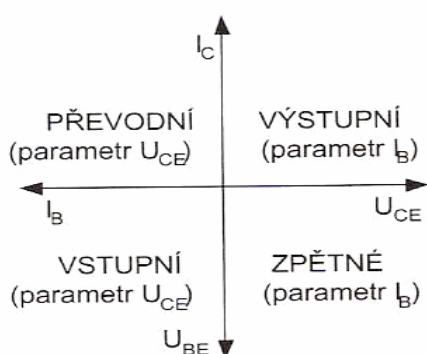
První průraz – dochází k němu při zatížení tranzistoru s vysokým napětím.

Druhý průraz - projevuje se prudkým poklesem napětí U_{CE} , ztrátou schopnosti řízení proudem báze, a to má za následek zničení součástky.

Statické charakteristiky bipolárního tranzistoru

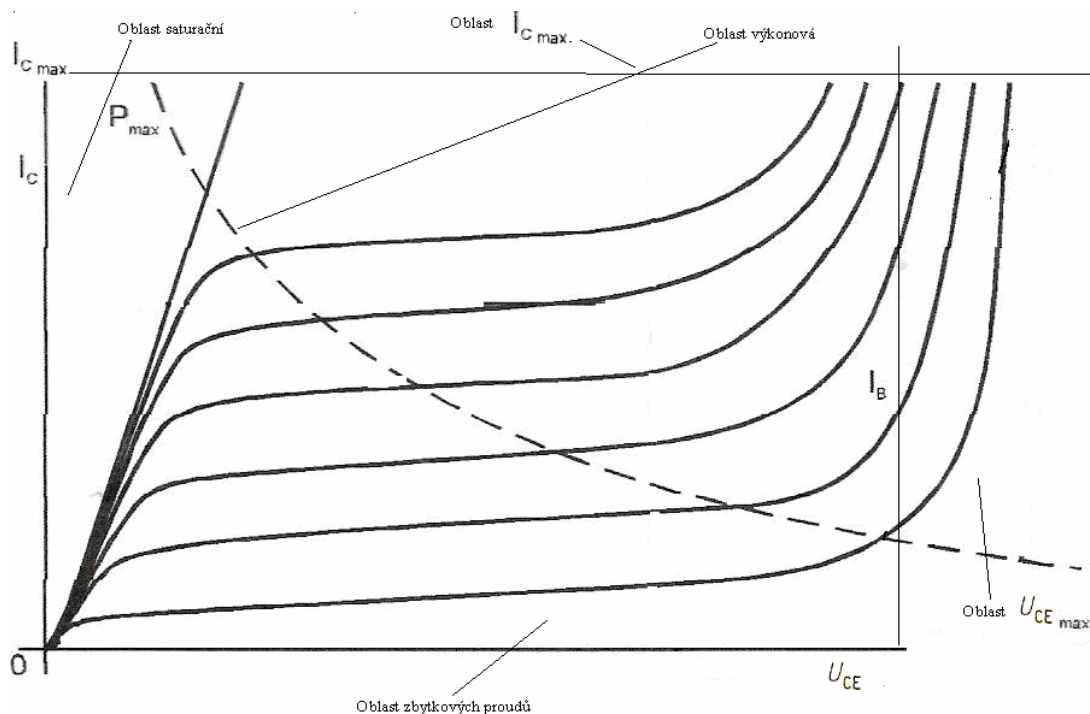
Popisuje se jimi chování bipolárního tranzistoru. Znázorňují se graficky a vyjadřují vždy závislost dvou veličin (proudu a napětí) přičemž parametrem je veličina třetí. Statické charakteristiky tranzistoru NPN v zapojení se společným emitorem. Zde existují čtyři charakteristiky:

1. výstupní charakteristiky naprázdno $I_C = f(U_{ce})$ při $I_B = \text{konstantní}$
2. vstupní charakteristiky nakrátko $I_B = f(U_{be})$ při $U_{ce} = \text{konstantní}$
3. proudová převodní charakteristika nakrátko $I_b = f(U_{be})$ při $U_{ce} = \text{konstantní}$
4. zpětná napěťová převodní charakteristika naprázdno $U_{be} = f(U_{ce})$ při $I_B = \text{konstantní}$



5.

Soustava charakteristik bipolárního tranzistoru NPN v zapojení se společným emitorem a popis charakteristik



Mezní oblasti tranzistoru

-Oblast zbytkových proudů-Tranzistorem malý zbytkový proud. Je to způsobeno technologií výroby a nečistotami které se do polovodičů dostávají, neboť polovodiče nemůžeme vyrobit absolutně čistý.

-Oblast $U_{ce_{max}}$ -Je to oblast maximálního kolektorového napětí. Překročení tohoto napětí dochází k napět'ovému průrazu polovodičové struktury to znamená, že vzniklá jiskra poškodí destruktivně přechod tak, že je přechod zničen.

-Oblast $I_{c_{max}}$ -oblast max. kolektorového proudu. Překročením té to oblasti dochází k takovým nadproudům, které způsobí upálení přívodu ke struktuře polovodičů. Je to nevratný děj.

-Oblast saturační-Ta to oblast je vymezena mezní přímkou a proudovou osou I_C . Mezní přímkou určuje jak velký úbytek napětí vznikne na tranzistoru, teče-li jím určitý proud I_C . Čím je mezní přímkou více přikloněna k proudové ose, tím menší úbytek napětí vzniká při saturaci, a tím je kvalitnější tranzistor .

-Oblast výkonová-Překročení tohoto výkonu dojde k tepelnému přetížení kde teplota přechodu přesáhne povolenou mez a tranzistor je zničen

Tranzistor unipolární

Těmto tranzistorům se také říká tranzistory řízené elektrickým polem označují se FET (Field Effect Transistor). Unipolární tranzistory se podle způsobu izolace řídicí elektrody rozdělují do dvou skupin.

První skupina, u které je řídicí hradlo izolováno vrstvičkou izolantu se nazývá IGFET (Insulated Gate Field Effect Transistor). Do první skupiny patří dva druhy: MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) a MISFET (Metal Insulator Semiconductor Field Effect Transistor).

Druhá skupina se nazývá JFET (Junction Field Effect Transistor), řídicí hradlo má izolováno záporně polarizovaným přechodem. Do této skupiny rovněž patří dva druhy: JUGFET a MESFET.

Stejně jako u bipolárních tranzistorů, tak i u unipolárních existují (u každého typu) dva druhy kanálů: kanál P a kanál N.

Základní princip FET tranzistorů je velmi jednoduchý a podobá se funkci triody. Na proud elektronů působí příčně záporné pole řídicí elektrody, které zužuje vodivý kanál v polovodiči tím reguluje výstupní proud. Kladné napětí na kolektoru ale deformuje tvar řídicího elektrického pole, a při tzv. saturačním napětí proto dojde k zaškrcení vodivého kanálu a další zvyšování kolektorového napětí U už nezvyšuje kolektorový proud I . Po překročení bodu zaškrcení přejde tranzistor z odporového režimu do saturace (nasycení). Podobně jako u elektronek neprotéká vstupní elektrodou (gate) proud, takže tranzistor prakticky nezatěžuje výkonově vstupní obvod.

Velmi velký vstupní odpor tranzistoru (až $10^{15} \Omega$) ovšem na druhé straně způsobuje citlivost těchto prvků na elektrostatickou elektřinu. Statická elektřina se vyznačuje velmi vysokým napětím, ale téměř zanedbatelným elektrickým nábojem. Vzhledem k tomu, že svodový proud řídicí elektrody může být i menší než 10^{-14} A , není tento náboj odveden dostatečně rychle a dojde k průrazu extrémně tenké izolační vrstvy pod hradlem a k zničení tranzistoru. Některá provedení součástek (protecte transistors) mívají ošetřeny vstupy rychlými ochrannými diodami, které nedovolí nebezpečný nárůst napětí.

U dalších druhů tranzistorů řídicí pole naopak vytvoří (indukuje) vodivý kanál a s rostoucím řídicím napětím jej dále rozšiřuje. U některých typů tranzistorů lze kanál rozšiřovat (enhancement mode) i zužovat (depletion mode).

Unipolární tranzistory jsou trojpóly, a proto je možné je jako dvojbran zapojit do obvodu třemi způsoby.

Nejpoužívanější je zapojení se společným emitorem, popř. se společným kolektorem. Zapojení se společným hradlem nezachovává velký vstupní odpor, a proto se téměř nepoužívá. Způsob nastavení pracovního bodu je závislý na typu tranzistoru. U tranzistoru s možností rozšíření i zúžení kanálu není nutné pracovní bod nastavovat.

Velmi důležitým parametrem unipolárních tranzistorů a elektronek je schopnost řídicího napětí ovlivňovat proud. Určuje ji sklon převodní charakteristiky tzv. **strmost**.

$S = \Delta I_D / \Delta U_{GS}$ (dosahuje jednotek až desítek mA/V).

Unipolární tranzistory mají jiné značení vývodů než bipolární:

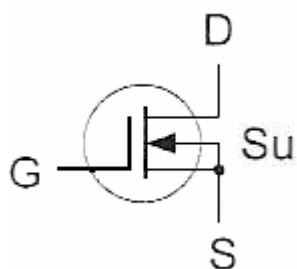
S - Source – emitör – emituje (vzdává el.)

D - Drain – kolektor – přijímač (el.)

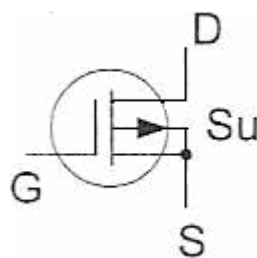
G - Gate-báze-brána pro elektrony

1.IGFET

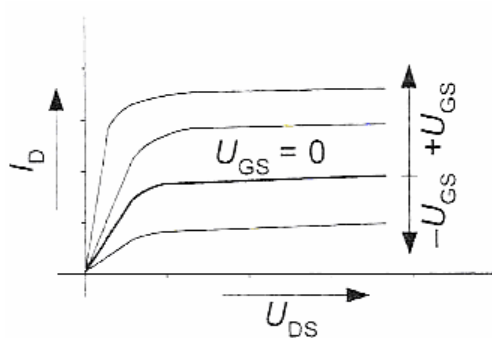
MOSFET – Tranzistory s vodivým kanálem. Řídící elektroda je odizolována tenkou vrstvou oxidu křemičitého (SiO_2). Ten zlepšuje vlastnosti tranzistoru tím, že zmenšuje parazitní kapacitu. Elektroda Su se nazývá substrát. V části N je méně volných nosičů (elektronů), než v N^+ . Přivedeme-li na kolektor S napětí, protéká kanálem určitý zbytkový proud, i když není na bázi G přivedeno žádné napětí. V okamžiku, kdy přivedeme na bázi G napětí U_G , budou minoritní elektrony z P přitahovány do N, až se vodivost části N vyrovná s vodivostí N^+ = obohacovací režim (1.). V okamžiku, kdy přivedeme na bázi G napětí $-U_G$, budou majoritní elektrony z N vytlačovány do P, čímž se vodivost kanálu zmenší až na nulu = ochuzovací režim (2.).



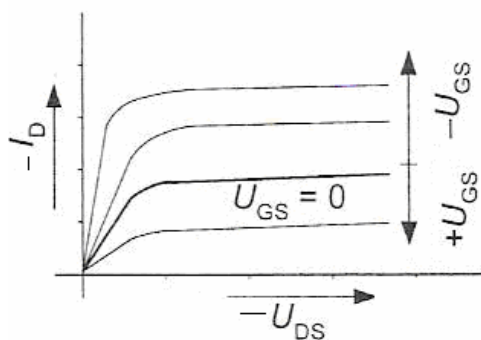
Schématická značka NMOSFET



Schématická značka PMOSFET

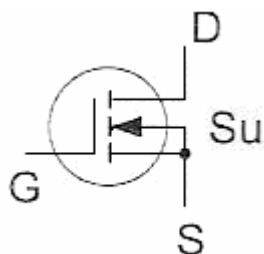


Výstupní charakteristika NMOSFET

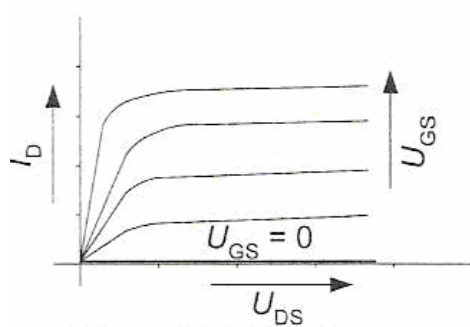


Výstupní charakteristika PMOSFET.

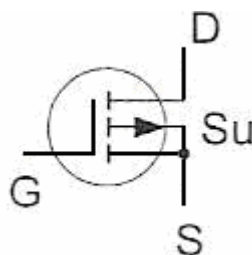
MISFET – Tranzistory s indukovaným kanálem. Místo kanálu s vodivostí N je použit čistý polovodič. Pokud přivedeme na kolektor S a emitor D napětí (napětí na $U_G = 0$) nebude kanálem protékat proud (což je změna oproti MOS-Fetu s izolovaným kanálem). Jinak zapojení a ostatní princip je stejný – při zvyšování napětí U_G budou opět elektrony z P přitahovány do kanálu a proud I_C bude stoupat (samozřejmě až od určité hodnoty U_G – tzv. prahového napětí). Tranzistory MISFET se dnes již nepoužívají.



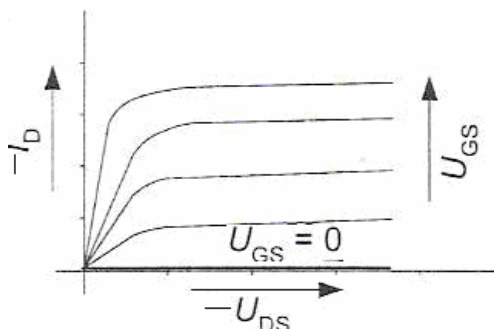
Schématická značka NMISFET



Výstupní charakteristika NMISFET



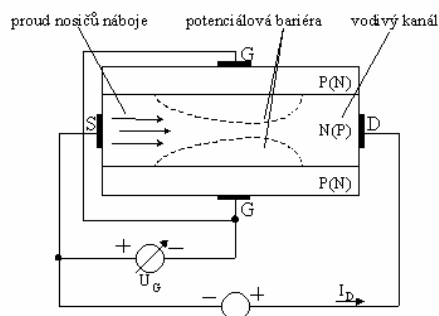
Schématická značka PMISFET.



Výstupní charakteristika PMISFET.

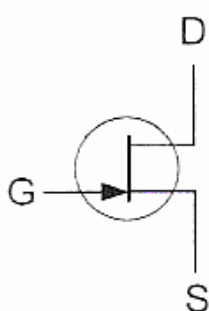
2.JFET

JUGFET – V prostoru hranolku se vytváří vodivý kanál kladných nebo záporných nosičů náboje. Proud postupuje od elektrody S k elektrodě D. Do kanálu zasahuje elektrické pole vstupní elektrody G, a to z obou stran. Tím se zvětšuje nebo zmenšuje šířka kanálu a zvětšuje nebo zmenšuje velikost procházejícího proudu $\Rightarrow$ proud procházející kolektorem D se zmenšuje s rostoucím napětím na bázi G. Polovodičový přechod je vždy polarizován v závěrném směru $\Rightarrow$ má velký vstupní odpor.

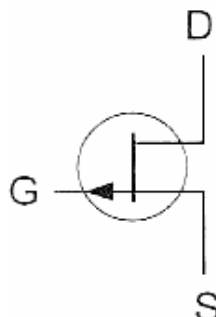


Struktura tranzistoru JUGFET

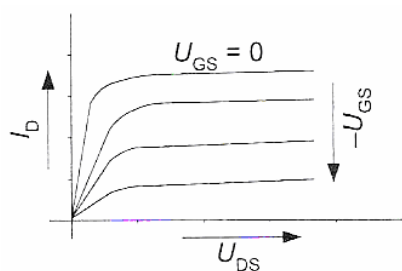
Jelikož jsou tyto dva typy tranzistoru téměř stejné, v praxi se většinou označují jako jeden typ JFET. Pod tímto označením se také vedou v katalozích. Z důvodu, že se tyto dva typy vedou pod jedním značením, mají také stejnou schématickou značku a také charakteristiky.



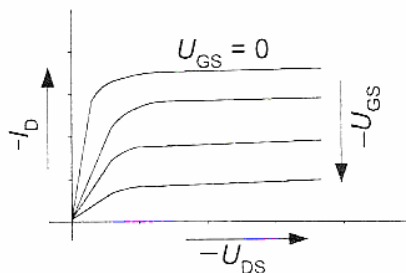
Schématická značka NJFET



Schématická značka PJFET.

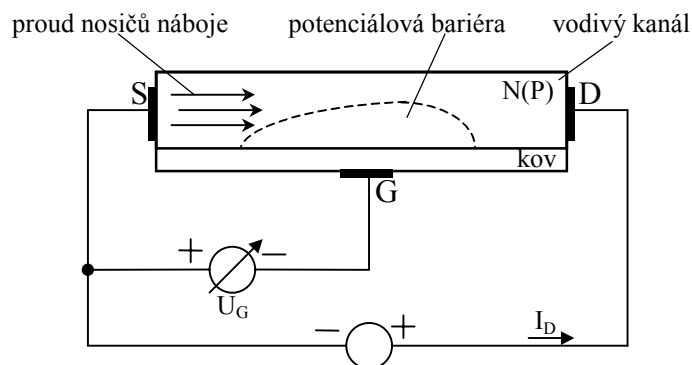


Výstupní charakteristika NJFET



Výstupní charakteristika PJFET.

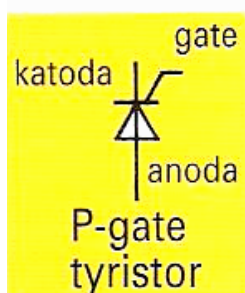
MESFET – Pracuje na principu přechodu kov-polovodič. Vodivý kanál je poloviční tloušťky než u JUG-Fetu. Potenciálová bariéra se vytváří jen na jedné straně, jinak princip je stejný jako u JUG-Fetu.



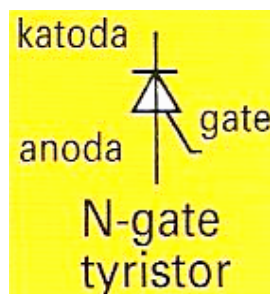
Struktura tranzistoru MESFET

Tyristory

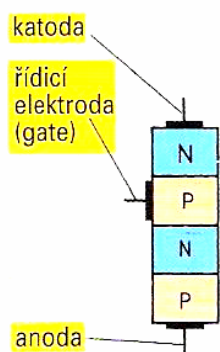
Tyristor neboli řízený usměrňovač je čtyřvrstvý polovodič (PNPN) se třemi přechody (PN, NP, PN).



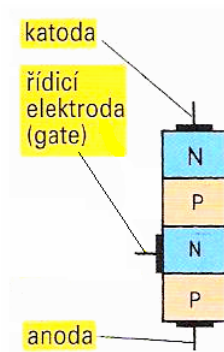
Schematická značka P-gate tyristoru



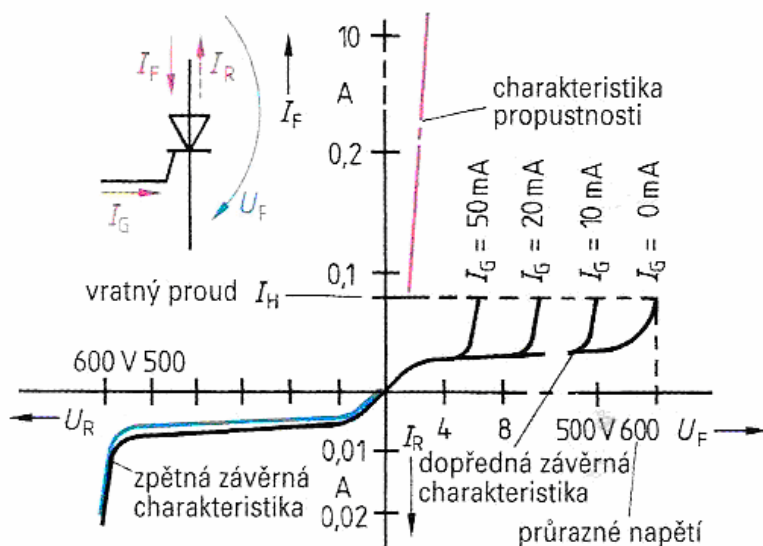
Schematická značka N-gate tyristoru



Struktura P-gate tyristoru



Struktura N-gate tyristoru

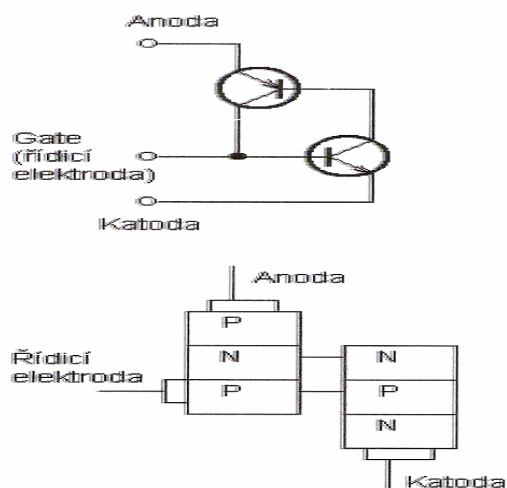


VA - charakteristika tyristoru

Tyristor má řídicí elektrodu (Gate = Brána) je někdy nazýván triodový tyristor. Má tři elektrody anoda, katoda a řídicí elektrodu.

Tyristor neboli řízený usměrňovač je čtyřvrstvý polovodič (PNPN) se třemi přechody (PN, NP, PN).

Náhradní schéma tyristoru



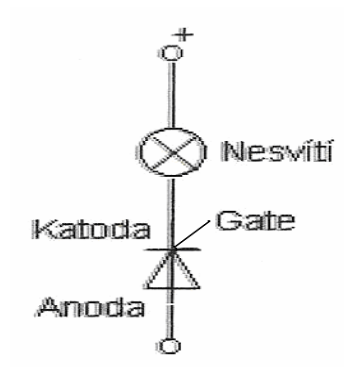
Činnost tyristoru

Není-li na řídící elektrodě napětí proud neprotéká (připojením pouze na anodu a katodu nestačí), proto rozeznáváme následující stavy tyristoru

Závěrný

Na anodě je mínus a na katodě je plus.

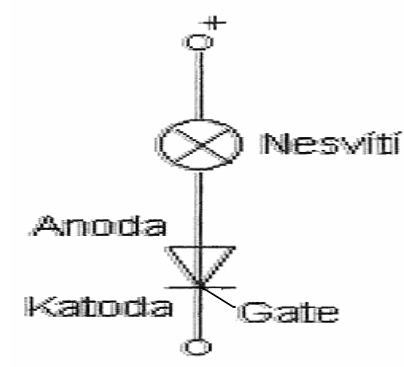
Tyristor nemůže propouštět proud (stejně jako u diody). Toto se uplatňuje u střídavého proudu.



Blokovací

Na anodě je plus a na katodě je mínus.

Tyristor je sice v zapojen v propustném směru (jako dioda), ale přesto proud neprotéká, je to taková "příprava" k sepnutí, které je realizováno "hradlovým impulzem".

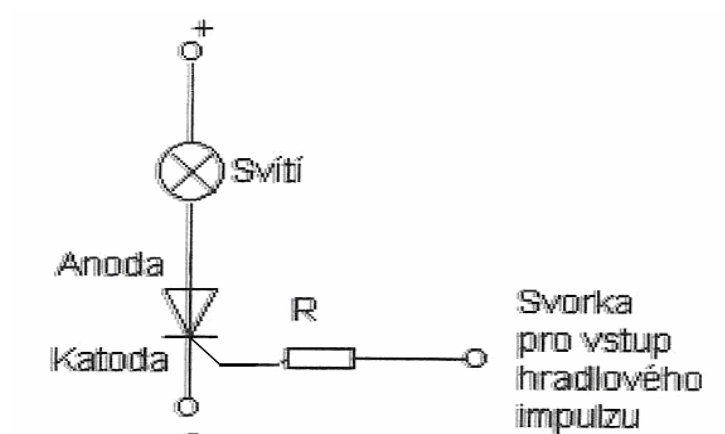


Propustný

Na anodě je plus a na katodě je mínus.

Přivedením hradlového impulsu na řídicí elektrodu došlo k "sepnutí" tyristoru.

Sepnutí se tedy realizuje přivedením plusu na anodu, mínusu na katodu a plusu na řídicí elektrodu.



Vypínání tyristorů

V sepnutém stavu tranzistor setrvá dokud:

- Propustný proud neklesne pod hranici vratného proudu
- Nedojde k přerušení obvodu (odpojení zdroje)
- Nezmění se polarita na anodě a katodě
- Není sepnut "vypínací tyristor" - GTO

Zapínání tyristorů

- Přivedení proudového impulsu na řídicí elektrodu

Použití tyristorů

- Řízené usměrňovače
- Elektronické spínače i časové
- Jističí obvody proti přepětí a nadproudu
- Programovatelné řídicí obvody (např. spínání světel)
- Regulátory teploty
- Nabíječe akumulátorových baterií

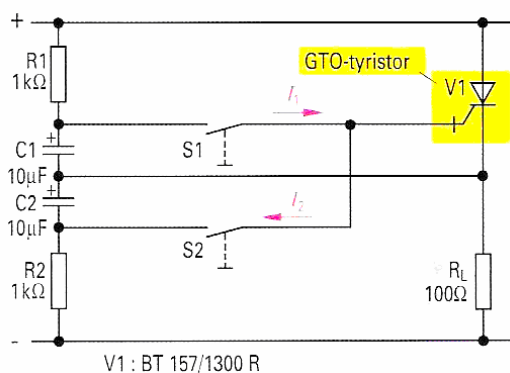
Vypínací tyristor GTO

Je odvozen z anglického Gate Turnend Off= vypínaný řídicí elektrodou

Běžné tyristory nemohou být vypnuty řídicím proudem. Avšak u vypínacího tyristoru GTO je to možné. Tyristor je zapínán i vypínán (zapalován a zhašen) 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). Odpojeném klidovém stavu se nabije kondenzátor C1 přes řídicí elektrodu a katodu a zapálí tyristor. Stiskem tlačítka S2 se připojí na řídicí elektrodu kondenzátor C2 s polaritou opačnou k polaritě zapalovacího impulsu a GTo- tyristor se vypne.

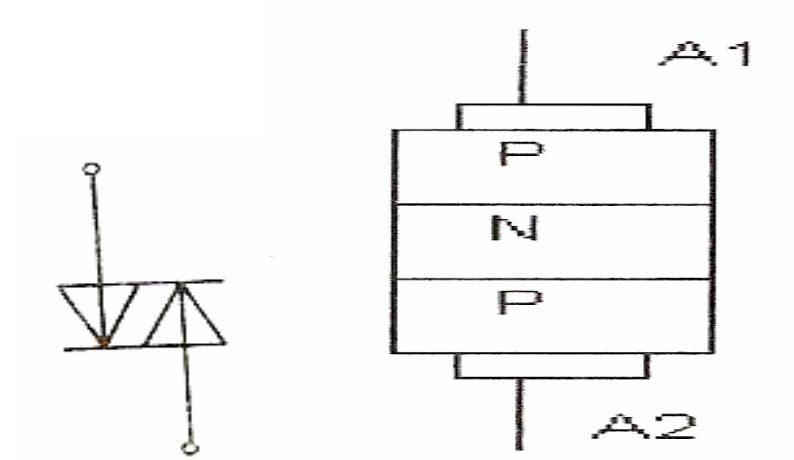
GTo-tyristory mají jmenovité proudy do 1000A a jmenovité napětí do 2500V.



Řízení GTO-tyristoru zapojené na společný zdroj napětí

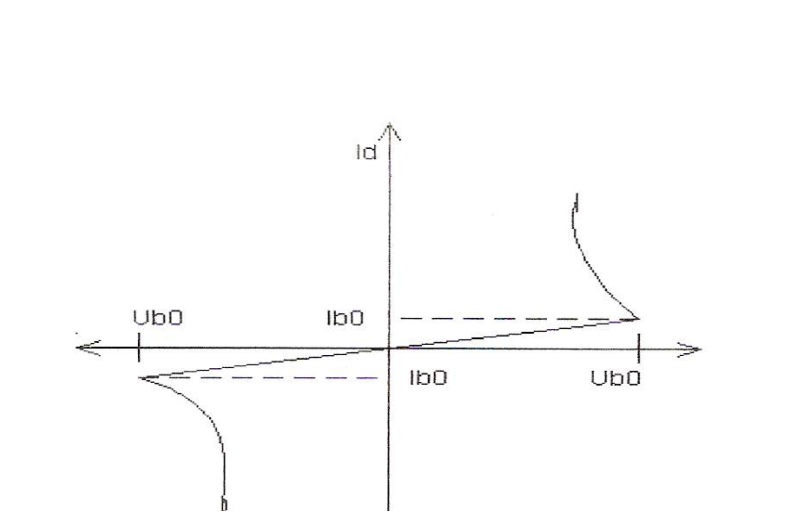
Diak

Diak je součástka se třemi vrstvami různých vodivostí, u kterého mohou oba přechody PN pracovat v lavinovitém průrazu.



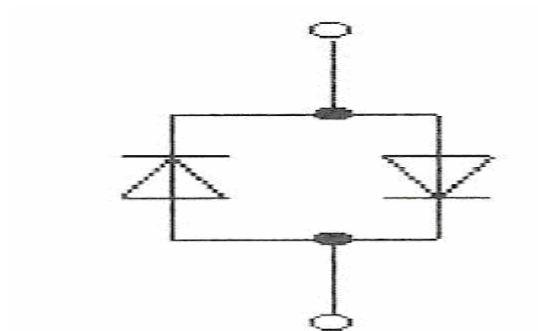
Schématická značka diaku

Struktura diaku



VA charakteristika diaku

Náhradní schéma



Pomocí dvou antiparalelně zapojených diod

Charakteristické vlastnosti

- Diak se vyznačuje tzv. "záporným" odporem (klesá napětí a stoupá proud)
- Nemusí se rozlišovat polarita elektrod

Stavy diaku

Protože diak nemá řídicí elektrodu je spínán pouze přiložením napětím.

Blokovací

Je-li přiložené napětí menší než spínací je jeden z přechodů uzavřen - prochází malý závěrný proud.

Propustný

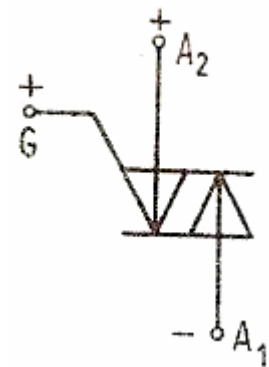
Dosáhne-li přiložené napětí spínacího napětí nastane nedestruktivní průraz jednoho z PN přechodů a diak začne vést.

Použití diaků

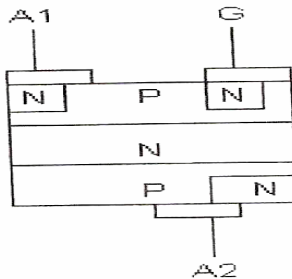
- Řídicí obvody tyristorů a triaků
- Přepět'ová ochrana

Triak

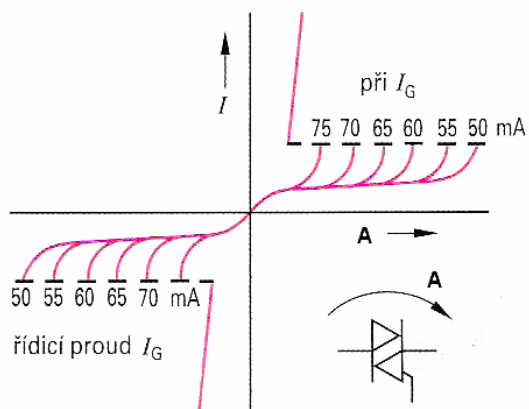
Triak je obousměrný triodový tyristor s pětivrstvou strukturou PNPNP a se čtyřmi přechody.



schematická značka triaku

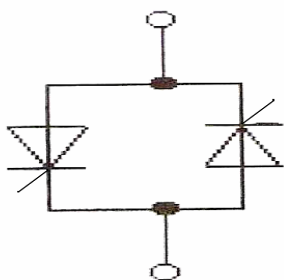


Struktura triaku



VA - charakteristika triaku

Náhradní schéma triaku



Triak vznikne vnitřním uspořádáním tzv. antiparalelním uspořádáním dvou tyristorů. Triak může propouštět proud v obou směrech čímž překonává tyristor .

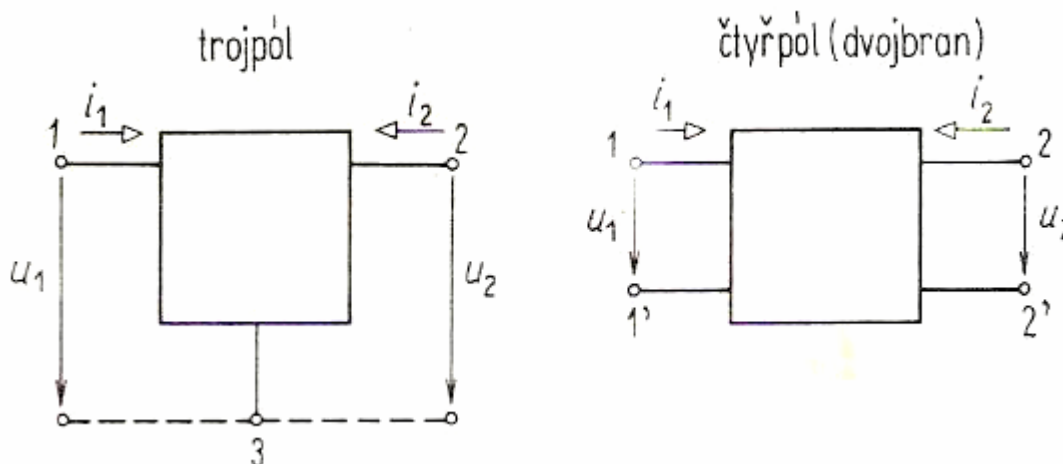
Použití triaků

- Řízení výkonu spotřebičů v střídavém elektrickém obvodu

Dvojbrany (čtyřpól)

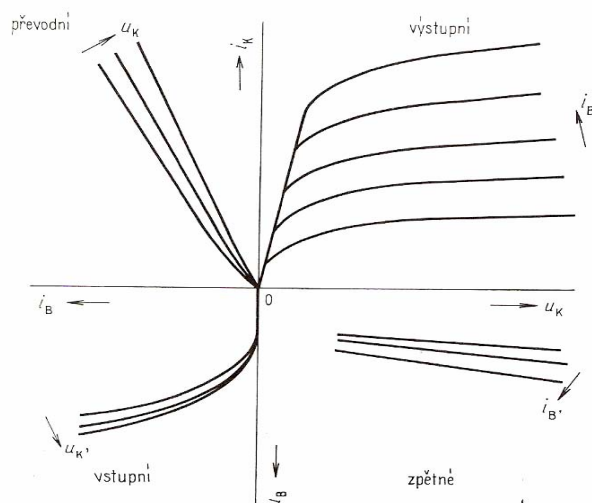
Charakteristiky čtyřpólu

Některé elektronické součástky (např. tranzistory) mají více než dva vývody, nazývají se vícepóly. Dvojice svorek, které slouží k přivádění signálu, se nazývají vstupní svorky. Kterými se signál odebírá se nazývají výstupní svorky. Tranzistor má tři svorky pro emitor, bázi a kolektor. Je tedy trojpól. Příklad vícepólů se čtyřmi svorkami, tedy čtyřpólu – je transformátor. Trojpól je pro sledování funkce málo názorný, změníme proto jednoduchým způsobem trojpól na čtyřpól: jednu svorku původního trojpólu použijeme pro dvě svorky společně (obrázek a). Vznikne tím čtyřpól. Svorky 1-1' považujeme za vstupní svorky, svorky 2-2' jsou výstupní svorky.



Obrázek a- Trojpól a čtyřpól (dvojbran)

Vstupními svorkami prochází proud i_1 při napětí u_1 , výstupními svorkami prochází proud i_2 při napětí u_2 . Nesmíme zapomenout na orientaci proudu a napětí (obrázek a). Čtyřpól buď je lineární nebo nelineární. Vlastnosti nelineárního čtyřpólu můžeme však popsat pouze soustavou charakteristických funkcí jejíž grafickou podobou jsou voltampérové charakteristiky čtyřpólů. Budeme si pamatovat, že v každé soustavě charakteristik se graficky zobrazuje vždy závislosti tří proměnných hodnot ze čtyř: z napětí u_1 a u_2 a z proudu i_1, i_2 .



Obrázek b - Úplná soustava charakteristik čtyřpólu

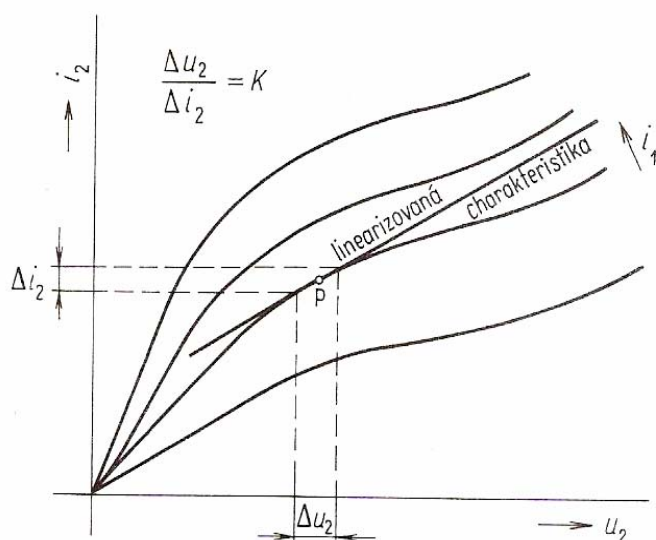
1. Soustava vstupních charakteristik, které udávají vztahy mezi vstupními veličinami nebo zpětnými charakteristikami.
2. Soustava výstupních charakteristik, které udávají vztah mezi výstupními veličinami nebo převodními charakteristikami.
3. Soustava převodních charakteristik, které udávají vztahy mezi výstupní veličinou jako závislé proměnnou a vstupní veličinou jako nezávisle proměnnou.
4. Soustava zpětných charakteristik, které udávají vztah mezi vstupní veličinou jako závislé proměnnou a výstupní veličinou nezávisle proměnnou.

Parametry čtyřpólu

Čtyřpólové parametry získáme měřením nebo ze známých charakteristik, že v určitém zvoleném bodě nahradíme křivku přímkou. Říkáme, že křivku linearizujeme. To je znázorněno ve výstupních charakteristikách na (obrázku a). Potom v okolí zvoleného pracovního bodu P můžeme s dostatečnou přesností matematicky vyjadřovat závislost obvodových veličin, v našem případě vzájemnou závislost i_2, u_2 a i_1 pomocí velmi jednoduchých vztahů:

$$K = \frac{\Delta u_2}{\Delta i_2}$$

(i_1 je konstantní nebo-li změny Δi_1 jsou rovny nule), což tvarem odpovídá Ohmovu zákonu. K- je konstanta a udáváme ji v omech, ale pozor! Nejde o stejnosměrnou hodnotu výstupního odporu čtyřpólu, ale o hodnotu tzv. diferenciálního odporu. Je to hodnota, která udává závislost změn proudu Δi_2 na změnách napětí Δu_2 a nikoli závislost stejnosměrného proudu I_2 na stejnosměrném napětí U_2 .



Obrázek a- Linearizační princip

V praxi se nejčastěji používají diferenciální čtyřpólové parametry. Admitanční parametry- y mají význam diferenciální admitance a jednotku vodivosti (S). Hybridní parametry h mají různé fyzikální jednotky i význam.

Čtyřpólové parametry:

$$y_{11} = \left(\frac{\Delta i_1}{\Delta u_1} \right)_{u_2 = konst} \quad \text{vstupní diferenciální vodivost při konstantním napětí } u_2$$

(při výstupu nakrátko)

$$y_{12} = \left(\frac{\Delta i_1}{\Delta u_2} \right)_{u_1 = konst} \quad \text{zpětná diferenciální vodivost při konstantním napětí } u_1$$

(při vstupu nakrátko)

$$y_{21} = \left(\frac{\Delta i_2}{\Delta u_1} \right)_{u_2 = konst} \quad \text{převodní diferenciální vodivost při konstantním napětí } u_2$$

(při výstupu nakrátko)

$$y_{22} = \left(\frac{\Delta i_2}{\Delta u_2} \right)_{u_1 = konst} \quad \text{výstupní diferenciální vodivost při konstantním napětí } u_1$$

(při vstupu nakrátko)

$$h_{11} = \left(\frac{\Delta u_1}{\Delta i_1} \right)_{u_2 = konst} \quad \text{vstupní diferenciální odpor při konstantním napětí } u_2$$

(při výstupu nakrátko), (Ω)

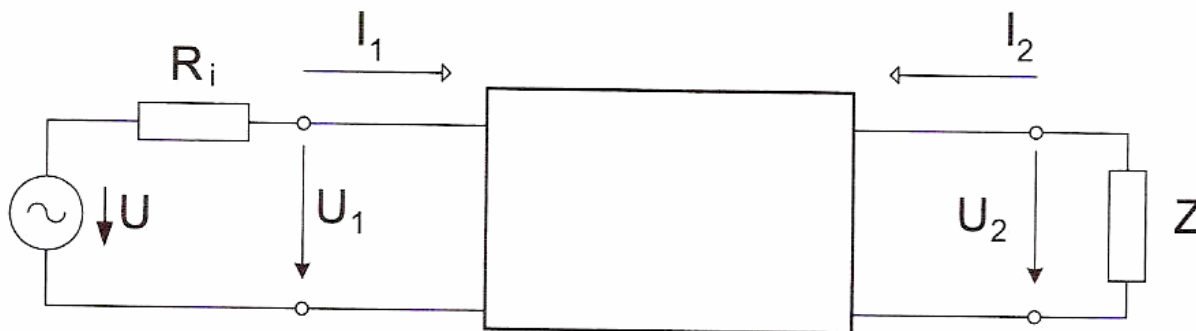
$h_{12} = \left(\frac{\Delta u_1}{\Delta i_2} \right)_{i_1 = konst}$ činitel zpětného přenosu napětí při konstantním proudu i_1
(při vstupu naprázdno), (bez rozměru)

$h_{21} = \left(\frac{\Delta i_2}{\Delta i_1} \right)_{u_2 = konst}$ proudový zesilovací činitel při konstantním napětí u_2
(při výstupu nakrátko), (bez rozměru)

$h_{22} = \left(\frac{\Delta i_2}{\Delta u_2} \right)_{i_1 = konst}$ výstupní diferenciální vodivost při konstantním proudu i_1
(při vstupu naprázdno), (S)

Přenosové vlastnosti čtyřpólů

Na vstup čtyřpólů je připojen zdroj střídavého napětí U a vnitřní odpor R_i a na výstupu je připojena zatěžovací impedance Z (obrázek a). Jestliže na vstupu je napětí U_1 , potom výstupní napětí U_2 na zatěžovací impedanci Z bude záviset na vnitřních vlastnostech čtyřpólu. Obvykle se napětí U_1 a U_2 liší velikostí a vzájemným fázovým posunem.



Obrázek a- Dynamický režim čtyřpólu

Vliv čtyřpólu na přenos napětí různé frekvence z hlediska velikosti amplitudy a fáze určuje napěťový přenos A_u , pro který platí vztah:

$$A_u = \frac{U_2}{U_1} \quad A_u = 10 \log \frac{U_2}{U_1} [dB]$$

Podobně je definován proudový přenos A_i a výkonový přenos A_p

$$A_i = \frac{I_2}{I_1} \quad A_p = \frac{P_2}{P_1} \quad A_p = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

Protože čtyřpóly obvykle obsahují reaktanční prvky (např. integrační článek), je napět'ový, proudový a výkonový přenos závislý na frekvenci vstupního napětí. Křivka udávající závislost amplitudy výstupního napětí nebo přenosu (zesílení) na frekvenci při stálé velikosti vstupního napětí se nazývá amplitudová frekvenční charakteristika (obrázek b).

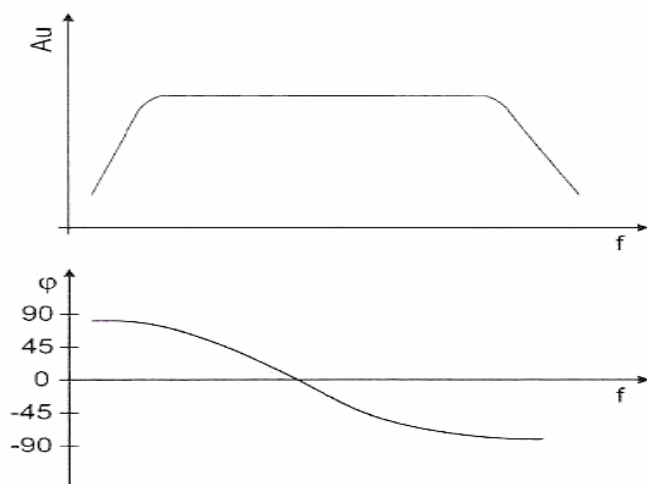
často se místo absolutní hodnoty přenosu A_u používá relativní hodnota přenosu A_r podle vztahu:

$$A_r = \frac{A_u}{A_{uo}}$$

Kde A_{uo} vyjadřuje přenos napětí při referenční frekvenci, která se obvykle volí ve středu přenášeného pásma. Relativní hodnota přenosu se udává a zakresluje v decibelech (dB) podle vztahu :

$$A_{r(dB)} = 20 \log \frac{A_u}{A_{uo}}$$

Závislost, fáze výstupního napětí se graficky znázorňuje fázovou frekvenční charakteristikou čtyřpólu (obrázek c).



Obrázek b,c- Charakteristiky aktivního čtyřpólu

b) amplitudová frekvenční charakteristika,

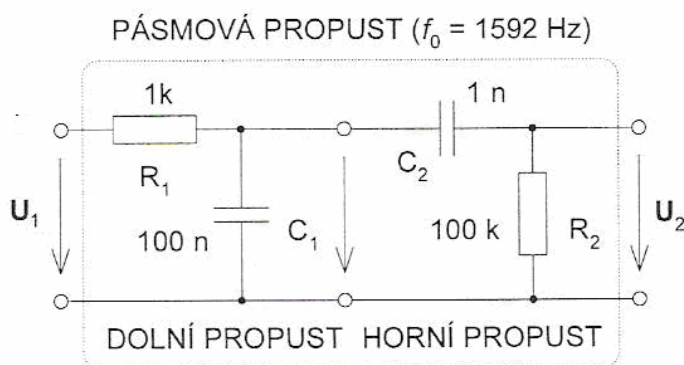
c) fázová frekvenční charakteristika čtyřpólu

Hornofrekvenční a dolnofrekvenční propusti

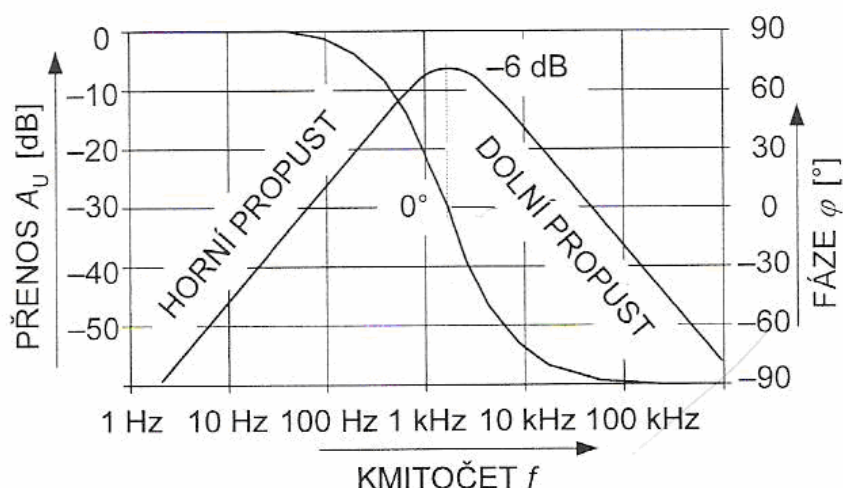
Jednoduché pásmové propusti

Na integrační článek lze pohlížet jako na jednoduchý filtr typu dolní propust a derivační článek je jednodušší horní propust. Pokud tyto články zařadíme kaskádně za sebou můžeme dostat jednoduchou pásmovou propust. Podobně lze teoreticky získat i pásmovou zadrž paralelním řazením horní a dolní propusti. Praktická realizace je v tomto případě obtížnější. Pokud při kaskádním spojení horní a dolní propusti zvolíme impedanci druhého článku mnohem větší než u prvního obvodu, můžeme uvažovat první článek jako nezatížený. To velmi zjednoduší matematický popis obvodu, protože pak bude platit:
Pro spojení integračního a derivačního článku dostaneme:

Zajímavou vlastností pásmových propustí je relativnost šířky pásma filtru. Šířka pásma B je nejčastěji definována jako pásmo kmitočtu, ve kterém nepoklesne přenos o více než o 3dB oproti maximu. Tomu u jednodušších filtrů odpovídá změna fáze o 45°.



pásmové propusti dolní propust a horní propust



Charakteristiky pásmových propustí

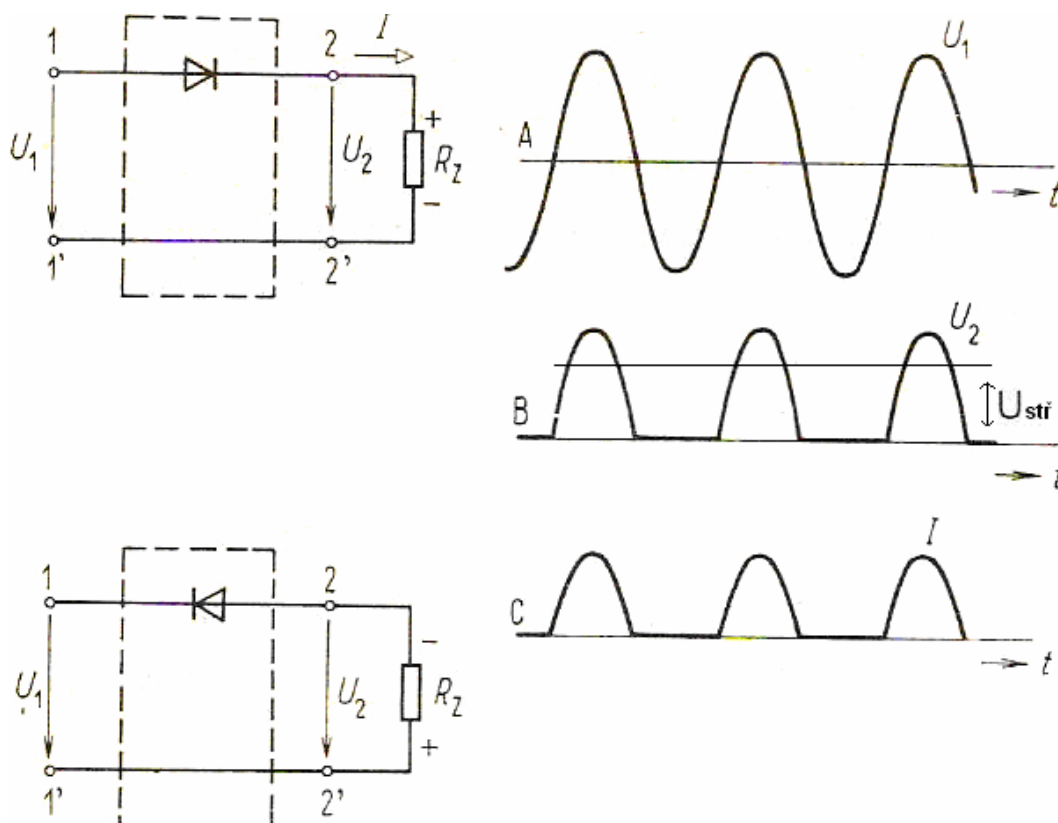
Usměrňovače, filtry a stabilizátory napětí

Jednofázové usměrňovače

Jednofázové usměrňovače dělíme na jednocestné a dvoucestné usměrňovače.

Jednocestný usměrňovač

Je tvořen usměrňovací diodou, zařazenou do jedné cesty střídavého vstupního signálu. Na (obrázku a) je znázorněn jednoduchý usměrňovač jako čtyřpól. Na jeho vstup je přiloženo střídavé napětí, na výstupu je stejnosměrné napětí. Na obrázku je znázorněn také průběh střídavého vstupního napětí křivka A a průběh výstupního stejnosměrného napětí křivka B. Křivka C znázorňuje průběh stejnosměrného proudu procházejícího zátěží R_z . Na (obrázku) je usměrňovací polarita diody opačná oproti obrázku a. Napětí na výstupu znázorňuje křivka D.



Obrázek a- Jednocestný usměrňovač

Střední hodnota u usměrňovače se vypočte takto:

$$U_{2stř} = 0,45 \cdot U_{1ef}$$

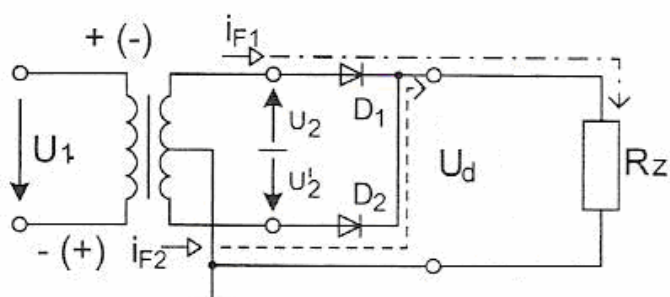
Dvoucestný usměrňovač

U tohoto typu usměrňovače je nutný síťový transformátor s vyvedeným středem sekundárního vinutí. Tento vyvedený střed rozděluje sekundární vinutí na dvě poloviny. Vznikají dvě stejně velké výstupní napětí U_2 a U_2' vzájemně posunutá o 180° . Tím jsme dostali dva jednocestné usměrňovače s diodami D_1 a D_2 , které se ve své funkci střídají.

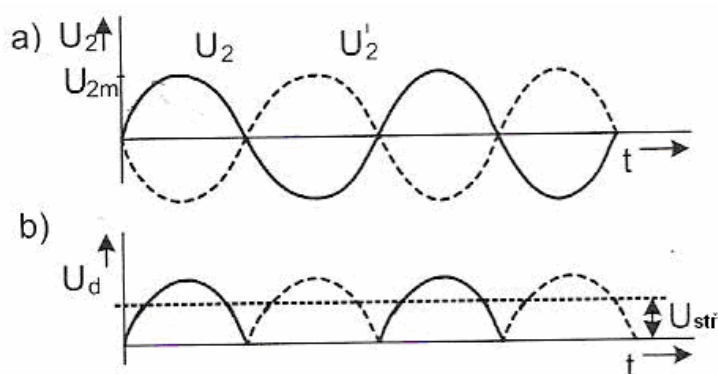
Princip činnosti:

Bude-li na horní straně sekundárního vinutí $+$ a na dolní straně $-$ prochází obvodem i_{F1}

Od horního konce vinutí transformátoru, diodou D_1 a přes zátěž R_z se vrací na vyvedený střed sekundárního vinutí. Při opačné půlperiodě vstupního napětí tzn. budeli na horní straně sekundárního vinutí $(-)$ a na spodní straně $(+)$, prochází obvodem proud i_{F2} od spodního konce vinutí transformátoru, diodou D_2 a zátěží R_z se vrací na střed sekundárního vinutí.



Dvoucestný usměrňovač



a) Průběhy napětí na diodách

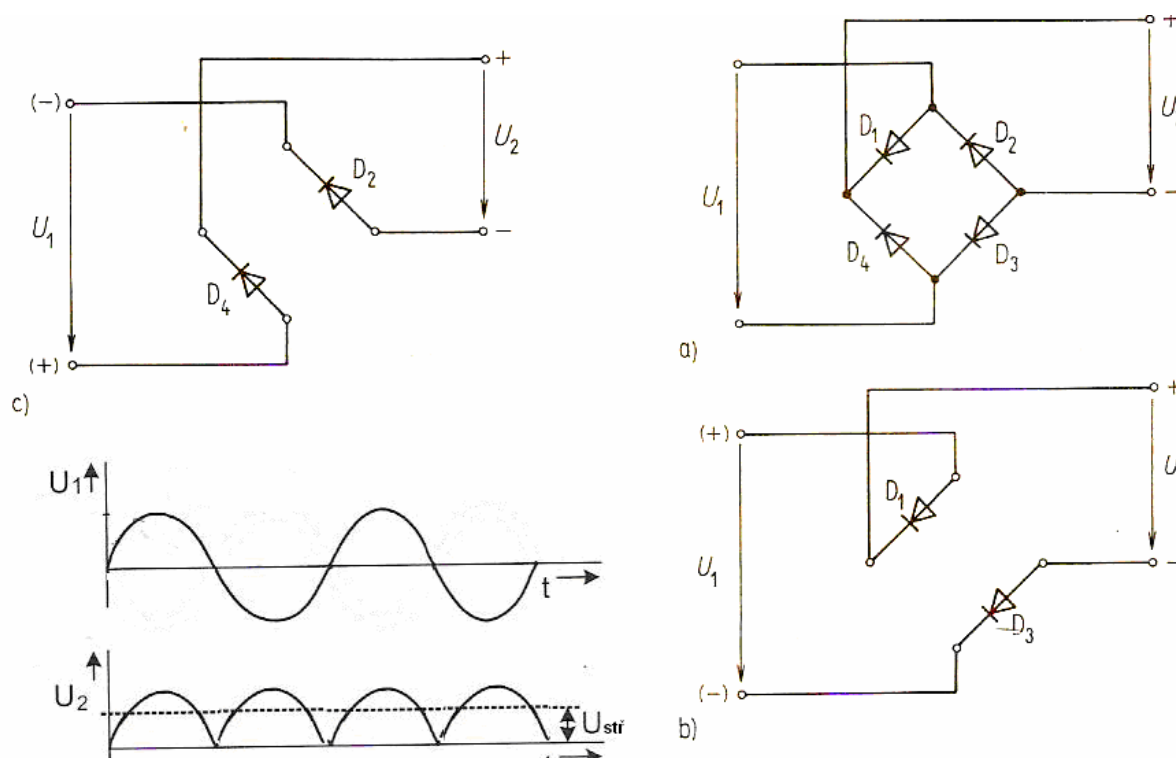
b) výstupní průběhy napětí

Střední hodnota u usměrňovače se vypočte takto:

$$U_{2stř} = 0,9 \cdot U_{1ef}$$

Dvoucestný usměrňovač – usměrňovací můstek

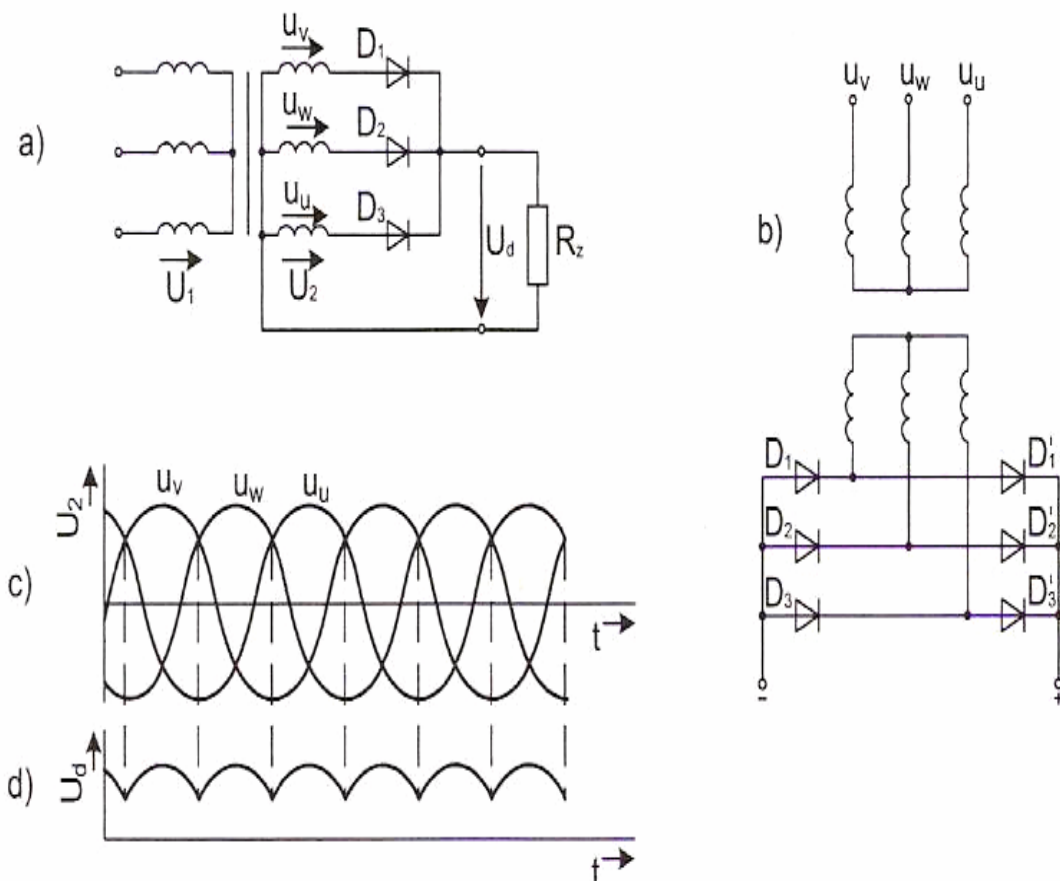
Představme si, že v první půlperiodě střídavého napětí je na horní svorce usměrňovacího můstku kladné napětí. Diody D1 a D3 jsou otevřené, takže může procházet proud, jehož průběh je na (obrázku b). Polarita napětí na výstupních svorkách je patrná z obrázku. Diody D2 a D4 jsou zavřené. Při následující půlperiodě střídavého proudu je na horní svorce usměrňovacího můstku záporné napětí a na dolní svorce je však kladné napětí (obrázek). Nyní jsou otevřeny diody D2 a D4, které na horní výstupní svorku přivádějí kladné napětí a na dolní svorku záporné napětí. Na horní svorce (obrázku a) je tedy trvale kladné napětí, na dolní svorce záporné napětí.



Obrázek b- Můstkový usměrňovač

Trojfázové usměrňovače

Napájecí trojfázový transformátor je zapojen do hvězdy. Usměrňovač si můžeme představit jako tři samostatné jednocestné usměrňovače, které postupně usměrňují fázově posunutá napětí z výstupních vinutí transformátoru. Zvlněné usměrněné napětí má trojnásobnou frekvenci než má napájecí napětí. Stejným způsobem je možno zapojit usměrňovače s vyšším počtem fází (6, 12). Zvětšováním počtu fází vzrůstá frekvence zvlnění, klesá amplituda zvlnění U_{zv} a usměrněné napětí stále více i bez použití kondenzátoru paralelně zapojeného k zátěži, se blíží svým průběhem čistě stejnosměrnému napětí.



Trojpulsní uzlové usměrňovače a) schéma zapojení jednocestného trojpulsového usměrňovače, b) můstkové zapojení trojfázového usměrňovače, c) průběhy napětí na vstupu usměrňovače, d) průběh napětí na zátěži R_z

Vyhlazovací filtry

Filtrace v usměrňovačích

Usměrněné napětí za usměrňovačem není stálé jako např. stejnosměrné napětí z akumulátoru, ale je zvlněné. Průběh tohoto zvlnění je závislý na typu usměrňovače. Elektronické obvody vyžadují stejnosměrné napájecí zdroje s malým zvlněním. Ta usměrňovače je nutné zařadit filtr, který zvlnění potlačí. Volba typu filtru záleží na velikosti odebíraného proudu a na tom jak je dokonale třeba zvlnění usměrněného napětí vyhladit. Velikost zvlnění se vyjadřuje činitelem zvlnění.

Kde U_m je špičková hodnota střídavé složky v usměrněném napětí, U_d stejnosměrné napětí. Schopnost filtru potlačit zvlnění definuje činitel filtrace F .

Je dán vztahem:
$$F = \frac{U_{1\max}}{U_{2\max}}$$

kde $U_{1\max}$ je maximální hodnota střídavé složky(zvlnění před filtrem) před filtrem

$U_{2\max}$ je maximální hodnota střídavé složky(zvlnění před filtrem) za filtrem

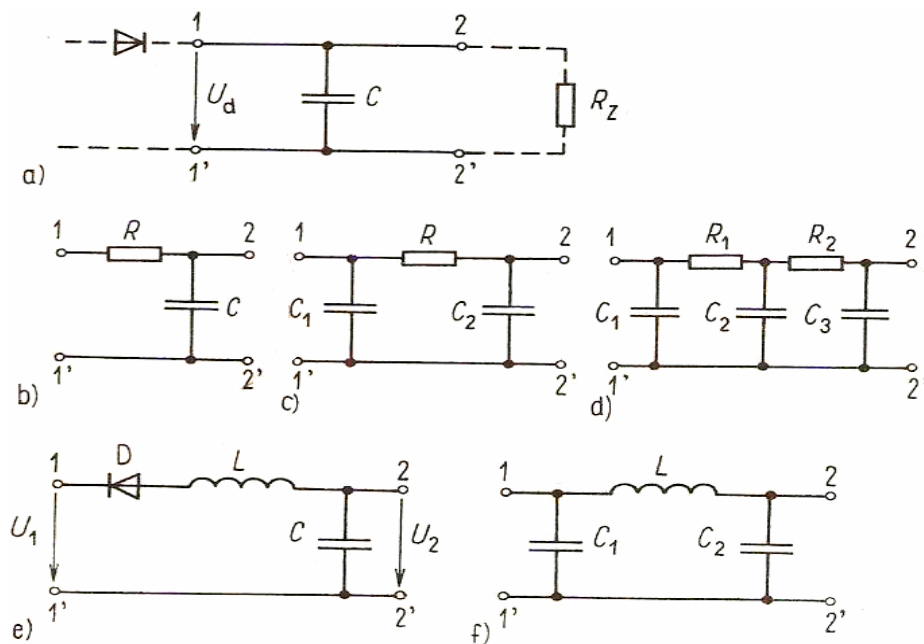
Filtrační členy

K filtraci usměrněného napětí se používají různé pasivní, aktivní součástky a jejich kombinace. Na obrázku a je filtr tvořený pouze kapacitou. Kondenzátor C se někdy nazývá nárazový. Činitel filtrace a hodnota napětí U_2 jsou velmi závislé na zátěži R_z . Usměrnovací dioda je velmi namáhána proudovými špičkami, kterými se dobíjí kondenzátor.

Na obrázku b je filtr RC . Rezistor omezuje vrcholy průběhu proudu, filtrace je v porovnání s kapacitním filtrem lepší. Výstupní napětí je velmi měkké. Filtr složený z jednoho článku CRC je na obrázku c. Filtrační účinek se stejnou hodnotou celkové kapacity je lepší než v předcházejícím případě. Nestačí-li konfigurace podle obrázku řadí se více článku CR za sebou. Tak vznikne filtr na obrázku d.

Na obrázku e je filtr LC . Indukčnost tlumivky omezuje proudové nárazy neboť prodlužuje dobu nabíjení kondenzátoru.

Na obrázku f je zapojení filtru CLC . Tento typ filtru se v menších elektronických přístrojích používal (v rozhlasových přijímačích). Nevýhodou je, že indukčnost musí být poměrně velká.



Obrázek a- Filtrační členy

Filtry RC

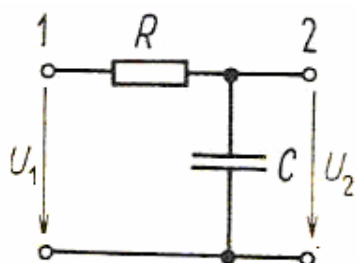
Filtry RC patří k pasivním filtrům. V podélné větvi mají rezistory R, v příčné větvi mají kondenzátory C. Nazývají také odporové filtry. Filtry RC pracují jako děliče složený z rezistoru R a kondenzátoru C.

Pro činitel filtrace platí vztah:

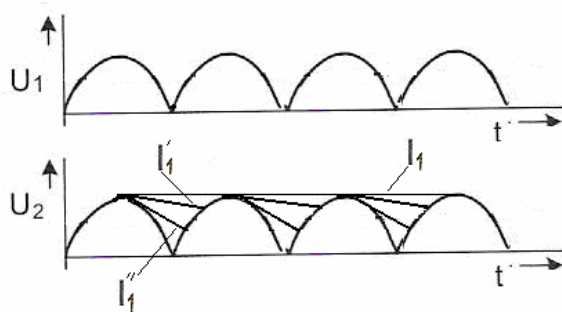
Tento vztah si vyjádříme –

$$F = \frac{\Delta U_{1\max}}{\Delta U_{2\max}} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{R + X_c}{X_c} = \frac{R + \frac{1}{\omega C}}{\frac{1}{\omega C}} = \left(R + \frac{1}{\omega C} \right) \cdot \frac{\omega C}{1} = \frac{R\omega C}{1} + 1 = R\omega C + 1$$

$$F = R\omega C + 1$$



Filtr RC



charakteristiky RC

$$I_1 = 0$$

$$I_1' < I_1''$$

Filtry LC

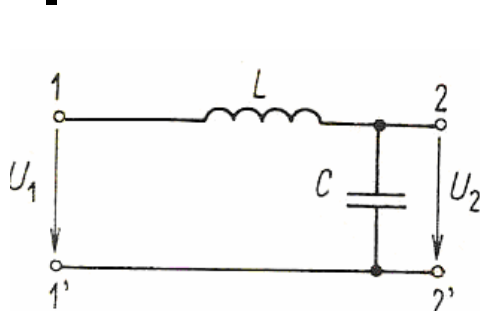
Filtry LC jsou jednoduché, ale mají tu nevýhodu, že na rezistoru R filtru vznikají poměrně velké ztráty stejnosměrného výkonu. Proto se k filtraci malých proudů používají filtry LC. Filtry LC pracují jako dělič složený z cívky L a kondenzátoru C.

Pro činitel filtrace platí vztah:

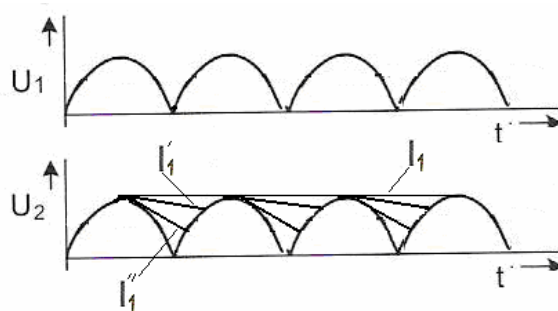
Tento vztah si vyjádříme –

$$F = \frac{\Delta U_{1\max}}{\Delta U_{2\max}} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{X_L - X_C}{X_C} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{\frac{1}{\omega C}} = \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \cdot \frac{\omega C}{1} = \omega L \omega C - 1 = \omega^2 LC - 1$$

$$F = \omega^2 LC - 1$$



Filtr LC



charakteristiky LC

$$I_1 = 0$$

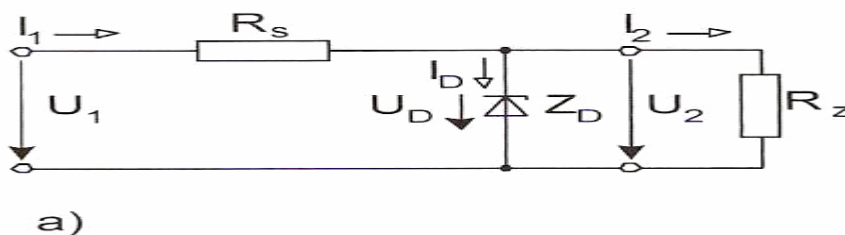
$$I_1' < I_1''$$

Stabilizátory napětí

Jejich úkolem je udržovat stálé napětí na zátěži buď při kolísajícím napětí zdroje nebo při změnách zatěžovacího proudu. Zapojují se mezi napájecí zdroj a zátěž. Používají se tři způsoby stabilizace stejnosměrného výstupního napětí. Jedná se o tyto stabilizátory:

- Pasivní – využívají ke stabilizaci nelineární prvek, dosahují malé účinnosti, používají se jako zdroje referenčního napětí nebo pro napájení přístrojů s malým odběrem.
- Aktivní – využívají ke stabilizaci zpětnovazební obvod. Pracují na základě dvou principů: - spojitě regulace, mají střední účinnost, používají se pro přístroje s malým a středním odběrem.
- Pulsní regulace – její účinnost je 65 – 80% a používají se pro napájení digitálních obvodů

Pasivní stabilizátory – u pasivních stabilizátorů se využívá nelineární V-A charakteristiky nelineárních prvků, především Zenerovy diody. Tyto stabilizátory se Zenerovou diodou používají tam, kde není velký odběr proudu. Zenerova dioda je zvláštním typem diody, u které je technologickou úpravou dosaženo toho, že průrazné napětí v závěrném směru má hodnotu jednotky voltů a že tento průraz není destruktivní. Dioda je zapojena do obvodu tak, že její pracovní bod je právě v oblasti tohoto průrazu.

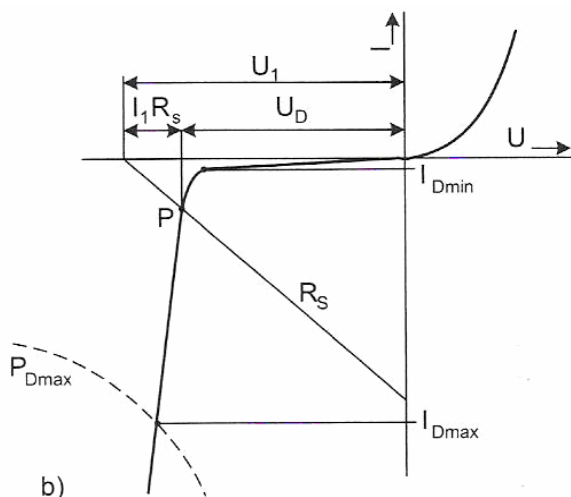


Obrázek a- Stabilizátor se Zenerovou diodou

Ze zapojení na (obrázku a) je zřejmé, že stabilizační dioda je polarizovaná v závěrném směru a je připojena paralelně k zatěžovacímu odporu R_z . Mezi tímto obvodem a stejnosměrným zdrojem je zapojen sériově rezistor R_s . průsečík V-A charakteristiky tohoto rezistoru se závěrnou charakteristikou diody určuje pracovní bod stabilizátoru. je zřejmé, že platí :

$$I_1 = I_D + I_2 \text{ a dále } U_1 = I_1 R_s + U_d$$

Proud diodou nesmí klesnout pod I_{Dmin} , neboť dioda v koleně své charakteristiky ztrácí stabilizační vlastnosti. Dále tento proud nesmí vzrůst na I_{Dmax} , neboť je tato hodnota stanovená výrobcem. Bude-li stabilizátor zatížen rezistorem R_z , proud I_D se sníží o proud I_2 . Nenulová hodnota vnitřního odporu diody R_D způsobuje sklon pracovní části V-A charakteristiky, a tím změny výstupního napětí stabilizátoru při změně zatěžovacího proudu.



Obrázek b- Činnost parametrického stabilizátoru

Návrh stabilizátoru:

Návrh stabilizátoru se rozumí

Volba správného typu Zenerovy diody.

a) Napětí zenerovo je stejné jako výstupní napětí

b) Výkon (strátový výkon) Zenerovy diody volíme stejné nebo větší než je výkon procházející do zátěže.

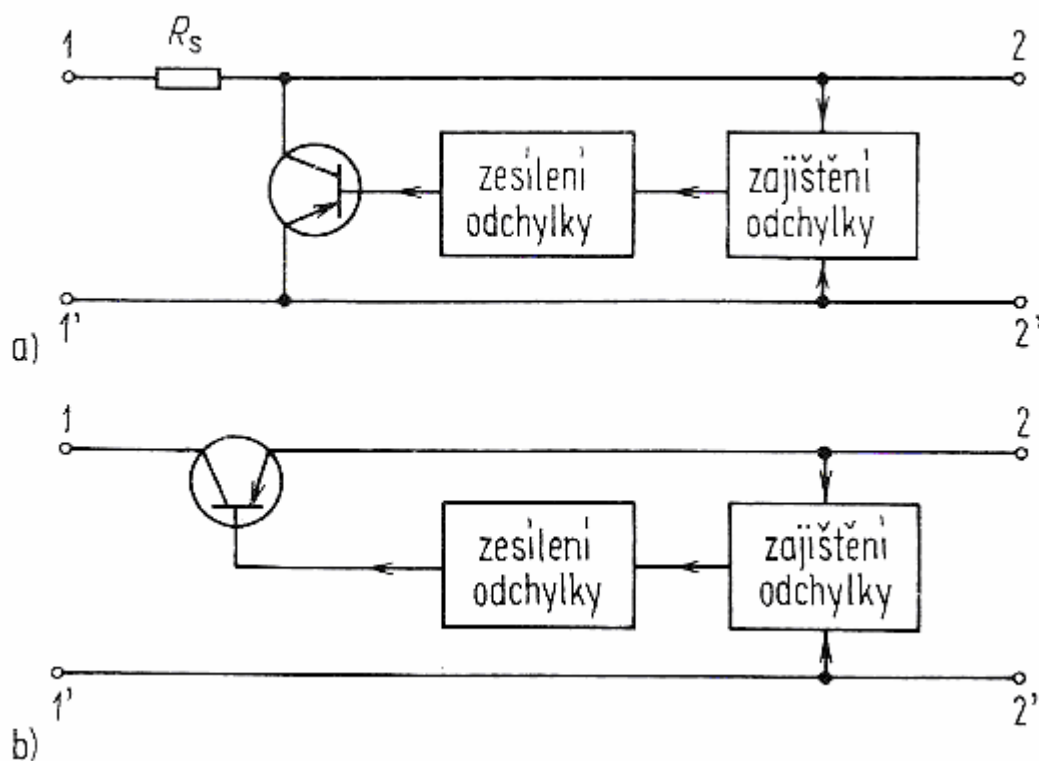
c) Proud tekoucí zenerovou diodou by měl být stejný nebo větší než proud do zátěže

d) Výpočet předřadného rezistoru.

$$R_p = \frac{U_1 - U_2}{I + I_D}$$

Tranzistorové stabilizátory

Principem tranzistorových stabilizátorů stejnosměrného napětí je porovnávání výstupního napětí se stabilním referenčním napětím. odchylka napětí se zesílí, a tak přivírá nebo otevírá stabilizační tranzistor, který mění svou vodivost. Tím se kompenzuje odchylka požadované hodnoty výstupního napětí. Používají se dvě základní zapojení: se stabilizačním tranzistorem zapojeným paralelně nebo zapojeným do série. Na obrázku a je zapojení s paralelně řazeným stabilizačním tranzistorem, který tu zastupuje funkci stabilizační diody. Tranzistor mění svou vodivost (svůj odpor) podle hodnoty odchylky napětí U_2 , a tím se mění úbytek na stabilizačním rezistoru R_s , a napětí U_2 se stabilizuje. Stabilizátory se sériovým stabilizačním tranzistorem obrázek b, který představuje proměnný rezistor R_s z předcházejícího zapojení.



Princip zapojení stabilizátoru se stabilizačním tranzistorem a) Paralelní, b) sériový

Zesilovače

Jedná se o elektronické obvodové systémy, které nám slouží k zesílení slabých elektronických signálů. Při zesilování se zvětšuje pouze amplituda signálu, tvar a frekvence zůstávají nezměněny.

Rozdělení zesilovačů

Zesilovače rozdělujeme:

a) stejnosměrné zesilovače

b) nízkofrekvenční - zesilují frekvence v pásmu od 20Hz do 20000Hz (pásma slyšitelné)

c) vysokofrekvenční - Pracují v úzkých frekvenčních pásmech okolo nosné frekvence.

b) podle velikosti vstupního signálu :

1. předzesilovače – zesilují signály malé úrovně (anténní zesilovače)

2. výkonové zesilovače – chceme od nich velké výkonové zesílení

c) podle šířky přenášeného pásma:

1. úzkopásmové – šířka přenášeného frekvenčního pásma je malá vzhledem ke střední frekvenci.

2. širokopásmové – vzhledem ke střední frekvenci zesilují velmi široké pásmo

d) podle pracovních tříd – jsou dány polohou pracovního bodu na charakteristikách, jsou čtyři třídy A, B, AB, C

Základní parametry zesilovače

Hybridní parametry:

Vstupní odpor

$$h_{11E} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B}$$

Zpětný napěťový přenos

$$h_{12E} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{CE}}$$

Proudový zesilovací činitel

$$h_{21E} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

Výstupní vodivost

$$h_{21E} = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{CE}}$$

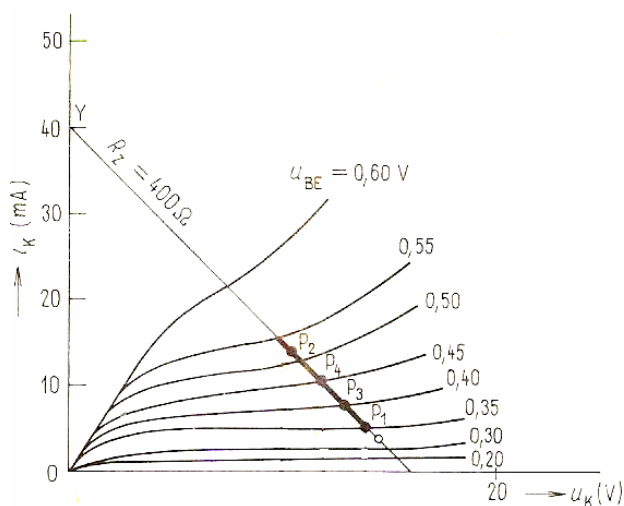
Nastavení a stabilizace pracovního bodu zesilovače

Nastavení pracovního bodu:

K nastavení pracovního bodu zesilovače si nejprve musíme sestrojit zatěžovací přímku. Tato přímka se sestavuje ve výstupní charakteristice zesilovače. A to propojením dvou bodů:

1. Bod X leží na ose x (U_{CE}). Pro tento bod platí, že $I_C = 0$ a $U_{CE} = U_{CC}$.
2. Bod Y leží na ose y (I_C). Pro tento bod platí, že $U_{CE} = 0$ a I_C je maximální.

Na zatěžovací přímce si zvolíme pracovní bod, podle toho jaké máme požadavky na zesilovač.



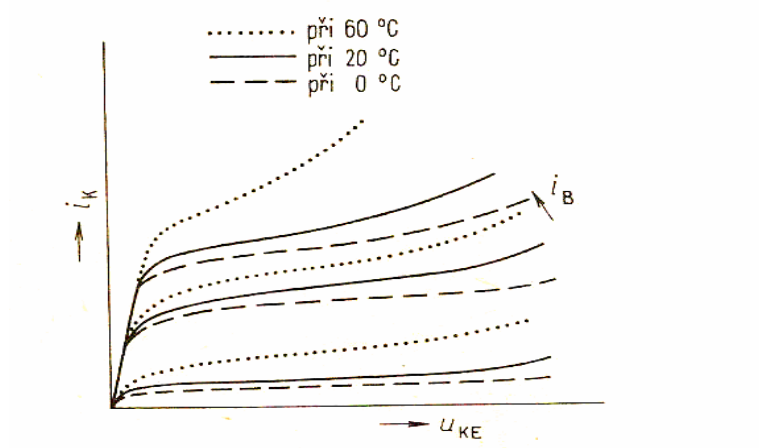
Obrázek a- Volba zatěžovací přímky

Např.

1. Chceme-li, aby pracoval úsporně, volíme bod P1.
2. Chceme-li, aby pracoval lineárně volíme bod P3.
3. Chceme-li, aby dosáhl co největšího zesílení. Pracovní bod posuneme co nejvýše, zvolíme bod P2.
4. Potřebujeme-li zesílit signál s velkým rozkmitem, výstupní signál bude mít velký rozkmit. Aby nedošlo k ořezávání signálu, musíme pracovní bod volit na zatěžovací přímce uprostřed mezi charakteristikami. Zvolíme pracovní bod P4.

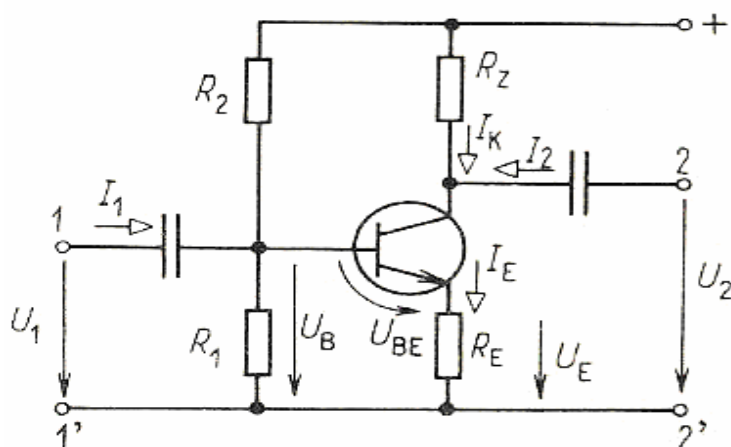
Stabilizace:

Tranzistor má tuto nevýhodu: s teplotou se mění jeho parametry. Na obrázku jsou tři výstupní charakteristiky tranzistorů. Při teplotě 20°C, 60°C, a 0°C. Tranzistorový zesilovač mění na základě teploty své vlastnosti. Pracovní bod se změnou teploty mění svou polohu. Tranzistor se svou činností zahřívá a to zvětšuje závislost pracovního bodu. Tato vlastnost se nazývá **teplotní nestabilita**.



Obrázek a- Teplotní závislost výstupních charakteristik a převodních charakteristik tranzistorů

Tranzistorový zesilovací stupeň a teplotní stabilizace pracovního bodu.



Napětí na bázi je nastaveno děličem $R_1 - R_2$, např. $U_B = 2V$. Proud procházející tranzistorem a rezistore R_E se na emitoru tranzistoru automaticky nastaví napětí, aby tranzistor byl otevřený. Teplotní změny způsobují změny proudu tranzistoru. Tyto změny kompenzujeme úbytkem napětí na rezistoru R_E . Např. zvětšení proudu I_k a tím I_e způsobí zvýšení napětí U_e , tím se zmenší rozdíl napětí U_{be} a to zpětně působí zmenšení proudu I_e a I_k .

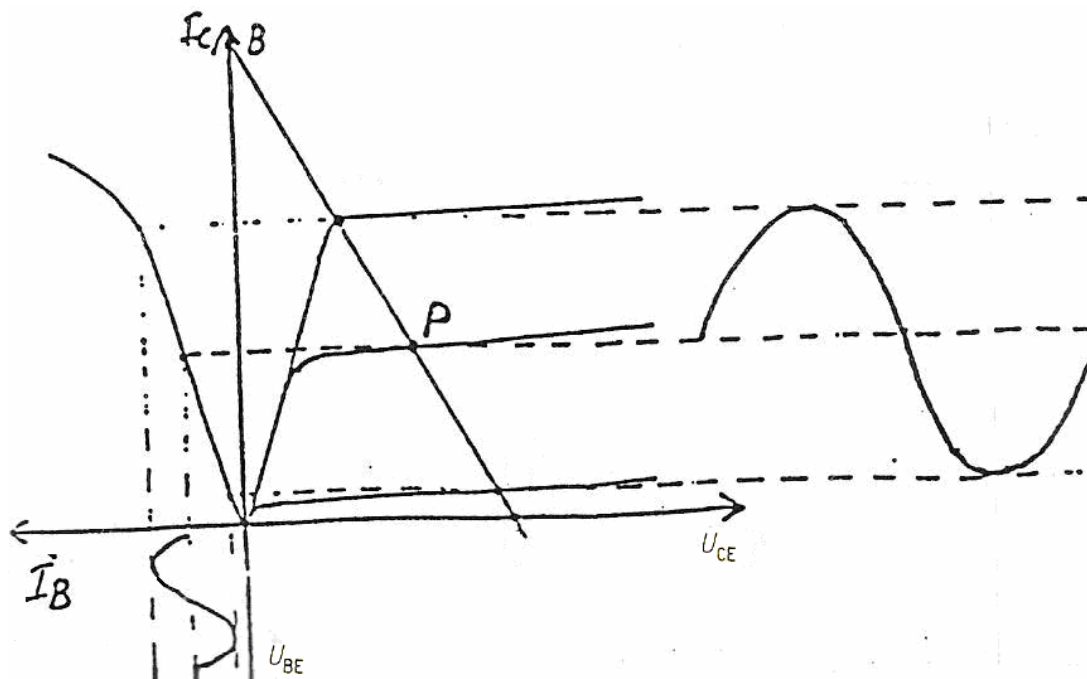
Pracovní třídy zesilovačů

a) Zesilovač třídy A

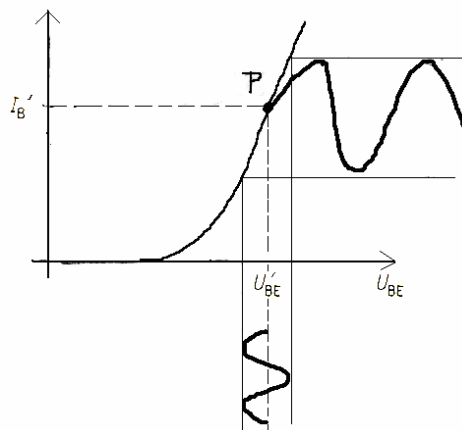
Je charakterizován tím, že tranzistorem prochází proud po celou dobu periody vstupního střídavého signálu. Zesilovač třídy A má nejmenší zkreslení a zároveň má, ale i malou energetickou účinnost.

-Pracovní bod zesilovače třídy A je umístěn pokud možno v lineární části.

-Zesilovač třídy A je otevřen a zesiluje obě polarity.



Zesilovače třídy A na výstupních charakteristikách

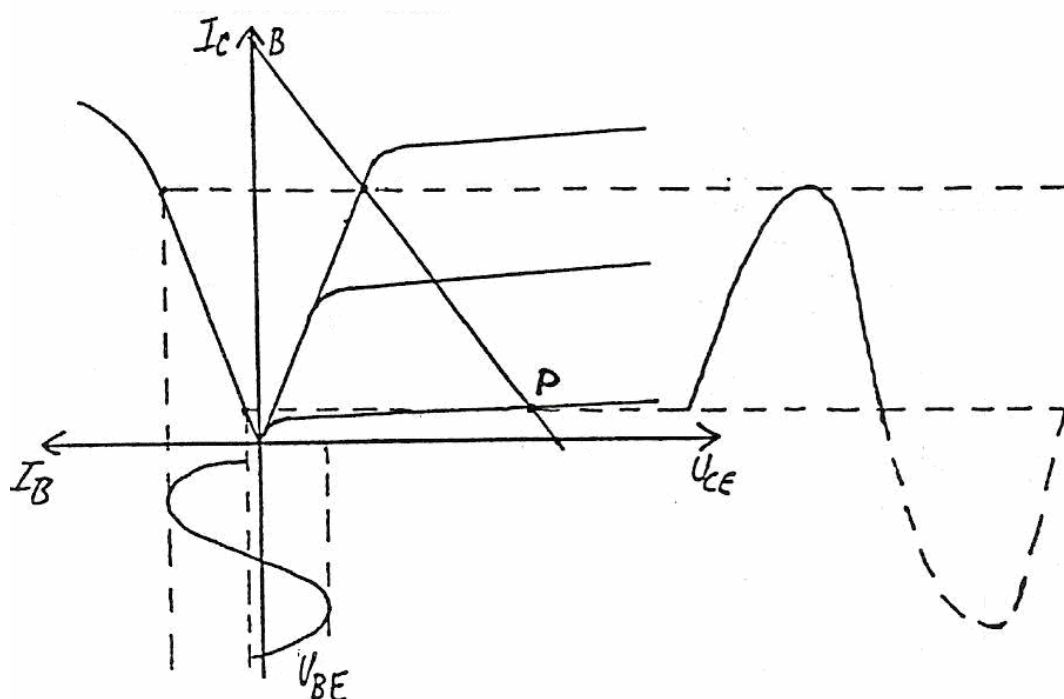


Zesilovače třídy A

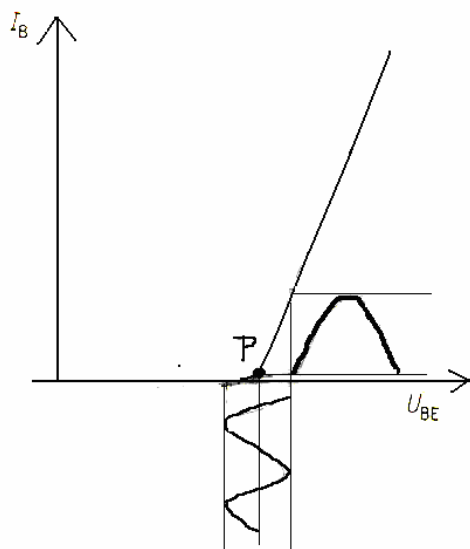
b) Zesilovač třídy B

Je charakterizován tím, že jím prochází elektrický proud přesně po dobu poloviny periody. Zesiluje pouze polovinu sinusového průběhu přivedeného na vstup

- Pracovní bod zesilovače ve třídě B je umístěn na hranici otevření.
- tranzistor zesiluje pouze jednu polaritu.



Zesilovače třídy B na výstupních charakteristikách

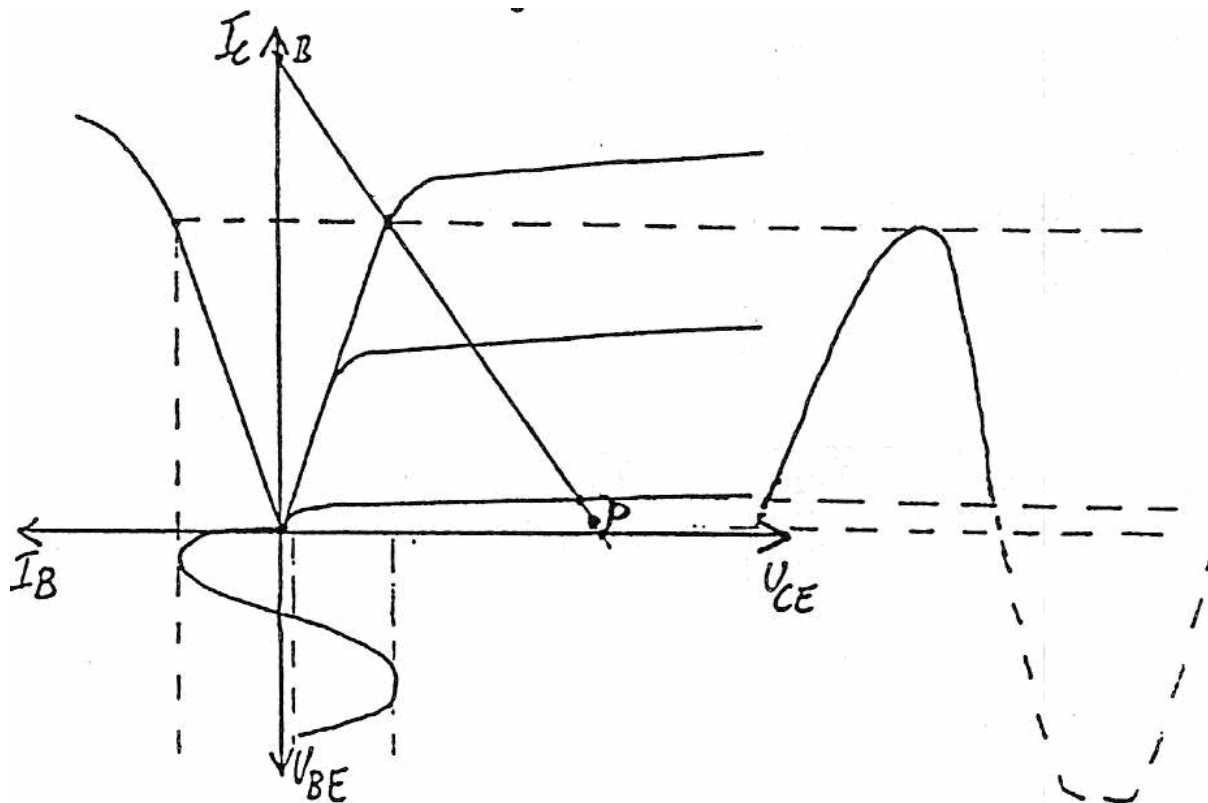


Zesilovač ve třídě B

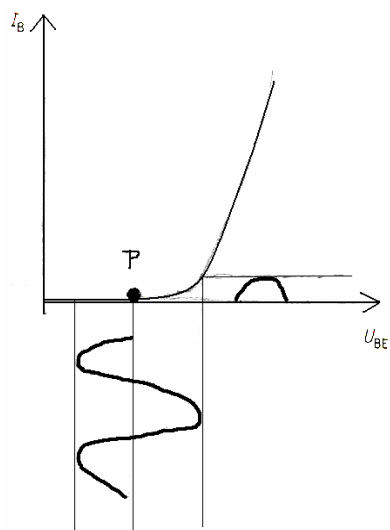
c) **Zesilovač třídy C**

V pracovní třídě C zesilovače je klidový pracovní bod tranzistoru posunut za bod zániku kolektorového proudu. Větší amplitudy vstupního napětí otevírají tranzistor, který propouští a zesiluje méně než polovinu vstupního sinusového signálu

-Zesilovač zesiluje pouze část jedné polarity.

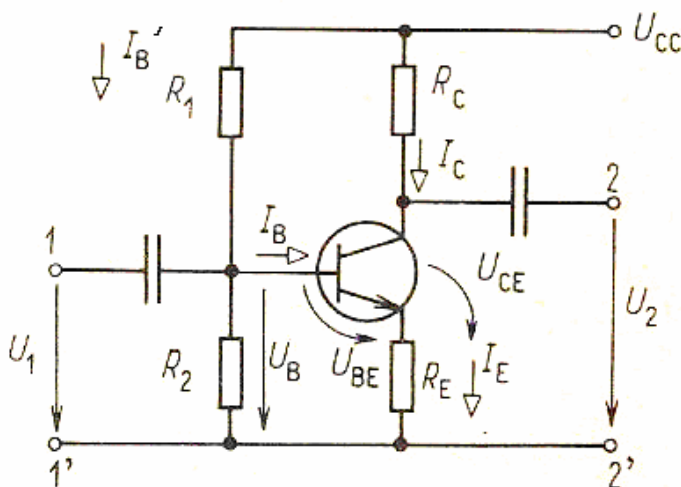


Zesilovače třídy C na výstupních charakteristikách



Zesilovač ve třídě C

Jednostupňový zesilovač



Obrázek a- Jednostupňový zesilovač

Funkce:

Kondenzátory C1 a C2 odfiltrují stejnosměrnou složku od střídavé složky.

Rezistory R1 a R2, které jsou zapojeny do děliče nastavují pracovní bod.

Rezistor R3 = pracovní impedance převádí změny proudu I_C na změny úbytku napětí.

Rezistor R4 = tepelná stabilizace. Pokud není R4 připojen výstupní charakteristiky se vlivem zahřívání tranzistoru mohou posunout.

Návrh jednostupňového zesilovače:

$$U_{CC}=38V \quad U_{BE} = 0,6V$$

$$I_C=122mA \quad U_{RE} = 1V$$

$$\beta = 120 \quad A_U = ?$$

$$I_B = 5 \cdot I_B$$

Nejprve si vypočteme proud na bázi

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{0,122}{120} = 0,001016A$$

Dále vypočteme napětí U_{RC}

$$U_{RC} = \frac{U_{CC}}{2} = 19V$$

Když jsme vypočítali U_{RC} můžeme zjistit napětí kolektor emitor (U_{CE})

$$U_{CE} = U_{CC} - U_{RC} - U_{RE}$$

$$U_{CE} = 38 - 19 - 1$$

$$U_{CE} = 18V$$

Součtem napětí $U_{BE} + U_{RE}$ zjistíme napětí U_1

$$U_1 = U_{BE} + U_{RE}$$

$$U_1 = 0,6 + 1$$

$$U_1 = 1,6V$$

Součtem napětí $U_{CE} + U_{RE}$ zjistíme napětí U_2

$$U_2 = U_{CE} + U_{RE}$$

$$U_2 = 18 + 1$$

$$U_2 = 19V$$

Napětí U_{R1} zjistíme že $U_{CC} - U_1$

$$U_{R1} = U_{CC} - U_1$$

$$U_{R1} = 38 - 1,6$$

$$U_{R1} = 36,4V$$

Po zjištění všech napětí můžeme vypočítat odpory

$$R_C = \frac{U_{RC}}{I_C} = \frac{19}{0,122} = 155\Omega$$

Dále vypočítáme Proud I_E . Abychom potom mohli vypočítat odpor R_E

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_E = 0,001016 + 0,122$$

$$I_E = 0,123A \quad 123mA$$

$$R_E = \frac{U_{RE}}{I_E} = \frac{1}{0,123}$$

$$R_E = 8,129\Omega$$

Pak se vypočítá Proud baze s čarou a proud baze s dvěma čarami

$$I_B' = 5 \cdot I_B = 5 \cdot 0,001016$$

$$I_B' = 5,08 \cdot 10^{-3} A$$

$$I_B'' = I_B' - I_B$$

$$I_B'' = 5,08 \cdot 10^{-3} - 0,001016$$

$$I_B'' = 4,064 \cdot 10^{-3} A \quad 4,064mA$$

Poté zjistíme odpory R_1 a R_2

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{I_B'} = \frac{36,4}{5,08 \cdot 10^{-3}}$$

$$R_1 = 7165\Omega \quad 7,16K\Omega$$

$$R_2 = \frac{U_1}{I_B''} = \frac{1,6}{4,064 \cdot 10^{-3}}$$

$$R_2 = 393\Omega$$

Nakonec vypočítáme zesílení

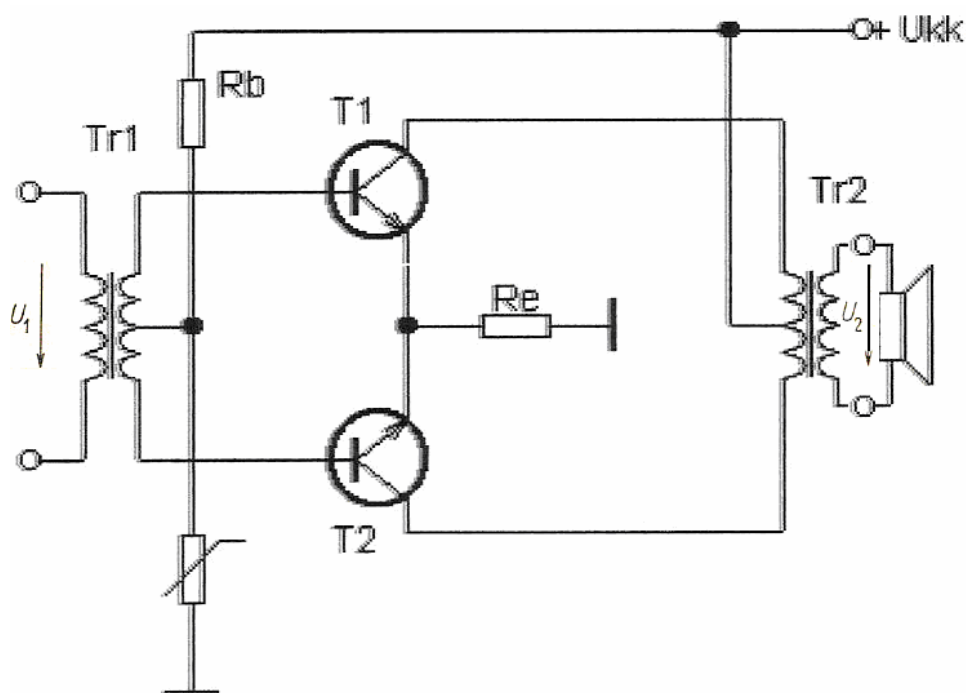
$$A_U = \frac{U_2}{U_1} = \frac{19}{1,6} = 11,875$$

$$A_U = 20 \log \frac{U_2}{U_1} = 20 \log \frac{19}{1,6} = 21,5 \text{ dB}$$

Výkonové zesilovače

Úkolem výkonových zesilovačů (koncových) je zesílit signál předzesilovačů na výkon požadovaný zátěží (reproduktory) připojeny pomocí výstupního transformátoru nebo bez něj.

Používá se dvojčinné zesílení, kde se zesiluje kladná půlvlna zvlášť a záporná taky zvlášť. Proto je nutné použít 2 zesilovače třídy B zapojené paralelně.

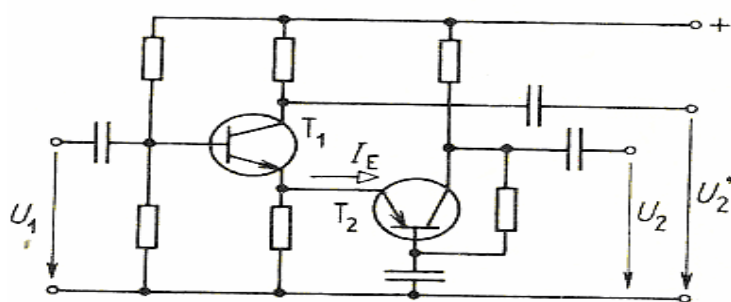


Obrázek a- Tranzistorový dvojčinný zesilovač s výstupním transformátorem

Činnost zesilovače

Transformátor Tr1 slouží kpro získání dvou symetrických signálů posunutých fázově o 180°. Při kladných půlvlnách se otevírá tranzistor T1 při záporných tranzistor T2.

Ve výstupním transformátoru Tr2 se zesílené kolektorové proudy sčítají.



Obrázek b- Invertující zesilovač

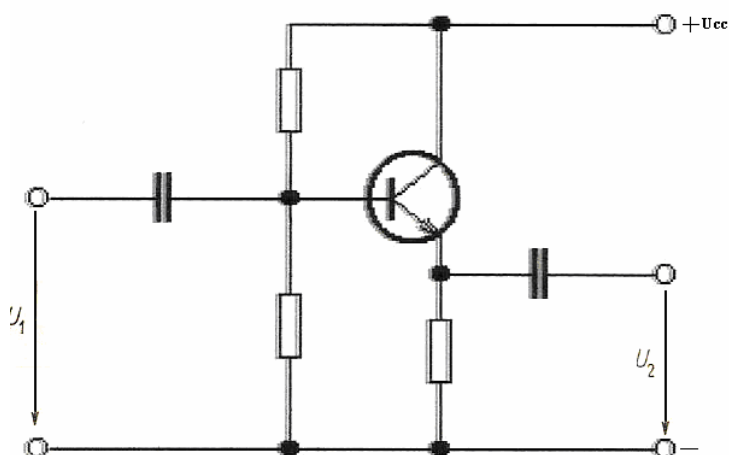
Pro buzení výkonových dvojčinných zesilovačů a pro získání invertovaného signálu, se používá zapojení s tranzistorovým invertorem bez transformátoru.

Tranzistor T_1 je zapojen se společným emitorem, tranzistor T_2 se společnouází. Signálový proud I_E na emitoru je ve shodné fázi s napětím U_1 a budí emitor tranzistoru T_2 . Signál na kolektoru tranzistoru T_2 je v opačné fázi než signál na kolektoru tranzistoru T_1 . Výstupní signál U_2 má proto opačnou fázi než výstupní signál.

Emitorový sledovač

Napětí vzniká na emitorovém odporu, ale nízké hodnoty (menší než vstupní). Tranzistor pracuje se 100% proudovou zpětnou vazbou. Napětí se odvádí z emitoru a proto nedochází k fázovému posunu. Proudové zesílení je přímo úměrné zesilovacímu činiteli tranzistoru.

Výhoda: Velký vstupní odpor (nezatěžuje předchozí obvody), nízký výstupní (přenos signálu na velké vzdálenosti) odpor



Obrázek c- Zesilovač s emitorovým sledovačem

Darlingtonův zesilovač

Funguje jako jeden tranzistor s extrémně velkým zesilovacím činitelem a obvykle se značným výkonem. Tranzistor T_2 ve funkci emitorového sledovače je galvanicky připojen k bázi tranzistoru T_1 zapojeného se společným emitorem. Tranzistor T_2 má mít velký zesilovací činitel s minimálním zbytkovým proudem. Od tranzistoru T_2 nepožadujeme výkon, zatím co tranzistor T_1 je zpravidla výkonový typ.

Zesilovací činitel odpovídá součinu zesilovacích činitelů obou tranzistorů, však zbytkový proud tranzistoru prvního tranzistoru se však násobí zesilovacím činitelem tranzistoru T_1 .

Snad téměř všichni výrobci tranzistorů vyrábějí Darlingtonovu dvojici jako kompaktní tranzistor v pouzdře se třemi vývody, odpovídající svou funkcí skutečnému tranzistoru.

Vysokofrekvenční zesilovače

Zesilují elektrické signály jen v určitém pásmu. Signály s frekvencí mimo toto pásmo jsou potlačeny. Ve vysokofrekvenčním zesilovači se využívají vlastnosti paralelního rezonančního laděného obvodu.

Ve vysokofrekvenčním zesilovačích se využívá vlastností paralelního rezonančního obvodu.

Paralelní rezonanční obvod tvoří selektivní zátěž naladěnou na střední frekvenci zesilovaného frekvenčního pásma. Stejnoseměrný pracovní bod je nastaven rezistory R_{B1} , R_{B2} a $R_E * R_V$ je vstupní odpor následujícího obvodu.

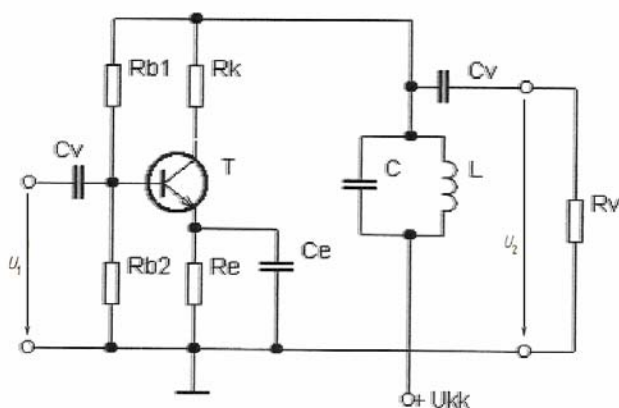
Impedance laděného obvodu je veličina frekvenčně závislá, která ve stavu rezonance nabývá maxima a má čistě reálný charakter. Zesílení zesilovače určuje jednak zesílení tranzistoru T , ale i rezonanční impedance laděného obvodu. Činitel jakosti tohoto obvodu určuje šířka přenášeného pásma.

Zesílení je největší ve středu pásma (pro rezonanční frekvenci)

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

a pro nižší a vyšší frekvence klesá. Šířka pásma je dána poklesem zesílení o -3 dB. na každou stranu od rezonanční frekvence.

Popsaný zesilovač se značně liší od požadovaného (ideálního) stavu. Při velkém činiteli jakosti Q je malá šířka přenášeného pásma a při malém činiteli jakosti Q je nevyhovující selektivita (neostrý přechod mezi potlačenými a požadovanými kmitočty.)



Obrázek a- Vysokofrekvenční zesilovač

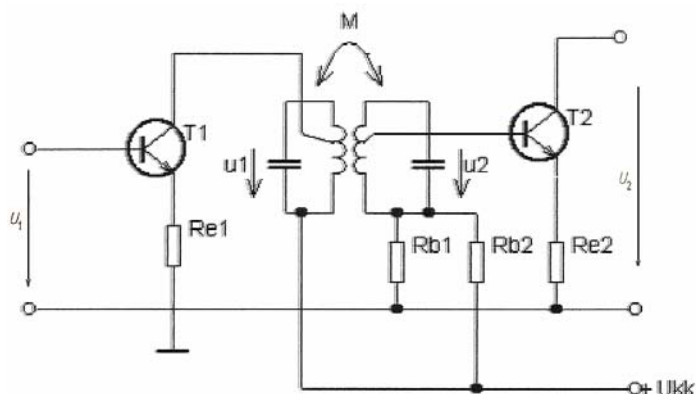
VF zesilovač s vázanými rezonančními obvody

Pro jakostní vysokofrekvenční zesilovače se používají tzv. vázané rezonanční obvody. Jedná se o zesilovač s větší šířkou pásma. Přenos energie ze vstupního do výstupního obvodu určuje činitel vazby mezi rezonančními obvody, které lze nastavit vzájemnou indukčností M . Stupeň vazby upravuje tvar rezonanční křivky na tzv. vazbu kritickou, nadkritickou a podkritickou.

Největší šířku pásma má vazba nadkritická.

Vlastnosti zesilovače jsou dány zesílením tranzistorů, ale i vázanými laděnými obvody.

Pomocí odboček na vinutí laděného obvodu se zmenšuje tlumící vliv tranzistoru na laděný obvod.

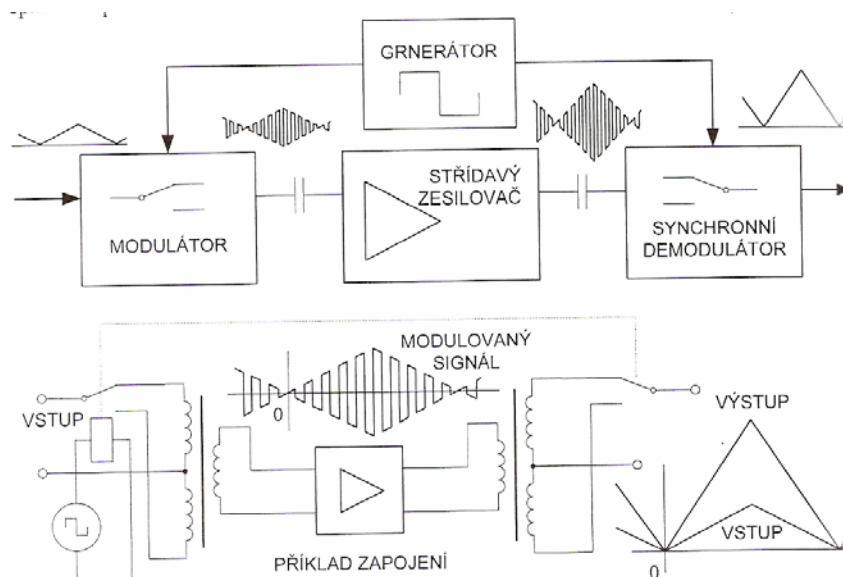


Obrázek b- VF zesilovač s vázanými rezonančními obvody

Stejnoseměrné zesilovače

Stejnoseměrné zesilovače se nejčastěji používají v měřicích a regulačních obvodech. Jsou konstrukčně složitější, protože u nich nelze kondenzátory oddělit nastavením pracovních bodů. Nejvíce problémů je při zesilování velmi slabých signálů, protože vstupní napětí je srovnatelné se stejnosměrnou nestabilitou. Někdy se tento problém řeší převedením stejnosměrného signálu na střídavý signál.

U jednoduchého elektromechanického řešení přepínací kontakt relé připojuje vstup střídavě s opačnou polaritou na primární vinutí transformátoru. Tím se z původně stejnosměrného napětí stane napětí střídavé, které se transformuje. Po zesílení se stejným způsobem převede zpět na stejnosměrné napětí.



Obrázek a- Modulační zesilovač malých stejnosměrných signálů

Operační zesilovače

Je to stejnosměrný širokopásmový zesilovač s velkým zesílením. Využitím vnějších součástek, které upravují vlastnosti a to hlavně zpětnou vazbu, lze realizovat různé přenosové funkce (lineární, nelineární).

Základní vlastnosti ideálního OZ:

1. Nekonečný vstupní odpor.
2. Nekonečně velké napěťové zesílení.
3. Nulový výstupní odpor.

Operační zesilovač zesiluje rozdílové napětí mezi invertujícím a neinvertujícím vstupem, součtové napětí potlačuje. Výstupní napětí má vždy konečnou hodnotu, takže při nekonečně velkém zesílení se vstupní napětí blíží nule.

Za předpokladu, že OZ není přebuzen, platí vždy, že na obou vstupech je vždy stejné napětí.

Invertující zesilovač

Při odvození přenosu tohoto zapojení uvažujeme, že napětí na obou vstupech je stejné (v daném případě 0) a proud tekoucí do OZ je nulový.

Potom platí:

$$I_1 = -I_2$$

$$\frac{U_1}{R_1} = -\frac{U_2}{R_2}$$

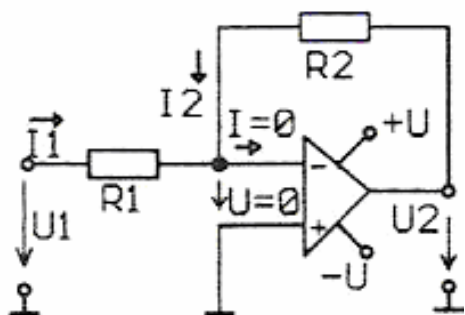
$$A_u = -\frac{U_2}{U_1}$$

$$A_u = -\frac{U_2}{U_1} = -\frac{R_2}{R_1}$$

$R_{vst} = R_1$

U tohoto zapojení jsou vlastnosti zapojení závislé pouze na vnějších součástkách, nikoliv na parametrech OZ. Vstupní odpor invertujícího zapojení nelze zaměňovat se vstupním odporem OZ, který se blíží nekonečnu.

Odpor R_2 vytváří zápornou zpětnou vazbu z výstupu do invertujícího vstupu. Část výstupního signálu se přivádí zpět do vstupu s obrácenou fází a odečítá se od vstupního signálu. Tím se omezí zesílení a zároveň se zlepšují všechny ostatní parametry zesilovače. Zlepší se odstup od rušivých napětí, zmenší se zkreslení, zvětší se šířka přenášeného pásma, zmenší se výstupní odpor.



Invertující zesilovač

Neinvertující zesilovač

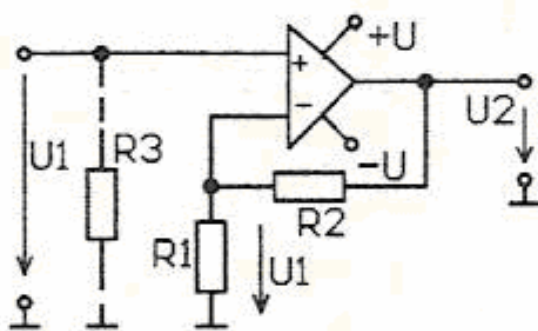
Stejně jako u invertujícího zesilovače vycházíme při řešení tohoto obvodu z předpokladu rovnosti napětí na obou vstupech. Proud tekoucí do vstupu OZ je nulový. Potom rezistory R1 a R2 tvoří nezatížený napěťový dělič.

$$U_1 = U_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Vyjádříme napěťová zesílení:

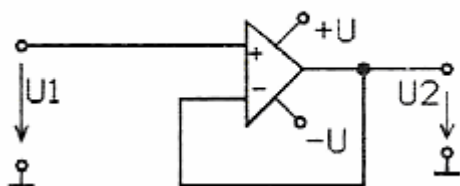
$$A_u = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2 + R_1}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

U zesilovače je zesílení dáno pouze vnějšími součástkami. Nedochází k otočení fáze a zisk je vždy větší nebo roven 1. Vstupní odpor je velmi vysoký a je dán pouze vlastnostmi OZ. Ve většině aplikací je vhodné, aby vstupní odpor měl přesně definovanou hodnotu, proto se ke vstupu přidává rezistor R3.



Neinvertující zesilovač

Často je také zapotřebí oddělit od sebe dva obvody pomocí obvodů s vysokou vstupní a nízkou výstupní impedancí. K tomu se používá **sledovač signálu** se ziskem 1.



sledovač signálu

Zapojení OZ s nesymetrickým napájecím napětím

OZ ke své činnosti potřebují symetrické napájecí napětí (+U, 0, -U). Takové napětí není vždy k dispozici nebo je zbytečně nákladné jej vytvořit (přístroje napájené z baterie).

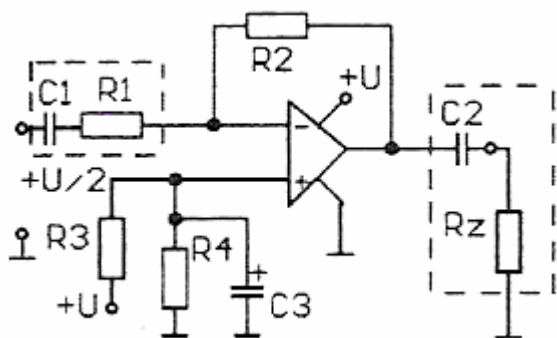
Proto je nutné napájet OZ také z nesymetrického zdroje (+ a - spojené se zemí). Taková zapojení potřebují vytvořit polovinu napájecího napětí pomocí odporového děliče a střídavě ji blokovat s kondenzátorem proti zemi (umělá nula). Toto zapojení je možné používat pouze pro zesilování střídavých napětí. Na obou vstupech i na výstupu OZ musí být v klidovém stavu polovina napájecího napětí.

Ta musí být oddělena kondenzátory od vstupu a výstupu, případně od země. Tyto kondenzátory zároveň omezují přenos nízkých kmitočtů. Při návrhu zesilovače jejich kapacitu volíme tak, aby pro nejnižší přenášený kmitočet f_m platilo:

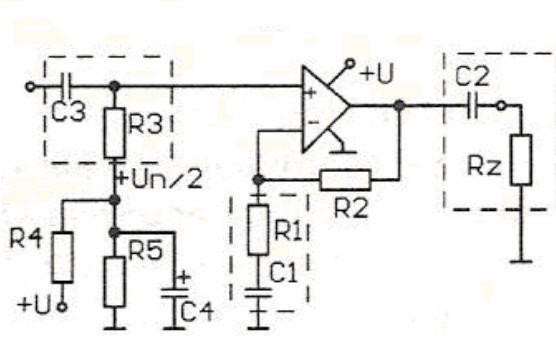
$$f_m = \frac{1}{2\pi RC}$$

Kde R je příslušný rezistor tvořící s kondenzátorem horní propust (označeno čárkovaně).

Rezistory R3 a R4 v obvodu umělé nuly volíme 10-100 k Ω , kondenzátor 5-50 μ F. Obvod umělé nuly můžeme použít pro napájení většího počtu OZ současně. Nesymetrická zapojení OZ umožní zjednodušit napájecí zdroj a zároveň zajistí potlačení nízkých frekvencí a bezproblémové stejnosměrné oddělení jednotlivých zesilovacích stupňů.



Zapojení invertující nesymetrie



zapojení neinvertující nesymetrie

Oscilátory

Vlastnosti oscilátoru

1. Podle tvaru časového průběhu generovaného napětí se rozdělují oscilátory na :

- oscilátory harmonických kmitů
- oscilátory obdélníkových kmitů
- oscilátory trojúhelníkových kmitů

2. Opakovací kmitočet (f) a doba periody (T)

$$f = \frac{1}{T}$$

3. Stálost kmitočtu generovaného napětí

$$s = \frac{\Delta f_0}{f_0}$$

4. Laditelnost

Jde o možnost změny kmitočtu podle potřeby

- oscilátory s pevným kmitočtem
- oscilátory s proměnným kmitočtem

Princip činnosti oscilátorů

Oscilátor se skládá ze dvou částí:

- Zesilovače s vhodnou zpětnou vazbou
- Řídicí obvod – je realizován čtyřpólem buď LC nebo RC

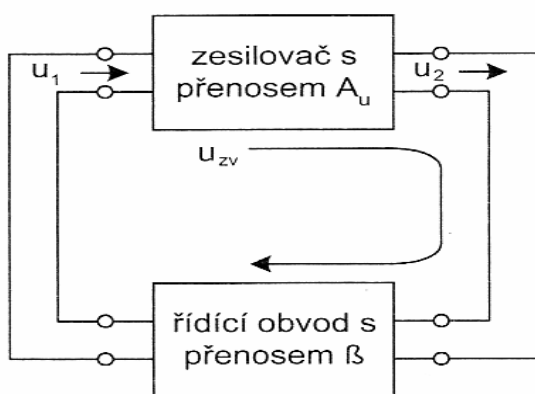
Podle zapojení těchto dvou částí rozdělujeme na :

- Zpětnovazební oscilátory
- Oscilátory bez zpětné vazby

Nejčastěji se používají zpětnovazební oscilátory.

Oscilátor kmitá za určitých podmínek. Zpětná vazba je dána koeficientem β , což je poměr mezi napěťovým zesílením A_u a přenosem zpětné vazby. Zesilovač musí mít kladnou zpětnou vazbu. Zesílení roste nad všechny meze ze zesilovače se vlivem kladné zpětné vazby stává oscilátor.

Pro kmitání oscilátoru musí být splněny dvě podmínky



a) **fázová podmínka** – je vyjádřena rovnicí

$$\varphi_A + \varphi_\beta = 2\pi$$

φ_A - Je fázový posun způsobený tranzistorem

φ_β - Je fázový posun zpětnovazebního čtyřpólu

Fázový posun zesilovače a fázový posun zpětné vazby je 360° .

b) **amplitudová podmínka** – $\beta A_u = 1$ obvod je na pokraji vzniku oscilací.

Oscilátory LC

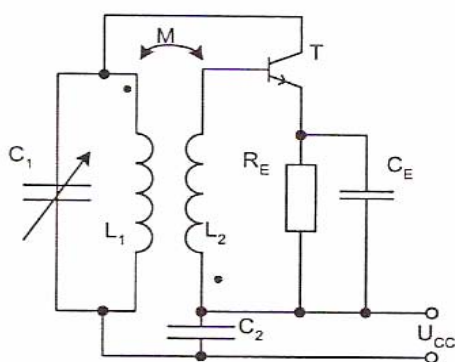
Jedná se o nejpoužívanější oscilátory elektronických zařízení. Skládají se z rezonančního obvodu složeného z cívky a kondenzátoru, tranzistoru jako zesilovacího členu a kladné zpětné vazby. Kmitočet oscilátorů je určen **Thomsonovým vztahem**.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Podle zapojení rezonančního obvodu rozlišujeme oscilátory LC:

- s indukční vazbou
- třibodové oscilátory

1.Oscilátory s indukční vazbou

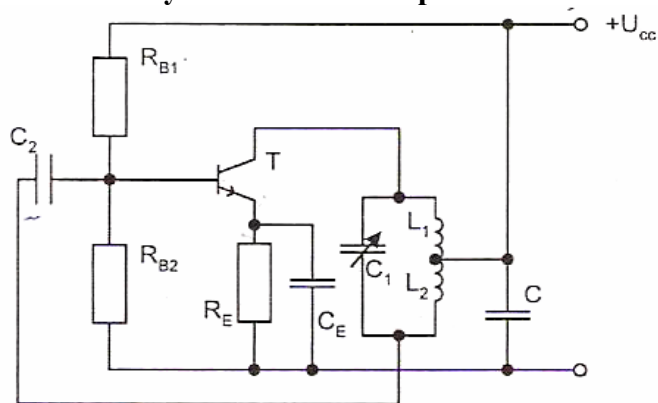


Obrázek a- Zapojení indukčně vázaného oscilátoru

Funkce: Tyto oscilátory mají kladnou zpětnou vazbu vytvořenou indukční vazbou mezi vstupními a výstupními elektrodami tranzistorů.

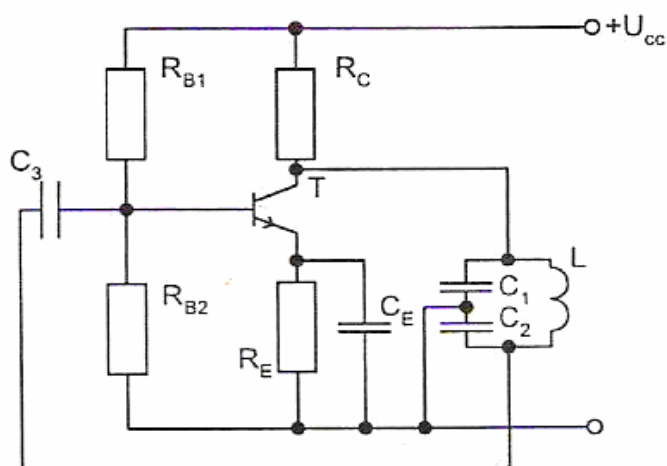
Indukční vazba je tvořena vzájemnou indukčností M cívek L1 a L2. Paralelní rezonanční obvod je zapojen v obvodu kolektoru. Proudovým nárazem se rezonanční obvod L1 C1 rozkmitá rezonanční frekvencí. Napětí rezonančního obvodu se indukuje na zpětnovazební cívku L2, která otáčí fázi o 180°. Kladné zpětné vazby se dosáhne tím, že cívky L1 a L2 mají opačný směr vinutí, protože zesilovač je zapojen se společným editorem. Otáčí fázi o 180° a tím je splněna fázová podmínka.

2. Do tříbodových kondenzátorů patří :



Obrázek b- Hartleyův oscilátor

V tomto oscilátoru pracuje tranzistor v zapojení se společným emitorem. Mezi oběma částmi cívky existuje vzájemná indukčnost. Tento oscilátor používá jednu cívku rezonančního obvodu s odbočkou. Spodní konec cívky má opačnou fázi signálu a přes oddělovací kondenzátor C_2 budí bázi zesilovacího členu.



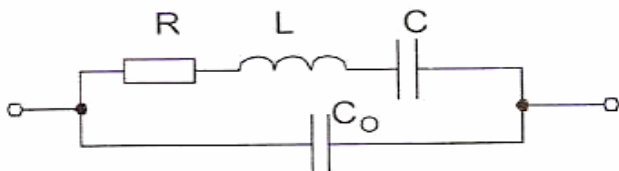
Obrázek c- Colpittsův oscilátor

Tranzistor zde pracuje v zapojení se společným emitorem.

Tento oscilátor má rezonanční obvod vytvořený cívkou L a kondenzátory C_1 a C_2 . Kladná zpětná vazba je vyvedena z odbočky kapacitního děliče C_1 C_2 přes kondenzátor C_3 na bázi. Kapacita sériového zapojení kondenzátoru C_1 a C_2 je současně kapacitou rezonančního obvodu.

Krystalové oscilátory

Jako řídicí prvek se používá **piezoelektrický rezonátor**. Základem jsou krystalické látky, které jsou-li mechanicky namáhané, vykazují na povrchu elektrické náboje. Opatříme-li tyto krystaly elektrodami můžeme na nich snímat napětí úměrné velikosti namáhání. Přivedeme-li napětí na krystal, dochází k mechanické deformaci.



Obrázek a- Piezoelektrický rezonátor-náhradní schéma

Toto schéma v sobě zahrnuje jak parametry krystalu (sériový rezonanční obvod RLC) tak i kapacitu přívodu C_0 .

R- představuje ztráty v krystalu

L- krystalovou hmotu

C- pružnost krystalu

Ze schématu vyplývá, že rezonátor má dvě rezonanční frekvence

- a) při sériové rezonanci je impedance nejnižší

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

- b) Při paralelní rezonanci je impedance největší

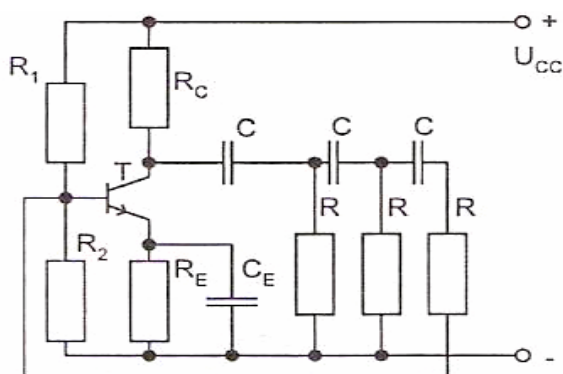
$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{CC_0}{C+C_0}L}}$$

Oba kmitočty leží blízko sebe.

Oscilátory RC

Pro nižší frekvence je výhodnější RC oscilátor tvořený pouze rezistory a kondenzátory. Nejde klasický rezonanční obvod ale selektivní RC členek který upravuje zpětnou vazbu tak, aby splňovala podmínky oscilace $\beta * A_u = 1$ a tím určovala kmitočet oscilátoru. Tyto oscilátory jsou snadno přeladitelné, protože jejich kmitočet je lineární funkcí časové konstanty RC. Vztah pro kmitočet těchto oscilátorů je:

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$



Obrázek a- Jednoduchý oscilátor RC

Útlum ve fázovacích člencích R_C musíme kompenzovat zesílením tranzistoru. Pro zapojení se společným emitorem je fázový posun 180° pro splnění fázové podmínky musí být fázový posun zpětnovazebního čtyřpólu také 180° . Jelikož zpětnovazební čtyřpól tvořen třemi stejnými za sebou spojenými členy RC, musí na každém vzniknout fázový posun 60° . Frekvence f při které u uvedeného čtyřpólu nastane posun napětí je dána vztahem:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$$

Modulátory a demodulátory

Vysílač vysílá do prostoru elektromagnetické vlny, které se šíří prostorem rychlostí 300 000 km za sekundu. Někde je zachytí anténa rádiového nebo televizního přijímače. Samotné elektromagnetické vlny potřebnou informaci nepřenášejí. Pomocí přijímače a indikátoru bychom mohli nejvýše zjistit, že vysílač elektromagnetické vlny buď vysílá, nebo nevysílá. Samostatné elektromagnetické vlny totiž představují pouze jakousi spojovací linku mezi vysílačem a přijímačem. Stejně jako drátovým vedením, tak i elektromagnetickým vlněním se zpráva, informace (řeč, hudba, obraz) musí teprve poslat. Informaci je nutné na vysílané elektromagnetické vlně určitým způsobem vtisknout - tomu se říká modulace. Modulace je základem bezdrátového přenosu informací.

Druhy modulace

Průběh vysokofrekvenční vlny je sinusový a je dán vztahem :

$$i = A \sin(\omega t + \varphi) = A \sin(2\pi f_0 t + \varphi)$$

Kde i je okamžitá hodnota vysokofrekvenčního proudu, procházejícího do antény.

Kde A amplituda vysokofrekvenční vlny.

Kde ω úhlový kmitočet vysokofrekvenční vlny, $\omega = 2\pi f_0$.

kde φ fázový úhel vysokofrekvenční vlny.

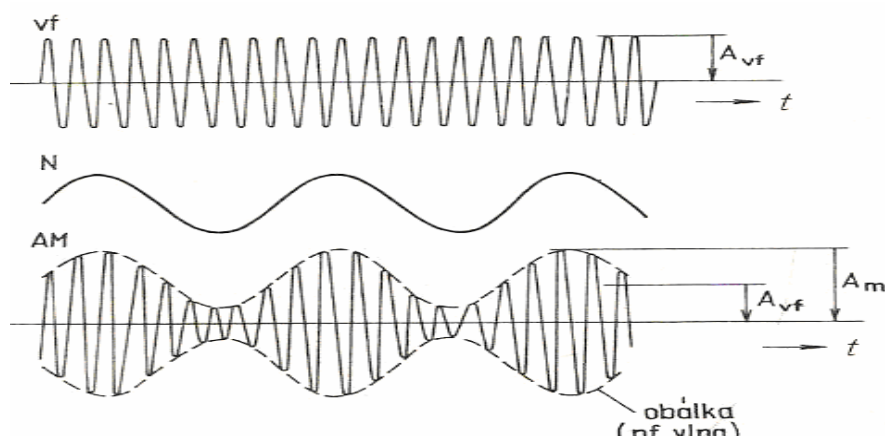
Rovnice nemodulovaného signálu:

$$u(t) = U_{\max} \sin(\omega t + \varphi)$$

Analogová modulace

Amplitudová modulace

Základní princip amplitudové modulace je celkem jednoduchý: amplituda nosné vlny se mění podle okamžité hodnoty amplitudy modulující vlny (obrázek a). Křivka N znázorňuje časový průběh nízkofrekvenční modulující vlny. Křivka vf znázorňuje průběh vysokofrekvenční nosné vlny. Časový průběh modulované vlny je znázorněn křivkou AM. Čárkované čáry představují obalovou křivku signálu. Amplituda původní vysokofrekvenční vlny se tedy zmenšuje a zvětšuje v porovnání se svou původní hodnotou přesně v rytmu modulující vlny.



Obrázek a- Amplitudově modulovaná vlna

Přenášená informace (v našem případě sinusový průběh s kmitočtem f_n) je v modulované vlně obsažena v podobě pomyslné obálky naznačené na obrázku čárkovaně. Při amplitudové modulaci je důležitý údaj o hloubce amplitudové modulace α . Modulované vlny s hloubkou modulace 25%, 75%, 100% jsou na (obrázku b). Jeli hloubka modulace větší než 100% dochází ke zkreslení signálu a proto např. v rozhlasovém a televizním vysílání nelze hloubku modulace nad 100% povolit.

Hloubka modulace α vypočítáme ze vzorce:

$$\alpha = \frac{A_m}{A_{vf}}$$

Kde A_m je amplituda nosné vlny.

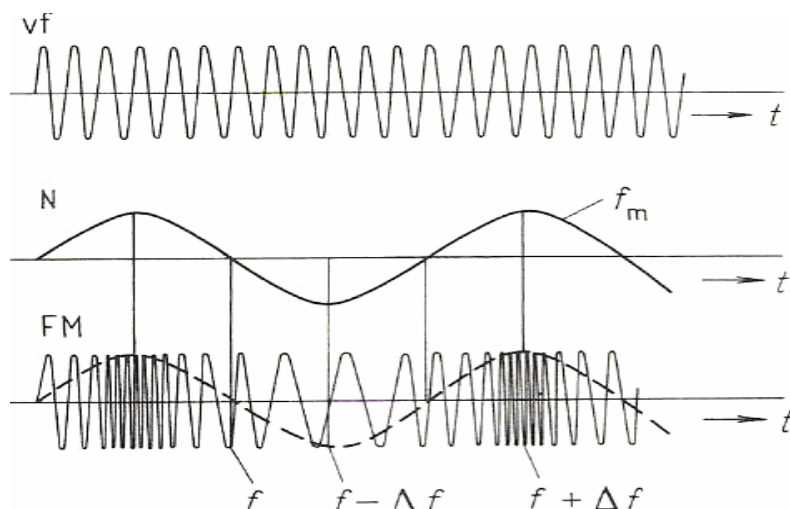
A_{vf} amplituda původní nemodulované vysokofrekvenční vlny.

Šířka pásma pro 1 kanál

K určení šířky přenášeného pásma se používá vztah: $B = 2f_m N$, kde f_m nejvyšší modulační kmitočet (pro mono 15Khz, stereo 53Khz). N je největší požadované postraní pásmo pro f_m .

Frekvenční modulace

Jestli že budeme modulující vlnou působit místo na amplitudové nosné vlny na její kmitočet (frekvenci), dostaneme kmitočtově neboli frekvenčně modulovanou vlnu. Kmitočet nosné vlny se mění přesně podle průběhu modulující vlny (obrázek a).



Obrázek a- Frekvenčně modulovaná vlna

Při frekvenční modulaci se však dosahuje kvalitnějšího přenosu. Pro velkou potřebnou šířku pásma nemohou frekvenčně modulované vysílače vysílat na dlouhých, středních ani krátkých vlnách. Vysílají v pásmu velmi krátkých vln, kde je místa tolik, že se frekvenční rozsah modulujícího signálu nemusí omezovat. Vysílá se celé nízkofrekvenční spektrum akustického signálu.

Frekvenční modulaci stanovíme měřítko modulace:

$$m_f = \frac{\Delta f_0}{f_m}$$

Kde m_f je index frekvenční modulace.

Δf_0 největší změny kmitočtu nosné vlny

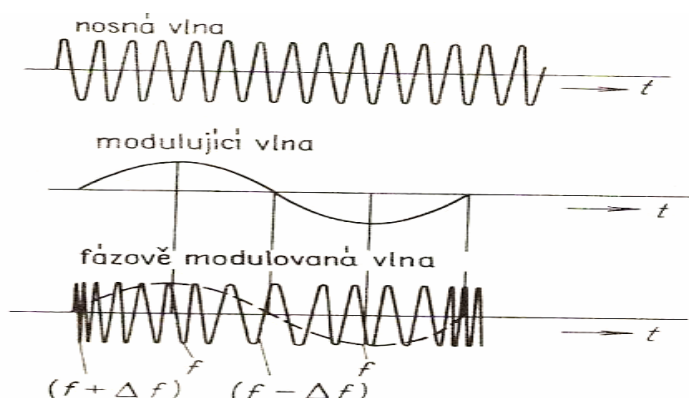
f_m modulující kmitočet

Šířka pásma pro 1 kanál

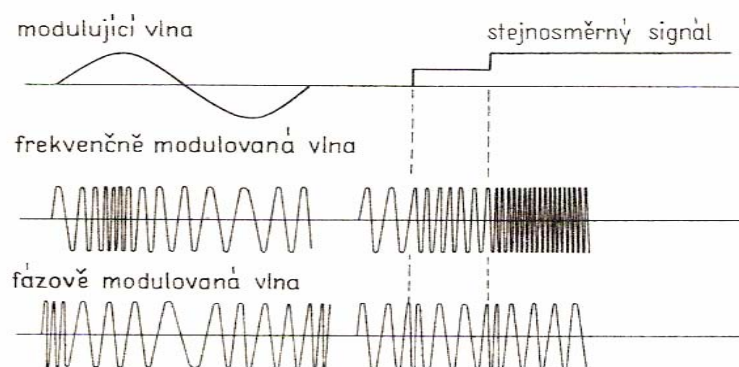
Pro velmi krátké vlny(rozhlas)kmitočtová modulace 50KHz ve špičce.Pro neskreslený přenos zapotřebí,aby byla šířka pásma 200Khz pro mono a stereo 300Khz

Fázová modulace

Při fázové modulaci budeme modulující vlnou měnit fázi nosné vlny (obrázek a). Na první pohled se zdá, že fázová modulace je shodná s frekvenční modulací. Obě modulace jsou si svým charakterem a vlastnostmi podobné, ale je mezi nimi jeden rozdíl: při fázové modulaci nastává nejstrmější změna fáze vždy při největší změně modulující vlny. Tam, kde změna modulující vlny nenastává, nemění se ani fáze nosné vlny.



Obrázek a- Fázově modulovaná vlna



Obrázek b- Rozdíl mezi časovým průběhem frekvenčně modulované vlny a fázově modulované vlny

Jak se tedy fázová modulace projeví při přenosu stejnosměrného signálu. To vidíme na (obrázku b). Při modulování stejnosměrným signálem lze tuto stejnosměrnou informaci přenést prostřednictvím frekvenční modulace, kmitočet nosné vlny se trvale změní. Stejnoseměrný signál, ale nelze přenést prostřednictvím fázové modulace. Fáze nosné vlny se sice trvale změní, ale její kmitočet se oproti původnímu nezmění.

U fázové modulace se obvykle udává fázový zdvih $\Delta\varphi$

$$\Delta\varphi = kA$$

Kde k je konstanta.

Kde A je amplituda modulující vlny.

Fázový zdvih je tedy úměrný amplitudě modulující vlny. Rozdíl mezi frekvenční a fázovou modulací nejlépe plyne z okamžité změny kmitočtu, který je u frekvenční modulace nezávislý na kmitočtu modulující vlny. U fázové modulace je ale kmitočtový posuv Δf_0 závislý na modulačním kmitočtu.

Digitální modulace

Patří mezi impulsové modulace a slouží k přenosu vzorkovaného signálu. Vzorkovací spínač vytvoří obvykle vzorky impulsové modulace, dále následuje tzv. kvantování vytvoření omezeného počtu kvantizačních stupňů neboli hladin a na konec je ke každému vzorku přiřazen nejbližší kvantizační stupeň. Počet hodnot stupňů (hladin) je omezený a z cela určený, velikost mezi dvěma vzorky se mění skokem. Nakonec kodér zakóduje kvantovaný vzorek do některé z digitálních modulací. Čili toto časové třídění kanálů s digitální modulací předpokládá tři postupné kroky:

- vzorkování
- kvantování
- kódování

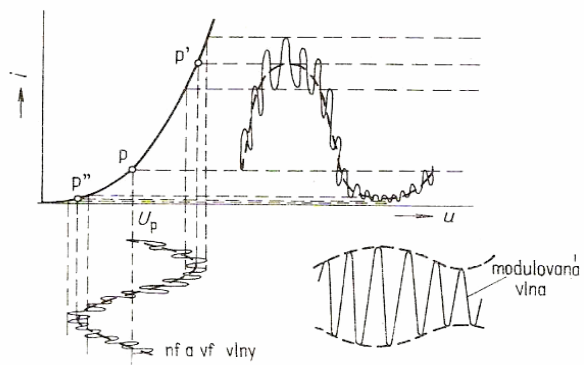
Amplitudové modulátory

Poznali jsme, že amplitudově modulovaná vlna se skládá ze tří složek: z nosné vlny s kmitočtem f_0 , z dolního rozdílového kmitočtu $(f_0 - f_n)$ a z horního rozdílového kmitočtu $(f_0 + f_n)$. Popíšeme princip zařízení, kterým se tyto tři kmitočtové složky (z nichž se amplitudově modulovaná vlna skládá) získají a které se nazývají amplitudový modulátor. Vysokofrekvenční nosná vlna a nízkofrekvenční modulující vlna se společně přivádějí na elektronickou součástku, která má vhodnou nelineární voltampérovou charakteristiku. Společným průchodem obou signálů nelineární součástkou dojde ke zkreslení. Matematickým rozбором a jednoduchým měřením, bychom zjistili, že vedle původních dvou signálů s kmitočty f_0 a f_n se objeví nové signály. V těchto nově vzniklých signálech je mnoho. Lze dokázat, že jsou to různé součty, rozdíly a násobky obou přiváděných kmitočtů. Nás zajímají čtyři kmitočty, které jsou při vhodném zapojení obvodu (vhodném tvaru nelineární charakteristiky) nejvýraznější: nosná vlna s kmitočtem f_0 , modulující vlna s kmitočtem f_n a dvě vlny s kmitočty $(f_0 + f_n)$ a $(f_0 - f_n)$.

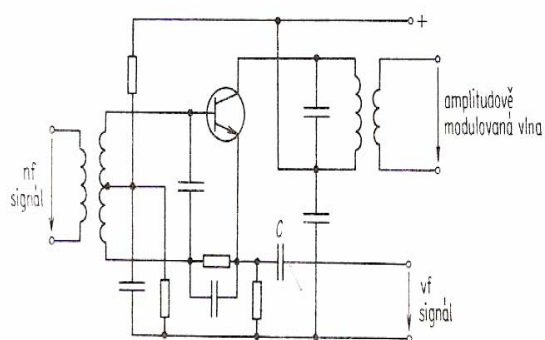
Nepotřebné složky včetně původní modulující vlny, pokud by se projeví rušivě, tak se odstraní elektrickými filtry. Dostaneme výsledný průběh vlny, která se skládá ze složek f_0 , $f_0 + f_n$ a $f_0 - f_n$. To odpovídá signálu, kterým jsme popsali amplitudově modulovanou vlnu. Vznik amplitudově modulované vlny můžeme vysvětlit na nelineární charakteristice (obrázek a). Nízkofrekvenční signál s poměrně velkou amplitudou posouvá pracovní bod P. Dioda propouští vysokofrekvenční signál s amplitudou, která je úměrná poloze pracovního bodu pohybujícího se v rytmu nízkofrekvenčního signálu.

Způsob modulace AM na společné nelineární charakteristice se někdy nazývá aditivní (součtový). Příklad modulátoru, v němž se k modulaci využívá nelineární charakteristiky tranzistorů je na (obrázku b). Vysokofrekvenční signál se výhodou zavádí přes oddělovací kondenzátor C do emitoru tranzistoru, nízkofrekvenční signál se zavádí do báze.

Při vhodné volbě pracovního bodu dostaneme na rezonančním obvodu amplitudově modulovaný signál.



Obrázek a-Princip vzniku amplitudové modulace na lineární charakteristice

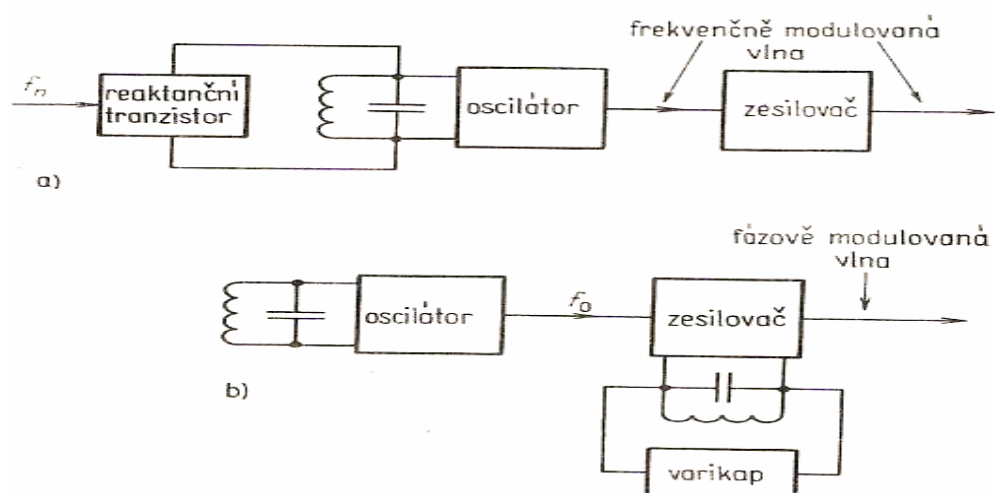


Obrázek b-Jednoduchý amplitudový modulátor charakteristice

Frekvenční a fázové modulátory

Frekvenčně modulovat lze podle principu na (obrázku a). Paralelně k rezonančnímu obvodu oscilátoru je připojena součástka, která mění svou imaginární složku impedance v závislosti na připojeném nízkofrekvenčním (modulačním) napětí. Může to být např. varikap (polovodičová součástka s přechodem PN, která představuje napětově závislou kapacitu nebo reaktanční tranzistor. Změnami kapacity nebo indukčnosti se mění rezonanční kmitočet rezonančního obvodu a tím kmitočet oscilátoru. Vzniká frekvenčně modulovaná vlna.

Na (obrázku b) je varikap nebo reaktanční tranzistor přiřazen ke kmitavému obvodu zesilovače. Jestliže se nízkofrekvenčním modulačním napětím mění rezonanční kmitočet rezonančního obvodu, neovlivňuje to kmitočet oscilátoru. Mění se však fáze signálu. Vzniká fázově modulovaná vlna.



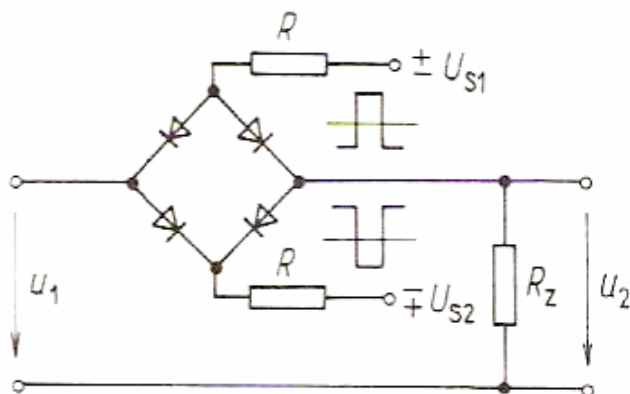
Vznik modulované vlny a) frekvenčně modulované, b) fázově modulované

Spínací obvody

Rostoucí nároky na rychlost a spolehlivost různých ovládacích měřících zařízení nutí konstruktéry nahrazovat mechanické spínače elektronickými spínači. Posuzujeme-li spínač, zajímáme se obvykle o odpor v sepnutém stavu a v rozpojeném stavu, rušivé napětí vznikající na kontraktu a rychlost sepnutí a rozpojení.

Diodové spínače

U diodových spínačů je možné využít můstkový diodový spínač (obrázek a). Ovládání tohoto spínače je nutné mít k dispozici dvě řídící napětí stejné velikosti, avšak opačné polarity. Jestliže $U_{s1} = -U_{s2}$ je kladné, prochází proud rezistory R a dvěma paralelními větvemi složenými z dvojice sériově zapojených diod. Symetrie obou napětí proti zemi zabezpečí, že při shodných charakteristikách všech čtyř diod bude na diagonále tohoto mostu nulové napětí, že bude napětí této diagonály nulové vzhledem ke společné svorce vstupního, výstupního i řídícího napětí při nulovém napětí U_1 . Z hlediska vstupního napětí U_1 představuje můstek spínač, který přeneseme napětí U_1 na svorky výstupního odporu. Z hlediska časové odezvy je prvním předpokladem správné činnosti naprostá symetrie řídících signálů v každém časovém okamžiku. Této symetrie lze dosáhnout u pomalých analogových spínačů např. řízením přes invertor s operačním zesilovačem.



Obrázek a-Diodový můstkový spínač

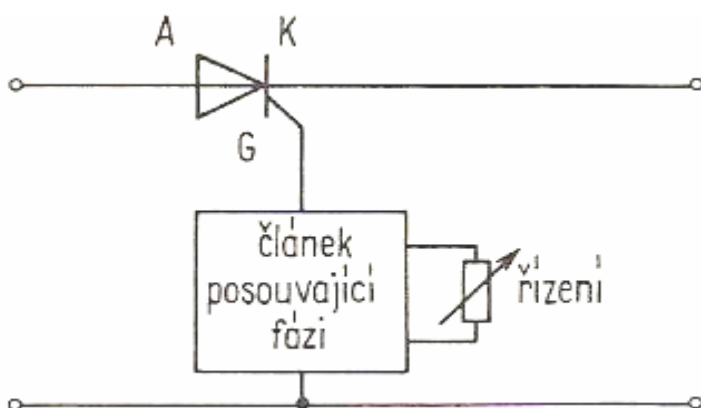
Řízené usměrňovače

Princip jednocestného usměrňování řízeného tyristorem je na (obrázku a). Tyristor je schopen podle svého typu usměrňovat buď kladné nebo záporné půlvlny střídavého napětí a to do okamžiku, kdy řídící elektroda dostane impuls pro uvedení tyristoru do propustného stavu.

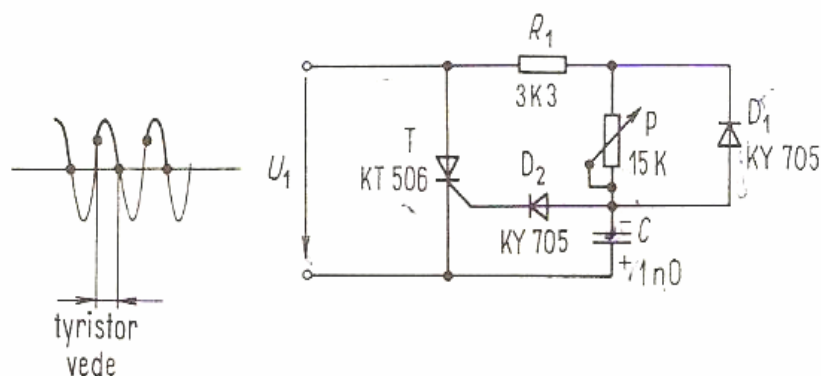
Tento impuls lze odvozovat od střídavého napětí, které se usměrňuje. Hovoříme o fázovém řízení tyristoru. Zapojení řídícího obvodu tyristového usměrňovače (obrázek b).

Funkce :

při záporné půlperiodě střídavého napětí U_1 se přes diodu D začne nabíjet kondenzátor C na polaritu vyznačenou na obrázku. Dioda D_2 je zavřená. Na řídící elektrodě tyristoru T je polarita, při které je tyristor v nevodivém stavu. Jakmile se napětí U_1 zvyšuje, dioda D_1 se zavře a kondenzátor C se vybíjí přes regulační rezistor P. Tím se nastaví i okamžik, kdy se na kondenzátoru C objeví malé kladné napětí, potlačující k tomu, aby se tyristor přes diodu D_2 uvedl do vodivého stavu.



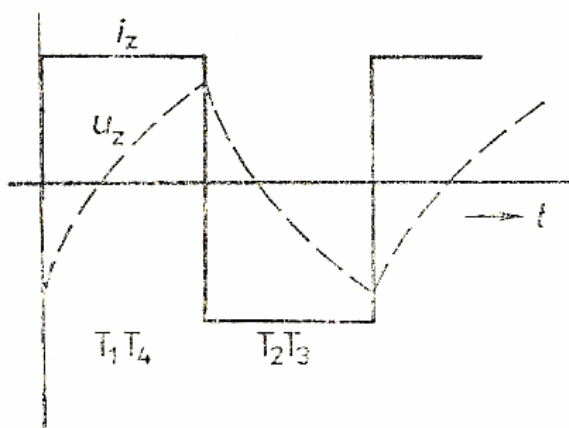
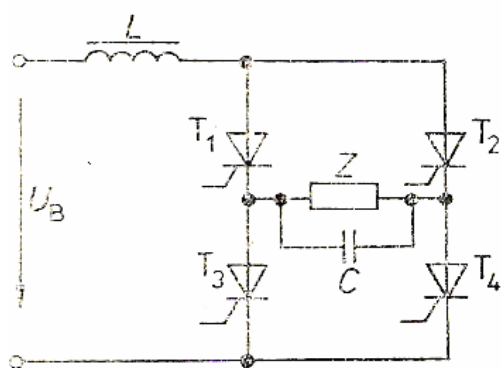
Obrázek a-Princip jednocestného řízeného tyristorového usměrňovače



Obrázek b-Řízení tyristorového ventilu

Střídače

Střídače jsou měniče elektrické energie, které mění stejnosměrné napětí na střídavé napětí (nebo proud). Průběh výstupní veličiny je sice střídavý, ale neharmonický. Charakter zátěže určuje průběhy výstupních veličin. Přivedeme-li na řídicí elektrody tyristoru T_1 a T_3 řídicí impuls, prochází střídačem proud i a kondenzátor se nabije na hodnotu napětí U_B . Zapnutím tyristoru T_2 a T_3 se vypnou tyristory T_1 a T_4 . Zátěží prochází proud opačným směrem a kondenzátor se nabije na opačnou polaritu napětí. Po opětovném zapnutí tyristoru T_1 a T_4 vypnou tyristory T_2 a T_3 a děj se opakuje. Tlumivka s velkou indukčností L zajišťuje, že napájecí zdroj pracuje jako zdroj proudu, a současně tvoří filtr pro vyšší harmonické složky.



Jednofázový střídač proudu

- a) *místkové zapojení*
- b) *časové průběhy napětí a proudu na zátěži*

Stejnosměrné měniče

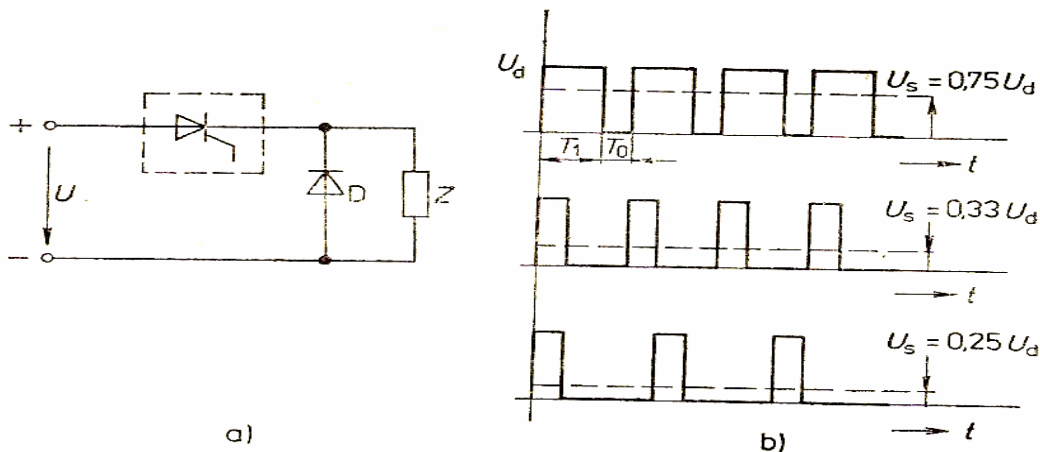
Stejnosměrný měnič mění stejnosměrné napětí dané střední hodnoty na stejnosměrné napětí jiné střední hodnoty. Střední hodnotu je možné zvyšovat nebo snižovat. Základní schéma měniče, který umožňuje snižování střední hodnoty U_s , je na (obrázku a). Obvod pracuje jako spínač stejnosměrného proudu. Střední hodnotu je možné řídit dvěma způsoby.

1. Změnou intervalu T_1 a T_0 při $f = \text{konst}$. Změna intervalu se řídí dobou zapnutí tyristoru. Pro střední hodnotu napětí platí:

$$U_s = U_d \frac{T_1}{T_0 + T_1}$$

2. Změnou frekvence při konstantních intervalech T_1 a T_2 . Prostřední hodnotu napětí platí:

$$U_s = U_d \frac{T_1}{T_0 + T_1} = T_d T_1 f$$



Stejnoseměrný měnič ke snižování střední hodnoty U_s

a) zapojení

b) snižování změnou třídy a změnou frekvence

Střídavé měniče

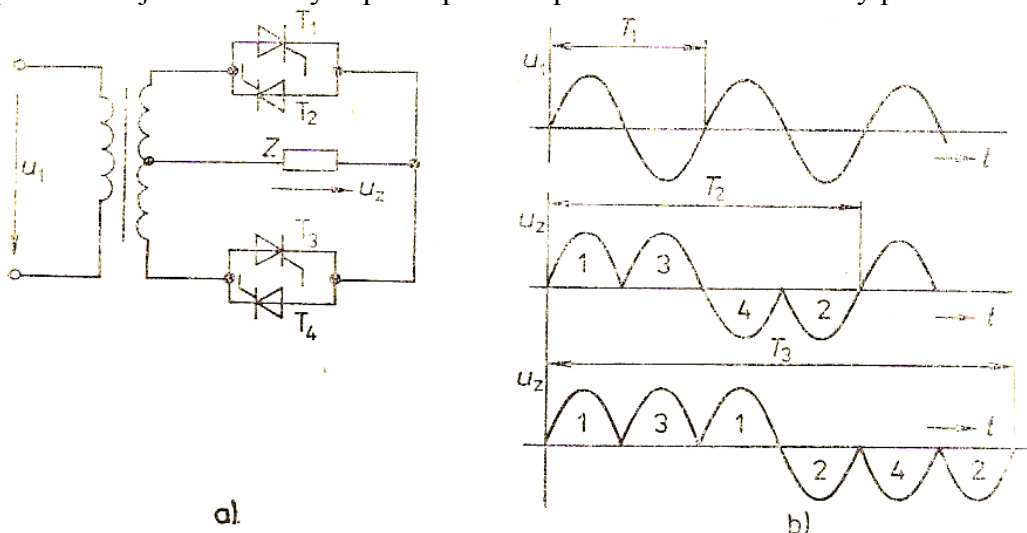
Střídavý měnič mění střídavé napětí nebo proud s danou velikostí, danou frekvencí a daným počtem fází na střídavé napětí s jinou velikostí, frekvencí a počtem fází.

Může pracovat jako:

1. Cyklokonvertor (má proměnnou velikost napětí a frekvenci)
2. Řízený spínač (má proměnnou velikost napětí)

1. Cyklokonvertory

Skládají se ze dvou antiparalelně řízených usměrňovačů, které střídavě napájí zátěž. Tyristory je nutné zapínat v pořadí podle čísel na (obrázku). Například v pořadí 1,3,4,2 získáme průběh s dvojnásobnou dobou opakování. V pořadí 1,3,1,2,4,2 získáme průběh s trojnásobnou dobou opakování. Tím se také mění frekvence výstupního napětí. Změna je skoková. Výstupní napětí má přibližně lichoběžníkový průběh.



Cyklokonvertor

a) zapojení jednofázového cyklokonvertoru

b) časové průběhy výstupního napětí

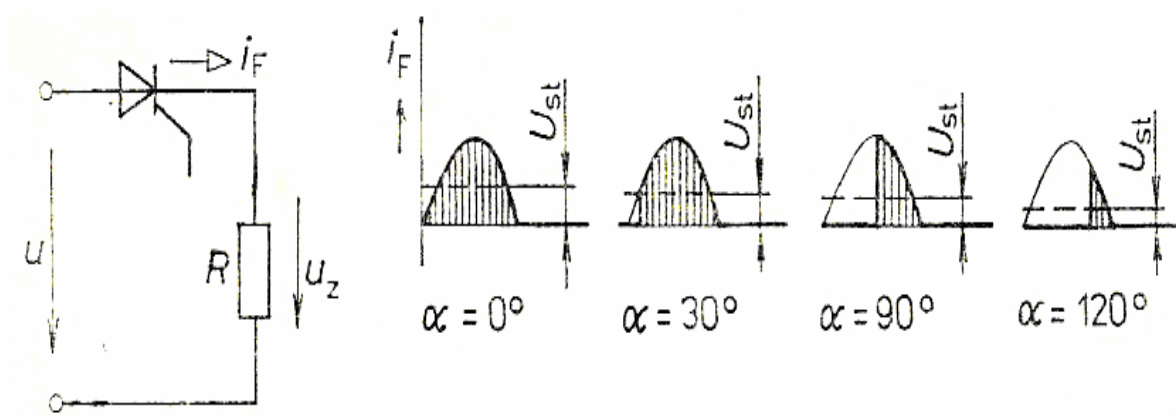
2. Řízené spínače

Řízený spínač mění přímo velikost střídavého napětí nebo proudu. Průběh výstupního napětí je periodický, ale neharmonický.

Používají se dva typy řízení:

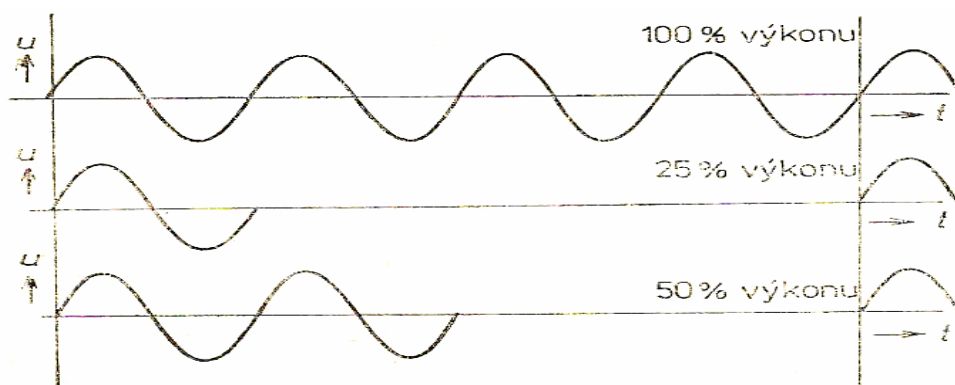
1. Fázové řízení spínače

Změny efektivní hodnoty se dosahuje změnou úhlu řízení jako na (obrázku a). Výstupní napětí je neharmonické. Počet vyšších harmonických napětí závisí na zapojení spínače a typu zátěže. Fázově řízené spínače je možné použít pro řízení svítivosti světel a elektrických odporových pecí.



2. Cyklově řízené spínače

Změny efektivní hodnoty je možné dosáhnout změnou vzájemného počtu cyklu, sepnutí a rozepnutí. Cyklově řízené spínače spínají při průchodu napětí 0. Používají se k řízení tepelných odporových spotřebičů.

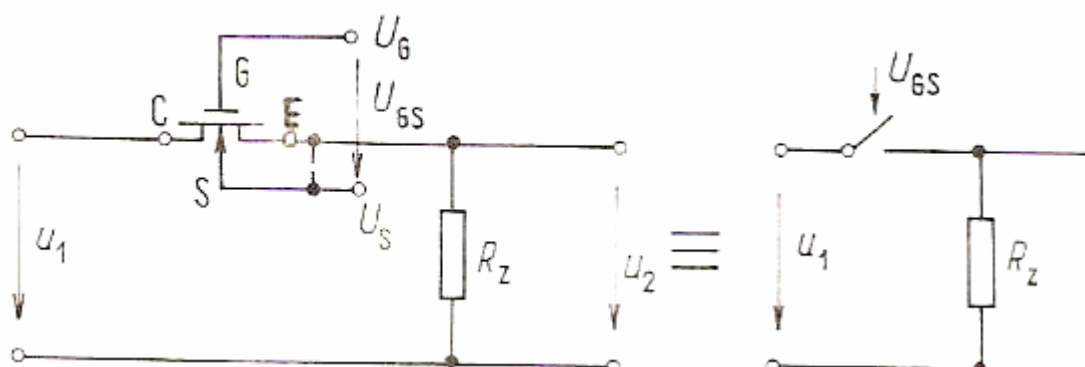


Tranzistorové spínací obvody

Spínací obvod s tranzistorem MOS

Základní zapojení s tranzistorem MOS je na (obrázku a). Závislosti na typu kanálu a napětí mezi řídicí elektrodou (G) a substrátem (S) je kanál mezi kolektorem (C) a emitorem (E) vodivý nebo je uzavřený. Spínače s tranzistory MOS vykazují poměrně velké odpory v sepnutém stavu (sto i více Ω). V rozpojeném stavu se uplatňují zbytkové proudy diod, kterými jsou emitor a kolektor odděleny od substrátu. Lze počítat s izolačními odpory. $10^9 \Omega$ až $10^{12} \Omega$. Rychlost spínání je určena kapacitou řídicí elektrody a odporem substrátu.

Spínací časy u dobrých spínačů MOS bývají řádově 10^{-7} s. Ovlivňování spínaného obvodu řídicím signálem se děje převážně kapacitou mezi řídicí elektrodou a kolektorem. Tyto kapacity způsobují pronikání derivačních špiček do spínavého obvodu při buzení strmými spínacími impulzy na řídicí elektrodě G.

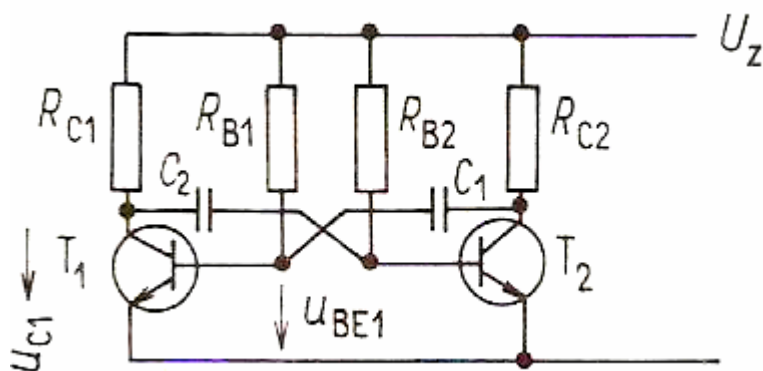


Obrázek a-Unipolární tranzistor (FET) jako spínač

Klopné obvody

Astabilní klopné obvody

Je generátor pravoúhlých kmitů. Klasické zapojení symetrického a stabilního multivibrátoru využívá kapacitní vazbu kolektor – báze (obrázek a). Vyjděme ze stavu, kdy je tranzistor T_1 uzavřen určitým závěrným napětím a tranzistor T_2 je otevřen. Otevření tranzistoru T_2 je zajištěno odporem $R_{B2} = B_s R_{C2}$. Kondenzátor C_1 je nabíjen ze zdroje U_z přes rezistor $RB1$ a závěrné napětí na bázi tranzistoru T_1 se časem zmenšuje, až dojde k otevření tranzistoru T_1 , a tedy k poklesu napětí na jeho kolektoru. Pokles napětí na kolektoru T_1 je přenesen na bázi tranzistoru T_2 , ten se uzavírá a růst napětí na jeho kolektoru podporuje vazbou přes kondenzátor C_1 a otevírání tranzistoru T_1 . Přejít proběhne lavinovitě. Tím se v obvodu vytvoří vztah v němž je tranzistor T_2 uzavřen a tranzistor T_1 je nasycen (otevřen). Nasycení zajišťuje proud báze přes rezistor $RB1$ ze zdroje U_z . Nyní je tranzistor uzavřen T_2 a nabíjí se kondenzátor C_2 přes rezistor R_{B2} , aby v okamžiku otevření T_2 obvod přešel zpět do původního stavu. Tyto děje se samovolně periodicky opakují.

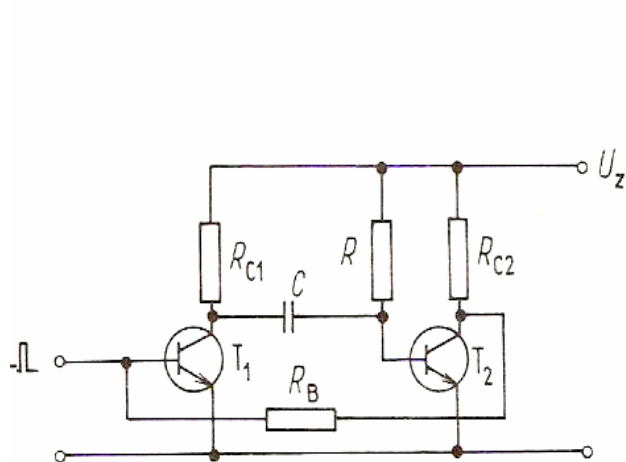


Obrázek a-Astable klopný obvod

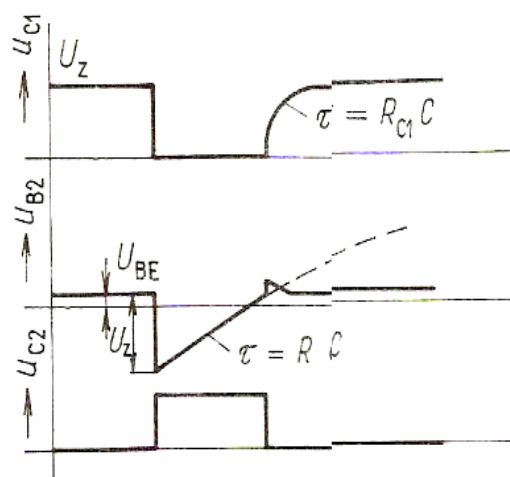
Monostabilní klopné obvody

Monostabilní obvod setrvává v klidu v jednom stabilním stavu. Vnější signál je překlopen do druhého stavu, který v obvodu trvá pouze určitý čas. Pak se obvod vrací do původního stavu. Zapojení monostabilního obvodu (obrázek a). Je to opět obvod s vazbou kolektor-báze, avšak jedna vazba je kapacitní. V klidu je tranzistor T_1 uzavřen a tranzistor T_2 otevřen až do nasycení. Otevření tranzistoru T_2 je zajištěno tím, že z napětí U_z je přes rezistor R napájena báze tohoto tranzistoru. Je-li tranzistor T_2 otevřen, je na kolektoru nízké napětí. Toto napětí s rezistorem R_B přeneseno na bázi tranzistoru T_1 a zajišťuje uzavření tranzistoru T_1 .

Obrázek b) ukazuje průběhy napětí v některých místech obvodu



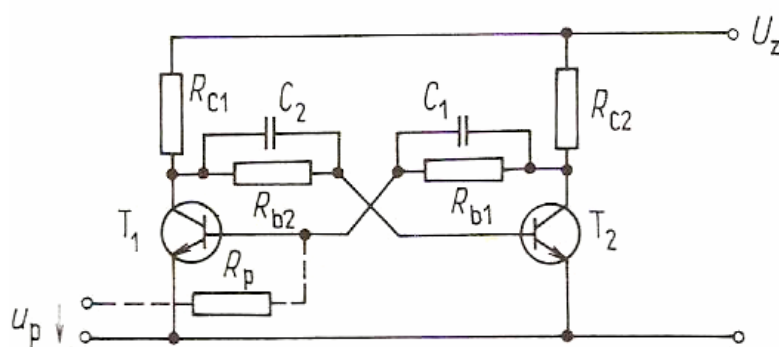
Obrázek a-Monostabilní klopný obvod



Obrázek a-Časové průběhy napětí v monostabilním obvodu

Bistabilní klopné obvody

Vhodnou volbou odporu je možné dosáhnout toho, že například tranzistor T_1 je nasycen a současně tranzistor T_2 uzavřen nebo naopak tranzistor T_1 uzavřen a tranzistor T_2 nasycen. Při naprosté symetrii obvodu jsou tyto stavy rovnocenné. Do kterého stavu bude obvod uveden, záleží na vnějším popudu, na náhodném popudu při zapínání. Přechod mezi těmito stavy se děje regenerativním (rychlým) přechodem. Představme si, že tranzistor T_1 je uzavřen (T_2 je nasycen) a přes rezistor R_p (na obrázku a) je přiváděno zvolna narůstající stejnosměrné napětí. Pokud bude toto napětí záporné nebo nulové, bude se v obvodu udržovat stav, kdy je tranzistor T_1 uzavřen, neprochází jím kolektorový proud a na rezistoru R_{c1} je malý úbytek způsobený pouze průchodem proudu do báze tranzistoru T_2 . Na bázi tranzistoru T_2 se bude udržovat kladné napětí a přes rezistor R_{b2} bude procházet proud dostatečný pro jeho nasycení. Na kolektoru nasyceného tranzistoru T_2 je napětí blízké nule a rezistor R_{b1} zaručí uzavření tranzistoru T_1 . Pokud vnější napětí začne překonávat závěrné napětí udržované původně rezistorem R_{b1} na bázi tranzistoru T_1 a tranzistor T_1 začne přecházet z uzavření do aktivní oblasti, bude se zvětšovat kolektorový proud a napětí na jeho kolektoru bude klesat. Při určitém vnějším napětí poklesne napětí na kolektoru tranzistoru T_1 natolik, že rezistor R_{b2} již nebude schopen udržet tranzistor T_2 v nasycení a na jeho kolektoru začne narůstat napětí. Tento nárůst napětí přenesou rezistor R_{b1} do báze tranzistoru T_1 , a podpoří tak jeho otevírání. Od tohoto okamžiku není přítomnost vnějšího napětí nezbytná, protože rostoucí napětí na kolektoru tranzistoru T_2 bude nadále otevírat tranzistor T_1 a jeho otevírání dále urychlí uzavření tranzistoru T_2 . Protože v obou tranzistorech dochází k napět'ovému zesílení, je napět'ový přenos uvnitř této zpětnovazební smyčky větší než 1, proces bude sám sebou urychlován, bude to regenerativní proces. Po skončení regenerativního procesu bude v obvodu tranzistor T_1 otevřen a tranzistor T_2 uzavřen. K opětovnému překlopení dojde regenerativním procesem, pokud vnější signál vyvolá buď otevírání tranzistoru T_2 , nebo zavírání tranzistoru T_1 .



Obrázek a-Bistabilní klopný obvod

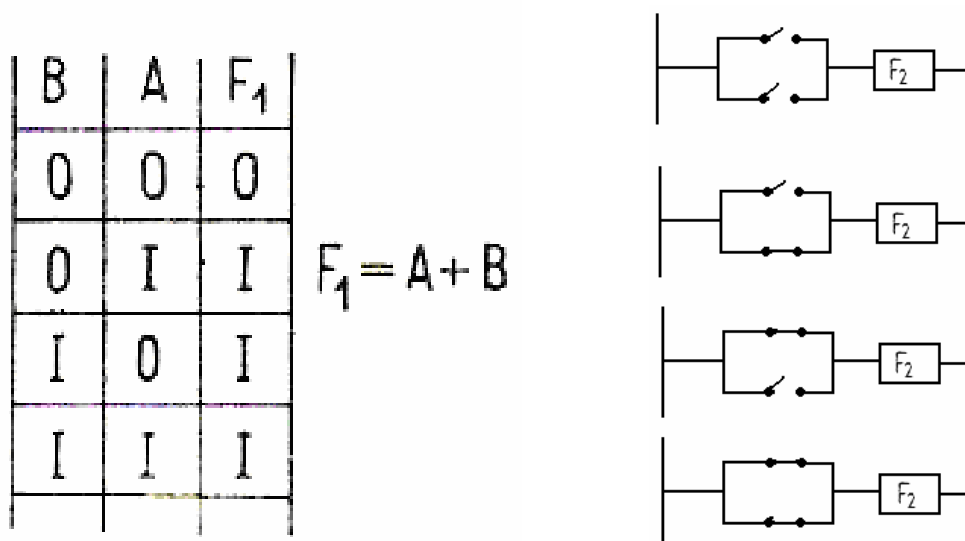
Logické obvody

Významnou oblastí použití impulsových polovodičových obvodů jsou logické obvody, které tvoří základ počítačů a ostatních číslicových zařízení. Logický obvod fyzikálně realizuje určité logické funkce. Z hlediska elektrických vlastností je pro logické obvody podstatné, že pracují s dvouhodnotovým signálem, který vyjadřuje funkční hodnotu logické proměnné. Bývá definována napěťová úroveň příslušné logické hodnotě 0 a logické hodnotě 1.

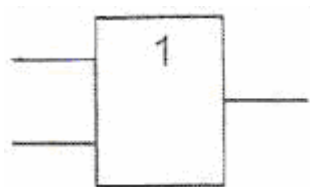
Při činnosti logických obvodů využíváme skutečnosti, že každý signál v soustavě může nabýt pouze jedné ze dvou možných hodnot. Logické obvody tedy pracují s napětími nebo proudy reprezentujícími buď stav označený logická 1, nebo stav označovaný logická hodnota nula. V rozhodovacích funkcích pak můžeme logickou hodnotu 1 hodnotit stav pravdivý a logickou 0 stav nepravdivý. V elektrickém obvodu je každý stav reprezentován způsobem, např. logická hodnota 0 - spínač rozpojen, logická hodnota 1 - spínač sepnut. Logické funkce popisují vzájemné vztahy mezi různými logickými proměnnými. K určení jednoho výstupního stavu (logické hodnoty 1 nebo hodnoty 0) může být rozhodující logický stav několika vstupních proměnných.

Základní logické funkce

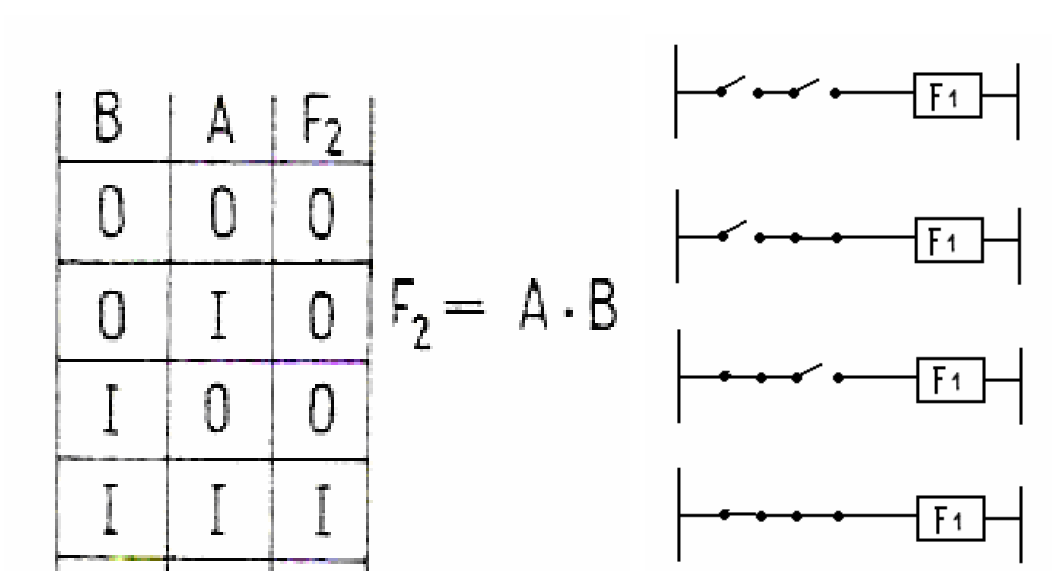
Funkce logického součtu proměnných má v označení F_1 . Závisle proměnné F_1 je přiřazena funkční hodnota 1, má-li alespoň jedna vstupní logická proměnná funkční hodnotu 1. Tuto funkci můžeme vyjádřit vztahem $F_1 = A + B$. Logický obvod, který realizuje funkci logického součtu se nazývá součtový obvod (OR). Vlastnosti každého logického obvodu můžeme vyjádřit pravdivostní tabulkou, která je pro logický součet uvedena na (obrázku a). Logický součin má funkční hodnotu 1 jen tehdy mají-li všechny vstupní proměnné funkční hodnotu 1. Funkci F_2 vyjádříme vztahem $F_2 = AB$. Logický člen, který vytváří funkci logického součinu (obrázek b).



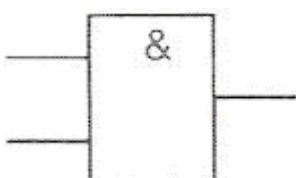
Obrázek a-tabulka logického součtu



Schematická značka logický součet



Obrázek b- tabulka logického součinu



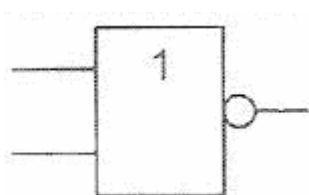
Schematická značka logický součin

Funkce F1 má pravdivostní tabulku a obrázku c. realizuje ji člen označovaný Nor.
 Pravdivostní tabulka F2 je na obrázku d. Tuto funkci realizuje logický obvod NAND.

B	A	F ₁
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

$$F_1 = \overline{A+B}$$

Obrázek c- Negovaný logický součet NOR

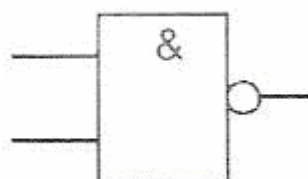


Schematická značka logický člen NOR

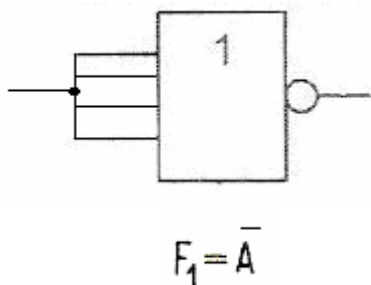
B	A	F ₂
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$$F_2 = \overline{A \cdot B}$$

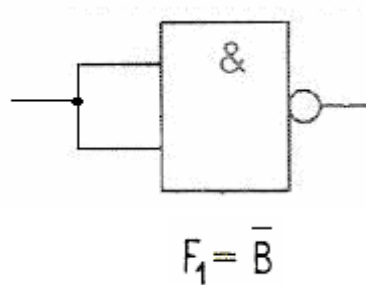
Obrázek d- tabulka logický součin NAND



Schematická značka logický člen NAND



Hradlo NAND jako invertor



Hradlo NOR jako invertor