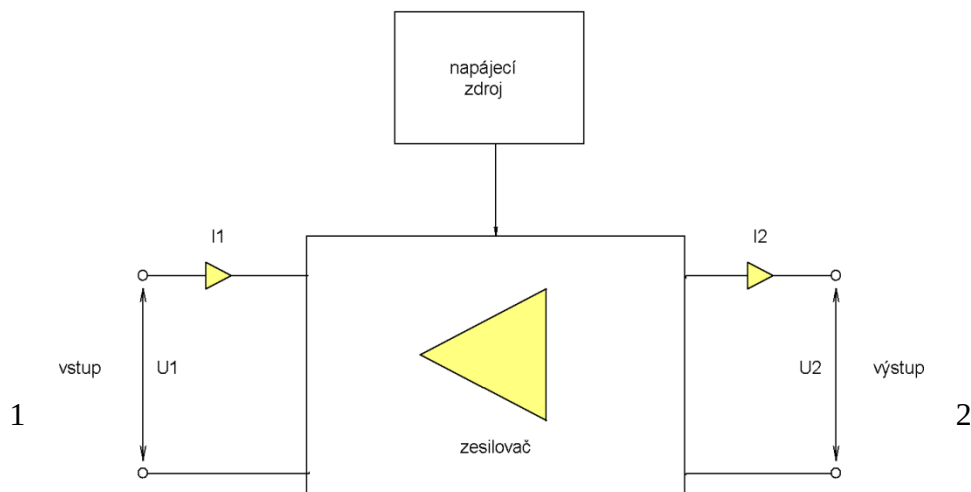


Zesilovače

Zesilovač je takové elektronické zařízení, které zvětšuje napětí, proud nebo výkon tím, že malá vstupní elektrická hodnota úměrně ovládá elektrický výkon dodávaný zdrojem výstupnímu obvodu. Zesilovač je složen z prvků aktivních, zesilujících - (tranzistor, elektronka, integrovaný obvod), vazebních – (odpor, kondenzátor, transformátor), regulačních – (trimr, potenciometr) a řady dalších prvků, upravujících pracovní režim zesilovače.



Obr. 1

Zesilovače můžeme rozdělit podle různých kritérií.:

1. Podle druhu zesilované veličiny.:

a – napětí: Zesílení je dáno poměrem $U_2:U_1$ $A=20\log A$

b – proud: Zesílení je dáno poměrem $I_2 : I_1$ $A=20\log A$

c – výkon: Zesílení je dáno poměrem $P_2 : P_1$ $A=10\log A$

$$A_U = \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1}$$

$$A_I = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1}$$

$$A_P = \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1}$$

Často se udává místo **zesílení** tzv. **zisk** (jednotka **dB**), který se určuje logaritmem výše uvedených poměrů.

Napětíové a proudové zesílení – $A_{(dB)}=20\log A$

Výkonové zesílení – $A_{P(dB)}=10\log A_P$

Mezinárodní soustava jednotek udává jako jednotku zisku/útlumu jeden Bel.

$$B = \log \frac{P_2}{P_1}$$

P_1 - vstupní výkon

P_2 - výstupní výkon

Údaje v decibelech (dB) dostaneme ze vztahu:

$$dB = 10\log \frac{P_2}{P_1}$$

Stará jednotka – Neper (Np)

1 Np = 8,686 dB

1 dB = 0,115 Np

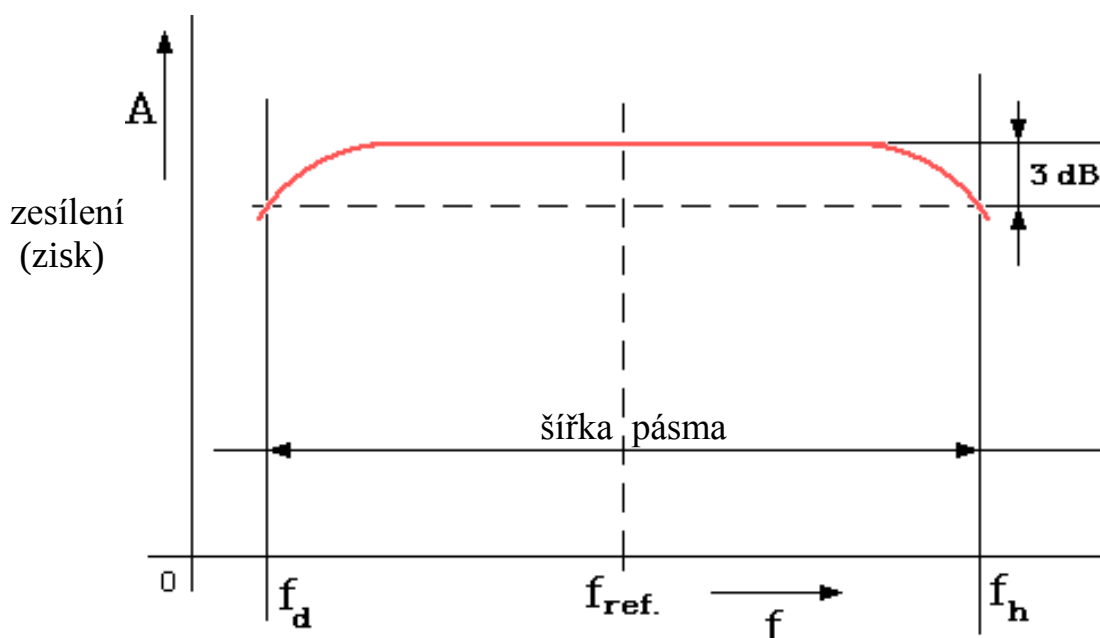
2. Podle průběhu a charakteru zesil. veličiny.:

a – Stejnosměrné

b – Střídavé 1- nízkofrekvenční }
 2- středofrekvenční } Kmitočtové rozsahy těchto skupin
 3- vysokofrekvenční } jsou relativní.

Rozdíl mezi SS a ST zesilovačem spočívá ve vazebním prvku.
(R- stejnosměrný, Tr,C- střídavý)

Vlastnosti zesilovače rovněž vystihuje i závislost **zisku** (zesílení) na přenášeném kmitočtu, tzv.: **šířka pásma** (lineární zkreslení). Je to kmitočtový rozsah v němž nepoklesne zisk zesilovače o více než **3dB** (asi 29%) proti zisku na referenčním kmitočtu (obr.2). V praxi se nejčastěji používají u nf zesilovačů ref. kmitočty 800Hz a 1kHz.



Obr.2

Dolní propust

Integrační členek

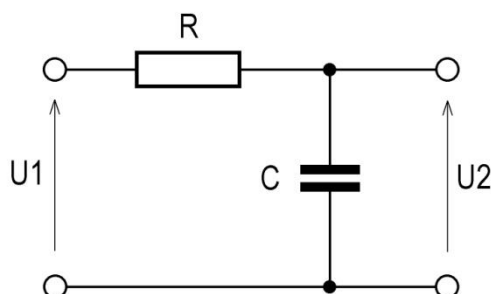
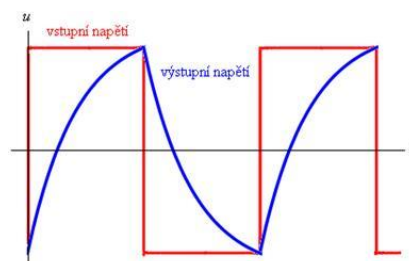


Schéma zapojení



Jako **dolní propust** se označuje **filtr**, který nepropouští **signál** vyšších **frekvencí**.

(Řada elektronických obvodů je z širšího pohledu nelineární, avšak v omezeném rozsahu hodnot zpracovávaných veličin se chovají lineárně -typickým příkladem jsou operační aj. zesilovače a některé obvody s nimi. Takové soustavy lze principem superpozice analyzovat, pokud je zajištěno, že přitom nedojde k vybočení z lineární oblasti). Základní **dvojbranové zapojení** - ke vstupu je **sériově** zapojen **rezistor** a poté **paralelně kondenzátor**. Tento **RC člen** se zvyšující se **frekvencí** vstupního **signálu** zvyšuje svou **impedanci**.

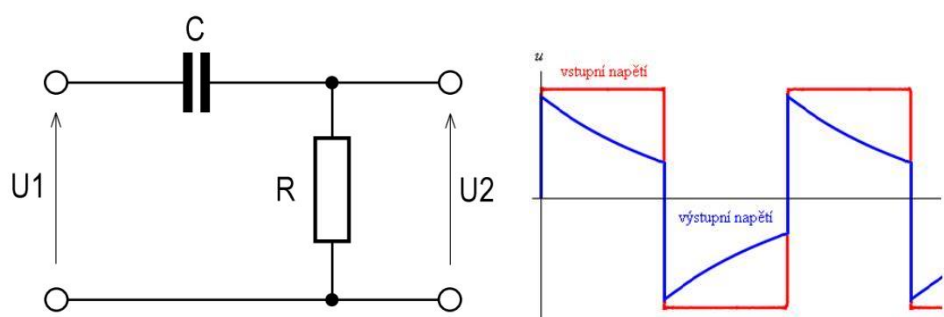
Nejdůležitějším parametrem je mezní frekvence f_0 (také značený f_m , f_c , nebo f_d), který označuje hodnotu frekvence, při které zisk (zesílení) poklesne o 3dB, tedy zhruba o 29%.

Mezní frekvence f_0 se vypočte vztahem:
$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

Často používaný filtr s mezní frekvencí 300 Hz tedy můžeme sestavit pomocí rezistoru s hodnotou 56 kΩ a kondenzátorem s kapacitou 0,01 uF. Od f_0 klesá zisk (zesílení) strmostí okolo -20 dB na dekádu. Právě strmost je dalším důležitým parametrem. Vypočte se rozdílem míst v křivce poklesu, kde je křivka protnuta mezní frekvencí a místem, kde je frekvence právě o dekádu vyšší ($10 \cdot f_0$).

Horní propust

Derivační článek



Zapojení pasivního RC filtru

Horní propust je frekvenční lineární filtr, který nepropouští signál o nízkých frekvencích. Nejjednoduššího zapojení dosáhneme pomocí rezistoru a kondenzátoru. Vznikne nám tedy RC člen, kde kondenzátor je zapojen se zdrojem signálu sériově a za ním paralelně rezistor. Pokud budeme zvyšovat frekvenci na vstupu propusti, zjistíme že impedance X_C kondenzátoru bude klesat.

Impedanci můžeme zjistit podle vzorce:
$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

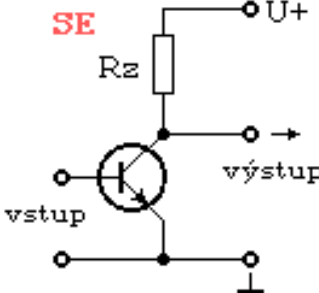
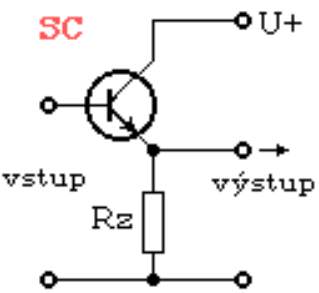
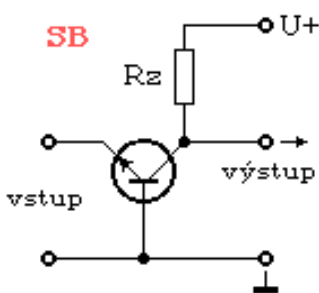
Vypočteme pomocí vztahu:
$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

Pro vytvoření filtru s mezní frekvencí 300 Hz, tedy můžeme použít kondenzátor o kapacitě 1 uF a rezistor o hodnotě 560 Ω. Od mezní frekvence je pokles zisku zhruba o -20dB na dekádu. Pro přesný výpočet odečteme od zisku v desetinásobku mezní frekvence f_0 3 dB (v místě f_0)

Nízkofrekvenční zesilovače bývají zpravidla vícestupňové, přičemž každý stupeň má v zapojení jiný úkol.

1. **Předzesilovač** vytváří hlavně napěťové zesílení, případně odporové přizpůsobení vstupu k výstupní impedanci zdroje signálu (emitorový sledovač).
2. **Korekční zesilovač** upravuje kmitočtovou charakteristiku tak aby elektroakustický řetězec přenášel zvuk co nejvěrněji.
3. **Budící zesilovač** upravuje výkon signálu na hodnotu schopnou vybudit koncový stupeň na požadovaný výkon.
4. **Koncový zesilovač** má za úkol výkonové zesílení potřebné k vybudení reproduktorů.

3. Podle zapojení společné elektrody.:

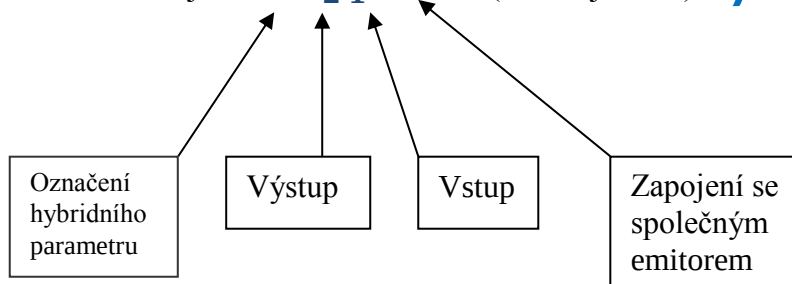
	zapojení	zesílení	impedance	fáz.posuv	vlastnosti
1		I- 200 U- 100 P- 2000	vst- $1k\Omega$ výs.- $100k\Omega$	180°	Velké výkonové zesílení
2		I- 200 U- 0,9 P- 200	vst.- $100k\Omega$ výst.- $1k\Omega$	0°	Měníč impedance, emitorový sledovač
3		I- 0,9 U- 100	vst.- 100Ω výst.- $1M\Omega$	0°	VF zařízení

Tab. 1

Každý zesilovač je vybaven vstupem a výstupem, čímž je definován jako čtyřpól. Vzhledem k tomu, že tranzistor obsahuje pouze tři elektrody (B, E, C), je vždy jedna z nich využívána jako společná pro vstup i výstup. Dostaneme tím tři varianty zapojení SE (společný emitor), SC (společný kolektor) a SB (společná báze), které se liší svými vlastnostmi a tím i použitím. Nejčastěji se využívá zapojení se spol. emitorem, které má velké proudové, napěťové i výkonové zesílení. Zapojení se spol. kolektorem využijeme tam kde je požadován malý výstupní odpor. Naopak zapojení se spol. bází díky malému vstupnímu odporu využijeme na vstupech vf zesilovačů díky dobrému přizpůsobení vstupních impedancí ($50-300\Omega$).

Jedním ze základních parametrů tranzistoru je **proudový zesilovací činitel**. Jedná se o hybridní parametr čtyřpólu, který charakterizuje jeho vlastnosti. Vyjadřuje poměr proudu kolektoru k proudu báze.

Je označován jako **h_{21e}** (há dva jedna e) - β



Je to bezrozměrné číslo a jeho velikost závisí na typu tranzistoru, pohybuje se v rozmezí mezi 50 a 1000. Katalog tento rozptyl upřesňuje podle konkrétního typu.

Hybridní (sérioparalelní) parametry čtyřpólu:

h_{11} – vstupní impedance při výstupu nakrátko

h_{12} – zpětnovazební napěťový činitel při vstupu naprázdno

h_{21} – proudový zesilovací činitel nakrátko

h_{22} – výstupní admitance naprázdno

Impedanční parametry čtyřpólu:

Z_{11} – vstupní impedance naprázdno

Z_{12} – zpětnovazební impedance

Z_{21} – přenosová impedance

Z_{22} – výstupní impedance naprázdno

Celkem existuje 6 základních parametrů čtyřpólu:

z – impedanční (sériové)

y – admitanční (paralelní)

h – sériově/paralelní

c – paralelně/sériové

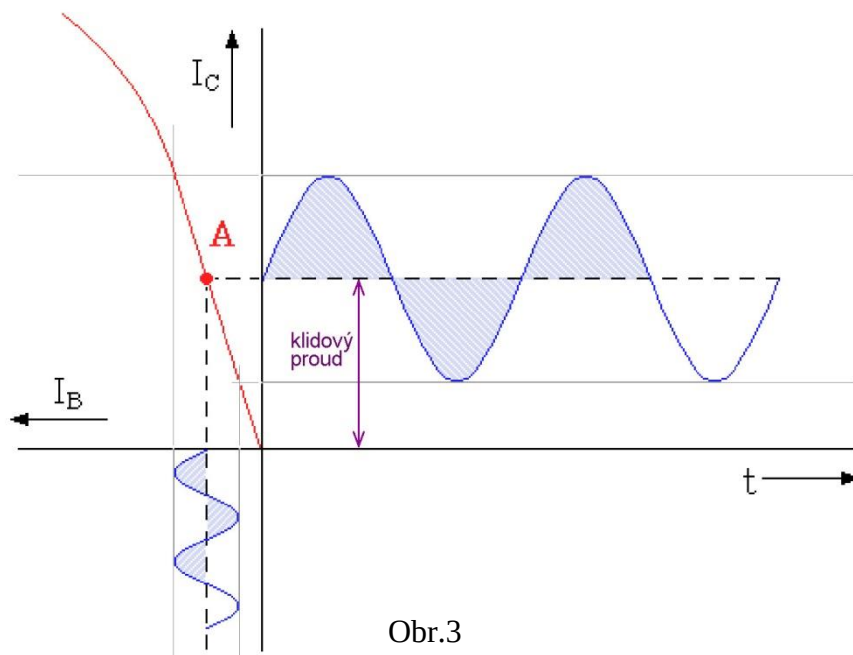
a – kaskádní- v předním směru

b – kaskádní- ve zpětném směru

4. Podle třídy (nastavení pracovního bodu)

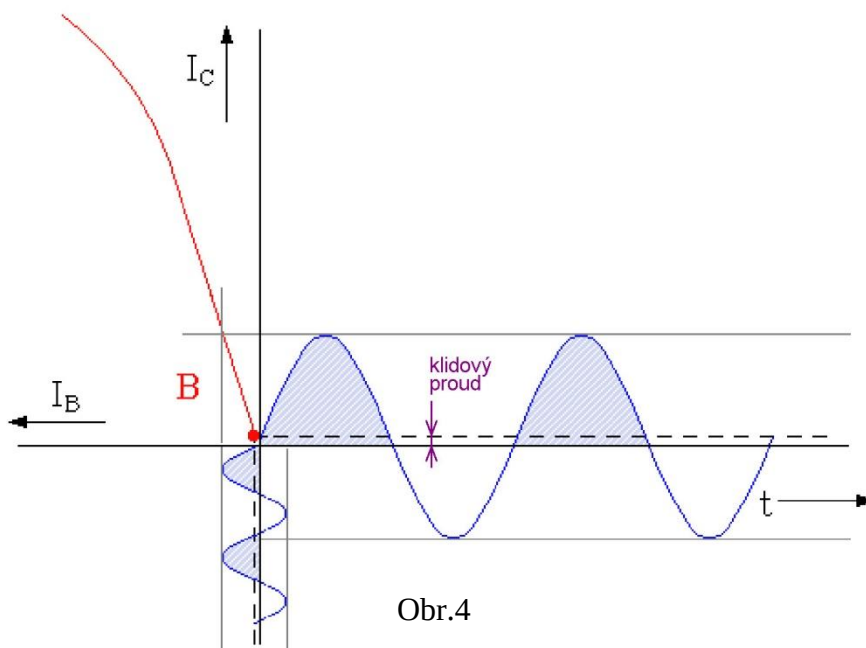
Při střídavém vstupním signálu může nastat stav kdy aktivním prvkem zesilovače neprotéká proud. Podle toho po jakou část periody proud zesilujícím prvkem neprotéká, dělíme zesilovače na třídy **A**, **B**, **C**, případně **AB**. Tato vlastnost závisí na nastavení pracovního bodu.

1. **Zesilovač třídy A** : Pracovní bod leží asi uprostřed lineární části charakteristiky a zesilovačem protéká velký klidový proud. Zesilovač má minimální zkreslení. Používají se jako předzesilovače.



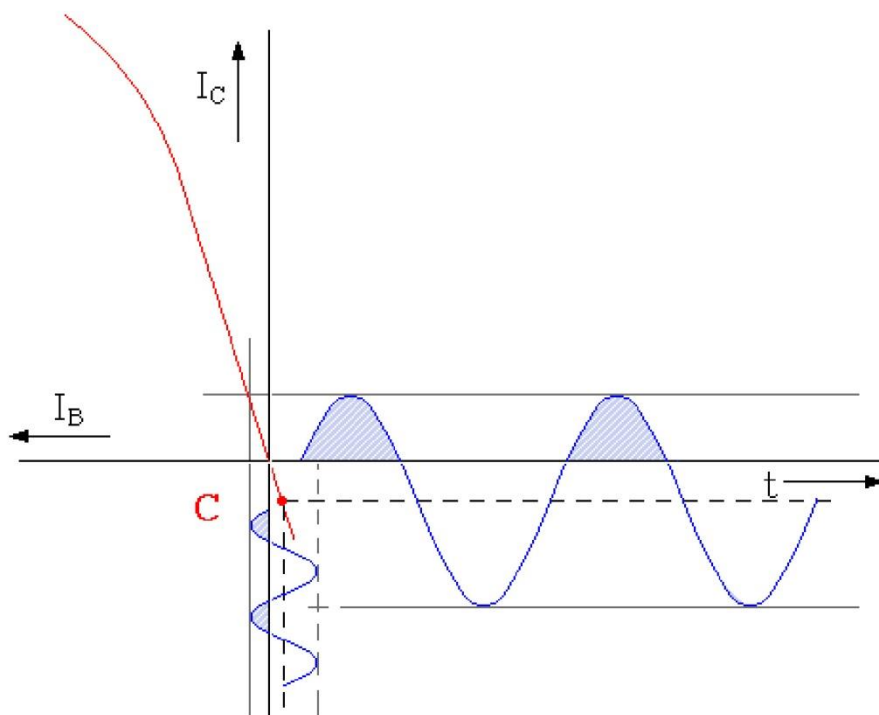
Obr.3

2. **Zesilovač třídy B** : Pracovní bod leží u paty charakteristiky a zesilovačem proto protéká minimální klidový proud. Tyto zesilovače pracují s velkou účinností. Zesilují však prakticky jen jednu půlperiodu signálu. Zapojení v této třídě nejen zesiluje, ale i usměrňuje, signál je proto na výstupu značně zkreslený. Používají se proto s výhodou ve dvojčinných konc. stupních, kdy každá polovina zesiluje jednu půlperiodu a na výstupu se sčítají.



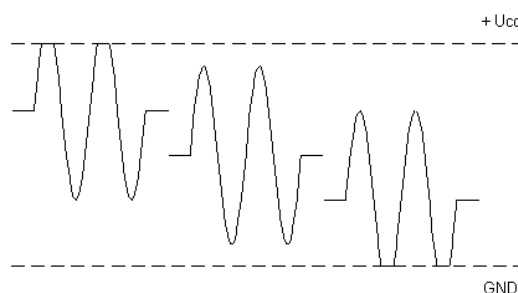
Obr.4

3. Zesilovač třídy C : Pracovní bod leží mimo charakteristiku, zesilovačem neprotéká žádný klidový proud. Napětí na bázi může být polarizováno i v závěrném směru. Zesiluje jen část půlperrody, Jeho účinnost je nejvyšší, oproti tomu má největší zkreslení a slabší signály, jak vyplývá z charakteristiky, nezesiluje vůbec. Zesilovače ve třídě C, se proto používají ve VF a impulzních zařízeních.



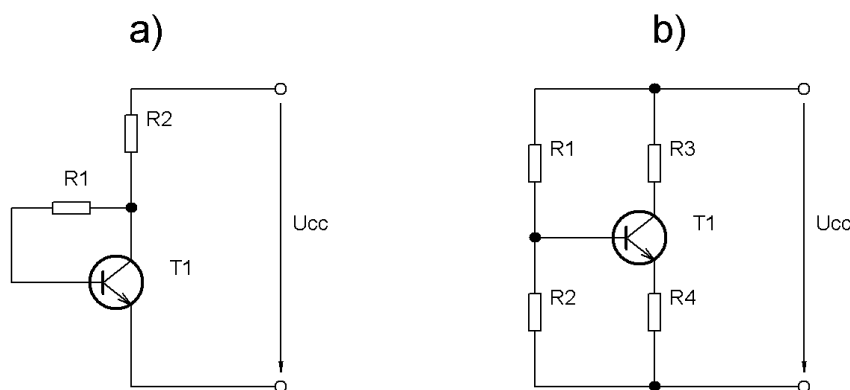
Obr.5

Nastavením pracovního bodu tranzistoru rozumíme určení hodnoty stejnosměr. proudu báze - I_B . Abychom dosáhli co největší amplitudy výstupního napětí a nejmenšího zkreslení, mělo by mít v klidu U_{CE} **poloviční** hodnotu napájecího napětí (Obr. 6)



Obr. 6

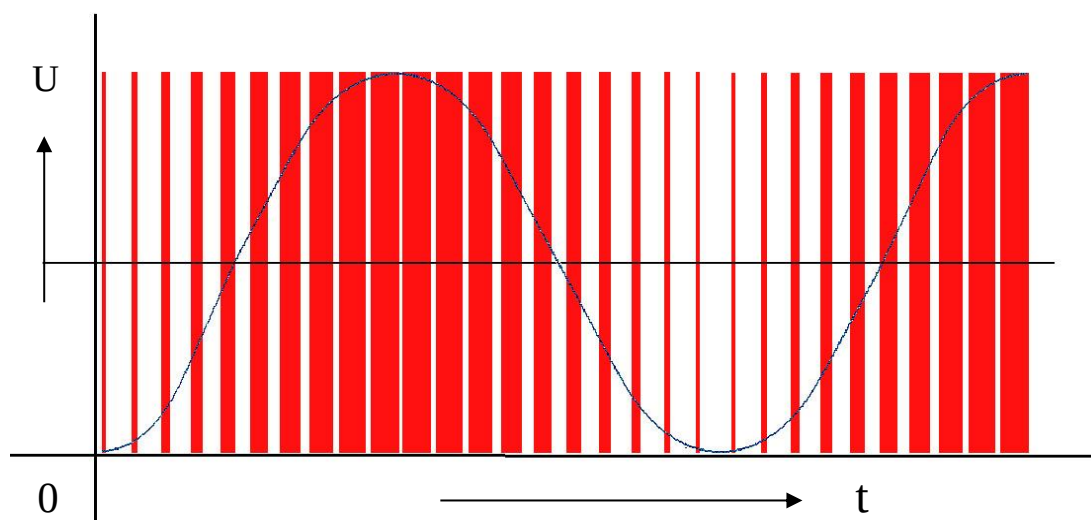
Příklady zapojení pro nastavení pracovního bodu.



Obr. 7

V elektrotechnické praxi existuje ještě další dělení výkonových zesilovačů do tříd **D**, **G**, **H**, **S**, **T**.... Rozdělením výkonových zesilovačů do těchto tříd není definována jen pracovní charakteristika, ale i základní princip jejich činnosti. Lze tedy říci, že podle zařazení do určité pracovní třídy je možno na první pohled určit, jedná-li se o lineární nebo digitální zesilovač a udělat si představu o zapojení a účinnosti tohoto koncového stupně.

Třída D – zesilovače ve třídě „D“ již nepatří do kategorie lineárních zesilovačů, protože pro zpracování signálu používají techniku pulsně šířkové modulace PWM (Pulse Width Modulation). (obr.8)



Obr. 8

Tento typ zesilovače označujeme často také jako „digitální zesilovač“. Největší předností zesilovačů ve třídě D je velká účinnost, pohybující se zpravidla kolem 80% a více. (pro představu – zesilovače odvozené od třídy B nedosahují účinnosti ani 50% a účinnost zesilovačů ve třídě A je ještě podstatně nižší.) Velká účinnost vyplývá z toho, že koncové tranzistory výkonového zesilovače ve třídě D pracují ve spínacím režimu – sepnut-rozepnut. Nevýhoda vyplývající ze samotného principu činnosti, je sice ne velká, ale přece jen větší zkreslení než běžně dosahují zesilovače třídy A nebo AB. Nižší zkreslení by vyžadovalo složitější obvodové řešení. Tranzistor sepne na velmi krátkou dobu a způsobí tak jisté vychýlení membrány reproduktoru požadovaným směrem. Vychýlení bude úměrné časovému trvání tohoto impulsu. V případě, výskytu impulsu s periodickým opakováním, bude membrána vychýlena stále. Někdo sice může namítnout, že bude kmitat. Ano, ale pouze tehdy, je - li frekvence impulsu taková, aby to membrána stihla. V případě řízení šířky impulsu vstupním signálem, dosáhneme stejného efektu jako u klasického zesilovače. Ovšem v praxi to tak jednoduché není. Frekvence impulsů by určitě způsobovala silné rušení. Proto je nutno spínací frekvenci odfiltrovat speciálním filtrem. Spínací frekvence musí být co možná nejvyšší, ale vzhledem k použitelnosti součástek je nutno volit kompromis. Pro použití běžných tranzistorů, samozřejmě typu MOSFET lepší použitelné frekvence někde v pásmu 100kHz až 1MHz.

Třída G – výkonové zesilovače ve třídě G využívají zpravidla koncový stupeň třídy AB, takže se neliší v práci samotného K.S. Rozdíl je však v napájení koncových tranzistorů, které je dvou i vícecestupňové. V praxi to znamená, že velikost napájecího napětí K. S. se přizpůsobuje velikosti požadovaného výstupního výkonu. Při menším výkonu pracuje koncový zesilovač s menším napájecím napětím, přesáhne-li výstupní výkon určitou nastavenou hodnotu, připojí se na větší napájecí napětí a tím se zvedne výstupní výkon. Výhodou pracovní třídy G je vyšší účinnost oproti třídě AB a tím i menší hmotnost a rozměry zesilovače samozřejmě na úkor složitosti celého zařízení.

Třída H – výkonové zesilovače v této třídě mají stejný základ jako ve třídě G, ale velikost napájecího napětí koncového stupně se v tomto případě nemění skokově, ale přesně sleduje velikost vstupního signálu. Napájecí napětí je tak drženo přesně na takové úrovni, jaká je potřebná pro zachování činnosti výkonových součástek s ohledem na aktuální velikost požadovaného výstupního výkonu. Na výkonových součástkách koncového zesilovače je tedy vždy konstantní úbytek napětí. Výhodou je ještě větší účinnost než u třídy G, nevýhodou je opět značná složitost zapojení.

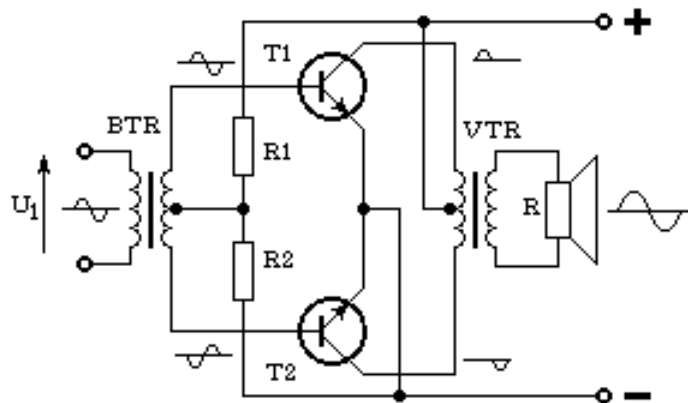
Třída S – takto bývají dnes označovány modernější typy spínaných (digitálních) zesilovačů, které se od třídy D liší tím, že díky implementaci novějších metod digitálního zpracování signálu již na výstupu nepotřebují filtr LC k potlačení spínacího kmitočtu a dalších produktů spínání – tzv. spínané zesilovače „Filterless“.

Třída T – používané označení výkonových zesilovačů zavedené firmou Tripath pracuje na podobném principu jako zapojení třídy D, ale s použitím vylepšeného a velmi dobře propracovaného algoritmu řízení. Výsledkem je účinnost výkonového zesilovače kolem 90% a dosažení vynikajících zvukových parametrů.

Je třeba zdůraznit, že výše popsany přehled neobsahuje zdaleka všechny pracovní třídy a jejich varianty. Existuje řada dalších označení pracovních tříd a jejich nejrozumnějších modifikací. Nelze tedy jednoznačně odpovědět na otázku, který zesilovač je nejlepší. Vždy záleží na parametrech, které sledujeme. Vyžadujeme-li extrémně malé zkreslení, zvolíme třídu A, ale pokud zároveň budeme požadovat velký výkon a účinnost, je třída A rázem na posledním místě a nabízí se možnosti volby mezi třídami AB, T, G a dalšími. Ani parametry, které jsou spojovány s typickými vlastnostmi určité třídy, nemusí vždy a za každých okolností platit. Jinými slovy, nic není zaručeno použitím určitého principiálního řešení nebo použitím konkrétních součástek. Dobrá funkce je také z podstatné části otázkou správného návrhu.

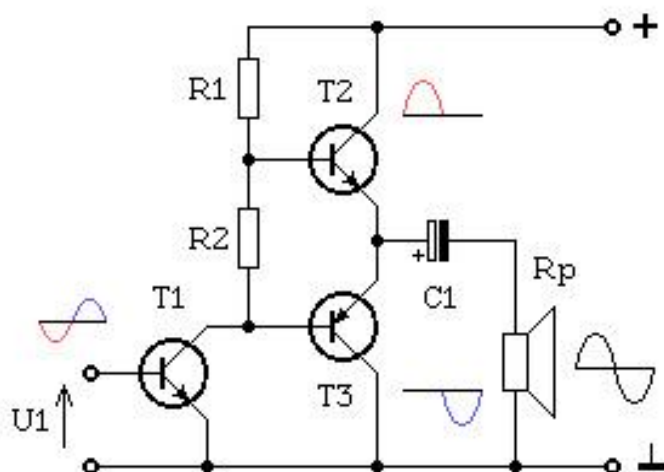
Dvojčinné zesilovače

Dvojčinné zapojení koncového stupně nízkofrekvenčního zesilovače se skládá ze dvou tranzistorů střídavě buzených nf signálem. Po dobu jedné půlvevny budícího signálu je otevřen jeden tranzistor, druhý je uzavřen. Při druhé půlvevlně je situace obrácená. Je zapotřebí dvou budících napětí s fázovým posuvem 180° . Tato napětí můžeme získat z budícího transformátoru s vyvedeným středem. (obr.9) Tranzistory pracují ve třídě „B“. Nevýhodou tohoto zapojení je nutnost použití transformátorů, které částečně deformují a zkreslují kmitočtovou charakteristiku, hlavně v oblasti vysokých kmitočtů. Děličem R1 a R2 se nastavuje proud báze.



Obr. 9

Mnohem výhodnější je realizace dvojčinného koncového zesilovače s využitím komplementárních (doplňkových) tranzistorů (obr.10). Tyto tranzistory mají stejné provozní vlastnosti a průběhy charakteristik, mají však různé typy vodivosti. Díky této kombinaci není nutno budící napětí fázově posouvat o 180° . Ze zapojení vyplývá, že záporná půlvevna vstupního napětí zavírá tranzistor T1, otevírá T2 a nabíjí se kondenzátor C1 přes reproduktor. Kladná půlvevna otevírá T1, otevírá T3 a kondenzátor se naopak vybíjí a přes reproduktor teče proud opačným směrem. Kapacita C1 musí být značně velká (řádově mF), aby se uplatňovala pouze lineární část křivky nabíjecího proudu. Výstupní obvody obou tranzistorů nemají zatěžovací odpory, protože nemůže nastat stav, kdy jsou oba současně otevřeny. Oba tranzistory T2 a T3 pracují opět ve třídě „B“ (AB).



Obr. 10

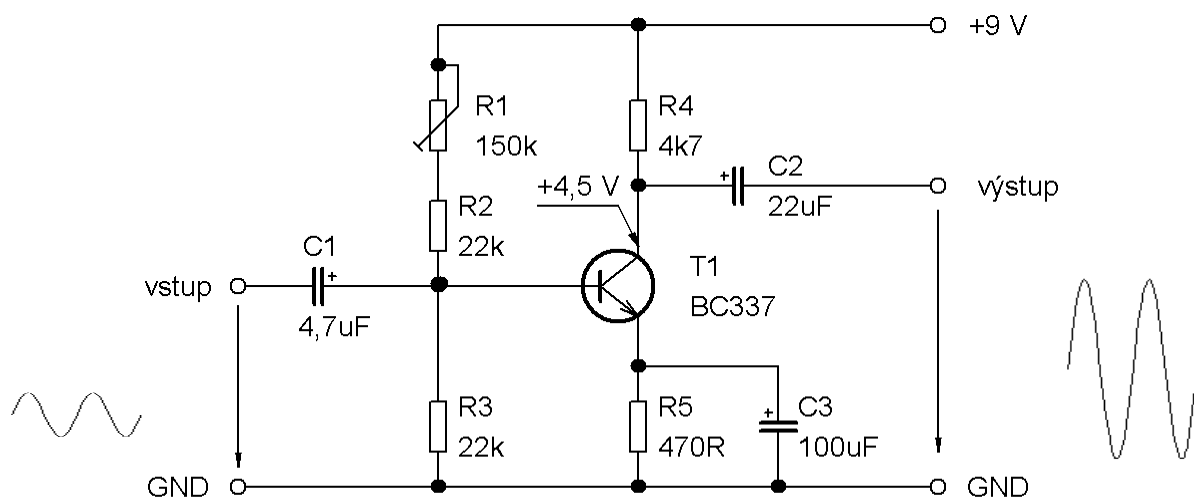
Vlastnosti nf zesilovačů

1. **Přenosové pásmo** – stanoví, jaké kmitočtové pásmo musí zesilovač, při určité výstupní úrovni, přenášet.
2. **Odchylka mezi stereo. kanály** – stanovení úrovně tolerance a rozsahu vyvážení mezi jednotlivými kanály.
3. **Zkreslení signálu** – **harmonické** – na vstup přivádíme jediný sinusový signál a zjišťujeme jeho změny na výstupu. Změny způsobují nelineární členy v přenosu, jimiž je procházející signál deformován a vznikají vyšší harmonické složky.
- **intermodulační** – na vstup zesilovače přivádíme dva signály, pak na nelinearitě přenosových členů vznikají nové signály, jejichž kmitočty jsou součtem či rozdílem základních tónů, i jejich vyšších harmonických. K původním signálům nemají žádný harmonický vztah. K měření a vyhodnocování se používá kmitočtový analyzátor.
4. **Přeslech mezi kanály** – měří se informace, která se nežádoucí cestou dostává z jednoho kanálu do druhého. Jeden kanál vybudíme naplno, druhý je nevybuzen. Na výstupu nevybuzeného kanálu měříme zbytkové výstupní napětí. Poměr mezi napětím vybuzeného a nevybuzeného kanálu udává míru přeslechu.
5. **Přeslech mezi vstupy** – týká se stereo i mono zesilovačů. Na jeden vstup připojíme generátor, ostatní propojíme náhradními impedancemi. Regulátor zesílení je naplno. Postupně přepínáme ostatní vstupy a měříme zbytkové napětí na výstupu.
6. **Odstup cizích napětí** – na vstup zesilovače přivedeme signál odpovídající minimálnímu vstupnímu napětí příslušného vstupu. Regulátorem hlasitosti nastavíme výstupní napětí odpovídající vybudení na 2x50mV (stereo) nebo 100 mV (mono). Při zatěžovací impedanci 4 Ω to bude 450/630 mV (při 8 Ω -630/900). Odstup cizích napětí je poměrem výstupního napětí a napětí zbytkového. (Platí pro nižší výkony do 20W).
7. **Odstup rušivých napětí** – toto měření je v principu shodné s předchozím, liší se pouze v tom, že se před měřič zbytkového napětí zařazuje speciální filtr, který respektuje vlastnosti sluchu při malých hlasitostech.
8. **Výstupní výkon jmenovitý** – jmenovitý výkon je schopen zesilovač odevzdat do příslušné zatěžovací impedance při plném vybudení a to signálem sinusového průběhu po dobu min. 10ti minut. (trvalý výkon) Zkreslení nesmí překročit 1%.
9. **Výstupní výkon hudební** – nazývá se tak často výkon, který byl dosažen stejně jako jmenovitý, ale za předpokladu, že by napájecí napětí koncových stupňů zůstalo i při plném vybudení zesilovače na zcela stejné úrovni jako při chodu naprázdno.
Z technických i ekonomických důvodů to však nelze u běžných zesilovačů zajistit, proto zůstává hudební výkon převážně papírovým údajem, který výrobci umožňuje udávat vyšší výkon než jeho zařízení ve skutečnosti má a slouží tedy spíše k reklamním účelům.
10. **Výkonová šířka pásma** – označujeme tím dolní a horní kmitočet, při němž se již výstupní výkon zesilovače zmenší na polovinu, při zachování max. zkreslení do 1%.

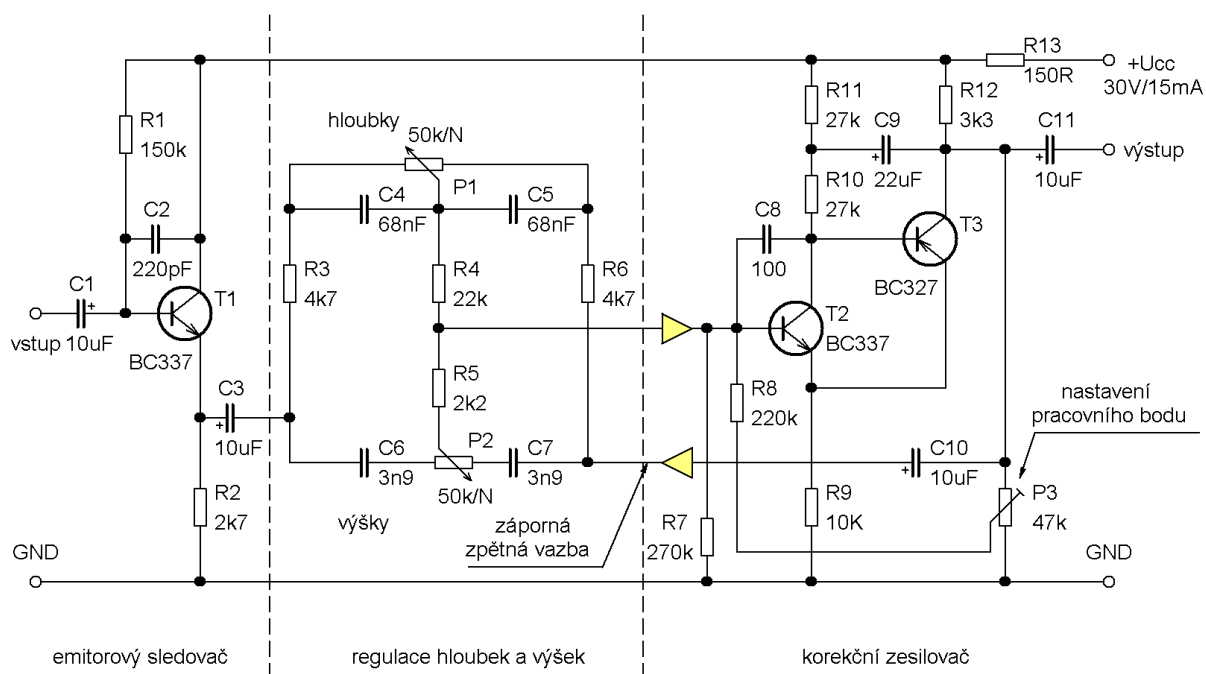
(výkonová šířka pásma by měla být od 40ti do 12500 Hz- DIN 45 500)

11. **Vnitřní impedance zesilovače** – je dána konstrukcí a měla by být max. 1/3 impedance zatěžovací.
12. **Vstupní impedance** – každý zesilovač je opatřen několika vstupy pro připojení běžných zdrojů nf signálu. Impedance příslušných vstupů musí být mnohem větší než vnitřní odpor zdroje signálu.

Příklady zapojení



Obr. 11



Obr. 12