

Prvý polrok

Okruhy

Cievka v obvode striedavého prúdu
Kondenzátor v obvode striedavého prúdu
Dióda, PN priechod
Filtre RC a LC
Paralelný rezonančný obvod
Bloková schéma usmerňovača
Jednocestný usmerňovač
Dvojcestný usmerňovač
Zdvojovače a násobiče napätia
Stabilizátory napätia a prúdu
Základné vlastnosti zosilňovača
Skreslenie zosilňovača
Zosilňovač v zapojení SE, SC, SB
Podstata a druhy spätnej väzby zosilňovača
Princíp činnosti oscilátorov
Rozdelenie oscilátorov
LC oscilátory
RC oscilátory
Oscilátory riadené kryštálom
Amplitúdová modulácia
Frekvenčná modulácia
Impulzová modulácia a jej druhy

Elektronický obvod

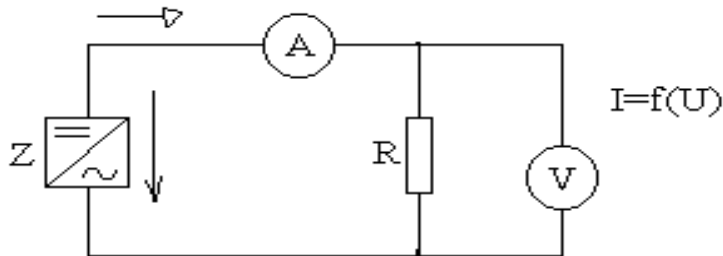
Vzniká spojením jednej alebo viac elektronických súčiastok so zdrojom elektrickej energie.

Elektronické súčiastky sa delia:

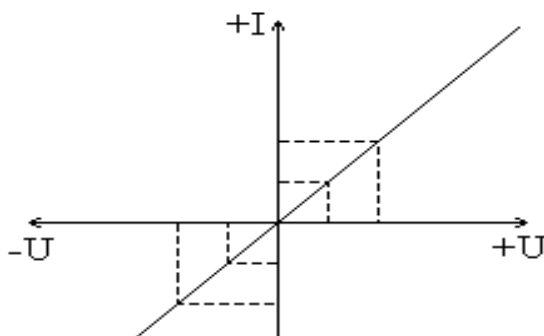
1. Podľa správania sa v obvode:

- pasívne – správajú sa ako spotrebič el. energie – R, L, C, dióda, varikap
- aktívne – správajú sa ako zdroj – tranzistor, integrovaný obvod IO

2.



3.



Podľa závislosti od frekvencie:

a) frekvenčne nezávislé – ich elektrické parametre sa s frekvenciou nemenia – rezistor, dióda, tranzistor

b) frekvenčne závislé – menia svoje parametre s frekvenciou – napr. cievka, kondenzátor..

Podľa tvaru volt-ampérovej charakteristiky na

a) Lineárne – majú stále vlastnosti nezávislé od veľkosti obvodových veličín.

Závislosť prúdu od napätia ($I = f(U)$) je lineárna. Patria sem rezistor, ciečka, kondenzátor.

- b) Nelineárne – ich voltampérová charakteristika je zakrivená – nelineárna a ich vlastnosti sa menia podľa veľkosti veličín obvodu. Patria sem všetky polovodičové súčiastky.

Obvodové veličiny

Základné sú napätie U a prúd I . Malými písmenami sa označujú okamžité hodnoty u a i , veľkými písmenami sa označujú jednosmerné a efektívne hodnoty. Okrem toho sa v obvode označuje polarita napätia a smer prúdu – šípkou. Obvykle sa napätie značí šípkou od $+$ k $-$. Smer prúdu sa označuje šípkou ktorá smeruje opačne ako je skutočný tok elektrónov, ale aj keby sme prúd označili omylom opačne, pri počítaní obvodu by nám vyšiel prúd správne veľký, len záporný. Aby sme odlíšili šípku prúdu od šípky napätie, šípka prúdu je uzavretá.

Schéma a schematické značky

Použité súčiastky a ich vzájomné spojenie sa vyobrazuje v schéme. Používajú sa dohodnuté schematické značky, ktoré sú symbolom pre jednotlivé súčiastky.

Elektrické jednobrána – dvojpól

Je vlastne každá súčiastka v obvode. Jednobrána sa môže správať ako:

1. spotrebič – ak šípky prúdu a napätie smerujú do jednej alebo z jednej svorky
2. zdroj – ak sú obe šípky v sérii – na konci jednej začína druhá

Jednobrána má závislosť prúdu od napätie – Volt-Ampérovú charakteristiku – VACHA. Podľa nej sú lineárne a nelineárne jednobrány. Dve spojené jednobrány tvoria uzavretý systém – elektronický obvod.

Elektrická dvojbrána – štvorpól

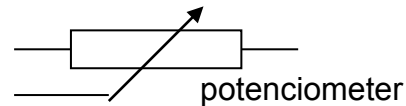
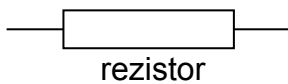
Niektoré elektronické súčiastky majú viac ako 2 vývody – napr. tranzistor. Svorky ktoré slúžia na privádzanie signálu sa volajú VSTUPNÉ a tie, ktorými sa signál odoberá sú VÝSTUPNÉ. Niektoré svorky sú spoločné pre vstup aj výstup signálu – napr. na tranzistore v zapojení so spoločným emitorom je emitor aj vstupná aj výstupná svorka. Na obe strany dvojbrány sa nedá pozerat' ako 2 samostatné jednobrány.

Aj ony sa delia podľa VACHA na lineárne a nelineárne. Keďže na vstupe sú u_1, i_1 a na výstupe sú iné u_2, i_2 , VACHA má 4 osi a 4 časti.

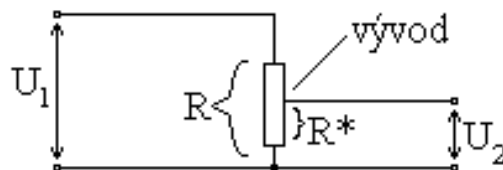
Prvky elektronických obvodov - lineárne

1. Rezistor

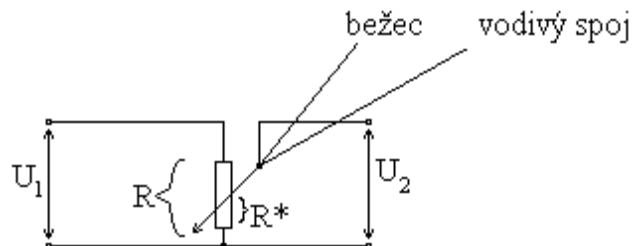
- je vlastne odporová vrstva nanosená na keramickej vrstve
- je charakterizovaný: menovitým odporom R v ohmoch Ω stanoveným výrobcom – je daná odchýlka - tolerancia
- má :
 - o 2 vývody – sú buď vrstvové (1 odporová vrstva) alebo drôtové – odpor tvorí odporový navinutý na keramickom teliesku



- o viac vývodov sú:
 - s pevnou odbočkou



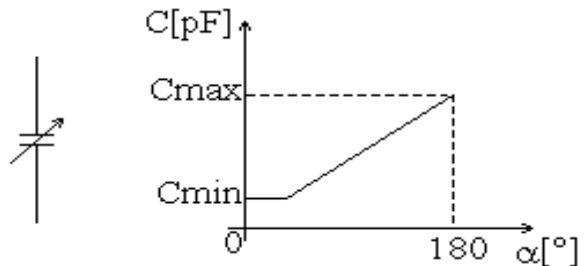
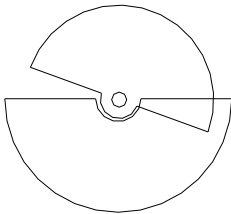
- potenciometre – hodnota R sa dá meniť plynulo, používajú sa aj tandemové – 1 hriadeľ ovláda 2 rôzne odpory naraz



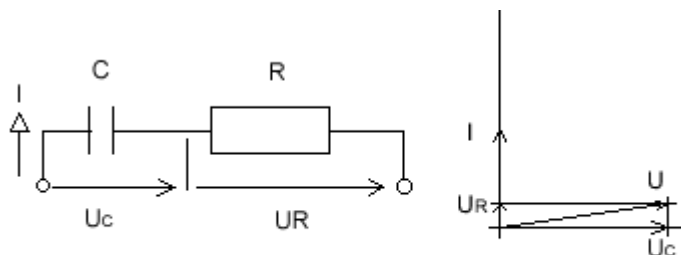
- trimre – sú to potenciometre určené na zriedkavú zmenu odporu
- zaťažiteľnosť je povolený výkon, ktorý zohreje R na max. dovolenú teplotu
- označované sú číslicami a písmenami k, M, G, T a 4 far. Pruhmi
- VŽDY platí ohmov zákon $R=U/I$ aj pri striedavom prúde
- v obvode stried. prúdu je sú u a i vo fáze!!!

2. Kondenzátor

- je súčiastka ktorá slúži na hromadenie el. náboja
- sú to vlastne 2 elektródy medzi ktorými je izolant – dielektrikum
- charakterizuje ho menovitá kapacita C v μF , nF , pF
- menovité napätie je to, pre ktoré je konštruovaný
- je to frekvenčne závislá súčiastka, nepreteká ňou jednosm. prúd a nízke frekvencie striedavého, čím vyššia frekvencia, tým lepšie prúd preteká
- v obvode striedavého prúdu ho charakterizuje striedavý odpor – reaktancia $X_c = \frac{1}{2\pi f C}$ v ohmoch Ω
- sú:
 - o pevné – nemenia C a ako dielektrikum je papier, fólia, slúda, keramika a elektrolytické – dielektrikum je vrstva oxidu – vznikne na Al doske pôsobením elektrolytu, ktorý tvorí druhú elektródu
 - o premenlivé – menia C zasúvaním pohyblivých elektród do vane statorových elektród



- v obvode str.prúdu na ideálnom C prúd **predbieha** napätie o 90°
- skutočný C má aj veľký odpor R a preto sa dá nakresliť ako v sérii zapojený rezistor R a kapacita C . Na R je napätie U_R v smere prúdu, na C je napätie U_C kolmo na prúd a tým výsledné U na kondenzátore zaostáva prúd o uhol MENŠÍ než 90° . Ten uhol, čo chýba do 90° je uhol δ a čím je väčší tým sú straty väčšie. Preto aj $\text{tg} \delta$ je stratový činiteľ a vyjadruje veľkosť strát na kondenzátore.
- Takže celkový odpor kondenzátora je **impedancia** $Z = U/I = \sqrt{R^2 + \frac{1}{(2\pi f C)^2}}$, v Ω



3. Cievka

- je súčiastka, ktorú tvorí stočený vodič, vnútri ktorého pri pretekaní prúdom sa vytvára magnetické pole
- môže mať aj jadro, najčastejšie z feromagnetického materiálu
- jej hlavný parameter je indukčnosť L , jednotka Henry H
- ideálna cievka má nulový odpor, skutočná má malý odpor R_L
- kvalita cievky $Q = L / R_L$
- je to frekvenčne závislá súčiastka, preteká ňou jsm. prúd a nízke frekvencie striedavého, čím vyššia frekvencia, tým horšie prúd preteká

- v obvode striedavého prúdu ju charakterizuje striedavý odpor – reaktancia $X_L = (2\pi fL)$ v ohmoch Ω
- v obvode str.prúdu na ideálnej L napätie **predbieha** prúd o 90°
- skutočná L má aj malý odpor R_L a preto sa dá nakresliť ako v sérii zapojený rezistor R_L a indukčnosť L. Na R_L je napätie U_r v smere prúdu, na L je napätie U_L kolmo na prúd a tým výsledné U na cievke predbieha prúd o uhol MENŠÍ než 90° .
- Takže celkový odpor cievky je **impedancia** $Z=U/I = \sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}$ v Ω

4. Dióda

- je polovodičová súčiastka, ktorá vzniká spojením polovodiča typu P a N
- je to vlastne PN priechod
- je nelineárna, frekvenčne nezávislá
- má usmerňovacie vlastnosti
- sú hrotové a plošné
- má 2 elektródy – anóda A (typ P) a katóda K (typ N)

Polovodič je materiál, ktorý vedie prúd po dodaní nejakej energie – teplo, svetlo, napätie.

Polovodič typu N vzniká, ak sa do napr. Si – kremíka (polovodič), ktorý je 4-mocný – každý atóm má 4 elektróny, dodá 5-mocný prvok Antimón, takže 1 elektrón zostane navyše – voľný, a po privedení U vedie prúd. V polovodiči typu N vedú prúd elektróny (-).

Polovodič P vzniká dodaním 3-mocného prvku –Indium- do kremíka, takže 1 elektrón akoby chýbal, a miesto kde chýba sa správa ako kladne nabitá diera. Po privedení U preskakujú elektróny materiálu do týchto dier, a tým sa akoby diera pohybuje k pólu -. V polovodiči typu P vedú prúd diery (+).

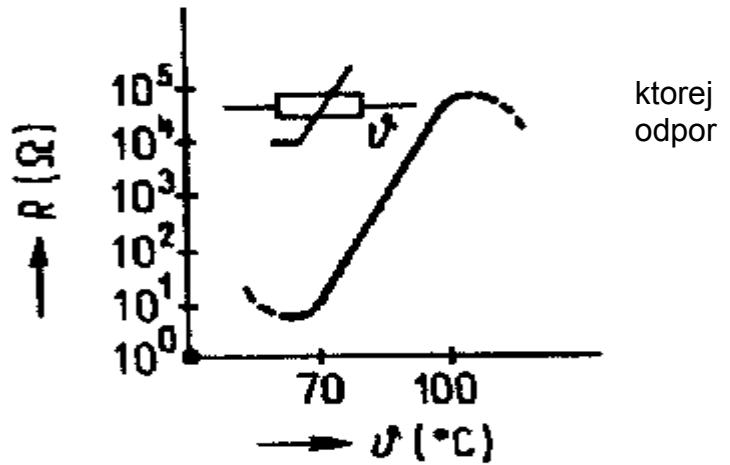
Spojením typu P a N za tepla sa vytvorí PN priechod. Vtedy sa elektróny z typu N snažia dostať do typu P a naopak, čím sa vytvorí elektrické pole na rozhraní P a N – prechod.

Má usmerňovacie vlastnosti:

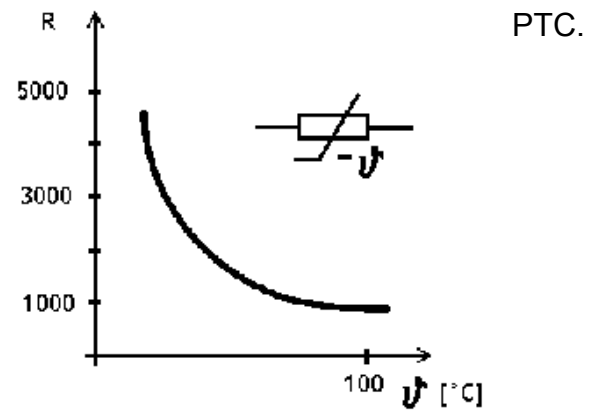
- ak pripojíme na P + pól a na N – pól, pri už malom napätí – takom ako napätie PN prechodu vytvoreného pri výrobe, sa dióda stáva vodivá – prepúšťa prúd ako skrat a tento smer je **priepustný**
- ak pripojíme na N + pól a na P – pól, dióda je nevodivá a aj keď zvyšujeme napätie prúd nevedie. Tento smer sa volá **záverný**. Pri veľkom U sa prerazí – zhorí. Keďže nijaký materiál nie je 100% čistý, sú aj v polovodiči P elektróny a v N diery. Sú to nečistoty a je ich oveľa menej a pre ne je PN priechod v závernom smere vodivý, ale je ich málo a tento prúd je zanedbateľný.

5. Ostatné súčiastky:

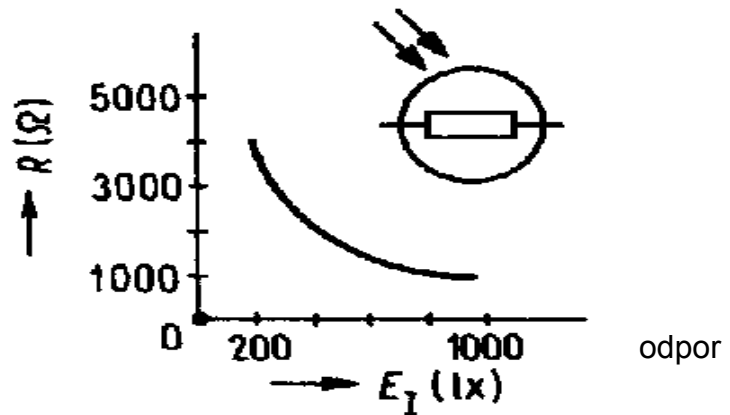
Termistor je polovodičová súčiastka, odpor závisí od teploty, častejšie s teplotou klesá. Označuje sa aj NTC.



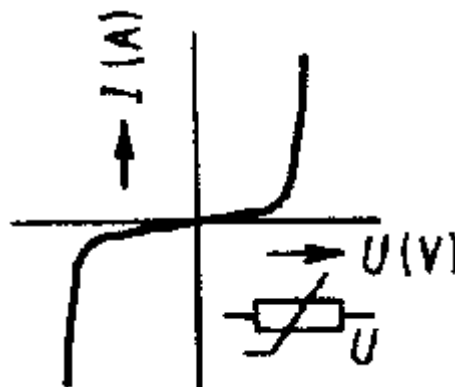
Pozistor je termistor, ktorého odpor s teplotou stúpa. Označuje sa niekedy aj



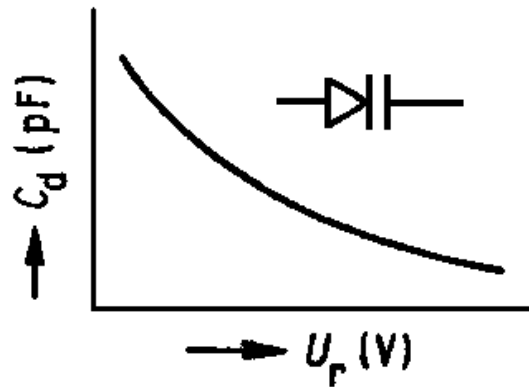
Fotorezistor je pv súčiastka, ktorej odpor s osvetlením klesá.



Varistor je pv súčiastka, ktorej závisí od napätie. VACHA je

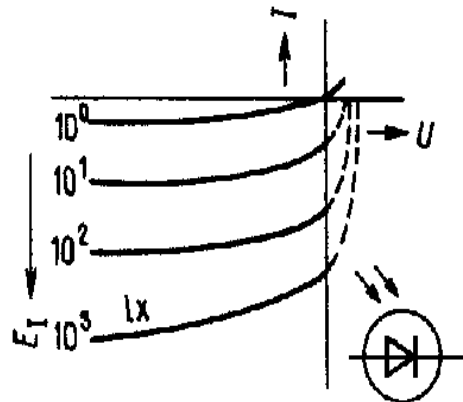


Varikap je kapacitná dióda, čiže jej sa mení podľa pripojeného napätia



kapacita takto:

Fotodióda je dióda, ktorá pracuje v 2 režimoch: a) v hradlovom – priepustnom, sa správa ako normálna dióda. Pri silnom osvetlení sama zdrojom napätia - premieňa svetlo na el.energiu.
b) v odporovom – závernom – záverný prúd sa s osvetlením zväčšuje



je

Jednoduché elektronické obvody

Deliče napätia

a. Lineárne – odporové deliče napätia

Ak spojíme 2 alebo viac rezistorov, rozdelíme v nich U a I v pomere ich odporov. Vznikne tak frekvenčne nezávislá dvojbrána.

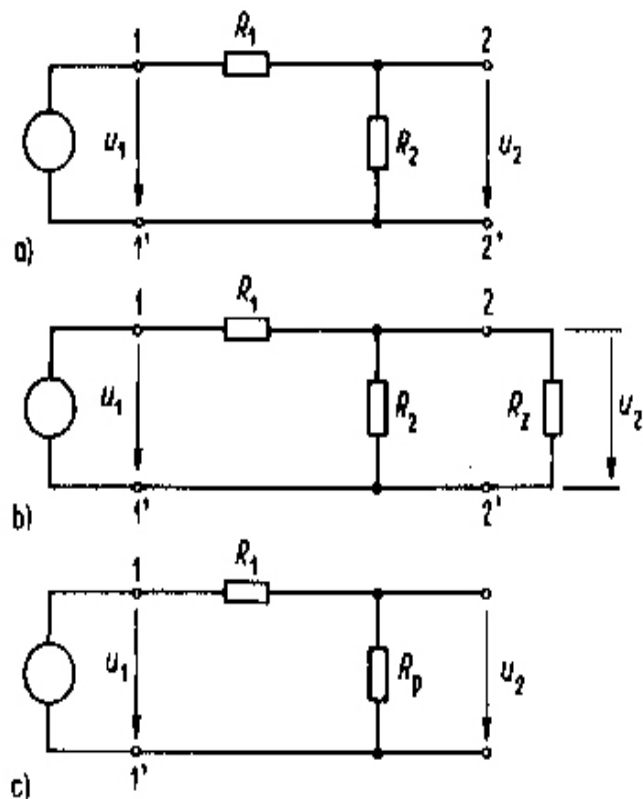
Ak pracuje naprázdno – nezaťažený, na napätie U_1 pripadajú odpory R_1+R_2 , na napätie U_2 len R_2 . Preto platí

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

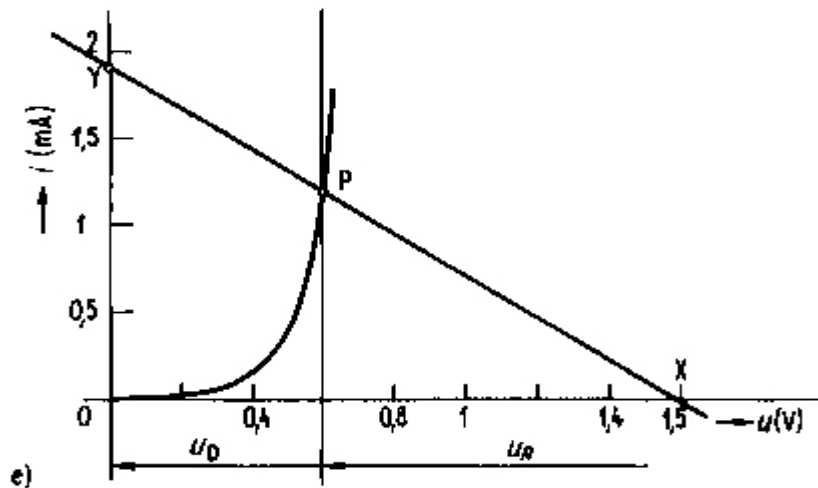
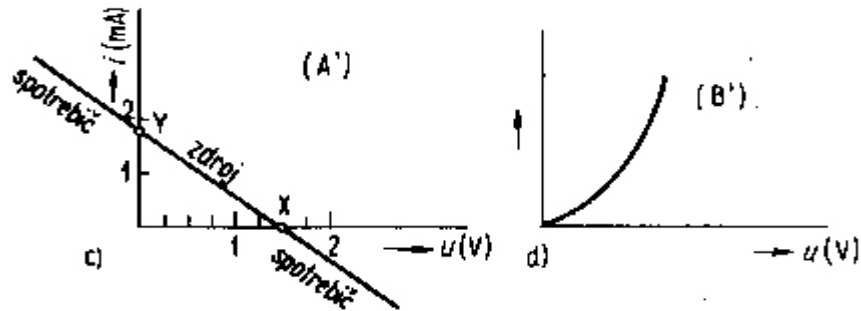
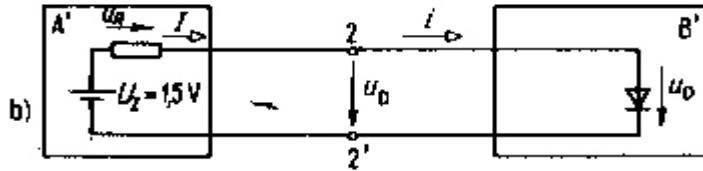
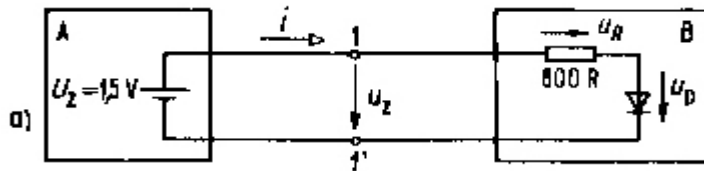
Ak delič zaťažíme spotrebičom R_z , u_2 klesne, lebo aj cez R_z preteká prúd. R_2 a R_z sa ale dajú nahradiť jedným R_p , ktorého hodnota zodpovedá paralelne zapojeným R_z a R_2 . $R_p =$

$$\frac{R_2 R_z}{R_2 + R_z} \text{ a } U_2 = U_1 \frac{R_p}{R_1 + R_p}$$

b. Nelineárne deliče napätia



Obr. 1.14. Odporové deliče napätia



Ak je 1

prvok v obvode nelineárny (VACHA nie je rovná) nedá sa použiť matematický postup, lebo odpor napr. diódy je závislý od U . Obvod sa rieši graficky:

Zdroj s rezistorom si predstavíme ako lineárnu jednobránu, ktorej VACHA nakreslíme. Bude to priamka a stačí poznať 2 jej body:

- ak je naprázdno – bez záťaže – jej $U=1,5\text{V}$ a $I=0\text{A}$
- ak je v skrate, $U=0\text{V}$ a $I=U/R=1,5\text{V}/800\Omega=1,9\text{mA}$.

Oba body spojíme a máme VACHA jednobrány – volá sa aj zaťažovacia priamka.

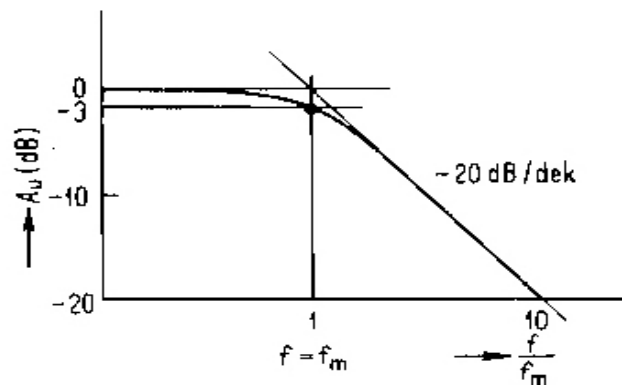
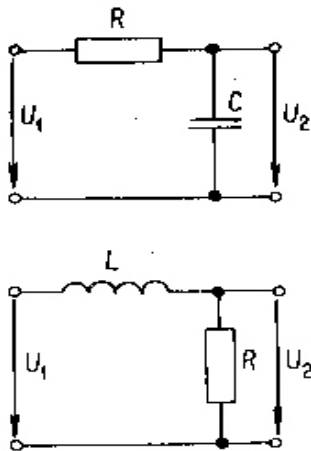
Ak do tej istej VACHA nakreslíme VACHA diódy, tam kde sa pretnú je pracovný bod P a odčítame jeho U a I .

c. Frekvenčne závislé deliče

Sú tie, ktoré majú v sebe frekvenčne závislú súčiastku – L,C. Sú:

- i. Filtre RC a RL – majú malé rozmery, sú lacné, použ. sa pre nízke frekvencie

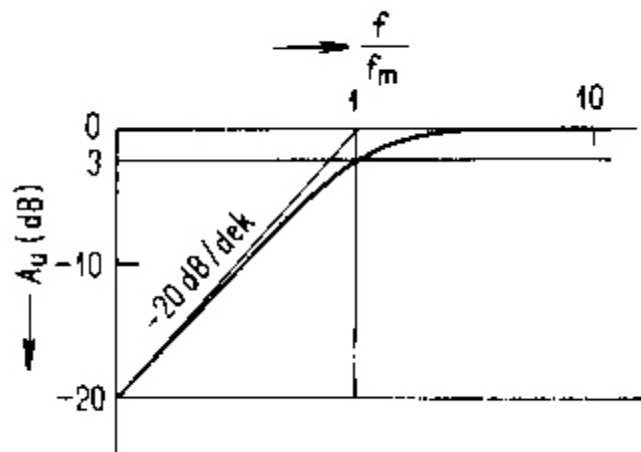
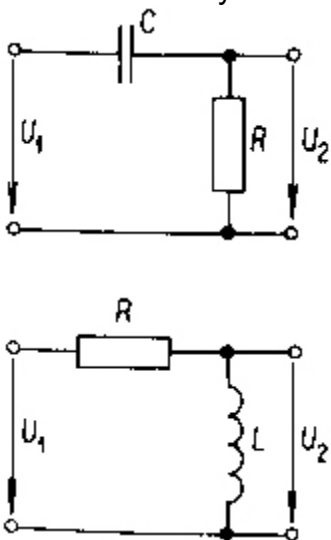
I. Dolnopriepustné filtre DP



Udáva sa u nich tzv. napäťový prenos $A_u = \frac{U_2}{U_1}$, čiže koľko sa zo vstupného U_1 dostane

na výstup. Keďže je to frekvenčne závislý delič, A_u sa s frekvenciou mení a kreslí sa závislosť **A_u od f** ako **frekvenčná charakteristika**. Toto je DP preto, lebo čím vyššia frekvencia, tým má C menší striedavý odpor – reaktanciu, a na menšom odpore je menšie U .

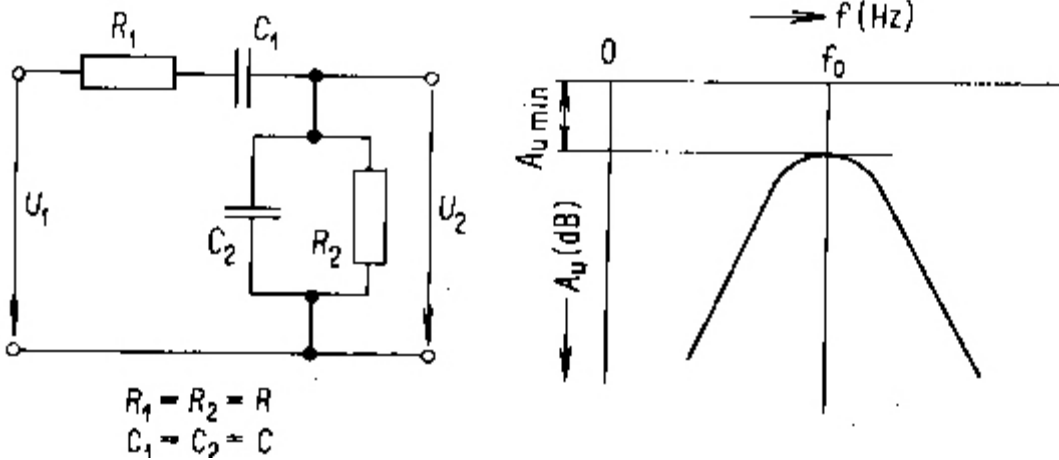
II. Hornopriepustné filtre HP – vzniknú zámenou súčiastok a platí - čím nižšia f , tým je reaktancia cievky nižšia – a aj výst. U_2 je nižšie.



III. Pásmové priepusty PP

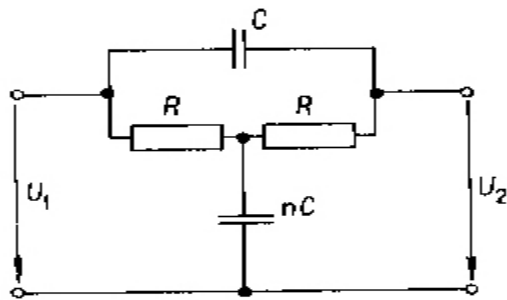
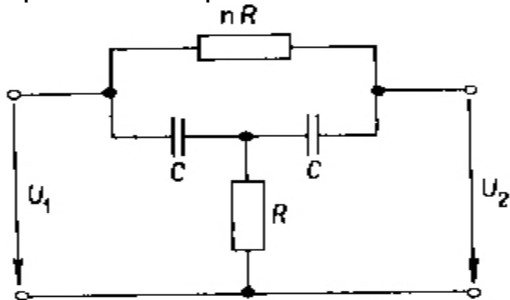
Prepusťia iba určité pásmo frekvencií okolo tzv. kritickej frekvencii. Toto je Wienov článok

a kritická $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$.

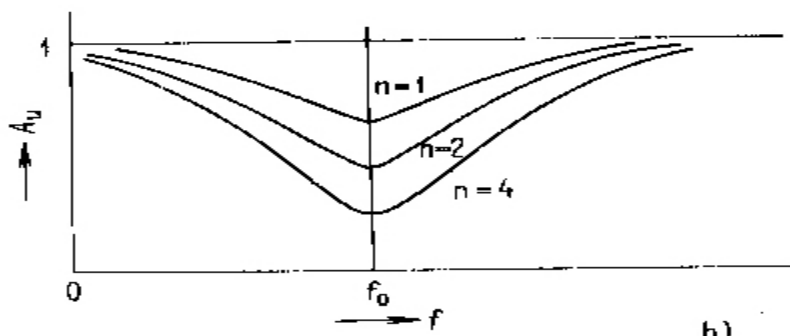


IV. Pásmové zadrže PZ

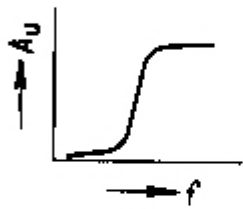
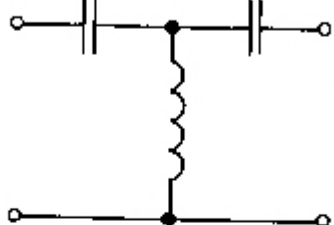
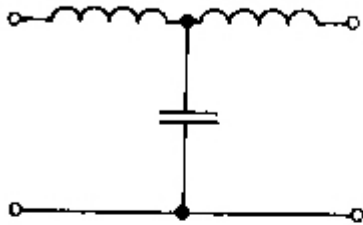
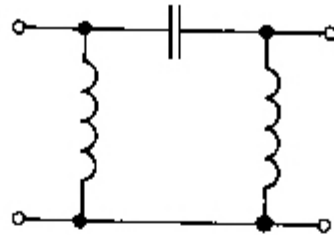
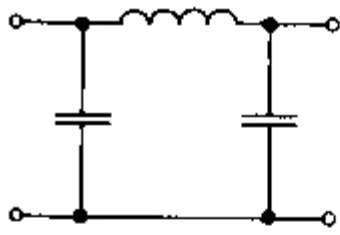
Majú prenos najmenší práve pri tej istej kritickej frekvencii, takže vlastne odfiltrujú – neprepustia určité pásmo f okolo f_0 .



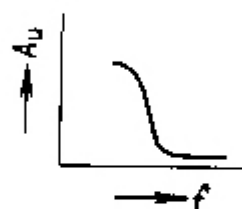
a)



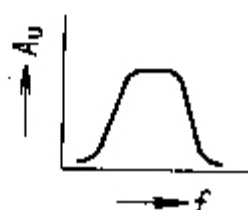
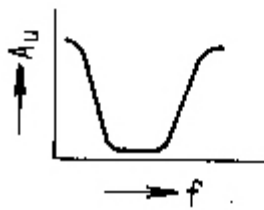
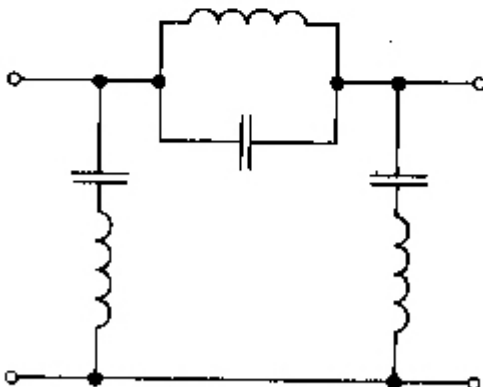
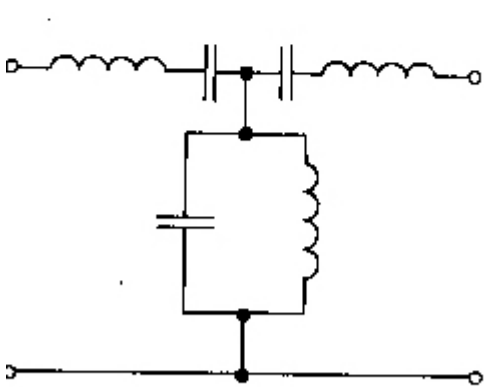
- ii. Filtre LC
 Sú použité, ak potrebujeme strmšiu frekvenčnú charakt. Sú tiež DP,HP,PP a PZ. Príklady:



a)



b)



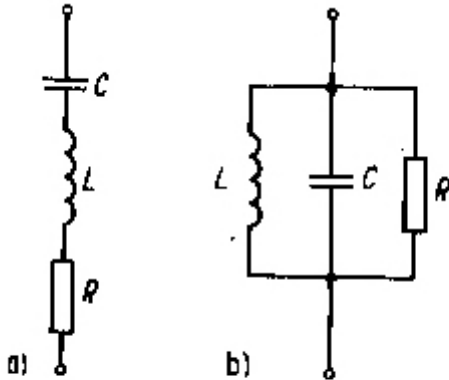
Rezonančný obvod RO

Vznikne ak spojíme L a C. Môže byť:

1. Sériový RO:

Ak sú R, L, C v sérii a budeme im privádzať striedavý prúd, impedancia bude súčtom R a reaktancií cievky X_L a kond. X_C . Ak sa obe rovnajú $X_L = X_C$ bude $Z = R$ a hovoríme že obvod je v rezonancii. To nastane len pri rezonančnej frekvencii

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



2. Paralelný RO:

Pracuje takto: úplne nabitý C má všetku energiu obvodu v podobe svojho náboja. Začne sa vybíjať cez cievku, stúpa cez ňu prúd a okolo nej je mag. pole. Ak sa C vybije, všetku energiu má L v podobe mag. poľa. Teraz sa zase cievka vybíja a nabíja tým C. Takto si L a C menia navzájom energiu, a funguje to s najmenšími stratami pri

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

obvod takto kmitá aj po prerušení dodávky vonk. energie. Keďže sú

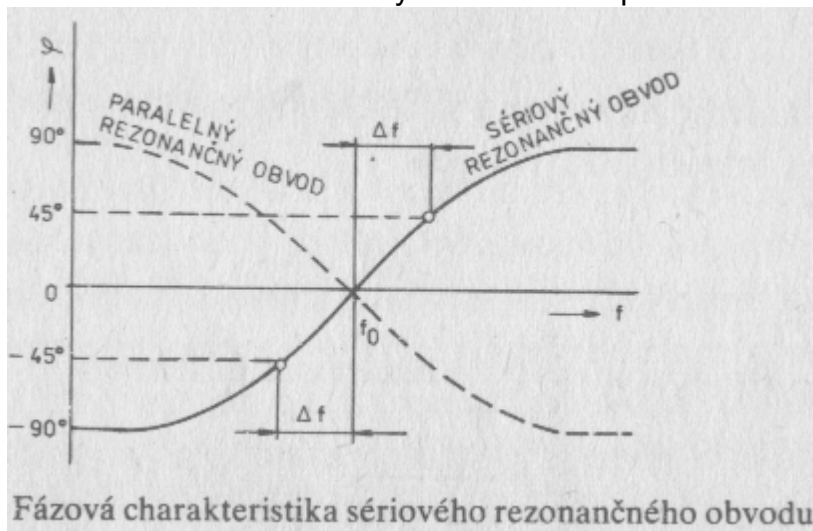
Rezonančný obvod so stratovým odporom R

a — sériový, b — paralelný

všade straty, po čase kmity zaniknú. LC RO sa používa ako zdroj kmitov v oscilátoroch.

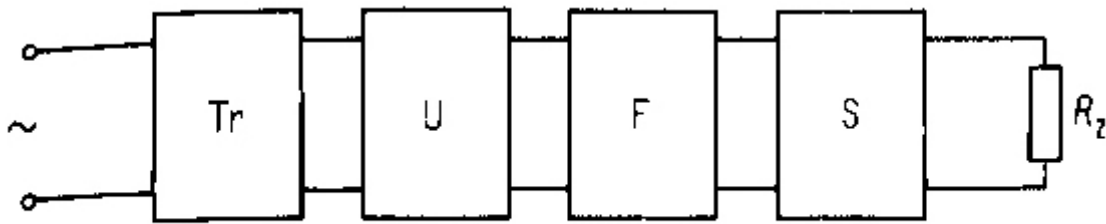
Ak $f > f_0$ má obvod kapacitný charakter – I predbieha U

Ak $f < f_0$ má obvod indukčný charakter – U predbieha I.



Usmerňovače a stabilizátory

Elektronické obvody potrebujú pre svoju činnosť jednosmerné napájanie a keďže u nás je v rozvodnej sústave str. U 50Hz, používajú sa na premenu str. na jsm. U usmerňovače.



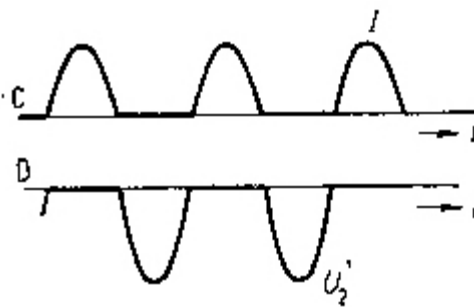
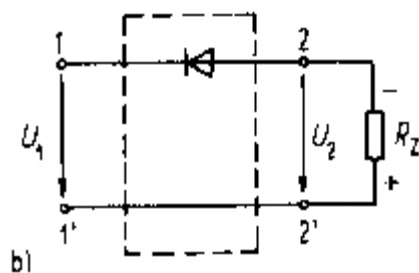
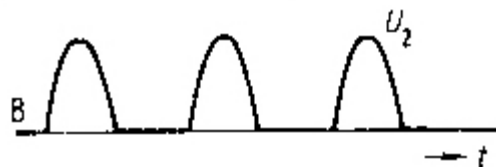
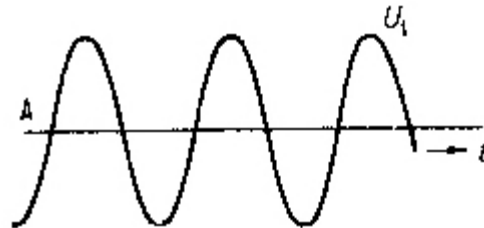
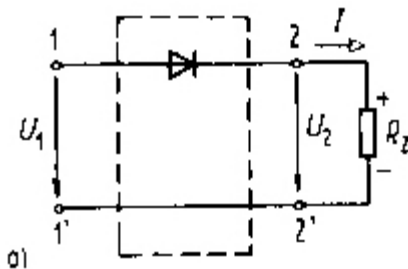
2.1. Blokové zapojenie sieťového napájacieho zdroja

Najprv sa str. U premení transformátorom Tr na vhodnú veľkosť (napr. 12V), potom sa usmerní v usmerňovači U. Usmernené napätie je ešte koscibaté a preto je tam F filter – ten odstráni to zvlnenie signálu. Na konci je stabilizátor S – ten udržiava výstupné napätie konštantné pri rôznych odberových prúdoch.

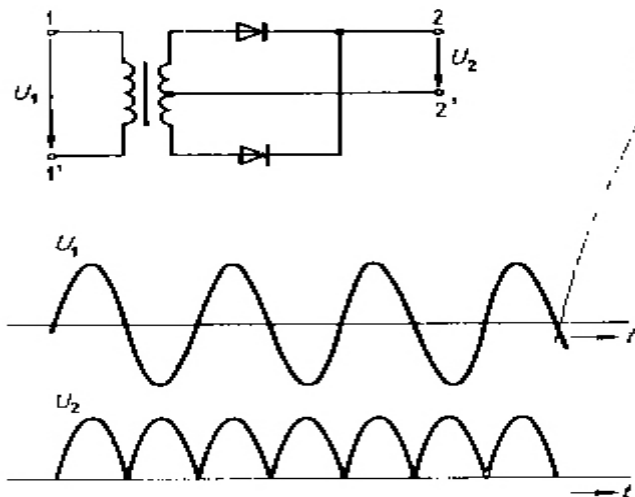
Usmerňovače

Sa podľa premeny str. signálu delia na:

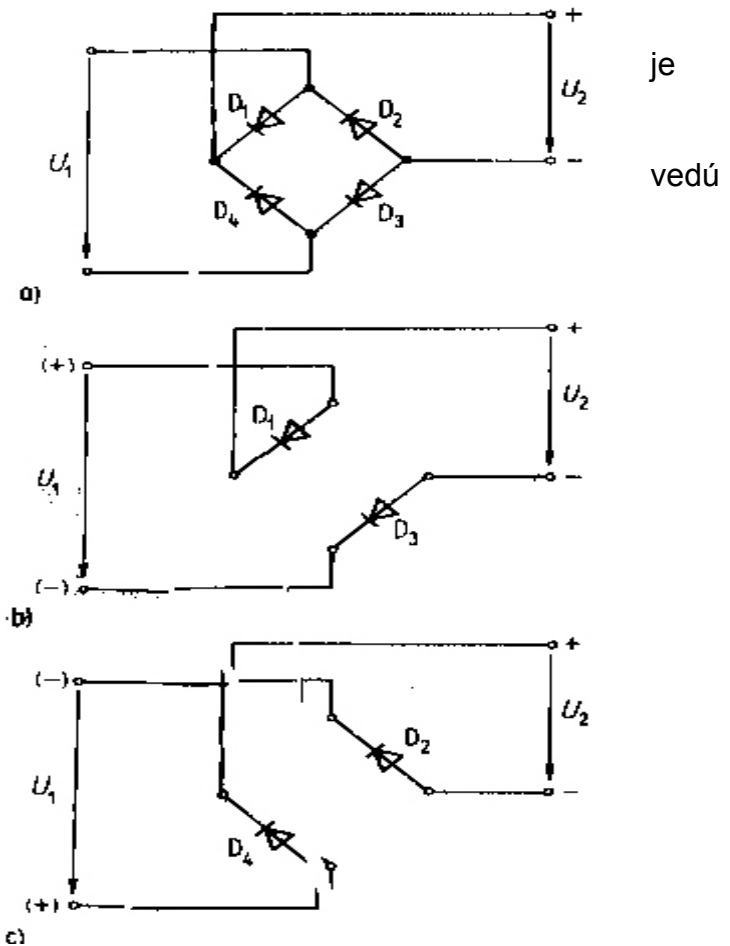
1-cestné – prepustia iba jednu polovinu str. signálu, druhú nie



2-cestné – jednu polvlnu prepustia a druhú otočia opačným smerom, takže obe polvlny majú rovnakú polaritu. Nevýhodou je použitie transformátora s dvojitým sekundárnym vinutím.



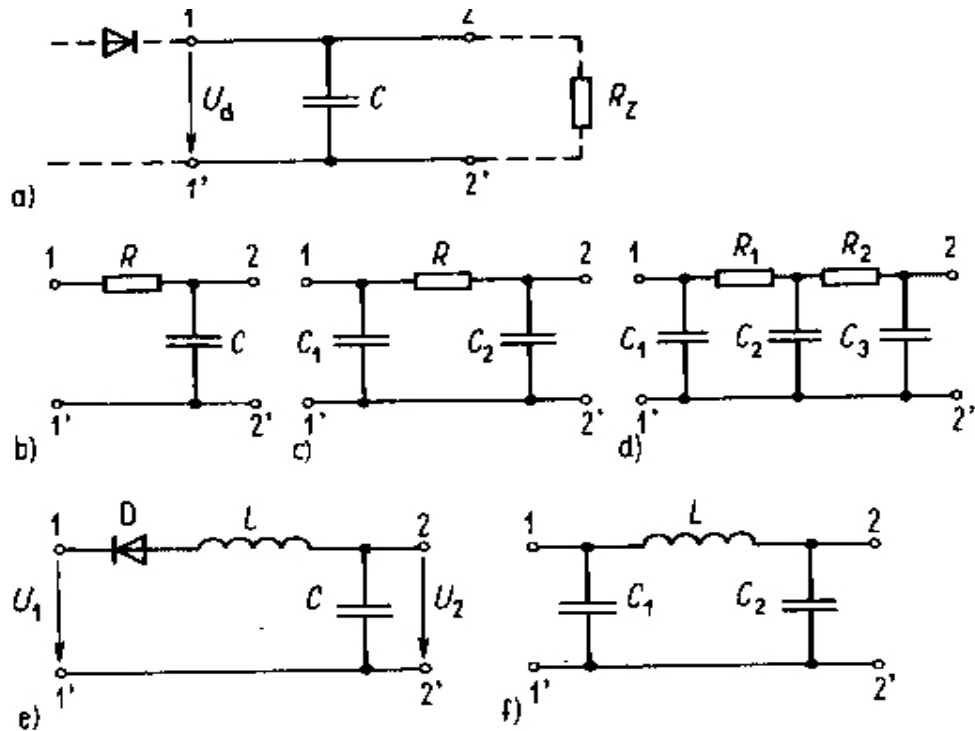
Špeciálny prípad 2-cestného usmerňovača BEZ transformátora, mostíkový – Graetzov usmerňovač, ktorý tvoria 4 diódy zapojené do mostíka, pričom prúd vždy len 2:



Filtrácia v usmerňovačoch

Usmernené U je ešte veľmi kostrbaté – zvlnené, preto ho treba vyrovnat' – vyhladiť.

Používajú sa:



- kapacita – len v zdrojoch s malým odberom prúdu
- RC – je už lepší, ale výstupné U je mäkké – mení sa s odberovým prúdom - klesá
- CRC – alebo viac x za sebou =
- sa najčastejšie používa v elektronických prístrojoch
- LC sa používa v prístrojoch v veľkom odberom prúdu
- CLC bola používaná dávnejšie. Pre e a f platí, že L musí byť veľká a preto je to tlmivka so železným jadrom – drahá a rozmerná. Výstupné U je tvrdé – nemení sa s odberom.

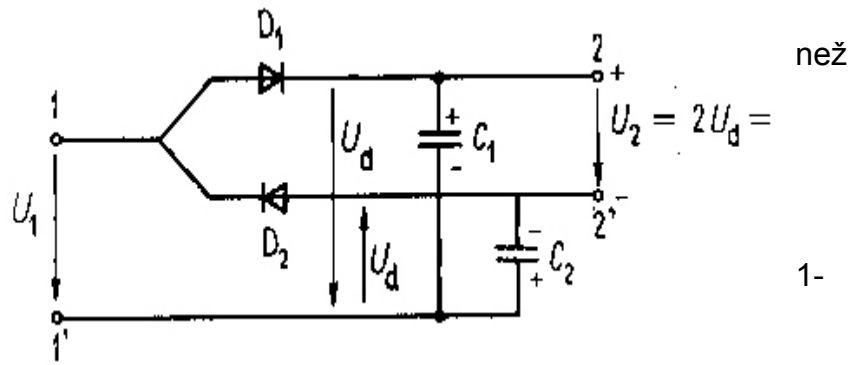
Násobiče napätia

Často potrebujeme dvoj- alebo viacnásobné napätie, je to usmernené. To urobia násobiče. Jednoduchý násobič s dvojitým výstupným U oproti vstupnému je:

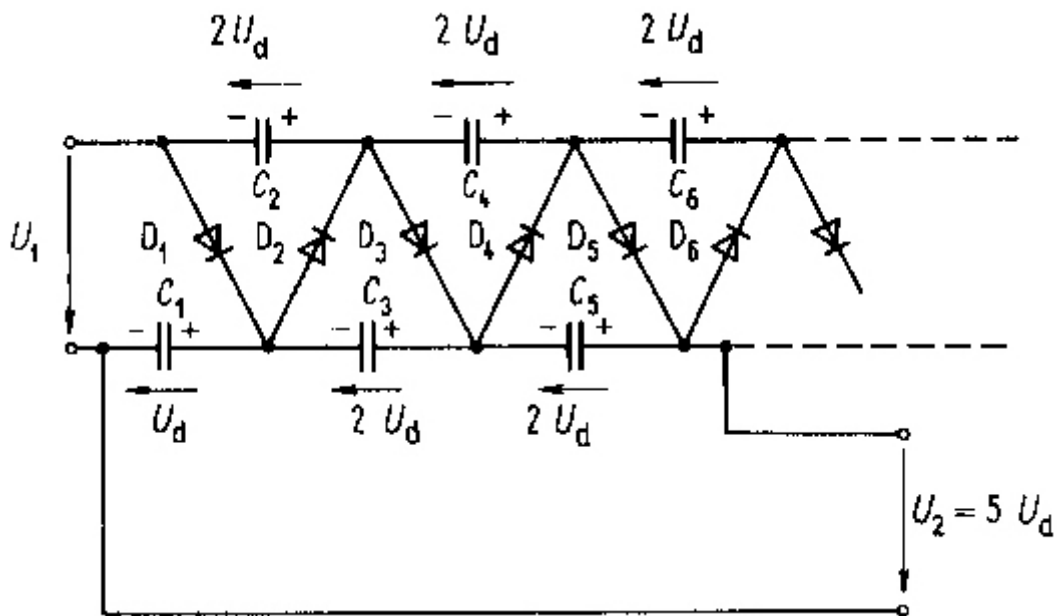
Sú to vlastne 2 samostatné cestné usmerňovače, každý s filtračným C. Diódy sú

zapojené opačne, takže kondenzátory majú usmernené napie opačnej polarity.

Kondenzátory sú vlastne filtre, ktoré držia usmernené napätie. Zapojením sa obe napätie sčítajú takže $U_2 = 2xU_1$.

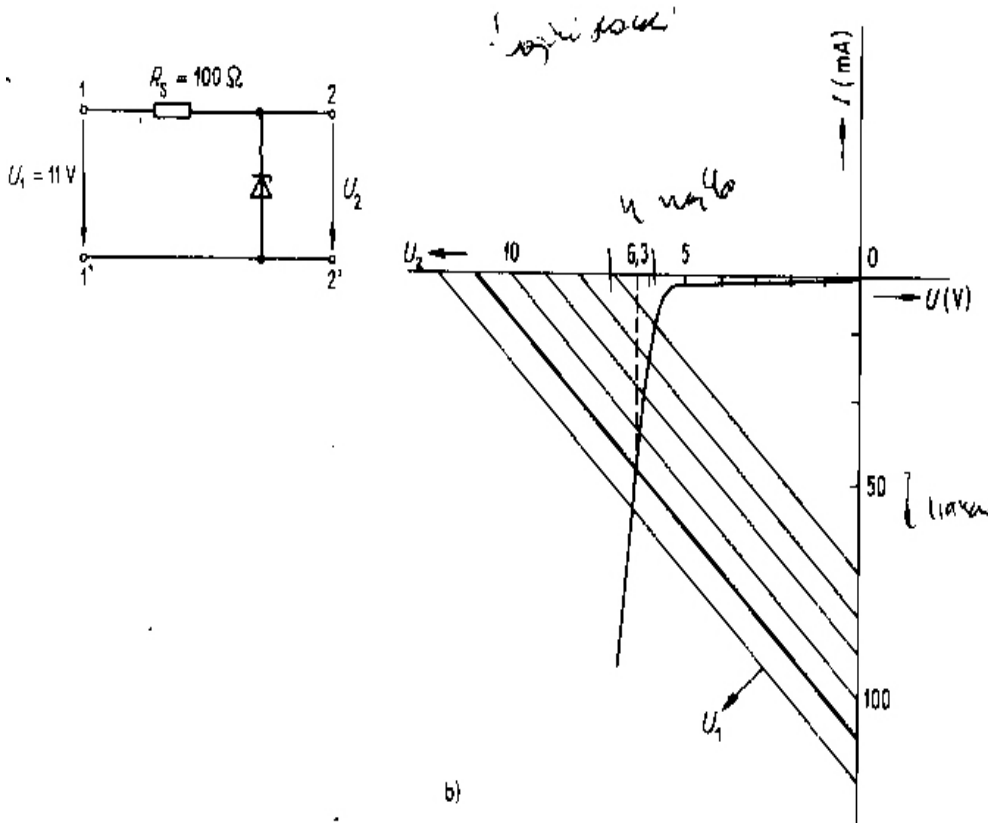


Takýmto postupom sa dá získať ľubovoľný násobok vstupného U_1 . Príklad pre 5-násobok je:



Stabilizátory

Ich úlohou je udržať výstupné napätie usmerňovača stále rovnaké, aby sa nemenilo podľa veľkosti výstupného prúdu usmerňovača. Jednoduchý stabilizátor je so Zenerovou diódou: princíp je, že v oblasti VACHA kde sú čiary, sa pri veľkej zmene na zvislej osi – osi prúdu (napr. zo 100 na 50) napätie mení len minimálne. Platí, že čím nižšie stabilizátor pracuje, tým sú väčšie straty.



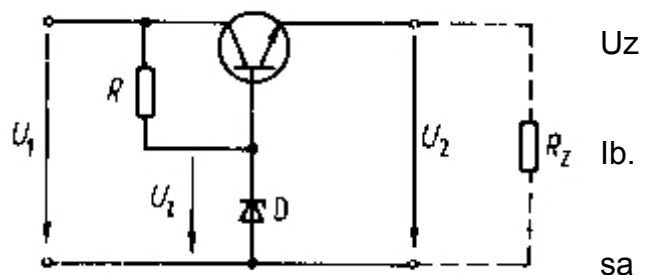
Obr. 2.16. Jednoduchý stabilizátor so stabilizačnou diódou

a – zapojenie, b – vzťahy v stabilizátore

Tranzistorový

stabilizátor:

Pracuje takto: ak U_1 , ktoré chceme stabilizovať, stúpne, stúpne aj U_R . U_R je vlastne U_{CE} a ak to na tranzistore stúpne, tranzistor sa otvorí a tým klesne kolektorový prúd I_c , bazový. Tým ale klesne U_{BE} . Ak spolu sčítame pokles U_{BE} a stúpnutie U_Z , ich súčet je konštantný, takže výsledné $U_2 = U_Z + U_{BE}$ nemení.

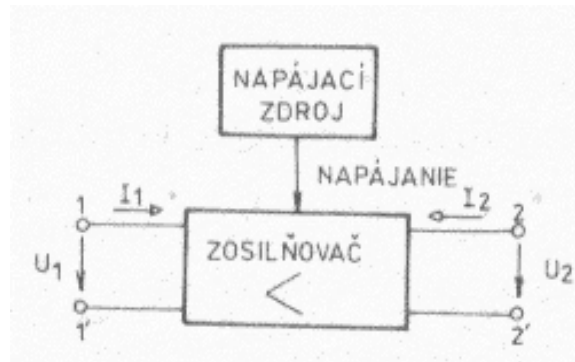


Zosilňovače

Zosilňovač je šesťpólový obvod, v vstupný signál relatívne malého výkonu prenos podstatne väčšej energie z napájacieho zdroja do záťaže.

Rozdelenie:

- Podľa druhu pracovných režimov:
 - zosilňovače malých signálov (signály sú malé a zakrivenia charakteristík môžeme zanedbať)
 - zosilňovače veľkých signálov (signály sú veľké a zakrivenia VA charakteristík nemôžeme zanedbať)
- Podľa spracovaných frekvencií:
 - nízkofrekvenčné (nf)
 - vysokofrekvenčné (vf)
 - širokopásmové - ak platí: horná frekvencia/dolná frekvencia = 2 a viac
- Podľa zapojenia zosilňujúcej súčiastky:
 - zosilňovače so spoločným E,B,K
 - jednočinné alebo dvojčinné
- Podľa spôsobu väzby na zdroj a záťaž:
 - s väzbou priamou
 - s väzbou kapacitnou
 - s väzbou transformátorovou
 - s väzbou autotransformátorovou
- Podľa počtu zosilňujúcich stupňov:
 - jednostupňové
 - viacstupňové
- Podľa aktívnej súčiastky: (elektrónkové, tranzistorové, IO, relé..)
- Podľa druhu vstupného signálu: jednosmerné, striedavé, vysokofrekvenčné, impulzové.
- Podľa polohy pracovného bodu
 - trieda A: uhol otvorenia 360°
 - trieda B: uhol otvorenia 180°
 - triedy AB: uhol otvorenia väčší ako 180° a menší ako 360°
 - trieda C: uhol otvorenia menší ako 180°



Vlastnosti zosilňovačov

1. **Zosilnenie A** je definované ako pomer výstupnej veličiny k zodpovedajúcej vstupnej veličine. Poznáme tri základné zosilnenia:

- napäťové

$$A_u = U_2 / U_1 [-]$$

vyjadrené v dB

$$a_u = 20 \cdot \log U_2 / U_1 [\text{dB}]$$

- prúdové

$$A_i = I_2 / I_1 [-]$$

$$a_i = 20 \cdot \log I_2 / I_1 [\text{dB}]$$

- výkonové

$$A_p = P_2 / P_1 [-]$$

$$a_p = 10 \cdot \log P_2 / P_1 [\text{dB}]$$

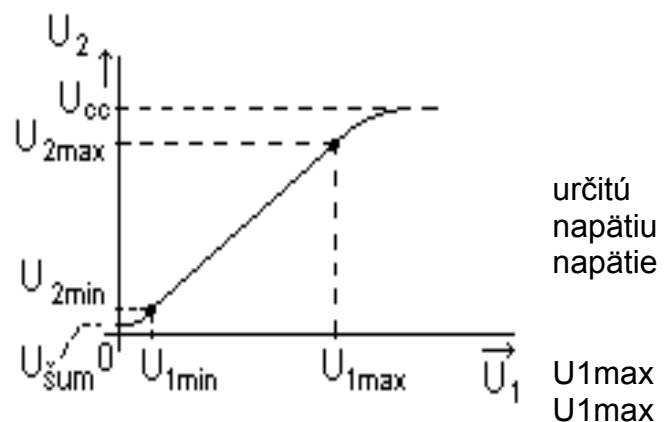
Zosilnenie vyjadrené v dB označujeme ako zisk zosilňovača.

2. **Dynamický rozsah D** je daný pomerom najväčšieho k najmenšiemu signálu na vstupe zosilňovača, ktorý je zosilňovač schopný preniesť pri definovanom výstupnom výkone a skreslení.

$$D = U_{1\text{max}} / U_{1\text{min}} \text{ alebo } D_{\text{dB}} = 20 \cdot \log U_{1\text{max}} / U_{1\text{min}} [\text{dB}]$$

3. **Amplitúdová charakteristika** je grafické znázornenie závislosti amplitúdy výstupného napätia U_2 od amplitúdy U_1 vstupného signálu pre určitú frekvenciu vstupného signálu.

Výstupné napätie U_2 má vždy počiatočnú hodnotu rovnú šumovému $U_{\text{šum}}$, aj keď na vstupe nie je žiadne U_1 . Je spôsobené šumovými vlastnosťami aktívnych a pasívnych súčiastok. Od napätia $U_{1\text{min}}$ po napätie $U_{1\text{max}}$ je charakteristika lineárna. Nad úrovňou $U_{1\text{max}}$ sa charakteristika zakrivuje.

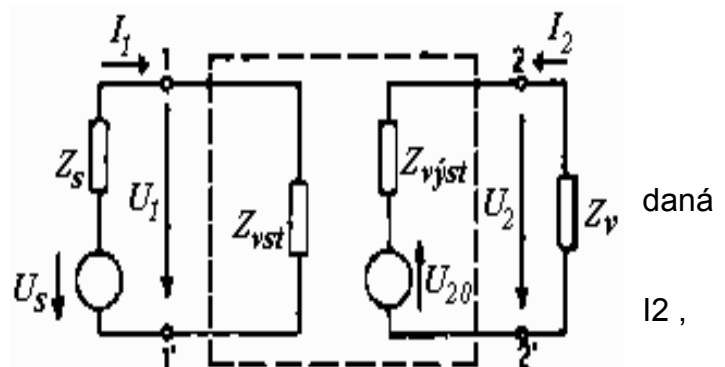


4. **Vstupná impedancia Z_{vst}** je daná pomerom napätia U_1 medzi vstupnými svorkami zosilňovača a prúdom I_1 vtekajúcim do vstupných svoriek zosilňovača. Vstupná impedancia **nezávisí** od veľkosti budiaceho signálu, ale **závisí** od jeho **frekvencie**.

$$Z_{\text{vst}} = U_1 / I_1 [\Omega]$$

5. **Výstupná impedancia $Z_{\text{výst}}$** je pomerom napätia U_2 medzi výstupnými svorkami zosilňovača pri odpojenej záťaži a výstupného prúdu I_2 ktorý je výstupný obvod zosilňovača schopný dodať pri skratovaných výstupných svorkách. Nezávisí od veľkosti výstupného signálu, ale od jeho frekvencie.

$$Z_{\text{výst}} = U_2 / I_2 [\Omega]$$



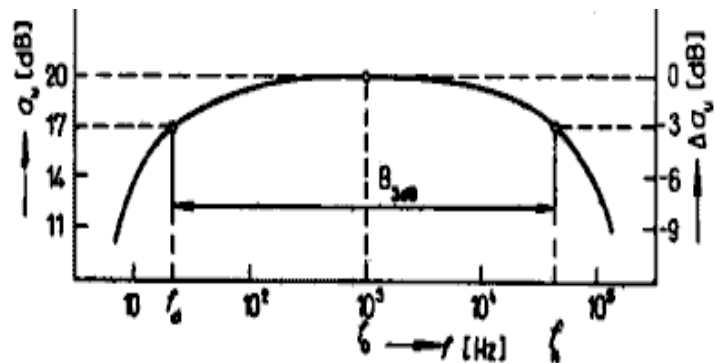
6. **Výstupný výkon** P_{2ef} sa udáva ako maximálny výkon na výstupných svorkách zosilňovača pri definovanom skreslení, frekvencii, tvare signálu a záťaži.

7. **Účinnosť** je pomer výstupného efektívneho výkonu P_2 na výstupných svorkách zosilňovača k jednosmernému príkonu P_z odoberaného z napájacieho zdroja. $\mu = P_2/P_z \cdot 100\%$ kde P_z je výkon dodaný zdrojom

8. **Citlivosť** sa udáva veľkosťou menovitého napätia na vstupe zosilňovača, ktorým na výstupe dosiahneme 50mW (poprípade veľkosť výstupného napätia pre predzosilňovacie stupne) pre určité skreslenie, záťaž, frekvenciu a tvar vstupného signálu.

9. Pásmo priepustnosti B3

prenášaného frekvenčného pásma) je pásmo frekvencií vstupných signálov, ohraničené hornou medznou frekvenciou f_h a dolnou medznou frekvenciou f_d . Medzné frekvencie sú frekvencie, pri ktorých dochádza k poklesu zosilnenia o 3dB voči referenčnej frekvencii f_{ref} , pri ktorej je zosilnenie maximálne .

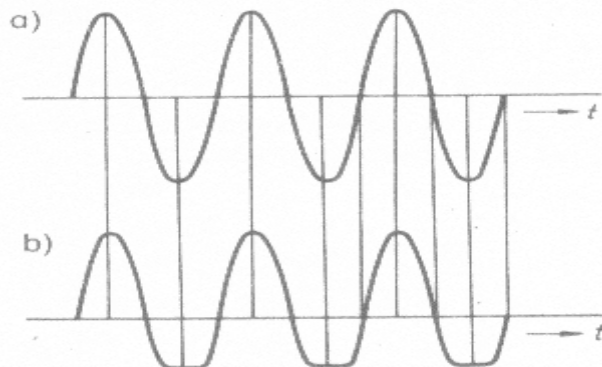


(šírka

10. **Vlastné hlukové napätie** je určité malé napätie, ktoré je na výstupných svorkách zosilňovača aj keď na vstup neprivádzame žiadny signál. Vytvára nežiadúci hluk v pozadí užitočného signálu. Toto napätie je spôsobené zdrojmi hluku samotných súčiastok a zosilňovacích prvkov. Skladá sa z tepelného šumu odporov, šumu zosilňovacích prvkov, sieťového brumu z napájacieho zdroja alebo indukovaného napätia z blízkych zdrojov sieťového napätia.

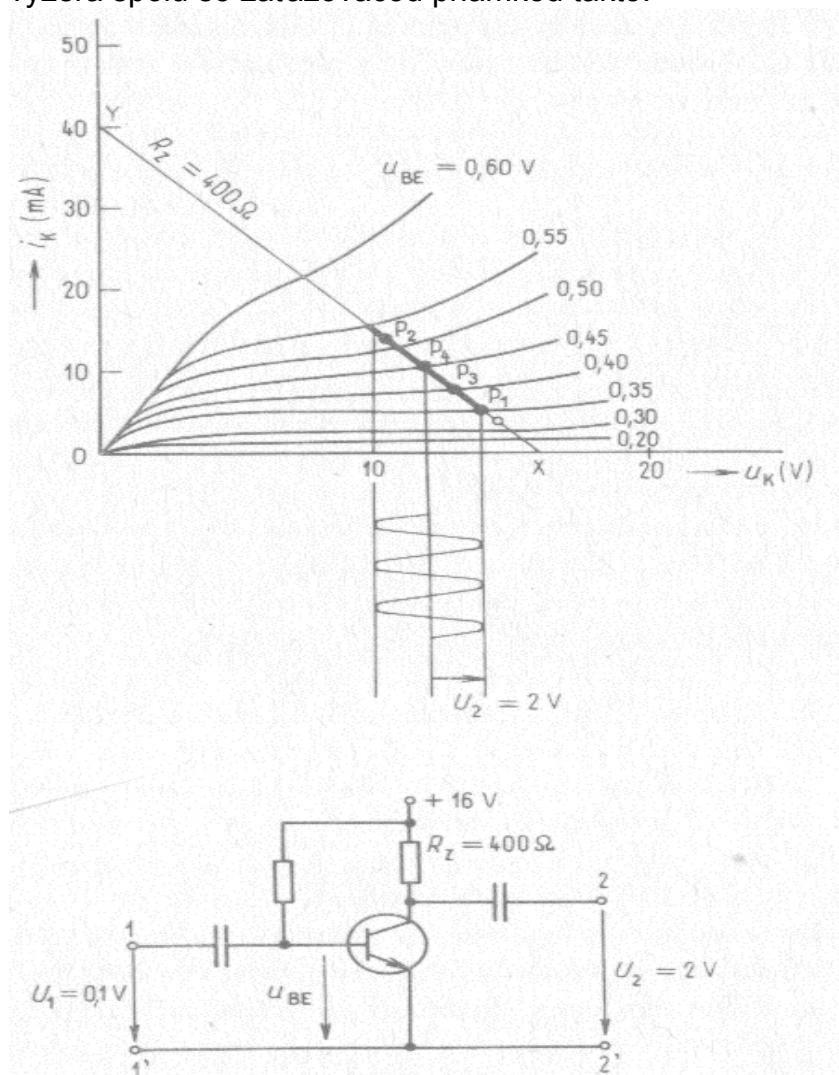
12. Skreslenie

- lineárne: spôsobujú ho väzbové členy (R, C, L), nemení tvar signálu, toto skreslenie závisí len od frekvencie t.j. niektoré frekvencie sú zosilnené lepšie, iné horšie.
- nelineárne: nezávisí od frekvencie, ale od amplitúdy vstupného signálu, spôsobujú ho nelineárne časti Volt-Ampérovej charakteristiky (tranzistor).



Voľba pracovného bodu zosilňovača

Pracovný bod je určený na výstupnej charakteristike tranzistora – čo je závislosť I_k od U_{ce} pri konštantnom bázovom prúde I_b . Pre záťaž $R_z=400\Omega$ a napájacie napätie 16V vyzerá spolu so zaťažovacou priamkou takto:



Pracovný bod volí konštruktér a volí ho podľa požiadaviek, aké má zosilňovač plniť. Môžu byť takéto – zosilňovač má pracovať:

1. úsporne – má mať malý pokojový prúd – P1
2. lineárne – aby + polvlny zosilnil rovnako ako – polvlny = zvolíme P3
3. s najväčším zosilnením – prac. bod je čo najvyššie = P4
4. ak chceme zosilniť signál s veľkým rozkmitom – prac. bod dáme do stredu zaťažovacej priamky = P4.

Pracovné triedy zosiľovača

Niektoré vlastnosti zosiľovača závisia od toho, v ktorom mieste prevodovej charakteristiky zosiľovacieho prvku je umiestnený kľudový pracovný bod P_0 . Podľa toho rozlišujeme 3 triedy zosiľovačov:

Trieda A je definovaná umiestnením kľudového pracovného bodu P_0 v strede lineárnej časti prevodovej charakteristiky a uhol otvorenia $2\alpha_0 = T = 360^\circ$, tak že prúd tečie tranzistorom počas celej periódy vstupného signálu.

Vlastnosti :

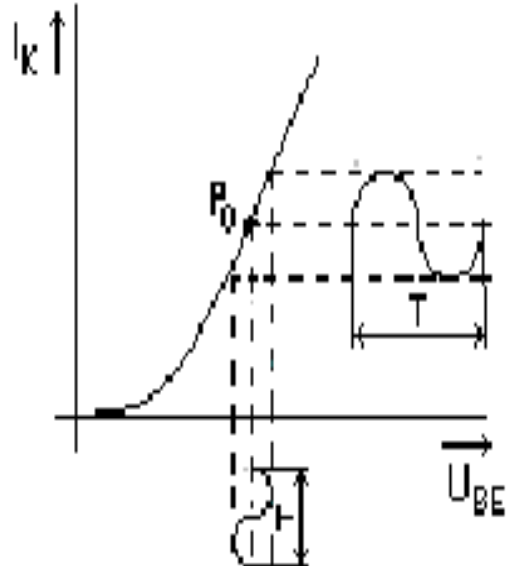
Uhol otvorenia: $2\alpha_0 = T = 360^\circ$

Zosilnenie: maximálne

Skreslenie: minimálne

Účinnosť: Malá (pre sínusový signál max. 25 %)

Použitie: nf zosiľovače
a vľ predzosiľovacie stupne



Trieda B je definovaná umiestnením kľudového pracovného bodu P_0 do miesta zániku kolektorového prúdu, takže uhol otvorenia $2\alpha_0 = T/2 = 180^\circ$ a tranzistorom tečie prúd počas celej polperiódy vstupného signálu.

Vlastnosti:

Uhol otvorenia: $2\alpha_0 = T/2 = 180^\circ$

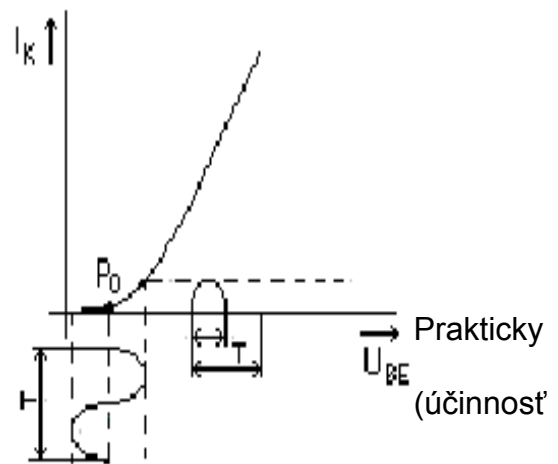
Zosilnenie: stredné

Skreslenie: veľké

Účinnosť: maximálna (teoretický 50%)

sa trieda B v zapojení s jedným tranzistorom nepoužíva. Používa sa v tzv. dvojčinnom zapojení (teoretický 78%)

Použitie: v koncových stupňoch NF zosiľovačov

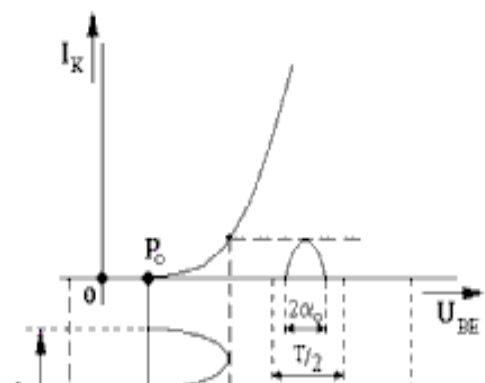


Trieda C je definovaná umiestnením kľudového pracovného bodu P_0 za miesto zániku kolektorového prúdu, takže tranzistorom tečie prúd v kratšom čase ako je polperióda vstupného signálu.

Vlastnosti:

Uhol otvorenia: $2\alpha_0 < T/2 = 180^\circ$

Zosilnenie: malé



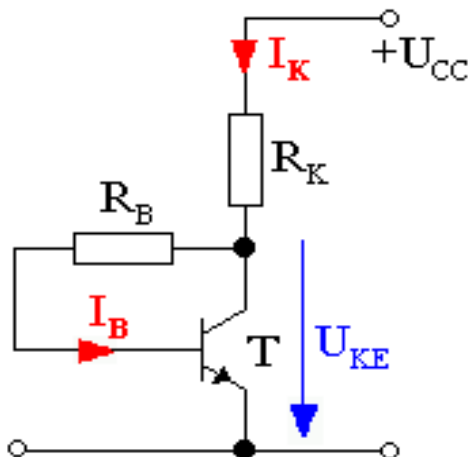
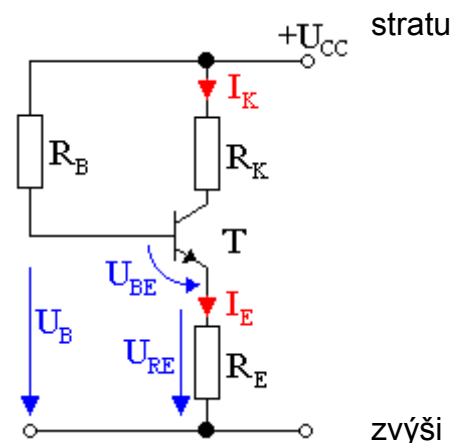
Skreslenie	veľké
Účinnosť:	stredná
Použitie:	Vf zmiešavače a násobiče kmitočtu

Stabilizácia pracovného bodu

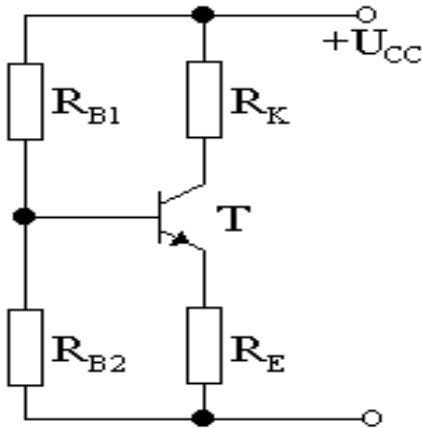
Kolísanie polohy pracovného bodu P_o spôsobuje zosilňovacích vlastností, na druhej strane môže spôsobiť prekročenie prípustnej kolektorovej straty a zničenie tranzistora. Preto musíme zabezpečiť obmedzenie vplyvu teplotných zmien, to je stabilizáciu pracovného bodu P_o tranzistora. Robia to stabilizačné obvody - rôznymi spôsobmi, ale vždy ide o zápornú spätnú väzbu a to buď prúdovú, napäťovú alebo ich kombináciu.

My si činnosť stabilizačného obvodu vysvetlíme na schéme tranzistorového zosilňovača, v ktorom je zavedená záporná prúdová spätná väzba pomocou emitorového odporu R_E . Pri zvýšení teploty okolia sa kinetická (pohybová) energia majoritných nosičov náboja na prechodoch v tranzistore T z emitora do bázy a do kolektora, čím sa zvýši prúd v kolektorovej a emitorovej vetve tranzistora, pričom sa veľkosť vstupného signálu nezmenila. Vplyvom zápornej spätnej väzby sa na rezistore R_E zvýši napätie z U_{RE} na U_{RE}' . Ak narastie U_{RE} musí klesnúť U_{BE} pri konštantnom U_B . Poklesom U_{BE} na hodnotu U_{BE}'' klesne prúd I_B na hodnotu I_B'' a cez prevodovú charakteristiku tranzistora T klesne kolektorový prúd z pôvodnej hodnoty I_K na hodnotu I_K'' . Tým sa posunie pracovný bod P_o' vo výstupných charakteristikách tranzistora T do bodu P_o'' , ktorý zodpovedá polohou pôvodnému pracovnému bodu P_o .

Napäťová záporná spätná väzba je založená na skutočnosti, že pri zvýšení kolektorového prúdu I_K z dôvodu zvýšenia teploty tranzistora, sa napätie U_{KE} zníži, čím sa zníži aj bázový prúd I_B na hodnotu I_B'' a napätie U_{BE} na hodnotu U_{BE}'' , čo má za následok privretie tranzistora. Privretie tranzistora spôsobí zníženie kolektorového prúdu I_K a nárast kolektorového napätia U_{KE} na pôvodné hodnoty. Aj tu platí, že výsledný pracovný bod P_o'' má súradnice $U_{KE}, I_K, I_B'', U_{BE}''$.

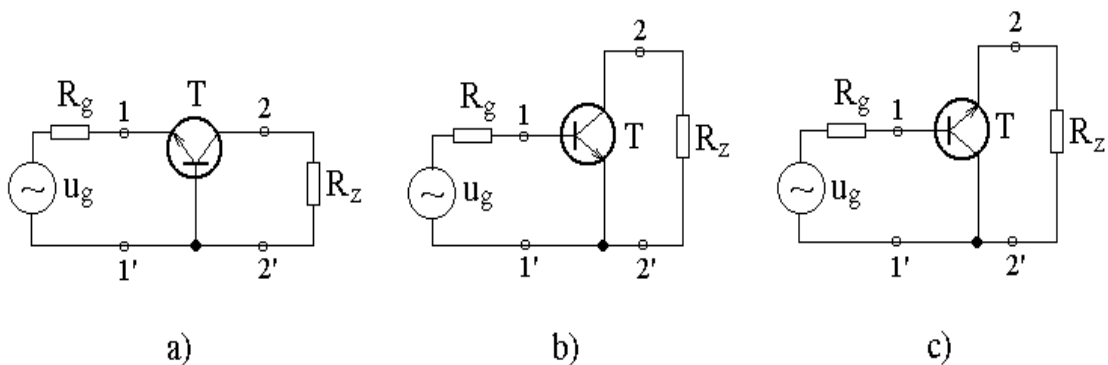


Mostíkové zapojenie prúdovej zápornej spätnej väzby sa vyznačuje vyššou stabilitou napätia U_B medzi bázou tranzistora a elektrickou zemou. Je to zabezpečené odporovým deličom R_{B1} , R_{B2} , ktorý sa volí tak, aby ním tiekol asi 10-krát väčší prúd ako vteká do bázy tranzistora T .



Základné zapojenia zosilňovačov

S tranzistormi môžeme realizovať tri základné zapojenia zosilňovačov. Na obrázku a) je tranzistor zapojený so spoločnou bázou, označuje sa skratkou *SB*, na obrázku b) je tranzistor zapojený so spoločným emitorom, označuje sa skratkou *SE*, na obrázku c) je tranzistor zapojený so spoločným kolektorom, označuje sa skratkou *SK*.



Základné parametre zosilňovača s ich hodnotami pre tri základné zapojenia tranzistora sú v nasledujúcej tabuľke.

Parameter	SB	SE	SK
$R_{vst} [W]$	$10^1 \div 10^2$	$10^3 \div 10^4$	$10^5 \div 10^6$
$R_{výst} [W]$	$10^5 \div 10^6$	$10^4 \div 10^5$	$10^2 \div 10^3$
$A_u [-]$	$10^1 \div 10^2$	$(-10^1) \div (-10^2)$	< 1
$A_i [-]$	< 1	$10^1 \div 10^2$	$10^1 \div 10^2$
$A_p [-]$	$10^1 \div 10^2$	$10^3 \div 10^4$	$10^1 \div 10^2$

- R_{vst} vstupný odpor
- $R_{výst}$ výstupný odpor
- A_u napät'ové zosilnenie
- A_i prúdové zosilnenie
- A_p výkonové zosilnenie

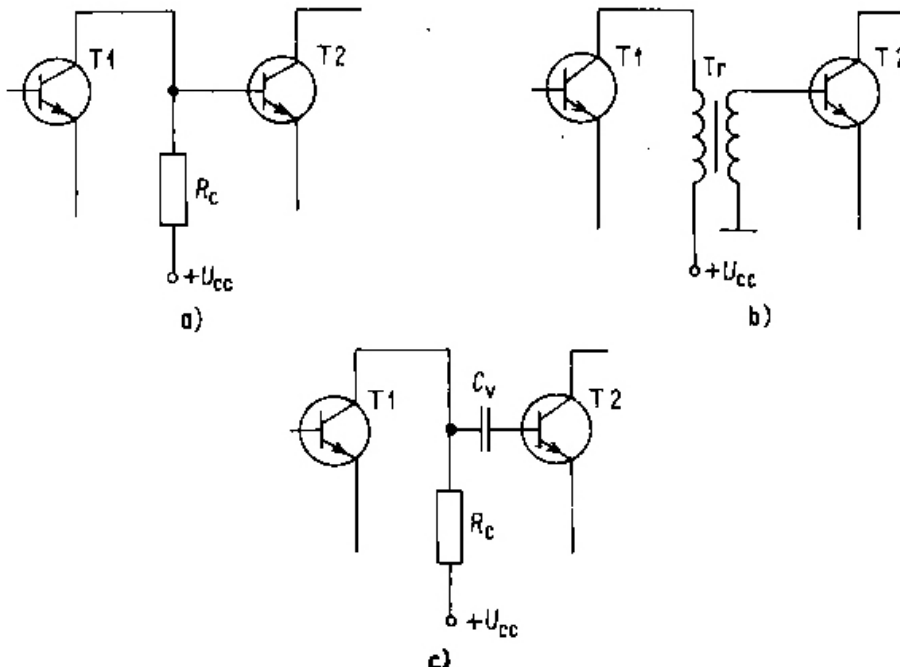
Z daných údajov vyplýva:

1. Zapojenie SE má najväčšie výkonové zosilnenie, a obracia polaritu signálu, t.j. na výstupe je signál o 180 stupňov posunutý voči vstupnému.
2. Zapojenie SB má najmenšiu vstupnú impedanciu a najväčšiu výstupnú. Má malé zosilnenie výkonu, u prúdu je menej ako 1.
3. Zapojenie SC má najväčšiu vstupnú a najmenšiu výstupnú impedanciu. Prúdové zosilnenie je veľké, napät'ové je menej ako 1. Toto zapojenie sa nazýva **emitorový sledovač**.

Viacstupňové zosilňovače a väzba medzi stupňami

Ak sa požadované vlastnosti nedajú dosiahnuť jedným stupňom, musia sa spojiť 2 a viac stupňov. Ich spojenie môže byť urobené viacerými spôsobmi:

1. Priamo viazané dvojice tranzistorov – bez inej súčiastky – výhodou je frekvenčná nezávislosť a prenos jednosmernej zložky.
2. Kapacitná väzba – je najjednoduchšia a najčastejšia. Kapacita kondenzátora C umožňuje spojenie oboch stupňov, lebo striedavý signál z kolektora T1 prenáša na bázu T2, pričom jednosmerná zložka sa ním oddelí. Takto možno spojiť aj viac stupňov. Výsledné zosilnenie je násobkom jednotlivých zosilnení
 $A = A_1.A_2.A_3...$



Hlavný problém je frekvenčná závislosť, lebo Z tejto väzby je závislá od f , takže zosilnenie s nižšími f klesá. Dolná hraničná f_{min} je tým menšia, čím sú väčšie R a C .

3. Transformátorová väzba – je najstaršia a jej výhodou je to, že transformátor má ne vstupe a výstupe inú impedanciu – aj zosilňovače majú inú vstupnú a výstupnú

Z a transformátor medzi 2 stupňami ju vhodne prispôsobí. Transformátor navyše galvanicky oddeľuje vstup a výstup.

Spätná väzba v zosilňovačoch

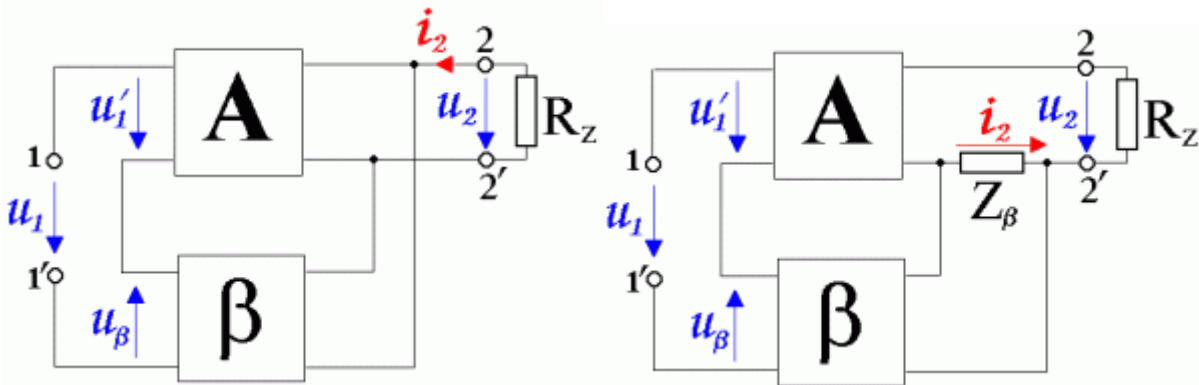
Spätnou väzbou rozumieme takú elektrickú väzbu medzi stupňami zosilňovača, pri ktorej sa časť energie zosilneného signálu z výstupu zosilňovača vedie opäť na jeho vstup. Podľa veľkosti fázového posunu medzi pôvodným signálom a signálom privedeným z výstupu sa výsledný prenos – zosilnenie - buď znižuje (vtedy hovoríme o zápornej spätnej väzbe), alebo zvyšuje (vtedy hovoríme o kladnej spätnej väzbe).

Pri zohľadnení SV je potom výsledné zosilnenie zosilňovača

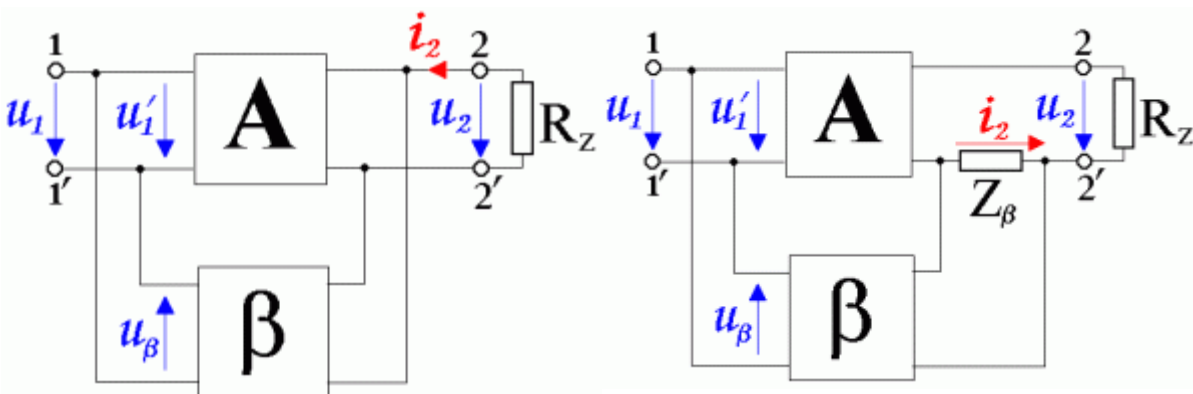
$$A' = \frac{A}{1 - (\pm \beta A)} \quad \text{kde } \beta \text{ je činiteľ spätnej väzby a } \beta A \text{ je prenos SV.}$$

Záporná spätná väzba znižuje harmonické, frekvenčné aj fázové skreslenie, ovplyvňuje vstupnú a výstupnú impedanciu, veľkosť rušivého napätia a znižuje citlivosť zosilňovača na zmenu parametrov tranzistora.

Kladná spätná väzba pôsobí na spomínané parametre zosilňovača vo väčšine prípadov opačne ako záporná spätná väzba, navyše za určitých podmienok mení zosilňovač na oscilátor.

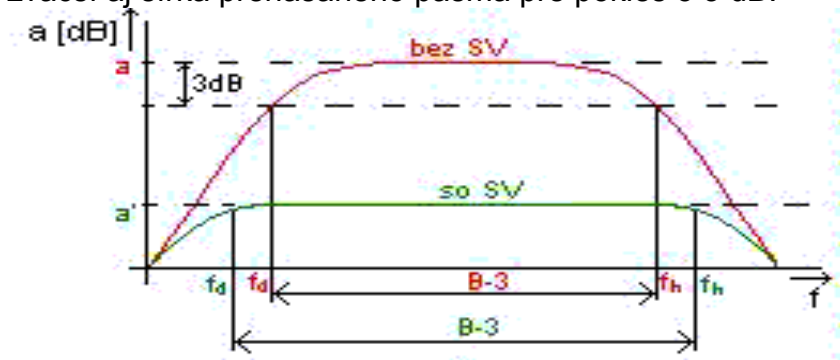


Pretože spätná väzba závisí od frekvencie, môže mať zosilňovač v určitom pásme frekvencií zápornú spätnú väzbu a v inej frekvenčnej oblasti kladnú spätnú väzbu. Preto pri zosilňovači so spätnou väzbou je najväčším problémom jeho stabilita, t.j. odolnosť proti rušivému samočinnému kmitaniu. Na obrázkoch sú znázornené rôzne spôsoby zapojenia obvodu spätnej väzby medzi vstupom a výstupom zosilňovača.



1. Napätová SV - blok spätnej väzby sa pripája paralelne k záťaži R_Z , bude spätoväzbové napätie U_β priamo úmerné napätiu na výstupe
2. Prúdová SV - blok spätnej väzby je v sérii so záťažou R_Z , bude U_β priamo úmerné prúdu záťaže I_2
- A. Sériová SV - Ak sa napätie U_β pripája do série so vstupným napätím zosilňovača
- B. Paralelná SV - ak je U_β pripojené paralelne ku vstupu

Z obrázku môžeme vyčítať aj tú skutočnosť, že so zavedením spätnej väzby sa nielenže zmenší frekvenčné skreslenie, teda sa vyrovná frekvenčná charakteristika, ale sa zväčší aj šírka prenášaného pásma pre pokles o 3 dB.



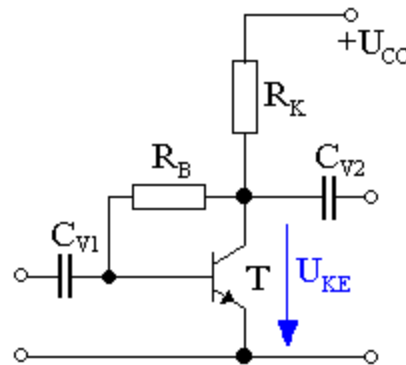
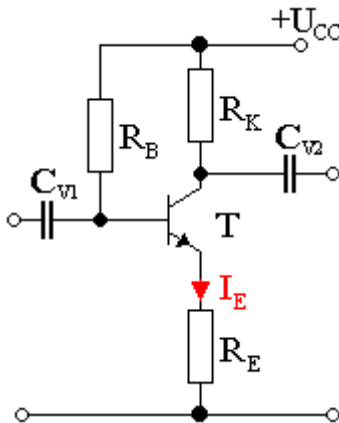
Vplyv SV na impedanciu zos.:

- paralelná napäťová znižuje znižuje
- sériová napäťová zvyšuje znižuje
- sériová prúdová zvyšuje zvyšuje
- paralelná prúdová znižuje zvyšuje

Zvýšenie alebo zníženie je $(1 + \beta A)$ - krát.

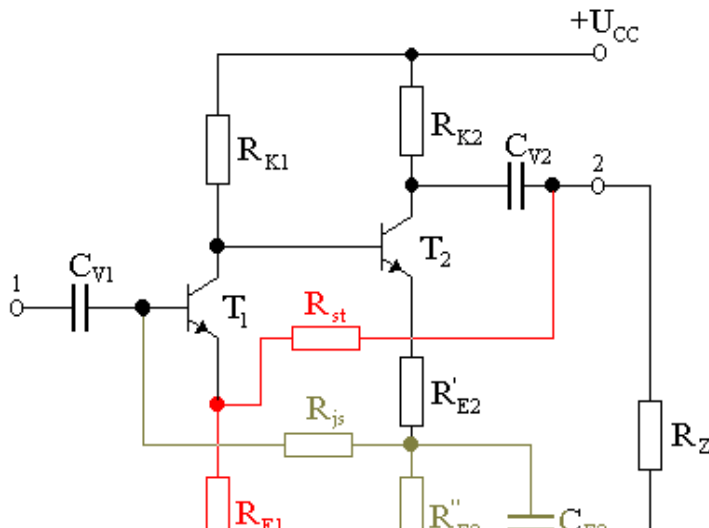
Príklady SV: sériová prúdová

paralelná napäťová



Použitie SV:

1. +SV sa výnimočne zvyšuje zosilnenie, častejšie sa používa v oscilátoroch
2. -SV sa často používa v nf zosilňovačoch
3. jednosmerná SV teplotne stabilizuje pracovný bod tranzistorov
4. v špeciálnom zapojení tranzistorov sa členom RC alebo LC dosiahne to, že tranzistor sa správa ako premenlivá C alebo L – v závislosti od pripojeného napätia. To sa využíva na automatické doladenie frekvencie oscilátora.



Príklad jednosmernej a striedavej SV:

Činnosť je nasledovná :

Ak sa napríklad z dôvodu oteplenia otvorí viac tranzistor T2, zvýši sa jeho emitorový prúd, ktorý vyvolá zvýšenie úbytku napätia na rezistore R^E2. Toto napätie cez rezistor R_{js} otvorí viac tranzistor T1. Napätie na kolektor tranzistora T1 klesne, čím sa tranzistor T2 privrie a zníži svoj kolektorový a teda aj emitorový prúd na hodnotu blízku pôvodnej hodnote. Tento obvod jednosmernej zápornej spätnej väzby nereaguje na striedavé obvodové veličiny, pretože tie sú vyblokované pre túto vetvu kondenzátorom CE2 dostatočne veľkej hodnoty. Striedavá vetva zápornej spätnej väzby je pre zmeny jednosmerných obvodových veličín oddelená kondenzátorom CV2.

Ak sa z nejakej príčiny zvýši výstupné napätie na svorkách 2-2', zvýšený prúd vo vetve s rezistorom R_{st} spôsobí zvýšenie úbytku napätia na rezistore RE1, teda zvýšenie potenciálu na emitore tranzistora T1. To má za následok pri konštantnom napätí bázy (jednosmerná záporná SV na zmeny striedavých obvodových veličín nereaguje vďaka kondenzátoru CE2) privretie tranzistora T1 a následné priotvorenie tranzistora T2, čím amplitúda striedavého napätia na jeho kolektore klesne skoro na pôvodnú požadovanú hodnotu.

Takýmto spôsobom je zabezpečená stabilita jednosmernej polohy pracovného bodu P_o a stálosť zosilnenia zosilňovača od okolitých vplyvov prostredia.

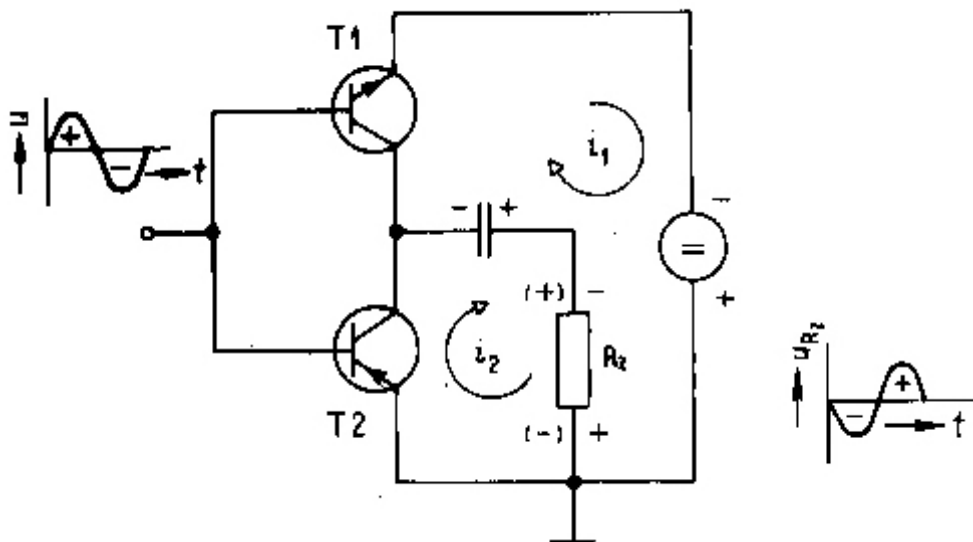
Výkonové zosilňovače

1. Jednočinný koncový stupeň

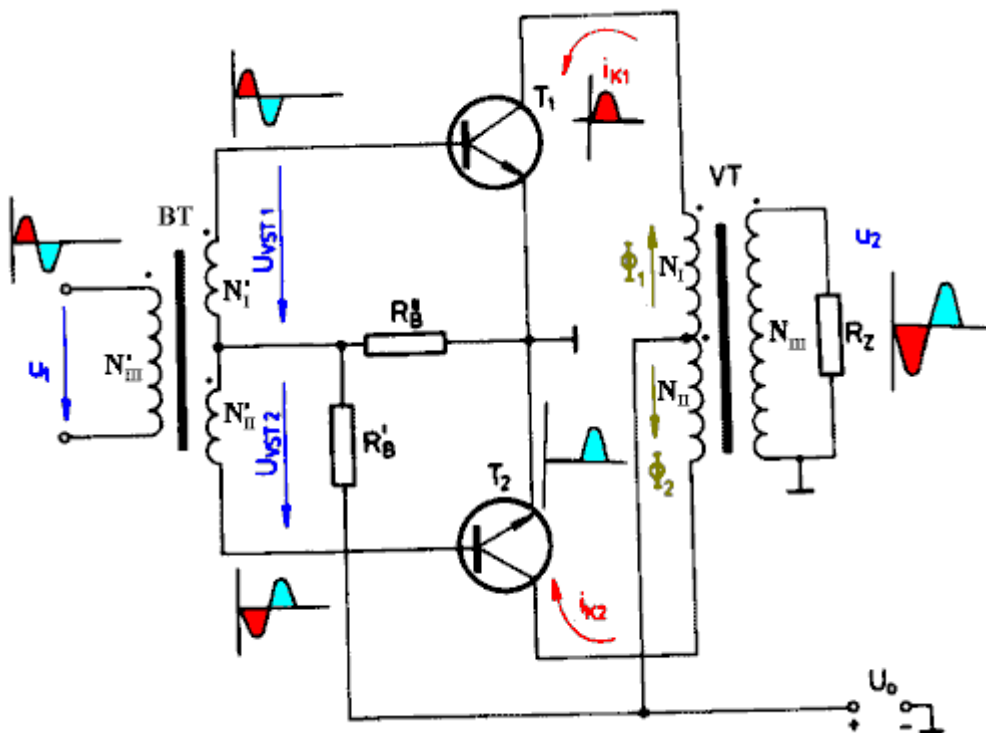
- T pracuje v triede A, výstupný transformátor prispôsobí výstupnú impedanciu T k impedancii záťaže.

2. Dvojčinný koncový stupeň bez výstupného transformátora - drahý a objemný výstupný transformátor sa dá nahradiť tak, že T1T2 sú v sérii pre napájanie a paralelne pre zosilňovaný signál, oba pracujú v triede B

- ak sú tranzistory rovnakého typu (NPN) zapojenie sa volá kvázikomplementárne, ak je jeden NPN a druhý PNP je zapojenie komplementárne



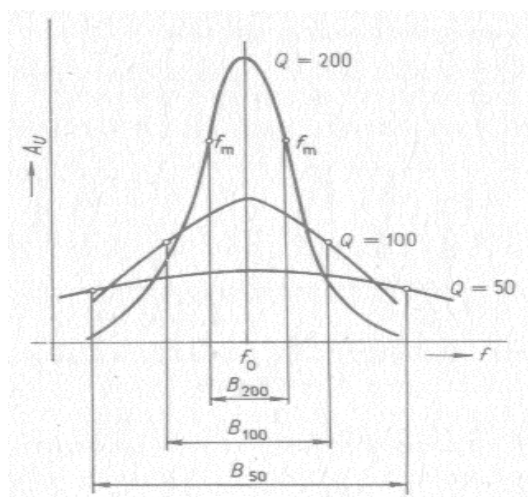
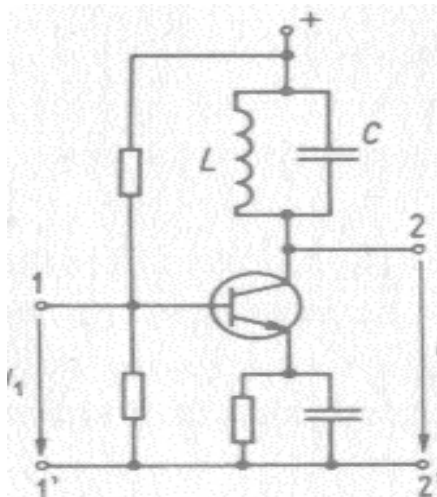
3. Dvojčinný koncový stupeň s výstupným transformátorom - zapojenie je rovnaké, ako v 2, len má transformátor a ten má uzemnený stred sekundárneho vinutia - na dodanie rovnakého výkonu mu stačí polovičný signál (oproti zapojeniu 2)



Vysokofrekvenčné zosilňovače

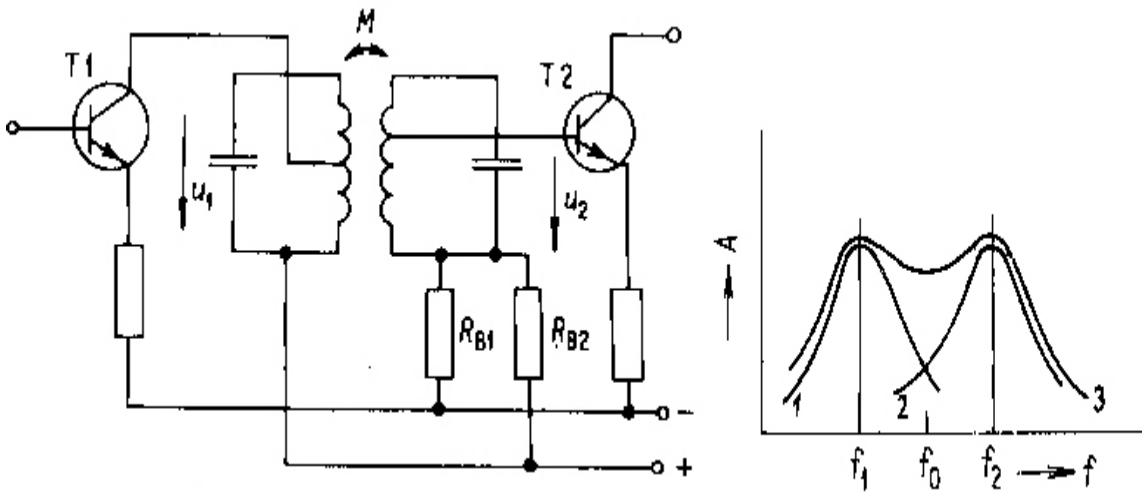
Sú to zosilňovače na zosilnenie vysokých frekvencií. Základom je paralelný rezonančný obvod, ktorý je zapojený namiesto zaťažovacieho rezistora. Potom je frekvenčná charakteristika a aj šírka pásma zosilňovača určená výhradne týmto RO-om –

$$\text{jeho činiteľom akosti } Q = \frac{Rv}{2\pi fL}$$

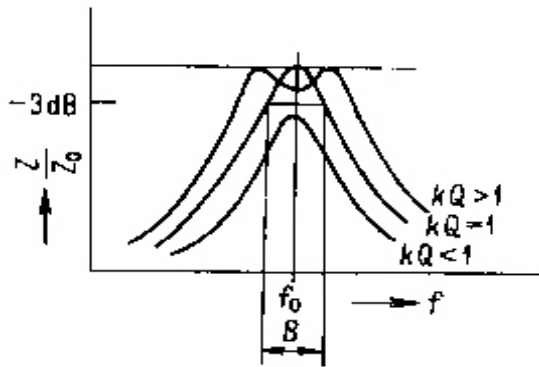


Kde Rv je odpor paralelného RO s výstupným odporom tranzistora a vstupným odporom ďalšieho zos. stupňa. Šírka pásma sa teda so zosilnením nemení, závisí len od Q .

V praxi sa používajú aj dvojice ladených obvodov: jeden LC obvod je naladený na f_1 , druhý na trochu vyššiu f_2 . Ak sú cievky vo vhodnej blízkosti tak, že sa ich indukčnosti ovplyvňujú – existuje vzájomná indukčnosť M , výsledkom je širšie rezonančné pásmo takéhoto obvodu:

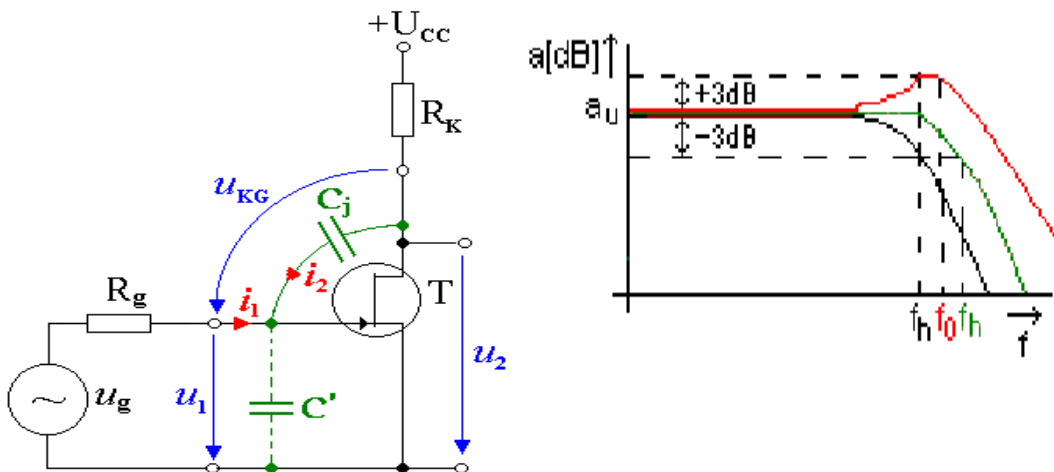


Rezonančné krivky takejto dvojice závisia od činiteľa väzby k a pre $k \ll 1$ takejto dvojice - a sú takéto: Ak $kQ > 1$ je väzba nadkritická – používa sa práve vo vľ. zos., ak $kQ < 1$ je väzba podkritická a ak $kQ = 1$ je kritická.

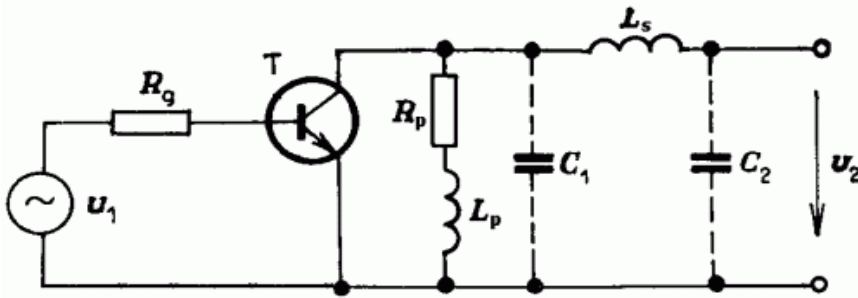


Pri vľ. zosilňovači je problém: kapacita priechodu PN priechodu kolektor - báza – Millerova kapacita - sa pri vysokých frekvenciách začína uplatňovať tak, že vznikajú oscilácie. Je to vlastne vnútorná spätná väzba, ktorá sa dá odstrániť:

- 1) zavedením vonkajšej spätnej väzby opačného charakteru (indukčného)
- 2) zaťažením vstupu a výstupu tranzistora väčšími vodivosťami (menší vstupný a výstupný odpor) = zatmenie

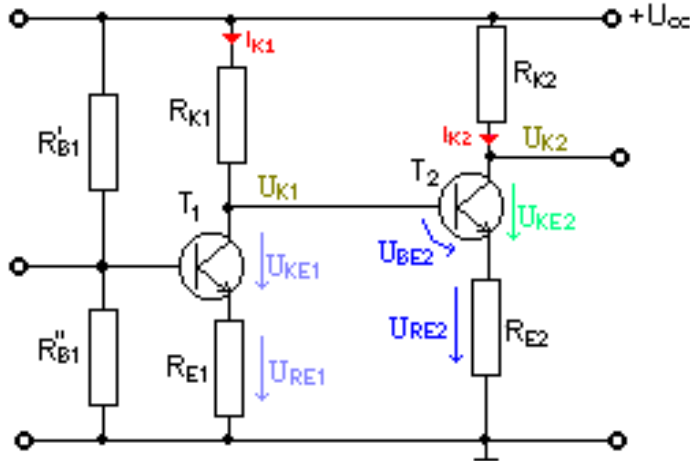


Na frekvenčnej charakteristike vidíme priebeh bez kompenzácie – spodný, s kompenzáciou – stredný a horný je priebeh kompenzačného člena. Príkladom kompenzácie je sériovoparalelná kompenzácia:



Jednosmerné zosilňovače

Jednosmerné zosilňovače sú také zosilňovače, ktorých prenos nie je rovný nule pri nulovej frekvencii vstupného signálu, teda $f = 0$ Hz. Tieto zosilňovače sa používajú v



rôznych zapojeniach pre automatizačnú techniku, v stabilizátoroch napätia a prúdu, pri zosilňovaní rôznych fyzikálnych veličín prevedených na napätie alebo prúd (tlak, teplota, svetelný tok, vodivosť a pod.), ktoré sa vyznačujú veľmi pomalými zmenami svojej veľkosti. Charakteristickou vlastnosťou týchto veličín je ich veľmi nízka frekvencia, ktorá môže byť 1 až 0,01 Hz. Ide teda o veľmi pomaly sa meniace veličiny, ktoré možno zjednodušene považovať za nemenné a ak sú premenené na elektrické

napätie, môžeme ich považovať za jednosmerné. Takéto signály môžu prechádzať cez zosilňovač iba pri priamej jednosmernej (galvanickej) väzbe stupňov zosilňovača, zdroja signálu a záťaže. Jednosmerný zosilňovač s takouto väzbou má však aj niekoľko špecifických vlastností, ktoré komplikujú tak jeho zapojenie, ako aj využitie. Jednosmerná väzba dobre prenáša skokové zmeny potenciálu a pomalé zmeny prúdu, ale komplikuje nastavenie pracovného režimu zosilňovacích prvkov a tým vyvoláva nestabilitu zosilňovača.

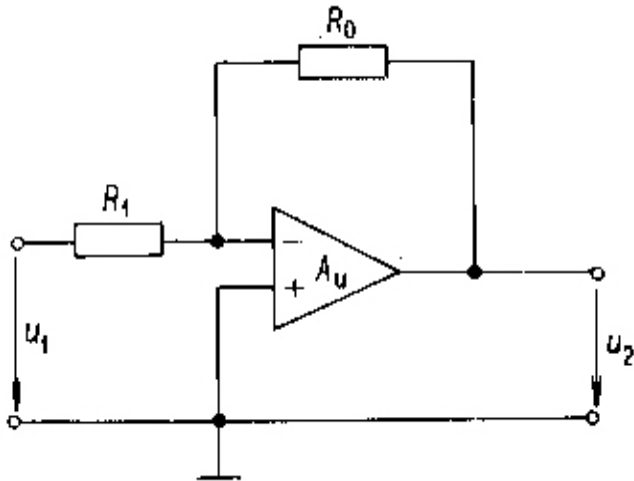
Jedným z problémov, s ktorým sa často stretávame v jednosmerných zosilňovačoch, je výskyt jednosmerného napätia na vstupe, ale aj na výstupe zosilňovača. Ďalším vážnym problémom je to, že ak sa zmení z ľoľajakej príčiny hodnota niektorej obvodovej veličiny zosilňovacej súčiastky (napríklad teplota), vplyvom jednosmernej väzby sa táto zmena dostane zosilnená na výstupné svorky zosilňovača. Tieto zmeny sú potom nerozoznateľné od zmien, ktoré sú vyvolané pôsobením užitočného signálu na vstupe zosilňovača.

Riadenie zosilnenia zosilňovača

Môže byť:

- ručné – robí užívateľ sám
- automatické – mení sa automaticky podľa požiadaviek konštruktéra – a volá sa AVC. Služi napr. na to, aby rozhlasový prijímač rovnako hral pri blízkom av vzdialenom vysieláči.

- Operačné zosilňovače



Sa používajú v meracej a regulačnej technike, ale aj ako nF zosilňovače. OZ je zložitý obvod s vysokým ziskom, schopný zosilniť aj jednosmerné signály. Pracuje ako rozdielový zosilňovač s 2 vstupmi, pričom na výstupe je zosilnený ich rozdiel. Vstup označený - je invertujúci, + je neinvertujúci.

Vlastnosti OZ:
ideálny OZ
reálny OZ

nekonečne veľké zosilnenie
 nekonečne veľký vstupný odpor
 nulový výstupný odpor
 frekvenčná nezávislosť

- 80-160dB
- 50k-2Mohm
- 50-150 ohm

Použitie OZ

1. Invertujúci OZ

$$i_r = i_1 + i_2$$

$$i_1 = (u_1 - u_r) / R_1$$

$$i_2 = (u_2 - u_r) / R_2$$

- keďže vstupný odpor OZ je nekonečný a zosilnenie je nekonečné, musí platiť

$$i_r = 0 = (u_1 - u_r) / R_1 + (u_2 - u_r) / R_2$$

$$U_2 = -R_2 \cdot U_1 / R_1 = k \cdot U_1$$

a napäťové zosilnenie

$$A_U = U_2 / U_1 = -R_2 / R_1$$

t.j. zosilnenie obvodu nezávisí od OZ, ale len od vonkajších prvkov R1 a R2.

2. Prevodník napätie - prúd

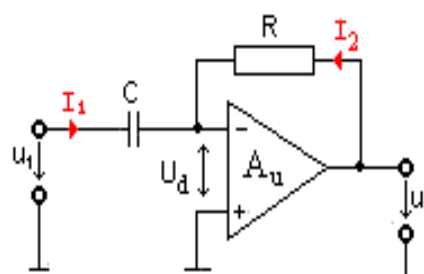
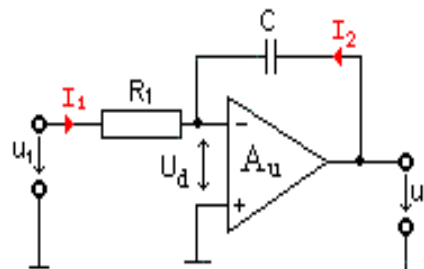
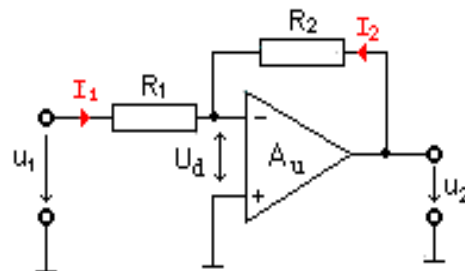
3. Prevodník prúd - napätie

4. Prevodník kapacita - napätie, odpor - napätie

- používajú sa v meracej technike

5. Integrovaný zosilňovač

6. Derivačný zosilňovač



IO ako zosilňovače

Vyznačujú sa veľkým ziskom, dobrou tepelnou stabilitou a spoľahlivosťou aj pri vyšších teplotách. Pri ich použití je návrh zosilňovača jednoduchší. Stačí nájsť vhodný IO a doplniť ho obvody napájania, filtrácie a spätnej väzby.

Druhý polrok

Okruhy

Amplitúdový a frekvenčný modulátor
Zmiešavače
Demodulátory AM
Diódové demodulátory
Demodulátory FM
Fázový diskriminátor
Impulzový signál
Integračný člen
Derivačný člen
Tranzistor ako zosilňovač impulzových signálov
Tranzistor ako spínač
Preklápacie (klopné) obvody - definícia a rozdelenie
Preklápacie (klopné) obvody - princíp činnosti
Bistabilný KO - definícia, použitie
Bistabilný KO - činnosť
Monostabilný KO - definícia, použitie
Monostabilný KO - činnosť
Astabilný KO - definícia, použitie
Astabilný KO - činnosť
Schmittov KO
Generátory pílovitých signálov

Oscilátory a generátory.

Oscilátory sú zariadenia, ktoré vytvárajú za určitých podmienok periodické priebehy fyzikálnych veličín. Sú mechanické, akustické, elektronické. Každý elektronický oscilátor je charakterizovaný:

- amplitúdou a tvarom výstupného napätia U
- frekvenciou f
- vnútorným odporom R_i

Z hľadiska spotreby energie, môžeme ho považovať za štvorpól, teda dvojbránu. Jeho vstupom sú napájacie svorky, cez ktoré oscilátor odoberá zo zdroja jednosmerný napájací výkon a jeho výstupom sú výstupné svorky, cez ktoré dodáva do záťaže príslušný striedavý výkon.

Rozdelenie a základné vlastnosti oscilátorov.

1. Delenie podľa tvaru výstupného signálu :

- oscilátory, ktorých výstupné napätie má tvar sínusovky nazývame **harmonické oscilátory**, alebo **oscilátory**.
- oscilátory, ktorých výstupné napätie má ľubovoľne iný tvar ako sínusový, napr. obdĺžnikový, trojuholníkový, pílovitý, impulzný nazývame **neharmonické oscilátory**, alebo jednoducho **generátory**.

2. Delenie podľa frekvencie vytváraných kmitov :

- nízkofrekvenčné oscilátory.** Frekvenčný rozsah vytváraných kmitov je od 10^{-2} Hz po 10^6 Hz.
- vysokofrekvenčné oscilátory.** Frekvenčný rozsah vytváraných kmitov je od 10^6 Hz. Z hora hranica nie je daná.

3. Podľa druhu prvku určujúceho frekvenciu vytváraných kmitov :

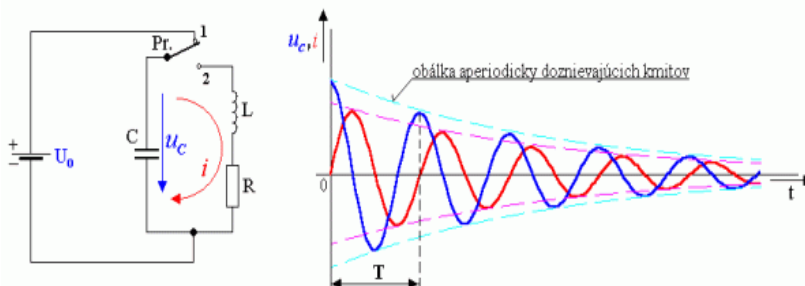
- oscilátory LC**, v ktorých frekvenciu kmitov určuje rezonančný obvod LC, či už sériový alebo paralelný. V elektronických prístrojoch sa vyskytuje najčastejšie. Oscilátory LC sa používajú ako laditeľné oscilátory v prijímačoch, vysielačoch, meracích prístrojoch a pod. Stabilita frekvencie vytváraných kmitov sa pohybuje od 10^{-3} po 10^{-5} .
- oscilátory riadené piezoelektrickým rezonančným prvkom**, tzv. **kryštálovým výbrusom** (kryštálom). Tieto oscilátory majú vynikajúcu frekvenčnú stabilitu vytváraných. Používajú sa preto tam, kde sú prísne požiadavky na stabilitu frekvencie kmitov. Oscilátory riadené kryštálom je možné preladovať len v úzkom rozsahu.
- oscilátory s rezonančným vedením**, v ktorých rezonančný obvod tvorí úsek súosého alebo súmerného vedenia dĺžky $l/4$ alebo $l/2$, ktorý sa vyznačuje vysokým činiteľom kvality Q. Preto tieto oscilátory majú za optimálnych podmienok dobrú frekvenčnú stabilitu, asi 10^{-6} až 10^{-7} . Podobne ako elektromechanické rezonančné prvky sú citlivé na mechanické vplyvy. Je ich však možné preladovať v rozsahu niekoľko jednotiek až desiatok kHz.
- oscilátory RC**, v ktorých je v obvode spätnej väzby zapojený frekvenčne selektívny obvod RC . Tieto oscilátory sú vhodné len pre oblasť nízkych frekvencií. Stabilita vytváraných kmitov je max. 10^{-4} . Oproti doposiaľ spomínaným oscilátorom majú výhodu v tom, že sú preladiteľné vo veľkom rozsahu, cez niekoľko dekád, bez výraznejšej zmeny svojich vlastností.

4. Podľa účelu a použitia :

- oscilátory pre frekvenčné normály**, t.j. zdroje kmitov s vysokou stálosťou frekvencie a to od 10^{-7} až po 10^{-9} . Najčastejšie sú riešené ako oscilátory riadené kryštálovým výbrusom.
- nf oscilátory pre meracie účely**. Vyžaduje sa od nich stálosť nastavenej amplitúdy a malý obsah vyšších harmonických kmitočtov, skreslenie pod 1 %.
- vf oscilátory pre meracie účely**. Vyžaduje sa od nich stálosť nastavenej amplitúdy, malý obsah vyšších harmonických kmitočtov. a možnosť amplitúdovej alebo frekvenčnej modulácie.
- oscilátory výkonové**, pre účely vysokofrekvenčného ohrevu indukčného alebo dielektrického, napr. pre mikrovlnné rúry a pod.
- oscilátory pre zmiešavače**, ktoré musia byť preladiteľné v širokom rozsahu frekvencií so stabilnou amplitúdou.
- oscilátory pre budiče vysielačov**, s vysokou stabilitou frekvencie 10^{-5} až 10^{-7} .

Princíp činnosti oscilátorov

Ak je prepínač v polohe 1 kondenzátor C sa nabíja na U_C . V okamihu prepnutia do 2 sa vybíja cez L. V čase, keď je úplne vybitý, je prúd cez cievku maximálny a energia cievky (magn. pole) začína nabíjať C na opačnú polaritu. Je to vlastne paralelný RO. Ak by boli súčiastky a spoje ideálne, vznikli by tak nakreslené netlmené kmity. Keďže však sú L a C reálne, vznikajú v obvode straty a kmity by po čase zanikli:



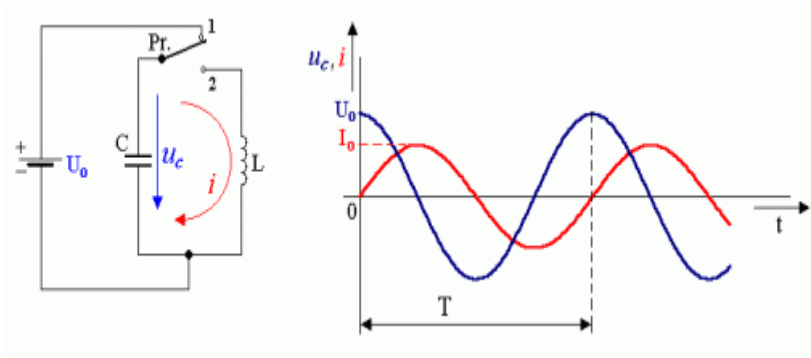
Preto je v každom oscilátore okrem zdroja kmitov aj obvod, ktorý doplní energiu strát, aby boli kmity netlmené – zosilňovač. Keďže by však zosilňovač mohol dodať energie veľa alebo málo, musí túto energiu strážiť kontrolný obvod – spätná väzba. Musí preto platiť:

1. Amplitúdová podmienka - ak vynásobíme zosilnenie zosilňovača A a zoslabenie sp. Väzby β platí $\beta \cdot A_U = 1$. V praxi sa nastavuje tento súčin na hodnotu mierne väčšiu ako jedna.

2. Fázová podmienka je, že súčet fázových posunov zosilňovača a sp. Väzby je $= 360^\circ$

$$\varphi_B + \varphi_A = 2 \cdot k \cdot 360 \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

Ak sú obe splnené, kmity sú netlmené:

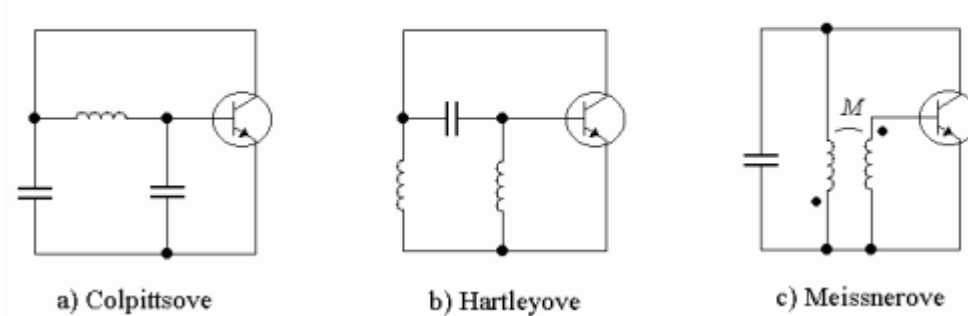


Harmonické oscilátory.

Oscilátory LC

Oscilátory s rezonančným obvodom LC sa používajú ako zdroje striedavého napätia alebo prúdu s priebehom blízky sinusovému. Harmonické LC oscilátory sa delia do dvoch skupín. Prvú skupinu tvoria oscilátory s indukčnou väzbou v bloku spätnej väzby. Druhú skupinu tvoria oscilátory v trojbodovom zapojení.

Principiálne zapojenia oscilátorov LC :



a) Colpittsove

b) Hartleyove

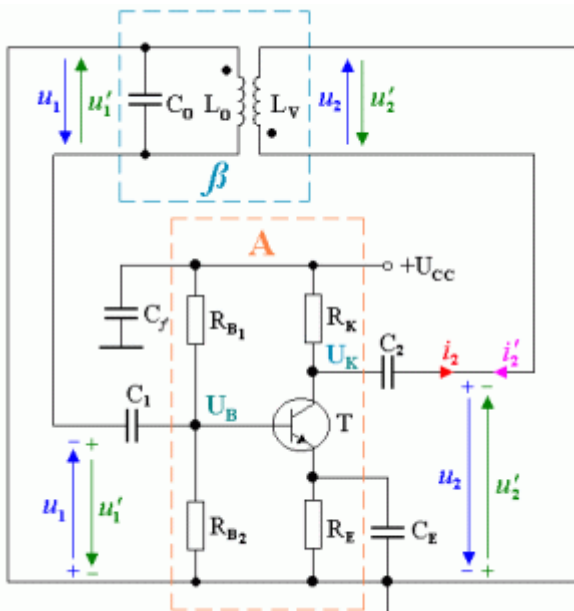
c) Meissnerove

1. LC

oscilátory s indukčnou väzbou.

Spätňá väzba sa realizuje pomocou *transformátora*, ktorého jedno vinutie spolu s kondenzátorom vytvára kmitavý (rezonančný) obvod. Aby bola splnená fázová podmienka v oscilátore s jedným tranzistorom (ten otáča fázu napätia o 180°), tento transformátor zabezpečuje otočenie fázy v spätňoväzobnom bloku o ďalších 180°. Toto je dosiahnuté navinutím cievok transformátora v opačnom zmysle, proti sebe. Frekvenciu vytváraných kmitov vypočítame zo známeho Thomsonovho vzťahu :

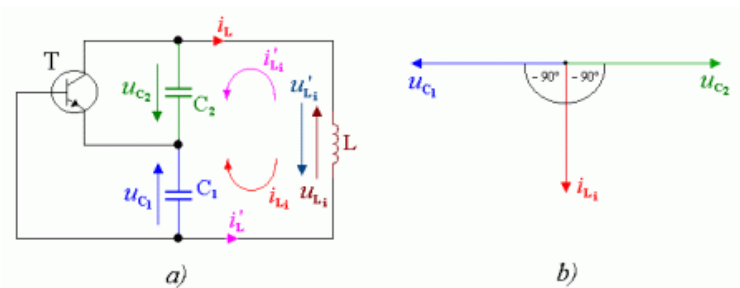
$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$



Hlavnými predstaviteľmi tejto skupiny oscilátorov sú Meissnerov oscilátor a od neho odvodený Schnellov oscilátor. Spätňoväzobný blok β je zložený z transformátora, ktorého primárna cievka L_v je pripojená na výstup zosilňovacieho bloku A cez väzobný kondenzátor C_2 a sekundárna cievka L_o spolu s kondenzátorom C_o je pripojená na vstup zosilňovacieho bloku A cez väzobný kondenzátor C_1 . Zosilňovací blok je tvorený zosilňovačom s tranzistorom T . Na zlepšenie stability polohy pracovného bodu P_o tranzistora je R_E . Aby tento rezistor neznižoval zosilnenie zosilňovača pre striedavý signál, je premostený kondenzátorom C_E . Delič R_{B1} a R_{B2} určuje kľudovú polohu pracovného bodu P_o . Filtračný kondenzátor C_f zabraňuje

prípadnému šíreniu striedavého signálu napájacou vetvou zosilňovača.

2. Trojbodové oscilátory



Indukčná alebo kapacitná vetva rezonančného obvodu v spätnoväzobnom bloku je realizovaná ako napäťový delič a v troch bodoch pripojená k aktívnemu prvku zosilňovacej časti oscilátora. Vznik potrebného fázového posunu o 180° sa dosahuje vhodným spojením reaktančných prvkov, na ktorých sa na každom posunie fáza napätia a prúdu o plus (+) alebo

mínus (-) 90° .

Oscilátory riadené kryštálom.

Piezoelektrický jav sa vyskytuje vo viacerých látkach, no najvýraznejší je v kremeni, turmalíne, titaničitanoch a fosforečnanoch. Z kryštálu sa režu tenké platničky, ktoré sa vybrúsia na potrebné rozmery. Na ich bočné steny sa naparia kontaktné plôšky zo striebra (niekedy aj zlata), ktorými sa prichytávajú do držiakov. Takto vyhotovený kryštálový rezonátor sa umiestňuje do skleneného alebo kovového puzdra, v ktorom je vákuum.

V takto zhotovených kryštálových rezonátoroch má piezoelektrický jav tri základné charakteristické vlastnosti:

1. Po privedení napätia na vývody kryštálu dochádza k mechanickým deformáciám, ohybu platničky.
2. Pri mechanickom ohybe platničky vznikajú na prívodoch elektrické náboje, ktoré majú opačnú polaritu. Vzniká malé elektromechanické napätie medzi prívodmi kryštálu.
3. Kryštál ako mechanická sústava má svoju vlastnú mechanickú rezonančnú frekvenciu.

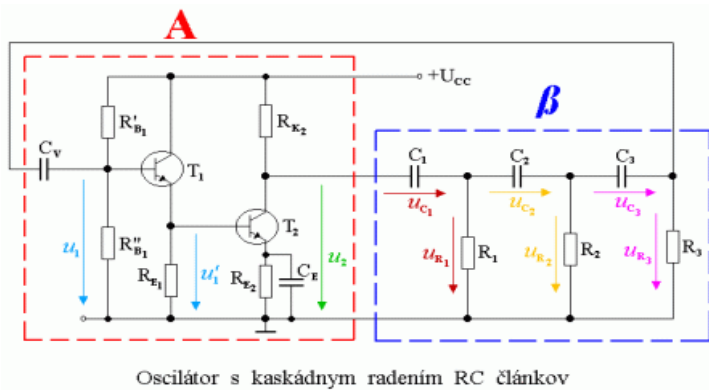
Z týchto vlastností vyplýva, že ak privedieme na prívody kryštálu striedavý elektrický signál, ten spôsobí premenlivé deformácie platničky kryštálového rezonátora. Pri deformáciách zasa naopak, kryštálový rezonátor vytvára na svojich prívodoch premenlivé napätie, ktorým sa udržiavajú elektrické kmity v obvode oscilátora. Amplitúda kmitov mechanických, ale aj elektrických bude maximálna a teda bude mať minimálne tlmenie, ak frekvencia elektrických kmitov sa bude rovnať mechanickej rezonančnej frekvencii kryštálu. Meniť frekvenciu kryštálu plynulo je možné len v rozsahu niekoľkých desiatok až stoviek Hz.

Oscilátory RC.

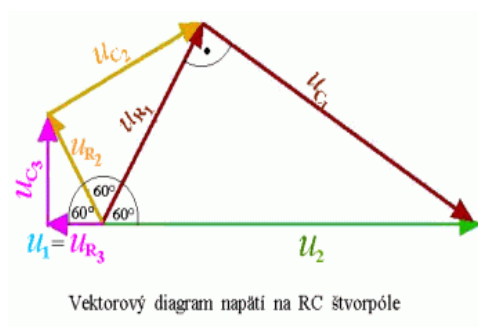
Oscilátory LC nie sú veľmi vhodné na vytváranie nízkofrekvenčných kmitov, pretože pre frekvencie po 20 kHz musia mať cievky a kondenzátory veľké rozmery a váhu. Pre túto frekvenčnú oblasť sú výhodnejšie oscilátory RC . Majú spätnoväzobný štvorpól zložený s rezistorov R a kondenzátorov C , ktorý určuje kmitočet oscilácií. Hlavnými zástupcami RC oscilátorov sú:

1. oscilátory s kaskádnym radením štvorpólov RC

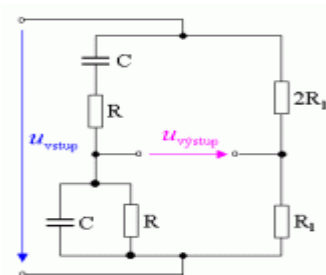
Schéma oscilátora, ako vidíme z obrázka, sa skladá zo zosilňovacieho bloku A tvoreného tranzistorom T_1 (v praxi sa často nepoužíva) a T_2 a zo spätnoväzobného bloku B tvoreného trojicou derivačných článkov C_1R_1, C_2R_2, C_3R_3 . V praxi tieto články sú realizované z rovnakých rezistorov R , teda $R_1 = R_2 = R_3 = R$ a z rovnakých kondenzátorov C , teda $C_1 = C_2 = C_3 = C$. Tranzistor T_1 v zosilňovacom bloku plní funkciu impedančného transformátora (emitorový sledovač), ktorý prispôsobuje väčšiu výstupnú impedanciu spätnoväzobného bloku B podstatne menšej vstupnej impedancii tranzistora T_2 , v ktorom je sústredené celé zosilnenie zosilňovacieho bloku A . Oscilátory RC s kaskádnym radením štvorpólov sú vhodné pre prácu na jednej frekvencii s menšou požiadavkou na frekvenčnú stabilitu a tvarové skreslenie signálu. Sú použiteľné pre frekvencie do 1 MHz.



Oscilátor s kaskádnym radením RC článkov



2. oscilátory s pásmovými filtrami, v ktorých sa používajú selektívne RC články a to :

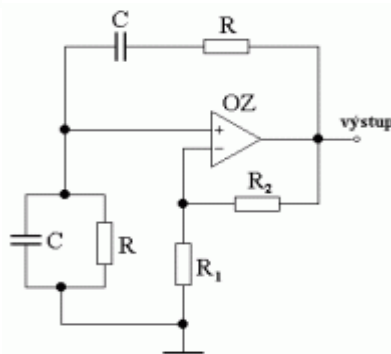


- pásmový priepust s [Wienovým článkom](#)
- pásmová zadrž s [premosteným alebo dvojitém T článkom](#)

Wienov oscilátor má oproti oscilátoru s kaskádnym radením štvorpólov veľa výhod, ktoré ho predurčujú pre široké použitie najmä v meracej technike. Tieto vlastnosti môžeme zhrnúť do niekoľkých bodov :

- Wienov oscilátor je
- v tzv. *mostíkovom* kmitov v tomto
- veľmi malé tvarové

Ako už bolo povedané, technika na výrobu Hz až do 1 MHz.



Wienov oscilátor s OZ

plynulo preladiteľný v širokom rozsahu *zapojení* je veľmi dobrá frekvenčná stabilita oscilátora. skreslenie výstupného signálu oscilátora.

Wienov oscilátor sa používa v meracej oscilátorov s meniteľnou frekvenciou asi od 1

Generátory

neharmonických signálov.

V zariadeniach automatizačnej, výpočtovej alebo meracej techniky sa zasa stretávame s generátormi neharmonických, nesínusových signálov.

Multivibrátory

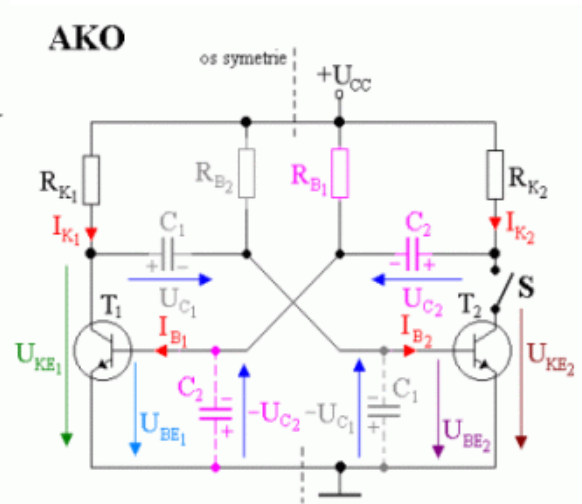
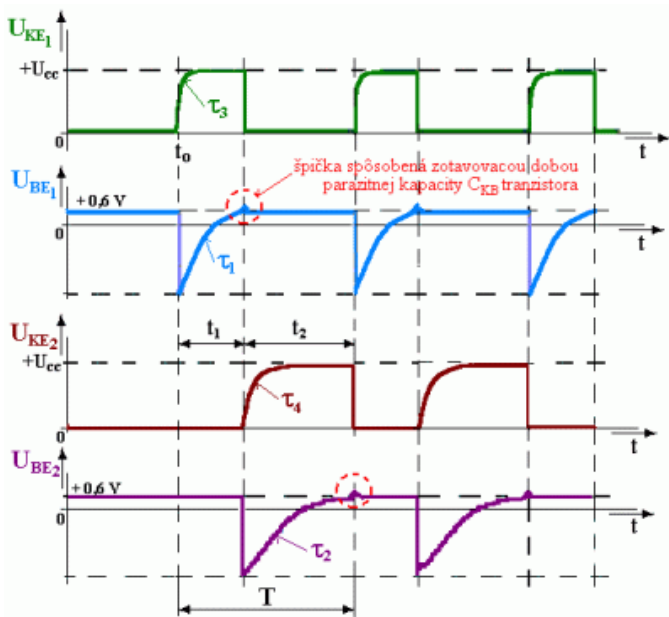
Multivibrátory patria medzi generátory periodických pravouhlých signálov

Stabilný stav obvodu sa rozumie pracovný režim, v ktorom obvod môže zotrvať neobmedzene dlhú dobu. Tento stav obvod zmení len pôsobením určitých vonkajších vplyvov.

Nestabilný stav obvodu sa rozumie pracovný režim, v ktorom sa obvod nachádza len určitú prechodnú dobu, závislú na vlastnostiach obvodu. Do nestabilného stavu sa obvod dostáva pôsobením vonkajšieho signálu zo stabilného stavu, alebo samovoľne z druhého nestabilného stavu.

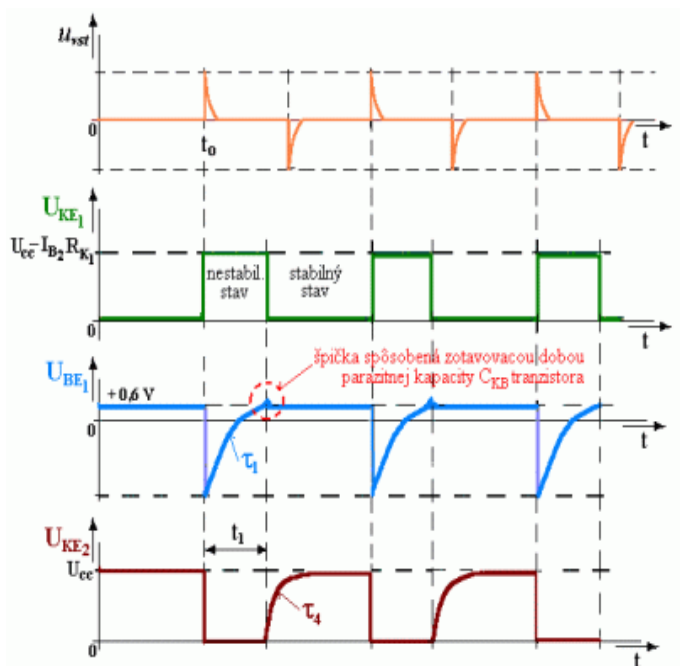
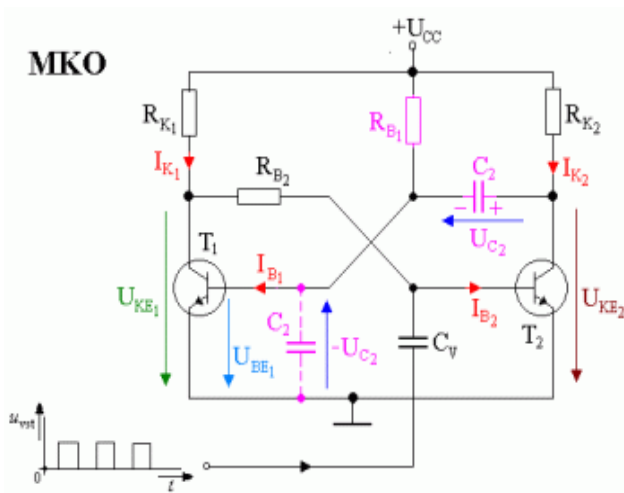
Astabilný preklápací obvod [AKO]

Základným typom je zapojenie s dvoma tranzistorami rovnakej polaroty. V schéme je navyše zapojený spínač S, ktorý sa v reálnom, praktickom zapojení nepoužíva. Nemá žiadny stabilný stav, takže stále preklápa – vždy je otvorený len 1 z dvojice tranzistorov, druhý je zavrený. V okamžiku jeho otvorenia sa ten otvorený zatvára. Tento dej sa periodicky opakuje, pričom pomer času otvorenia oboch tranzistorov závisí od C_1, C_2, R_{b1}, R_{b2} .



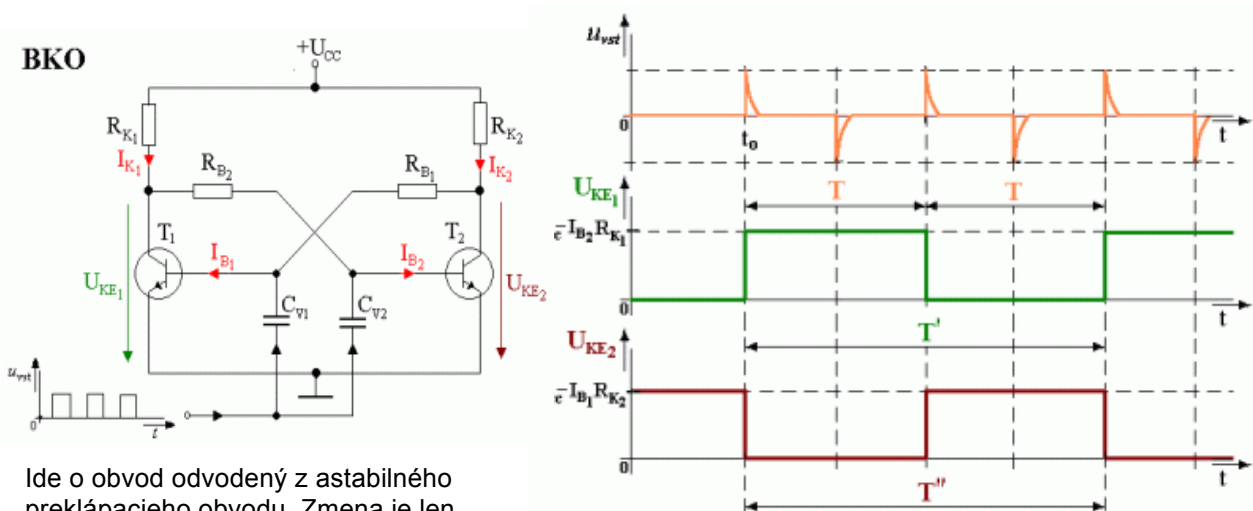
Monostabilný preklápač [MKO]

Monostabilný preklápač je obvod s jedným stabilným stavom a s jedným nestabilným stavom. V stabilnom stave môže zotrvať neobmedzene dlhú dobu, v nestabilnom stave len určitú prechodnú dobu. Táto prechodná doba závisí od vlastností obvodu a označuje sa ako *doba kyvu* monostabilného obvodu. Zo stabilného stavu do nestabilného stavu sa obvod dostáva pôsobením krátkého vonkajšieho impulzu. Z toho vyplýva, že monostabilný preklápač na rozdiel od astabilného preklápača má nielen výstupné svorky, ale aj vstupné svorky.



Bistabilný preklápač [BKO]

Zotrúva v jednom z dvoch stabilných stavov počas ľubovoľného časového intervalu a preklpí sa až po privedení spúšťacieho impulzu. Má dva vstupy a dva výstupy . Zjednodušená schéma bistabilného preklápacieho obvodu s tranzistormi je na obrázku nižšie spolu s priebehmi napätí na vstupe a oboch výstupoch obvodu.



Ide o obvod odvodený z astabilného preklápacieho obvodu. Zmena je len v tom, že väzba z kolektora jedného tranzistora na bázu druhého tranzistora je realizovaná rezistorom a nie kondenzátorom. Ide teda o jednosmernú väzbu medzi tranzistormi. Podobne ako u astabilného preklápacieho obvodu ani u bistabilného preklápacieho obvodu nie je po pripojení napájacieho napätia $+U_{CC}$ úplne jednoznačne dané, ktorý tranzistor sa otvorí ako prvý a ktorý ostane uzatvorený.

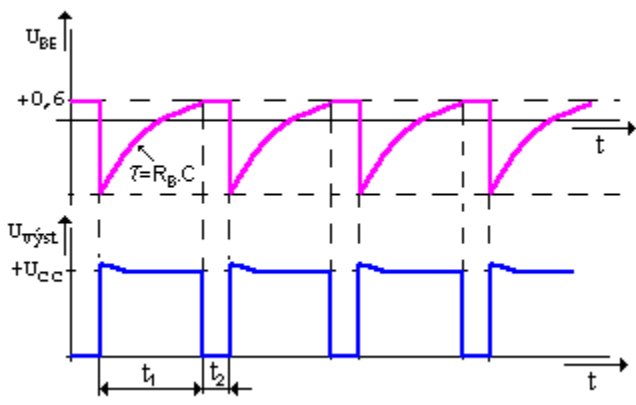
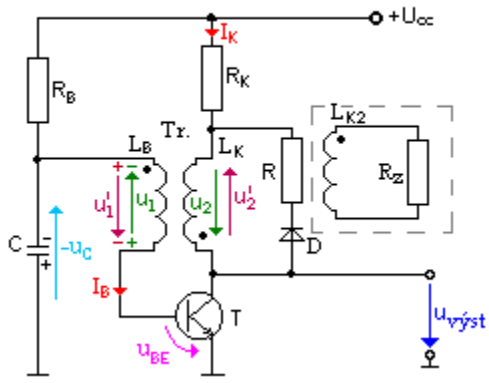
Akonáhle v čase t_0 privedieme na vstup bistabilného preklápacieho obvodu vstupné pravouhlé napätie u_{vst} , cez väzobné kondenzátory C_{V1} a C_{V2} sa vytvoria krátke impulzy kladnej aj zápornej polarizácie. Na kladný impulz zareaguje vždy ten tranzistor, ktorý je práve uzatvorený a ktorý sa ním následne otvorí. Tranzistor T_2 sa otvorí a cez svoj otvorený prechod $K-E$ uzemní pravú svorku rezistora R_{B1} . Tým sa uzatvorí tranzistor T_1 , pretože zanikne budiaci prúd I_{B1} (medzi bázou a emitorom tranzistora T_1 je nulové napätie). Toto platí aj naopak – pre opačný stav KO.

Pre zmenu signálu na výstupoch bistabilného preklápacieho obvodu o jednu periódu musí sa vstupný pravouhlý signál zmeniť o dve periody. Obvod násobí periódu vstupného signálu dvakrát, alebo tiež, že obvod delí frekvenciu kmitov vstupného signálu dvakrát, pretože frekvencia kmitov $f = 1/T$.

Blokovací generátor

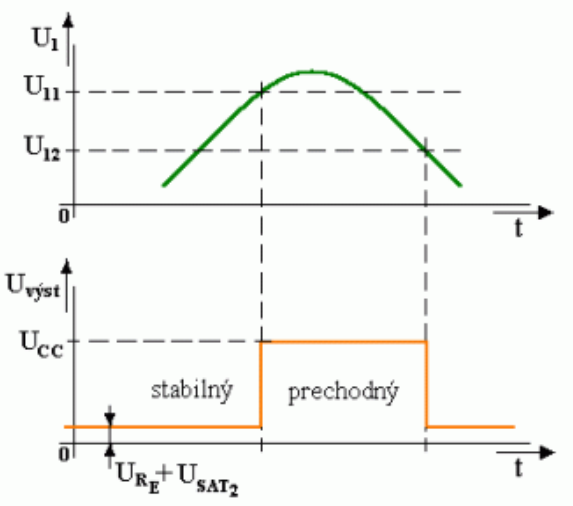
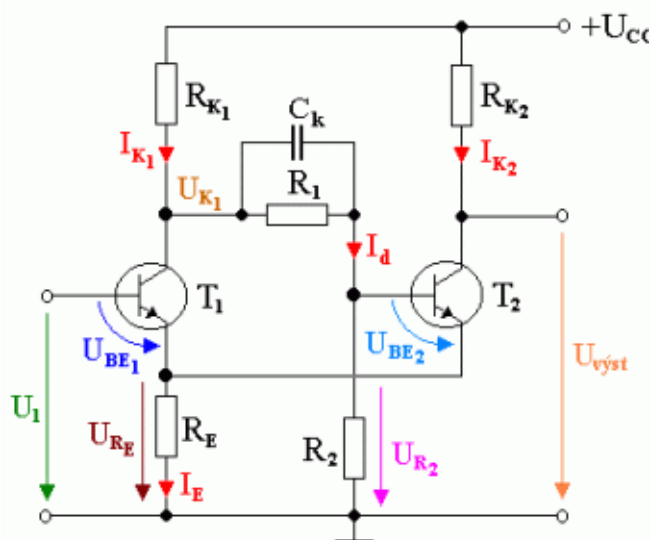
Medzi generátory, ktoré vytvárajú pravouhlý signál s veľmi veľkým pomerom dĺžky trvania impulzu voči dĺžke trvania medzery, alebo tiež naopak, patrí blokovací generátor. Je to obvod, ktorý má vo vetve kladnej spätnej väzby zapojený transformátor Tr zložený z cievok L_K a L_B so správne zvoleným začiatkom a koncom ich vinutí (začiatok označený bodkou). Tento spätnoväzobný člen nie je selektívny (ako je to v LC oscilátore), preto je širokospektrálny a z toho dôvodu na výstupe generátora dostávame obdĺžnikový impulzný signál. L_b a C je zdroj kmitov, T je zosilňovač a $L_K L_b$ je spätná väzba.

Použitie tohto generátora je v riadkových rozkladových generátoroch TV, v meničoch napätia a v generátoroch vytvárajúcich krátke impulzy pre potreby číslicovej a automatizačnej techniky. Výhodou tohto obvodu je jeho jednoduchosť, prevádzková spoľahlivosť a možnosť galvanického oddelenia výstupu.



Schmittov preklápací obvod [SKO]

Do skupiny bistabilných preklápacích obvodov patrí aj *Schmittov preklápací obvod*. Tento obvod na rozdiel od už spomínaného bistabilného preklápacieho obvodu s dvoma tranzistormi je možné ovládať (spúšťať) vstupným signálom ľubovoľného tvaru, ba dokonca aj jednosmerným napätím. Práve preto sa tiež zaraďuje do skupiny *tvarovacích obvodov*. Na výstupe dostaneme vždy signál pravouhlého tvaru

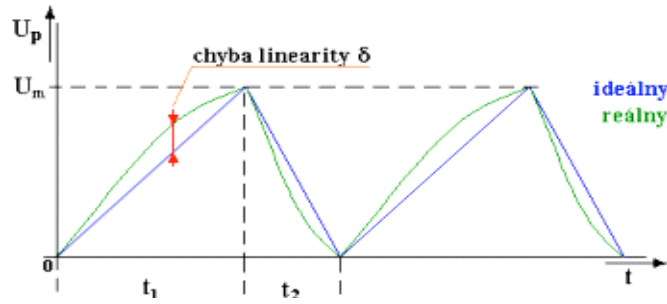


Ide o dvojstupňový, jednosmerne viazaný

zosilňovač so zavedenou kladnou spätnou väzbou cez emitorový rezistor R_E . Tento rezistor je spoločný emitorový rezistor pre obidva tranzistory T_1 aj T_2 . V tomto obvode je v stabilnom stave tranzistor T_2 otvorený a tranzistor T_1 zatvorený. V prechodnom stave je tranzistor T_2 zatvorený a tranzistor T_1 otvorený. Ovládanie tranzistora T_2 tranzistorom T_1 je realizované cez odporový delič zložený z rezistorov R_1 a R_2 .

Generátory pílovitých signálov

Generátory pílovitých signálov sú zdroje signálov pílovitého alebo trojuholníkového priebehu. Väčšina týchto generátorov je založená na *periodickom nabíjaní a vybíjaní kondenzátora*. S týmito generátormi sa stretávame v osciloskopoch v ich časových základniach, v televíznych prijímačoch v ich rozkladových riadkových a snímkových generátoroch, v rozmietaných generátoroch (wobleroch) určených na sledovanie frekvenčných charakteristík štvorpólov a pod.

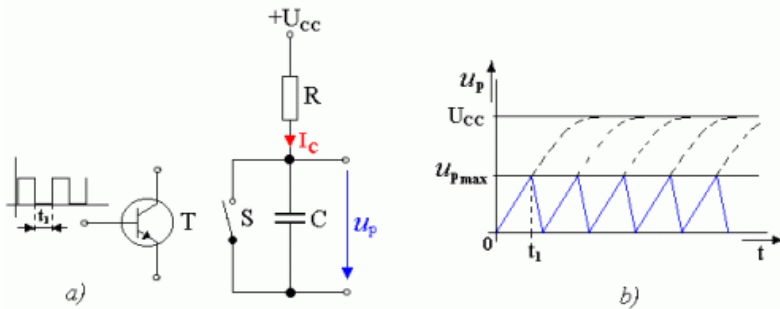


Základnou požiadavkou na pílovitý signál je, aby nárast napätia píly bol lineárny. Tým, že na generovanie píly sa

používa proces nabíjania a vybíjania kondenzátora, jej tvar nie je úplne lineárny.

Reálny a ideálny priebeh sa od seba líšia. *Odchýlka reálneho od ideálneho priebehu je chyba linearít δ* . Perióda pilovitého signálu sa skladá z dvoch časov a to z času t_1 a t_2 . Čas t_1 sa nazýva *doba nábehu (činný beh)*. Čas t_2 sa nazýva *doba dobehu (spätný beh)*. Pri pilovitom signále požadujeme, aby čas dobehu t_2 bol čo najkratší. Pri trojuholníkovom signále zasa musí platiť, že $t_1 = t_2$.

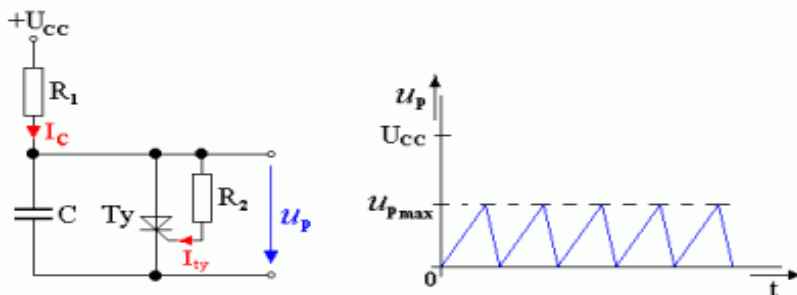
Vo väčšine bežných generátorov na generovanie pilovitého signálu sú základnou elektronickou súčiastkou kondenzátory. Aby bol proces generovania periodický, musíme zabezpečiť pravidelné vybíjanie kondenzátora po jeho nabití na určitú úroveň napätia. Toto sa dá zabezpečiť pripojením spínača paralelne ku kondenzátoru, tak ako to vidno na obrázku.



Obvod sa skladá z rezistora R , kondenzátora C a zo spínača S . Kondenzátor C by sa po pripojení napätia U_{CC} nabil na túto hodnotu a ostal by nabitý. Ak však v čase t_1 zopneme spínač S , kondenzátor sa rýchlo vybije a po rozopnutí spínača S sa proces nabíjania kondenzátora môže opakovať. Na výstupe dostávame pilovitý signál s maximálnou úrovňou U_{pmax} , ako je to znázornené na obrázku

b).. Miesto mechanického spínača môžeme napríklad použiť tranzistor T v spínanom režime ovládaný pravouhlým signálom alebo tyristor:

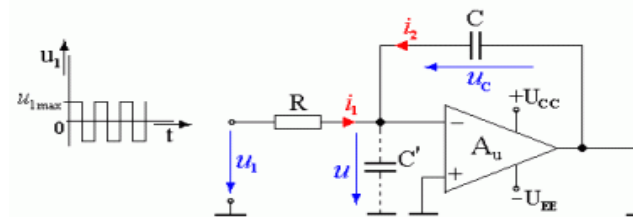
V tomto generátore sa kondenzátor C nabíja cez rezistor R_1 , pokiaľ tyristor Ty je v uzavretom stave. Pri



Generátor píly s tyristorom a výstupný signál

napätí píly U_{pmax} prúd I_{ty} dosiahne hodnotu, pri ktorej prechádza tyristor do vodivého stavu, kedy sa cez neho kondenzátor C okamžite vybije. Pri poklese napätia u_p pod hodnotu 0,6 V sa tyristor uzatvorí a kondenzátor C sa začne zasa nabíjať cez rezistor R_1 . Tým sa dostávame na začiatok generovania novej periódy pilovitých kmitov.

Ak chceme získať trojuholníkový signál nie príliš vysokej frekvencie (stovky kHz), môžeme použiť *Millerov integrátor* s OZ. Ide o jednosmerne viazaný, viacstupňový zosilňovač, ktorý má vo vetve zápornej spätnej väzby zapojený kondenzátor C . Tento sa v dôsledku *Millerovho javu* uplatní ako fiktívny C' .



Princíp Millerovho integrátora

MODULÁCIA

Pri bezdrôtovom prenose správ na veľké vzdialenosti sa využíva prenos pomocou elektromagnetického poľa. Toto elektromagnetické pole vzniká premenou striedavého prúdu pretekajúceho anténou. Vo všeobecnosti platí, že striedavé prúdy s vyšším opakovacím kmitočtom sa premieňajú na elektromagnetické pole (vlnenie) s väčšou účinnosťou ako prúdy s nižším opakovacím kmitočtom. Z tohto dôvodu sa musí správa (nf signál), ktorú chceme prenášať bezdrôtovo, nejakým vhodným spôsobom premeniť - pretransformovať do oblasti prúdov s vyššími frekvenciami. Dôležitou požiadavkou je pritom, aby proces transformácie neovplyvnil obsah a vlastnosti prenášanej správy. Riešenie tohto problému prináša jeden zo spôsobov transformácie nazývaný modulácia.

Modulácia je proces, pri ktorom dochádza ku zmene niektorého parametra nosnej vlny podľa zmien modulačného signálu.

Vo všeobecnosti, každý striedavý signál má tri základné parametre, ktoré ho charakterizujú a to : amplitúdu kmitov, frekvenciu kmitov a fázu. Časový priebeh striedavého signálu vo všeobecnosti je daný vzťahom: $u = U \cdot \sin(\omega t + j)$

U maximálna amplitúda signálu
 w kmitočet signálu
 j fáza signálu

Na základe uvedeného poznáme tri základné modulácie:

- AMPLITÚDOVÁ [AM]
- FREKVENČNÁ [FM]
- FÁZOVÁ [FM]

AMPLITÚDOVÁ MODULÁCIA [AM]

Pri **amplitúdovej modulácii** sa mení amplitúda nosnej vlny v rytme okamžitej hodnoty modulačného signálu. Frekvencia aj fáza modulovanej vlny sa nemenia, sú konštantné.

$u_n = U_n \cdot \sin \omega t$ (1) nosná nedomulovaná vlna (nosný signál) s maximálnou amplitúdou U_n a kmitočtom w

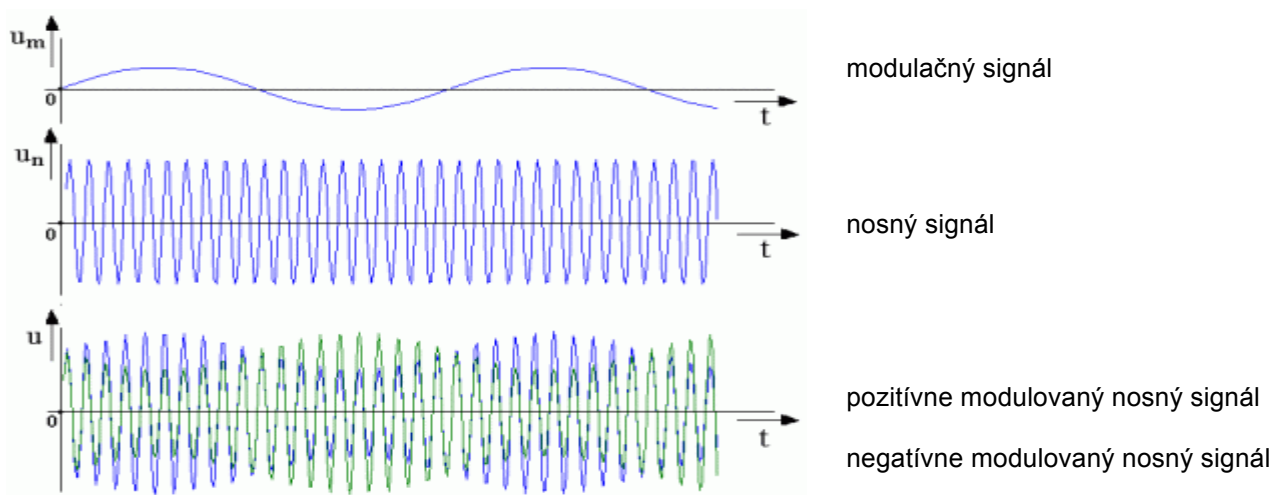
$u_m = U_m \cdot \sin Wt$ (2) modulačný signál s maximálnou amplitúdou U_m a kmitočtom W

$u = U \cdot \sin \omega t$ (3) modulovaná nosná vlna s kmitočtom w pôvodnej nosnej vlny, ale s okamžitou amplitúdou U , ktorá sa však mení s okamžitou amplitúdou modulačného signálu u_m .

Amplitúda výslednej modulovanej vlny U je v každom okamihu daná súčtom alebo rozdielom amplitúdy nosnej vlny U_n a okamžitej hodnoty modulačného signálu u_m . To zapisujeme nasledovne :

$$U = U_n + u_m \text{ - pozitívna modulácia (4)}$$

$$U = U_n - u_m \text{ - negatívna modulácia (5)}$$

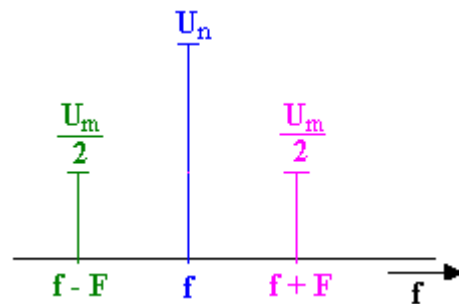


Písmeno **m** nazývame **činiteľ - koeficient amplitúdovej modulácie**.
 Ak činiteľ AM **m** vyjadríme v percentách označuje **hĺbku modulácie AM**.

$$m = \frac{U_m}{U_n} \cdot 100 \quad [\%]$$

Čiarové spektrum amplitúdovo modulovaného signálu jedným modulačným signálom s frekvenciou F obsahuje okrem frekvencie f nosného signálu ešte dve ďalšie zložky a to dolnú postrannú zložku $f - F$ a hornú postrannú zložku $f + F$. Ak modulačný signál obsahuje viac frekvencií od F_{min} po F_{max} potom vznikajú postranné pásma - dolné od $f - F_{min}$ po $f - F_{max}$ a horné od $f + F_{min}$ po $f + F_{max}$.

Ďalšou nemenej dôležitou vlastnosťou AM je, že z hľadiska informačného sú obidve postranné pásma identické.



V postranných pásmach je sústredených iba 50 % efektívneho výkonu nemodulovanej nosnej vlny, čo predstavuje 1/3 z celkového výkonu P_{ef} dodaného do antény modulovanou nosnou vlnou za jednu periódu modulačného signálu.

Na záver, ak sa teraz zamyslíme nad účinnosťou prenosu signálu pomocou AM a zohľadníme skutočnosť, že normou stanovený činiteľ modulácie pre rádiové vysielacie AM je $m = 0,3$, dospejeme k záveru, že pre systémy s dvoma postrannými pásmami - DSB (Dual Side Band) je účinnosť nízka. Z tohoto dôvodu sa používajú systémy s jedným postranným pásmom s čiastočne potlačenou nosnou vlnou, systémy SSB (Single Side Band)

VÝHODY:

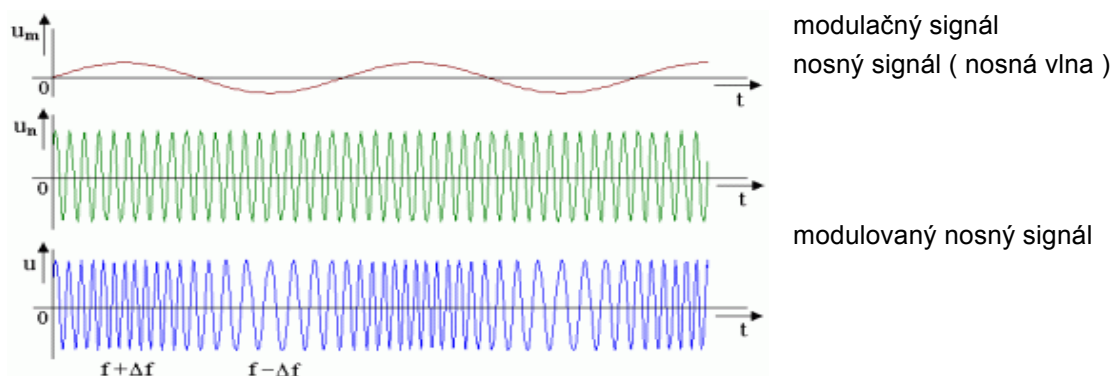
- Jednoduchá konštrukcia modulátorov a demodulátorov AM signálov
- Pri prenose užitočného signálu má výsledný modulovaný signál presne definované a ohraničené pásmo postranných zložiek
- Na prenos informácie nám stačí preniesť iba jedno postranné pásmo, pretože z informačného hľadiska sú obidve postranné pásma identické.

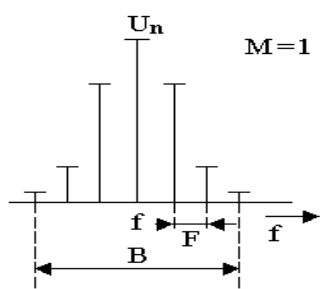
NEVÝHODY:

- Malá účinnosť
- Náchylnosť na rušenie v ľubovoľnom mieste prenosového reťazca.

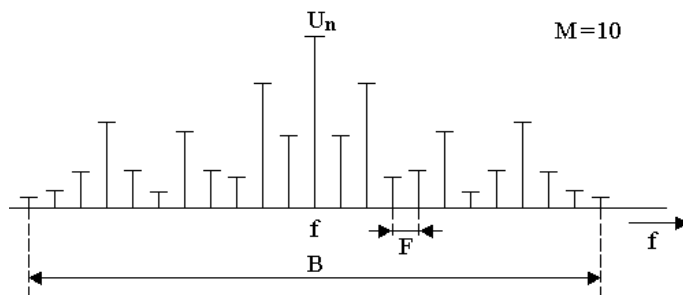
FREKVENČNÁ MODULÁCIA [FM]

Pri **frekvenčnej modulácii** sa mení frekvencia nosnej vlny v rytme modulačného signálu. Amplitúda modulovanej vlny ostáva konštantná.





Spektrum modulovanej vlny FM pre $M = 1$



Spektrum modulovanej vlny FM pre $M = 10$

M je činiteľ frekvenčnej modulácie a podľa neho rozlišujeme dva typy frekvenčnej modulácie. Ak $M < 1$ ide o úzkopásmovú FM a ak $M > 1$ ide o širokopásmovú FM. Ako príklad širokopásmovej FM môžeme uviesť rozhlasové vysielanie, kde sa používa frekvenčný zdvih $Df = 50 \text{ kHz}$ (popríklad 75 kHz) a maximálny modulačný kmitočet $F = 15 \text{ kHz}$. Potom M je pomer Df/F_{max} . Ako príklad úzkopásmovej FM môže poslúžiť frekvenčný zdvih $Df = 15 \text{ kHz}$ používaný v mobilných vysielateľoch pracujúcich na vlnách kratších ako 10 m.

V praxi sa ukázalo, že na prenos informácie s dostatočne malým skreslením postačí preniesť všetky postranné zložky, ktorých amplitúda je väčšia ako 1 % amplitúdy nosného nemodulovaného signálu.

S hodnotou činiteľa M súvisí dôležitý kvalitatívny ukazovateľ prenosu správ určujúci jeho akosť a to pomer amplitúdy signálu k amplitúde šumu - S/N . Platí, že čím je M väčšie, tým väčší je pomer signál/šum. Na druhej strane však platí, že s narastajúcim M narastá, pre kvalitný prenos, aj potrebná šírka frekvenčného pásma. Nedodržanie potrebnej šírky pásma, jej zmenšenie, vedie ku zhoršeniu pomeru signál/šum a hlavne ku zvýšeniu skreslenia výstupného signálu na vyšších dynamických úrovniach. (napr. údery do bubna v tanečnej hudbe, atď.)

Výhody frekvenčnej modulácie v porovnaní s amplitúdovou moduláciou :

- o možnosť vylúčenia porúch amplitúdového charakteru použitím obmedzovača amplitúdy v prijímači, pretože amplitúda neprenáša žiadnu zložku informácie
- o jednoduchší modulátor a tým aj jednoduchší vysielateľ (modulácia sa môže robiť priamo v oscilátore nosného signálu)
- o vysielateľ FM signálu je z hľadiska výkonu dobre využitý. Pri vhodnej veľkosti indexu modulácie M (okolo $M = 5$) klesá výkon nosného signálu skoro k nule a skoro všetka vysielaná energia je sústredená v postranných pásmach užitočných pre prenos informácie
- o menšie vzájomné rušenie dvoch vysielateľov, ktoré pracujú na rovnakom alebo blízky nosných kmitočtoch
- o lepší odstup užitočného signálu od hluku a šumu. Optimálny odstup signálu od šumu môžeme



dosiahnuť optimálnym využitím kmitočtového zdvihu Df . Preto sa na strane vysielateľa od určitého medzného kmitočtu umelo zväčšuje amplitúda modulačného signálu úmerne s narastajúcim kmitočtom. Hovoríme o *preemfáze*. Na strane prijímača sa za demodulátorom urobí spätná korekcia, ktorá účinky preemfázy opäť vyrovná, takže prenášaná zdemodulovaná informácia má pôvodný priebeh. Ide o *deemfázu*. Pre korekciu sa na oboch stranách používa obvod s časovou konštantou 50 ms (niekde 75 ms), to je hraničná frekvencia $3,2 \text{ kHz}$.

Poznámka : Z hľadiska energetického, napríklad v hudbe, sú frekvencie stredné a vysoké zastúpené len asi z 20 %. Zvyšná energia je sústredená v nízkych frekvenciách - basoch. Naopak šum má svoju prevažnú časť energie sústredenú v zložkách s vyššími frekvenciami. Najväčším zdrojom šumu v prenosovej ceste sú vstupné obvody, zmiešavač a frekvenčný demodulátor na strane prijímača. Z povedaného vyplýva, že pri prenose zložiek s vyššími frekvenciami, by po demodulácii výrazne klesol odstup signál/šum. Ak však na strane vysielateľa preemfázou umelo zvýšime energetickú úroveň zložiek s vyššími

frekvenciami na strane prijímača, za demodulátorom, dostávame priaznivý pomer signál/šum. Použitím deemfázy obmedzíme prenos signálov s vyššími frekvenciami, teda aj zložiek šumu z demodulátora.

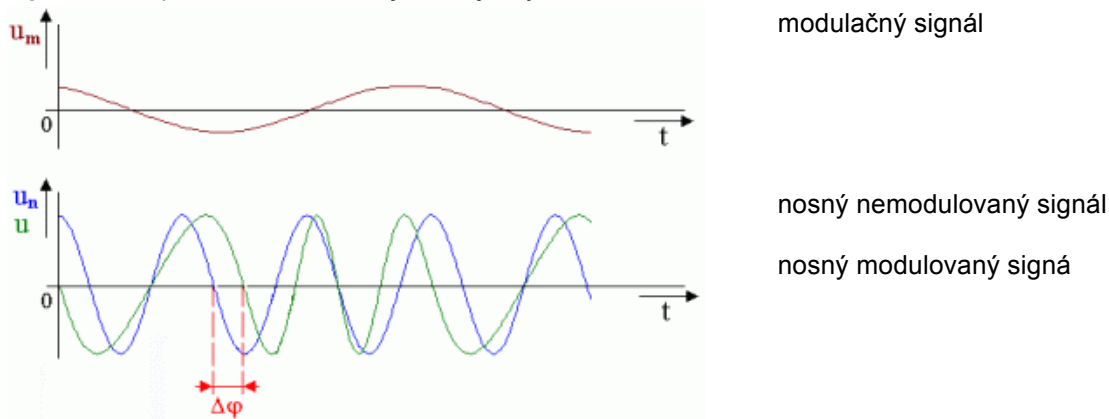
- o podstatne lepšia dynamika prenosu, t.j. rozdiel medzi najhlasnejším a najtichším prenášaným zdemodulovaným signálom. Dynamika prenosu pri amplitúdovej modulácii je okolo 25 dB, ale pri frekvenčnej modulácii s použitím preemfázy sa dosahujú úrovne okolo 45 dB.
- o ku zvýšeniu vernosti prenosu prispieva vedľa dobrej dynamiky aj prenášané kmitočtové pásmo 30 Hz až 15 kHz.

Nevýhody:

- zložitejší demodulátor
- potrebná podstatne väčšia šírka prenášaného pásma a tým možnosť použitia frekvenčnej modulácie len na frekvenčnom rozsahu veľmi krátkych vln.

FÁZOVÁ MODULÁCIA [FM]

Pri **fázovej modulácii** sa mení fáza modulovanej nosnej vlny v rytme zmien modulačného signálu. Amplitúda modulovanej nosnej vlny ostáva konštantná.



Fázová a frekvenčná modulácia sú vzájomne závislé, sú to dve rôzne cesty na dosiahnutie skoro rovnakého fyzikálneho výsledku. Fázovú moduláciu je možné previesť na moduláciu frekvenčnú. Čistá fázová modulácia sa v praxi používa len zriedka.

DEMODULÁCIA

Demodulácia je proces, pomocou ktorého z modulovaného vysokofrekvenčného signálu získame späť nízkofrekvenčný modulačný signál.

Demodulácia tak ako modulácia sa uskutočňuje na nelineárnom prvku. Demoduláciou sa má získať modulačný signál v čo najvernejšom tvare, t.j. s čo najmenším skreslením a s dostatočnou amplitúdou výstupného signálu.

AMPLITÚDOVA DEMODULÁCIA

Amplitúdovo modulovaný signál, pri modulácii harmonickým signálom s jednou frekvenciou obsahuje tri zložky s frekvenciami:

$$w_1 = w \quad w_2 = w + W \quad w_3 = w - W$$

Ak tento signál s týmito tromi zložkami privedieme na nelineárny prvok, vznikajú na ňom okrem zložiek so základnými frekvenciami vstupných signálov w_1, w_2, w_3 aj kombinované harmonické zložky:

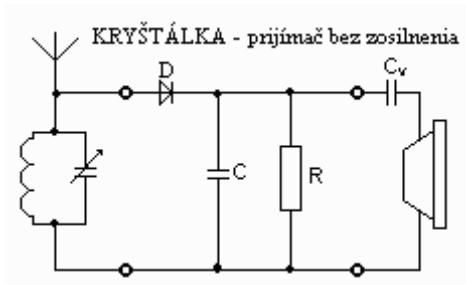
$$\begin{array}{lll} n.w_1, n.w_2, n.w_3 & w_1 \pm w_2 & n.w_1 \pm m.w_2 \\ & w_2 \pm w_3 & n.w_2 \pm m.w_3 \\ & w_1 \pm w_3 & \text{atď.} \end{array}$$

Z rozboru vidieť, že medzi týmito zložkami bude aj zložka s frekvenciou W , teda zložka zodpovedajúca modulačnému signálu. Konkrétne ide o rozdielovú zložku :

$$w_1 - w_3 = w - (w - W) = w - w + W = W$$

Pomocou filtra RC odstránime všetky nežiaduce zložky s vyššími frekvenciami a prepustíme len napätie s modulačnou frekvenciou W .

Kondenzátor C sa nabije kladnou polovinou cez diódu D a potom sa vybíja prúdom opačného smeru cez odpor R , a keďže R je veľký, vybíja sa oveľa pomalšie (rýchlosťou nf signálu). Tým sa odstráni vf signál, ostane len obálka nf.



FREKVENČNÁ DEMODULÁCIA

Frekvenčná demodulácia sa skladá z dvoch procesov:

- premeny frekvenčnej modulácie na amplitúdovú moduláciu
- vlastnej amplitúdovej modulácie

Používajú sa 2 spôsoby zapojenia:

1. Fázový diskriminátor: Pásmová priepusť L_1, L_2 pri rezonancii (pri prijímačnej frekvencii na ktorú je naladený - 10,7MHz) posúva napätie sekundárnej strany U_2 na L_2 o 90° proti primárnemu napätiu U_1 na L_1 . Sekundárny obvod L_2 je rozdelený na dve časti, ktoré majú rovnaké napätia, ale opačné fázy. Do ich stredu sa zapája primárne napätie U_1 pomocou cievky L_1 . Napätie na dióde D_1 bude $U_A = U_1 + U_2$ (súčet), na dióde D_2 bude rozdiel $U_B = U_1 - U_2$. Ak sa kondenzátor C_2 uzemní z kondenzátora C_1 sa odoberá priamo demodulovaný rozdiel $U_{nf} = U_A - U_B$. môžu nastať tieto 3 stavy:

- pri frekvencii 10,7MHz (presná mf - obr.42a) sú napätia U_a a U_b rovnaké a na výstupe je 0.
- ak medzifrekvencia je väčšia ako 10,7MHz (obr.42b) cievky L_1, L_2 posúvajú o menej ako 90° , U_a je väčšie ako U_b a na výstupe je kladné napätie.
- ak medzifrekvencia je menšia ako 10,7MHz (obr.42c) cievky L_1, L_2 posúvajú o viac ako 90° , U_a je menšie ako U_b a výstupné napätie je záporné.

Tento obvod potrebuje na vstupe účinný amplitúdový obmedzovač.

2) Pomerový detektor: nepotrebuje na vstupe amplitúdový obmedzovač a dodáva na výstupe polovičné napätie oproti fázovému diskriminátoru. Princíp je rovnaký len, zapojené diódy sú opačne polarizované a uzemnený je stred kondenzátorov C_1, C_2 .

Multivibrátory

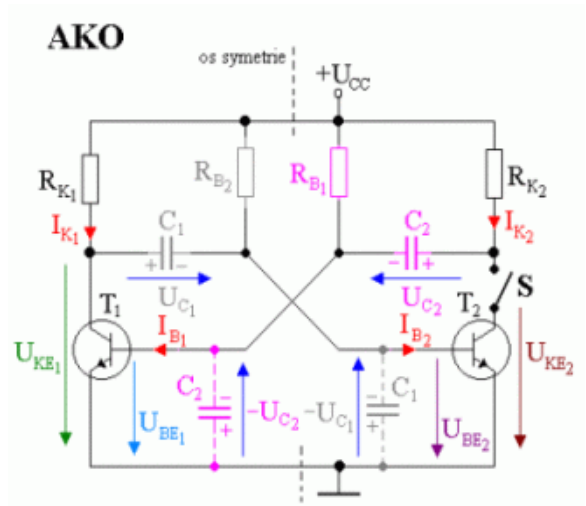
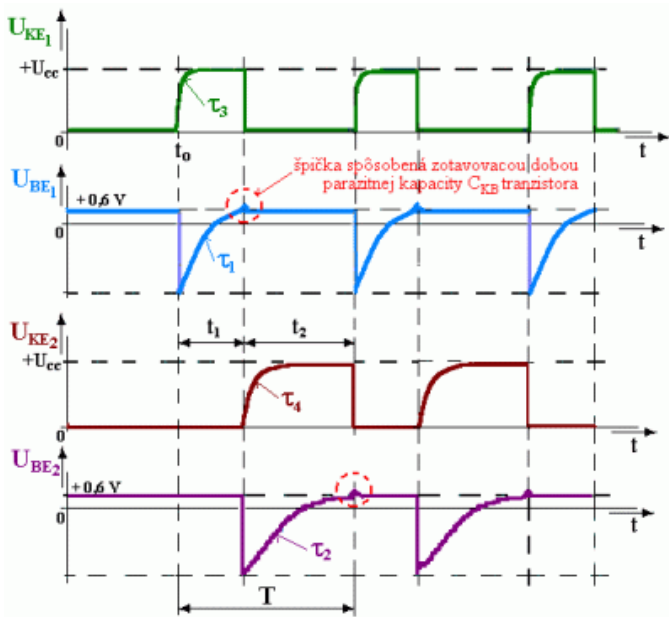
Multivibrátory patria medzi generátory periodických pravouhlých signálov.

Stabilný stav obvodu sa rozumie pracovný režim, v ktorom obvod môže zotrvať neobmedzene dlhú dobu. Tento stav obvod zmení len pôsobením určitých vonkajších vplyvov.

Nestabilný stav obvodu sa rozumie pracovný režim, v ktorom sa obvod nachádza len určitú prechodnú dobu, závislú na vlastnostiach obvodu. Do nestabilného stavu sa obvod dostáva pôsobením vonkajšieho signálu zo stabilného stavu, alebo samovoľne z druhého nestabilného stavu.

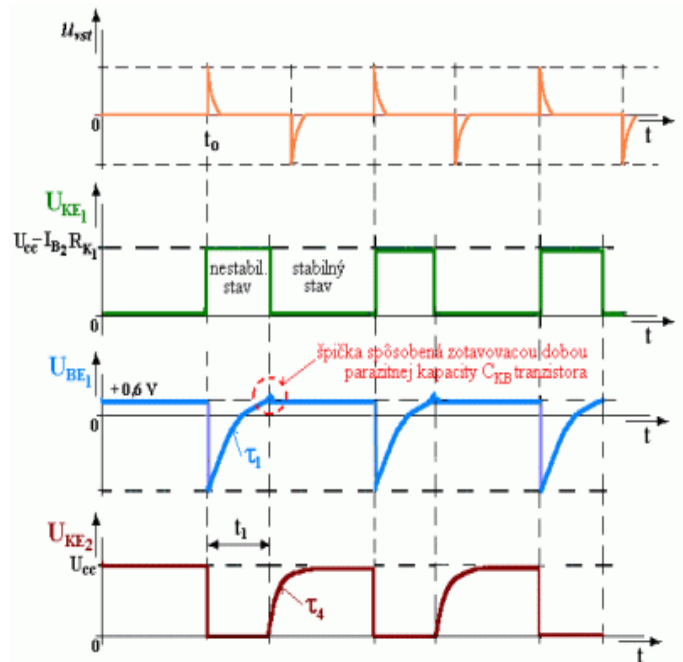
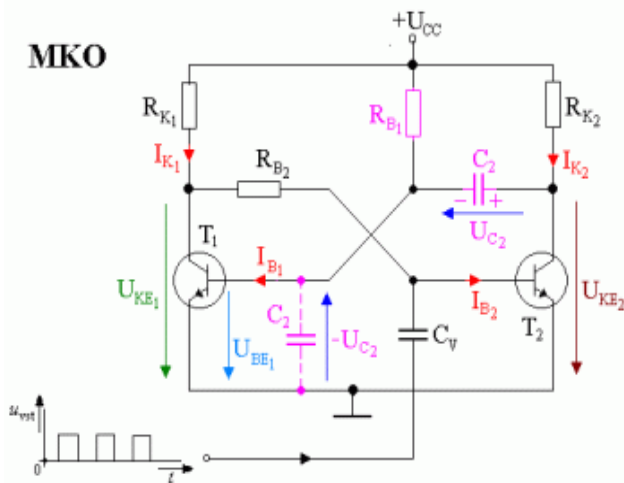
Astabilný preklápací obvod [AKO]

Základným typom je zapojenie s dvoma tranzistormi rovnakej polarizácie. V schéme je navyše zapojený spínač S , ktorý sa v reálnom, praktickom zapojení nepoužíva. Nemá žiadny stabilný stav, takže stále preklápa – vždy je otvorený len 1 z dvojice tranzistorov, druhý je zavretý. V okamžiku jeho otvorenia sa ten otvorený zatvára. Tento dej sa periodicky opakuje, pričom pomer času otvorenia oboch tranzistorov závisí od C_1, C_2, R_{b1}, R_{b2} .



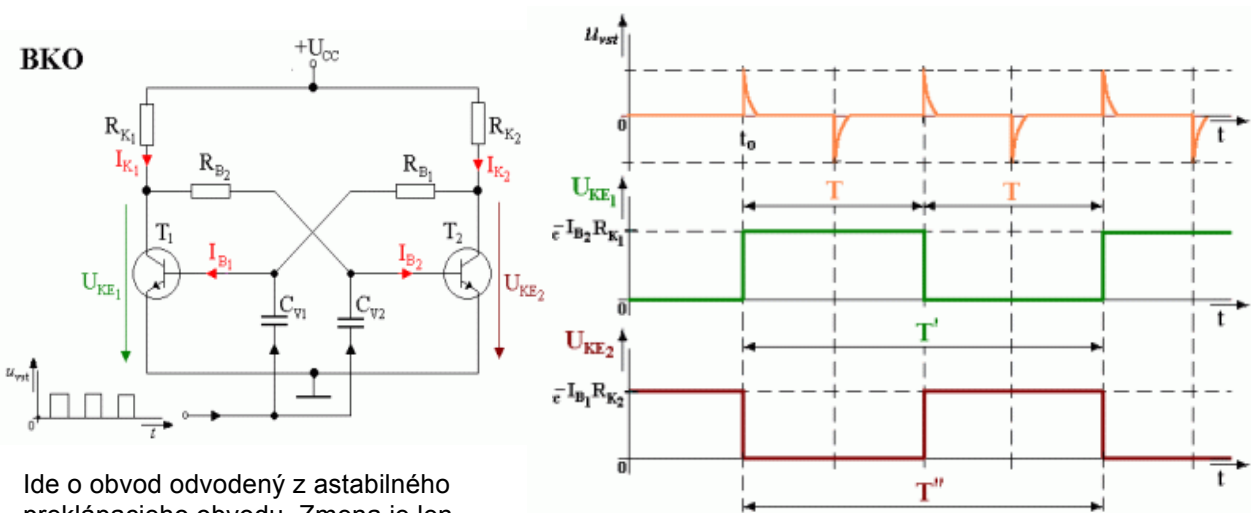
Monostabilný preklápač [MKO]

Monostabilný preklápač je obvod s jedným stabilným stavom a s jedným nestabilným stavom. V stabilnom stave môže zotrvať neobmedzene dlhú dobu, v nestabilnom stave len určitú prechodnú dobu. Táto prechodná doba závisí od vlastností obvodu a označuje sa ako *doba kyvu* monostabilného obvodu. Zo stabilného stavu do nestabilného stavu sa obvod dostáva pôsobením krátkeho vonkajšieho impulzu. Z toho vyplýva, že monostabilný preklápač na rozdiel od astabilného preklápača má nielen výstupné svorky, ale aj vstupné svorky.



Bistabilný preklápač [BKO]

Zotrúva v jednom z dvoch stabilných stavov počas ľubovoľného časového intervalu a preklpí sa až po privedení spúšťacieho impulzu. Má dva vstupy a dva výstupy . Zjednodušená schéma bistabilného preklápacieho obvodu s tranzistormi je na obrázku nižšie spolu s priebehmi napätí na vstupe a oboch výstupoch obvodu.



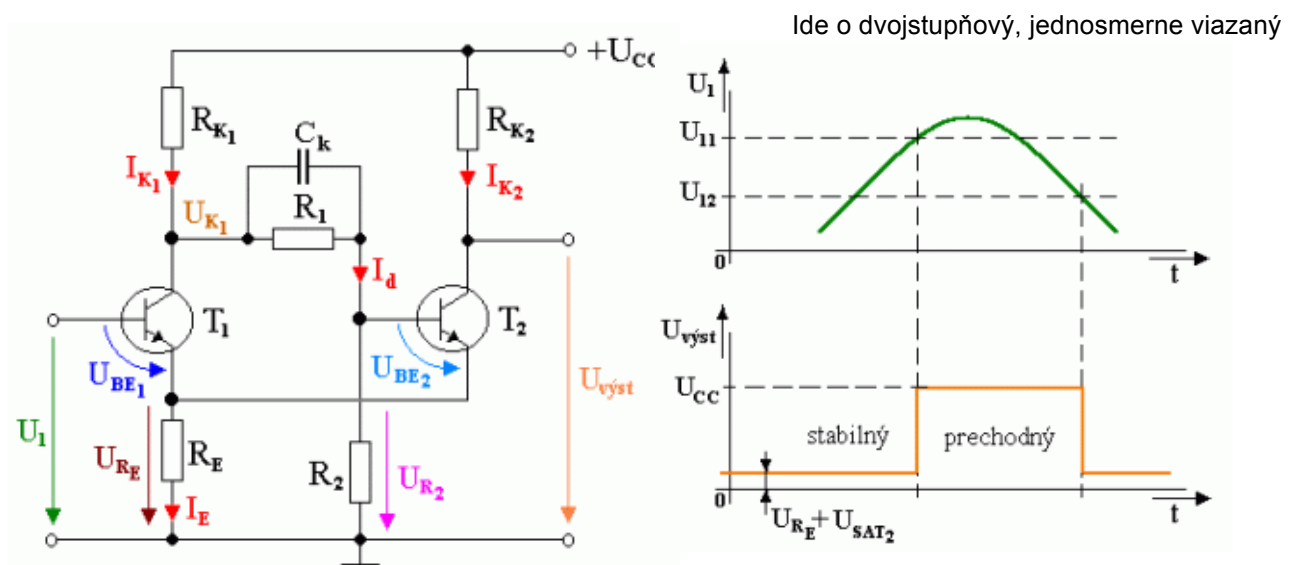
Ide o obvod odvodený z astabilného preklápacieho obvodu. Zmena je len v tom, že väzba z kolektora jedného tranzistora na bázu druhého tranzistora je realizovaná rezistorom a nie kondenzátorom. Ide teda o jednosmernú väzbu medzi tranzistormi. Podobne ako u astabilného preklápacieho obvodu ani u bistabilného preklápacieho obvodu nie je po pripojení napájacieho napätia $+U_{CC}$ úplne jednoznačne dané, ktorý tranzistor sa otvorí ako prvý a ktorý ostane uzatvorený.

Akonáhle v čase t_0 privedieme na vstup bistabilného preklápacieho obvodu vstupné pravouhlé napätie u_{vst} , cez väzobné kondenzátory C_{V1} a C_{V2} sa vytvoria krátke impulzy kladnej aj zápornej polarizácie. Na kladný impulz zareaguje vždy ten tranzistor, ktorý je práve uzatvorený a ktorý sa ním následne otvorí. Tranzistor T_2 sa otvorí a cez svoj otvorený prechod $K-E$ uzemní pravú svorku rezistora R_{B1} . Tým sa uzatvorí tranzistor T_1 , pretože zanikne budiaci prúd I_{B1} (medzi bázou a emitorom tranzistora T_1 je nulové napätie). Toto platí aj naopak – pre opačný stav KO.

Pre zmenu signálu na výstupoch bistabilného preklápacieho obvodu o jednu periódu musí sa vstupný pravouhlý signál zmeniť o dve periody. Obvod násobí periódu vstupného signálu dvakrát, alebo tiež, že obvod delí frekvenciu kmitov vstupného signálu dvakrát, pretože frekvencia kmitov $f = 1/T$.

Schmittov preklápací obvod [SKO]

Do skupiny bistabilných preklápacích obvodov patrí aj *Schmittov preklápací obvod*. Tento obvod na rozdiel od už spomínaného bistabilného preklápacieho obvodu s dvoma tranzistormi je možné ovládať (spúšťať) vstupným signálom ľubovoľného tvaru, ba dokonca aj jednosmerným napätím. Práve preto sa tiež zaraďuje do skupiny *tvarovacích obvodov*. Na výstupe dostaneme vždy signál pravouhlého tvaru



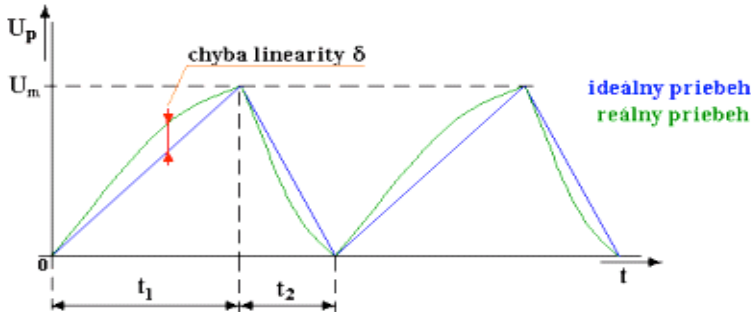
Ide o dvojestupňový, jednosmerne viazaný

zosilňovač so zavedenou kladnou spätnou väzbou cez emitorový rezistor R_E . Tento rezistor je spoločný emitorový rezistor pre obidva tranzistory T_1 aj T_2 . V tomto obvode je v stabilnom stave tranzistor T_2 otvorený a tranzistor T_1 zatvorený. V prechodnom stave je tranzistor T_2 zatvorený a tranzistor T_1 otvorený. Ovládanie tranzistora T_2 tranzistorom T_1 je realizované cez odporový delič zložený z rezistorov R_1 a R_2 .

Generátory pílovitých signálov

Generátory pílovitých signálov sú zdroje signálov pílovitého alebo trojuholníkového priebehu.

Väčšina týchto generátorov je založená na *periodickom nabíjaní a vybíjaní kondenzátora*. S týmito generátormi sa stretávame v osciloskopoch v ich časových základniach, v televíznych prijímačoch v ich

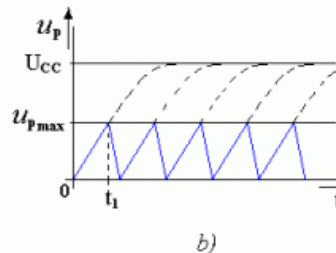
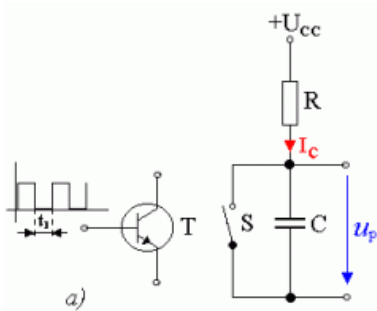


rozkladový riadkových a snímkových generátoroch, v rozmiatanych generátoroch (wobleroch) určených na sledovanie frekvenčných charakteristík štvorpólov a pod.

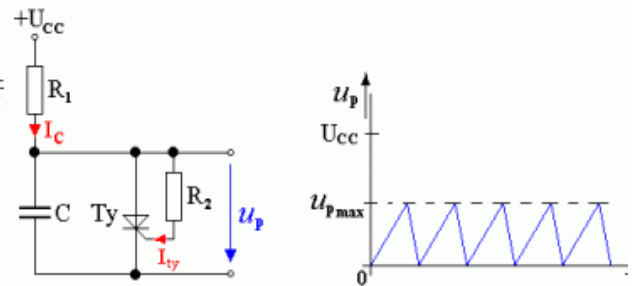
Základnou požiadavkou na pílovitý signál je, aby nárast napätia píly bol lineárny. Tým, že na generovanie píly sa používa proces nabíjania a vybíjania kondenzátora, jej tvar nie je úplne lineárny.

Reálny a ideálny priebeh sa od seba líšia. *Odchýlka reálneho od ideálneho priebehu je chyba linearity δ* . Perióda pílovitého signálu sa skladá z dvoch časov a to z času t_1 a t_2 . Čas t_1 sa nazýva *doba nábehu (činný beh)*. Čas t_2 sa nazýva *doba dobehu (spätný beh)*. Pri pílovitom signále požadujeme, aby čas dobehu t_2 bol čo najkratší. Pri trojuholníkovom signále zasa musí platiť, že $t_1 = t_2$.

Vo väčšine bežných generátorov na generovanie pílovitého signálu sú základnou elektronickou súčiastkou kondenzátory. Aby bol proces generovania periodický, musíme zabezpečiť pravidelné vybíjanie kondenzátora po jeho nabití na určitú úroveň napätia. Toto sa dá zabezpečiť pripojením spínača paralelne ku kondenzátoru, tak ako to vidno na obrázku.



Obvod sa skladá z rezistora R , kondenzátora C a zo spínača S . Kondenzátor C by sa po pripojení napätia U_{CC} nabil na túto hodnotu a ostal by nabitý. Ak však v čase t_1



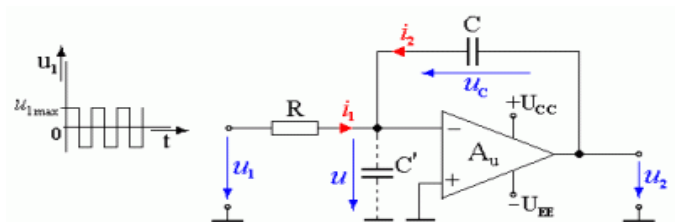
Generátor píly s tyristorom a výstupný signál

zopneme spínač S , kondenzátor sa rýchlo vybije a po rozopnutí spínača S sa proces nabíjania kondenzátora môže opakovať. Na výstupe dostávame pílovitý signál s maximálnou úrovňou u_{pmax} , ako je to znázornené na obrázku b). Miesto mechanického spínača môžeme napríklad použiť tranzistor T v spínanom režime ovládaný pravouhlým signálom alebo tyristor:

V tomto generátore sa kondenzátor C nabíja cez rezistor R_1 , pokiaľ tyristor Ty je v uzavretom stave. Pri napätí píly u_{pmax} prúd I_{ty} dosiahne hodnotu, pri ktorej prechádza tyristor do vodivého stavu, kedy sa cez neho kondenzátor C okamžite vybije. Pri poklese napätia u_p pod hodnotu $0,6$ V sa tyristor uzatvorí a kondenzátor C sa začne zasa nabíjať cez rezistor R_1 . Tým sa dostávame na začiatok generovania novej periódy pílovitých kmitov.

Ak chceme získať trojuholníkový signál nie príliš vysokej frekvencie (stovky kHz), môžeme použiť *Millerov integrátor s OZ*. Ide o jednosmerne viazaný, viacstupňový zosilňovač, ktorý má vo vetve zápornej spätnej väzby zapojený kondenzátor C . Tento sa v dôsledku *Millerovho javu* uplatní ako fiktívny C' .

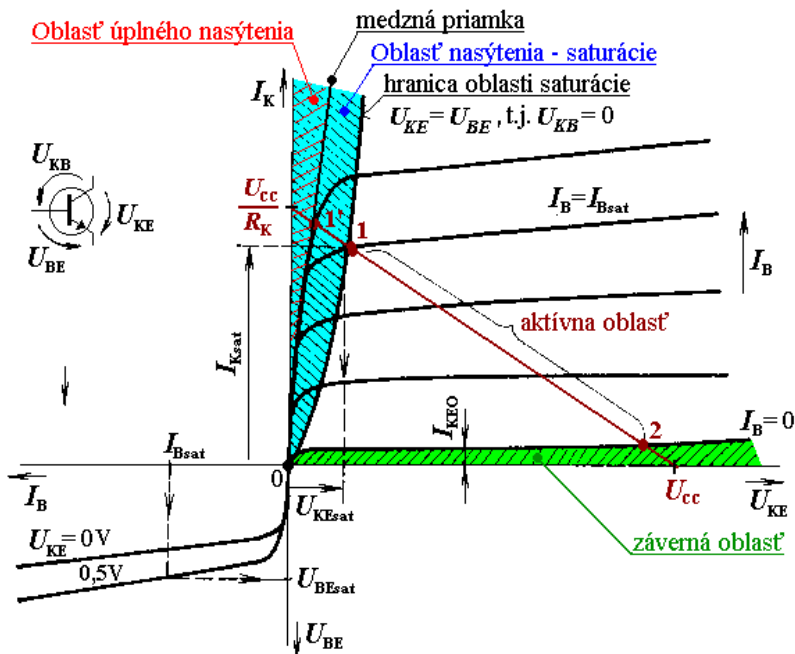
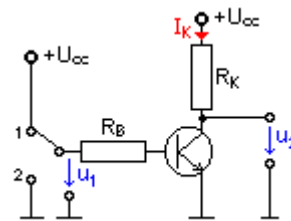
TRANZISTOR AKO SPÍNAČ



Princíp Millerovho integrátora

Principiálne zapojenie spínacieho obvodu s tranzistorom je na obrázku. Používajú sa tranzistor typu NPN aj PNP, najčastejšie v zapojení so spoločným emitorom, pretože k ovládaniu stačí menší výkon než v zapojení so spoločnou bázou.

Základnými stavmi tranzistora ako spínača sú otvorený stav zodpovedajúci zopnutiu akéhokoľvek spínača a uzatvorený stav zodpovedajúci rozopnutiu spínača.



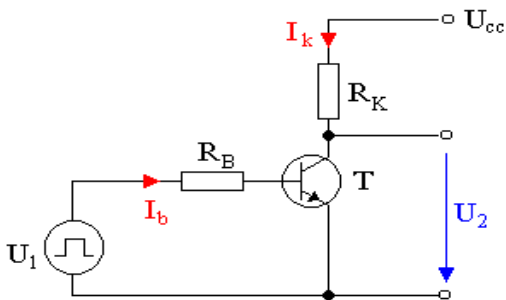
Ako vidno z grafu výstupných charakteristík tranzistora, keď tranzistor simuluje rozopnutý stav spínača, tečie obdom kolektor - emitor len zbytkový prúd kolektora I_{KE0} . V tejto oblasti je tranzistor uzatvorený a prechody B-E a B-K sú polarizované v závernom smere. Pri spínaní prechádza pracovný bod tranzistora aktívnou oblasťou. V nej je prechod B-E polarizovaný v priamom smere a prechod B-K v závernom smere. Tranzistor simuluje zopnutý stav spínača, keď je jeho pracovný bod v oblasti nasýtenia -

saturácie. Táto oblasť je oddelená od aktívnej oblasti *hraničnou krivkou oblasti saturácie*. Táto krivka je charakteristická tým, že body ležiace na nej spĺňajú podmienku $U_{BE} = U_{KE}$ teda :

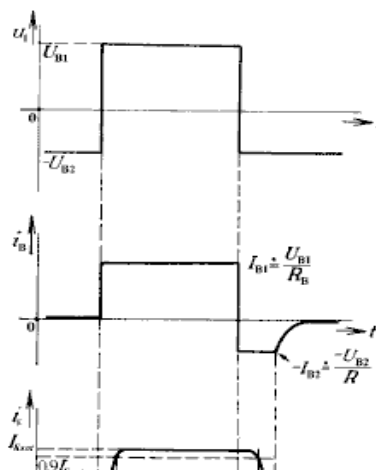
$$U_{KE} - U_{BE} = U_{KB} = 0$$

Ak sa pracovný bod nachádza v oblasti nasýtenia - saturácie, prechody B-E a B-K sú polarizované v priamom smere.

Poznámka : Bipolárny tranzistor v stave otvorenom je riadený prúdom vtekajúcim do bázy, pretože jeho vstupný odpor je v stave saturácie výstupu mnohokrát menší než výstupný odpor zdroja budiaceho signálu. Naopak v stave uzatvorenom je bipolárny tranzistor riadený napätím na báze, pretože jeho vstupný odpor je v tomto stave mnohokrát väčší než výstupný odpor zdroja budiaceho signálu.



Tranzistor ako zosilňovač impulzného signálu



TRANZISTOR AKO ZOSILŇOVAČ IMPULZNÝCH SIGNÁLOV

Pri spínaní tranzistora, ktorý je riadený skokovou zmenou

vstupného napätia U_1 sú dôležité štyri časové intervaly :

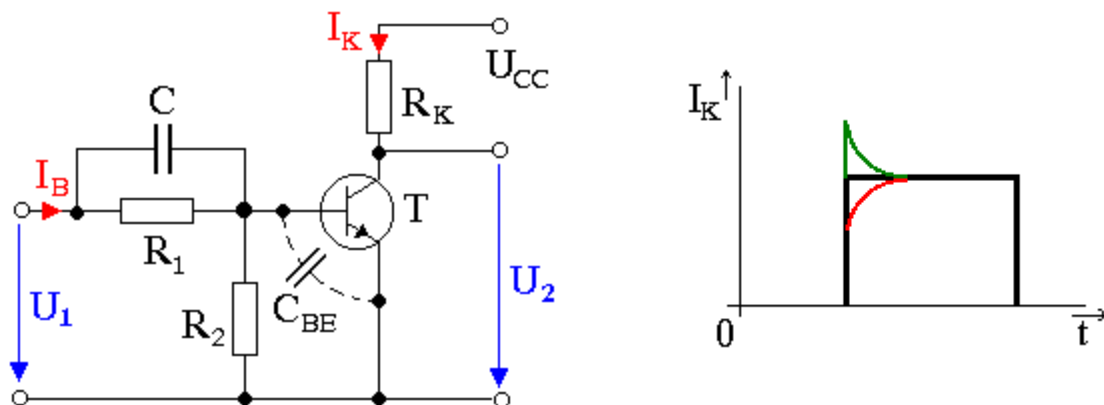
t_d - čas oneskorenia čela impulzu

t_r - skreslenie čela impulzu def. ako čas, za ktorý vzrastie i_K z 10% na 90% konečnej ustálenej hodnoty I_{Ksat} .

t_s - čas oneskorenia tyla impulzu

t_f - skreslenie tyla impulzu def. ako čas, za ktorý klesne prúd i_K z 90% na 10% konečnej ustálenej hodnoty I_{Ksat} .

Jeden zo spôsobov korekcie týchto časov je na obrázku nižšie. Ide o pripojenie tranzistorového zosilňovacieho stupňa na zdroj pravouhlého signálu U_1 pomocou odporového deliča R_1, R_2 s kompenzačným (urýchľovacím) kondenzátorom C .



Pri takomto zapojení môžu vzniknúť tieto prípady :

- ak platí, že $R_1 \cdot C > R_2 \cdot C_{BE}$, ide o **prekompenzovaný** odporový delič
- ak platí, že $R_1 \cdot C = R_2 \cdot C_{BE}$, ide o **vykompenzovaný** odporový delič
- ak platí, že $R_1 \cdot C < R_2 \cdot C_{BE}$, ide o **podkompenzovaný** odporový delič.

Pomocou takto realizovaného napätového deliča vieme korigovať oneskorenie a skreslenie čela aj tyla impulzu.

Odporom R_2 zabezpečujeme úplne uzatvorenie tranzistora ak na vstupe deliča nie je zabezpečené nulové napätie pre úroveň $\log.0$. Zároveň odporom R_2 upravujeme (skracujeme) časovú konštantu vybitia parazitnej kapacity C_{BE} , čím skrátíme čas uzatvorenia tranzistora T .

Kondenzátorom C ovplyvňujeme čas otvorenia tranzistora T . Kondenzátor C sa uplatňuje pri prechode vstupného signálu z $\log.0$ na $\log.1$. Prostredníctvom neho sa prenáša okamžite náboj zo zdroja na parazitnú kapacitu C_{BE} (nie cez R_1) a tým sa tranzistor T otvára podstatne rýchlejšie, teda čas otvorenia tranzistora sa skrátuje.

Kondenzátor C a rezistor R_2 teda ovplyvňujú tvar výstupného signálu.