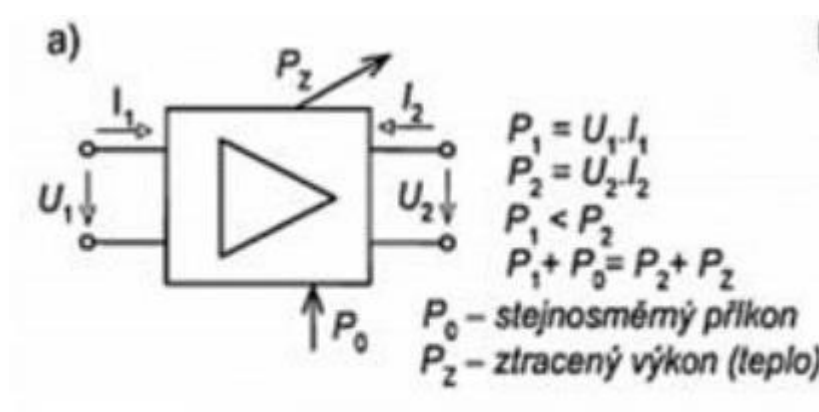


Téma č. 20

Funkce a model zesilovače napětí



Parametry:

Zesílení a zisk

Výkon (u výkonových zesilovačů)

Šířka zesíleného (přeneseného) pásma

Zkreslení

Funkce a model zesilovače napětí

Rozdělení zesilovačů

Podle veličiny, kterou zesilujeme

- Zesilovač proudu
- Zesilovač napětí
- Zesilovač výkonů

Podle velikosti vstupního signálu

- Předzesilovač
- Budicí zesilovače
- Výkonové zesilovače

Podle druhu a kmitočtu zesilovaných signálů

- Nízkofrekvenční (20 Hz až 20 kHz – v elektroakustických zařízeních)
- Vysokofrekvenční (stovky kHz a více – R a Tv vysílání)
- Mikrovlnné (řádově GHz – radary, satelitní R a Tv vysílání)
- Impulsové (počítače, číslicová zařízení)
- Stejnosměrné (v analogových regulátorech, v měřicích přístrojích, v převodnicích)

Podle šířky přenášeného kmitočtového pásma

- Úzkopásmové (mezifrekvenční zesilovače v R a TV přijímačích)
- Širokopásmové (vstupní zesilovače v R a TV přijímačích)

Podle základního zapojení zesilovacího prvku

- Se společným emitorem SE
- Se společným kolektorem SC
- Se společnouází SB

Podle pracovní třídy

- zesilovače třídy A
- Zesilovače třídy B
- Zesilovače třídy AB
- Zesilovače třídy C
- Zesilovače třídy D

Podle vazby mezi zesilovacími stupni

- S přímou vazbou
- S kapacitní vazbou
- S transformátorovou (indukční) vazbou

Podle způsobu činnosti

- Jednočinné
- Dvojčinné

Zesílení a zisk zesilovače

Zesílení znamená, kolikrát se zesílí vstupní signál

Napěťové zesílení $A_U = \frac{U_2}{U_1}$ Proudové zesílení $A_I = \frac{I_2}{I_1}$

Výkonové zesílení $A_P = \frac{P_2}{P_1}$ $A_P = \frac{\Delta U_2 \cdot \Delta I_2}{\Delta U_1 \cdot \Delta I_1}$

Zisk je logaritmický poměr zesílení zesilovače, jednotka decibel

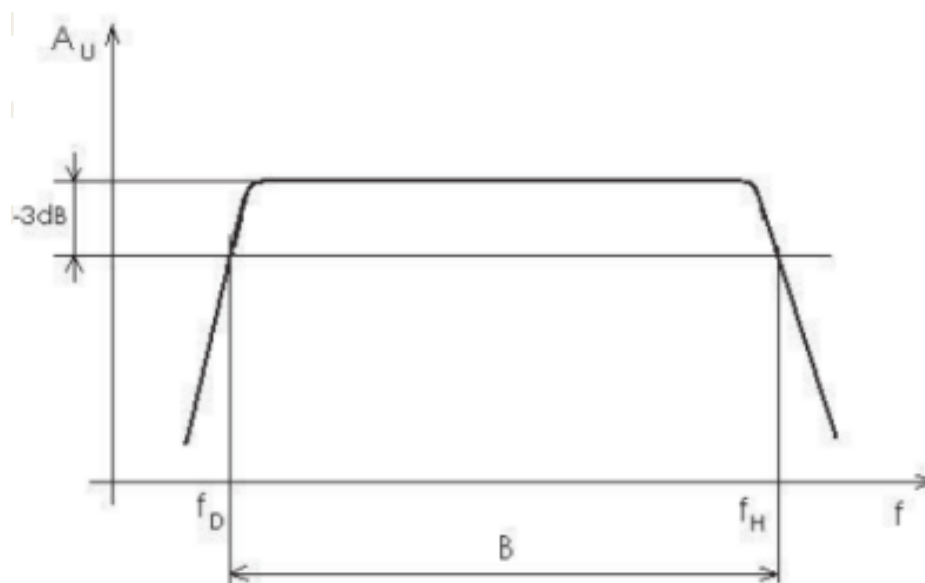
Napěťový zisk $a_U = 20 \log A_U$

Proudový zisk $a_I = 20 \log A_I$

Výkonový zisk $a_P = 10 \log A_P$

Šířka pásma zesilovače (frekvenční charakteristika)

Šířka pásma zesilovače B je dána rozsahem kmitočtů mezi dolním a horním mezním kmitočtem, při nichž dochází k poklesu zisku o 3 dB. f_D je dolní mezní kmitočet. f_H je horní mezní kmitočet a je určen mezními kmitočty použitých tranzistorů.



Zkreslení, limitace, odstup signál – šum

Nelineární zkreslení

Určuje, do jaké je průběh výstupního signálu přesně lineárně zvětšeným obrazem vstupního signálu.

Harmonické zkreslení

Je poměr efektivní hodnoty napětí všech harmonických složek výstupního napětí zesilovače bez první harmonické k efektivní hodnotě celkového výstupního napětí. Harmonické zkreslení je měřítkem linearity zesilovače.

Limitace

Jde o jev. Je způsoben přebuzením zesilovacího stupně příliš silným signálem. Amplituda signálu se již nezvyšuje, tak jak by odpovídalo vstupnímu signálu, ale je oříznuta na určité úrovni, do té doby dokud vstupní signál neklesne zpátky pod tuhle kritickou úroveň.

Odstup signálu – šum

Určující parametr pro dynamický rozsah reprodukováného signálu. Dolní hranice úrovně výstupního signálu je dána hladinou šumu a brumu. Pokud tedy chceme, aby zesilovač přenášel i nejjemnější detaily o malé úrovni, je nutné zajistit minimální hladinu šumu a brumu. Šum je v zesilovačích způsoben mnoha zdroji. Tyto se částečně liší u polovodičových a elektronkových konstrukcí. Jmenujme tedy alespoň některé z nich: výstřelový šum, blikavý šum, tepelný šum, šum rezistorů.

Brum

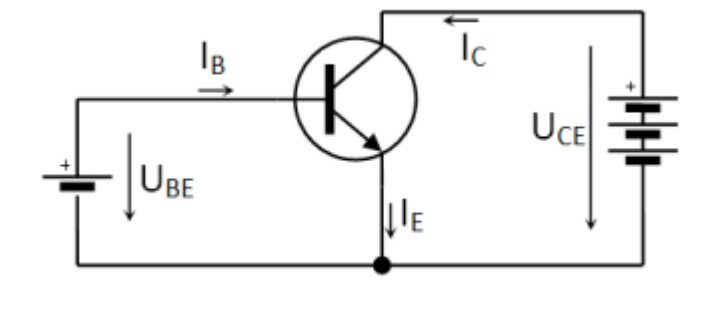
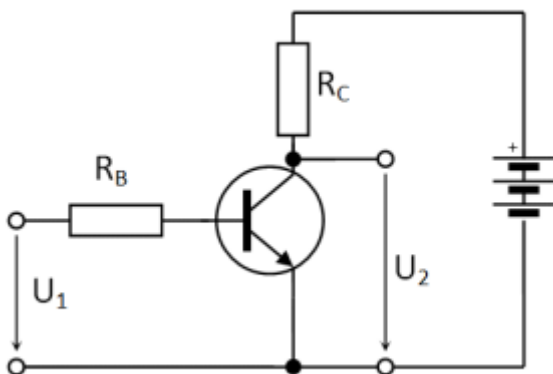
Je způsoben indukci rušivého napětí do užitečného signálu. Nejčastěji se jedná o rušivý signál kmitočtu 50 Hz. Velikost brumu je dána zejména konstrukčním uspořádáním zesilovače a vlastnostmi komponentů.

Jednostupňový tranzistorový zesilovač SE – schéma, princip činnosti

Nejčastější zapojení. Největší výkonové zesílení (desetitisíce).

Napěťové zesílení se pohybuje ve stovkách, ale zapojení otáčí fázi napětí (vstupní napětí roste, výstupní klesá). Proudové zesílení také vysoké (ve stovkách). Výstupní proud je ve fázi se vstupním.

Vstupní odpor je malý až střední (stovky Ω až jednotky $k\Omega$), výstupní odpor je velký (desítky $k\Omega$). Zapojení se používá na běžné zesilovací stupně nebo jako spínač/regulátor.



Třídy zesilovačů

Určuje se polohu pracovního bodu na převodní charakteristice tranzistoru. Převodní charakteristika je závislost kolektorového proudu na bázevém proudu tranzistoru.

Třída A

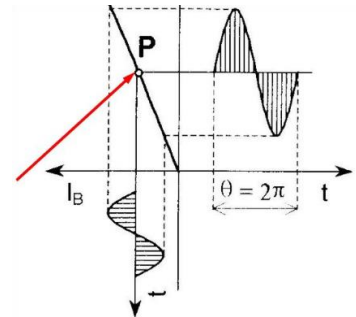
Pracovní bod P je umístěn do středu převodní charakteristiky. Tranzistorem protéká proud po celou dobu vstupního signálu. Zakreslená poloha pracovního bodu P vyjadřuje polohu při nulovém vstupním signálu; Při nenulovém vstupním signálu se poloha pracovního bodu P mění v závislosti na aktuální hodnotě vstupního signálu.

Malé zkreslení signálu (menší při menším signálu)

Použitelný pouze pro malé výkony (jednotky wattů)

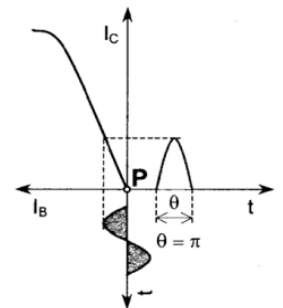
Malá účinnost (teoreticky 25–50 %)

Tranzistorem protéká proud i bez přítomnosti vstupního signálu a tranzistor se zahřívá.



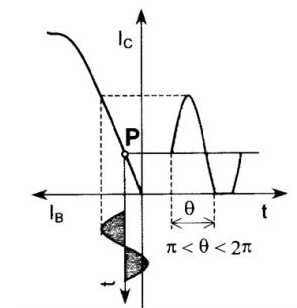
Třída B

Pracovní bod zesilovače ve třídě B je umístěn na hranici otevření. Tranzistorem protéká proud pouze při přítomnosti vstupního signálu. Zesiluje pouze polovinu sinusového průběhu přivedeného na vstup. Nevýhodou je poměrně velké zkreslení při navazování půlperiod. Výhodou je vysoká účinnost a to cca 80 - 90 %. Typ tohoto zapojení se používá u výkonových zesilovačů.



Třída AB

Jedná se o pracovní třídu B s malým klidovým proudem. Zesilovač třídy AB pracuje při malých signálech jako zesilovač tř. A a při silných signálech ve třídě B. Tranzistorem tedy neustále teče jakýsi klidový proud, takže se nám mírně zvýší spotřeba a sníží účinnost (50-80%), avšak zkreslení není tak velké. Použití: nf technika, nejpoužívanější třída zesilovačů.



Třída C

Klidový pracovní bod tranzistoru je posunut za bod zániku kolektorového proudu.

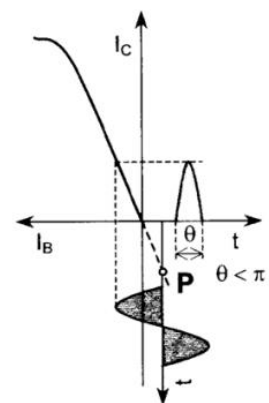
Větší amplitudy vstupního napětí otevírají tranzistor, který propouští a zesiluje méně než polovinu vstupního sinusového signálu.

Použití v impulsní a vf technice. Zátěží zesilovače bývá rezonanční obvod např. vysílače → zesilovač kompenzuje ztráty tohoto rezonančního obvodu

Velké zkreslení signálu.

Vysoká účinnost 80 % až 90 %.

Vysoký výkon zesilovačů (jednotky kW).



Třída D

Zesilovače třídy D mají vstupní napětí impulsově modulováno a dále jsou impulsy zpracovány zesilovači ve třídě C. Tímto zapojením získáme velkou účinnost. Na výstupu jsou poté impulsy převedeny dolní propustí zpět na analogový nízkofrekvenční signál.

Zesilovače ve třídě „D“ již nepatří do kategorie lineárních zesilovačů, protože pro zpracování signálu používají techniku pulsně šířkové modulace PWM.

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. Velká účinnost vyplývá z toho, že koncové tranzistory výkonového zesilovače ve třídě D pracují ve spínacím režimu – sepnut-rozepnut.

Třída G

Je velmi podobná zesilovacím strukturám třídy AB s tím rozdílem, že využívá dvě nebo i více napájecích hladin. Pokud potřebujeme zpracovat malé signálové úrovně, zesilovač zvolí nižší napájení. Porostou-li amplitudy, pomůže si zesilovač vyšší hladinou napájecího napětí. Plné napájení využije jen v případě plné potřeby, zatímco zesilovač třídy AB poběží z plného napětí neustále, proto třída G je účinnější než AB.

Třída H

Zesilovače třídy H (hybridní zesilovače) regulují své napájecí napětí s cílem minimalizovat napěťové úbytky na koncovém stupni okamžitě podle úrovně vstupního signálu. Mají složitější strukturu, ale nevyžadují na rozdíl od třídy G více napájecích zdrojů.

Vícestupňové zesilovače, vazby mezi stupni

Pokud výsledné zesílení jednostupňového zesilovače nepostačuje, je možno řadit za sebe několik stupňů. Za určitých podmínek pak platí, že výsledné zesílení je součinem zesílení jednotlivých stupňů.

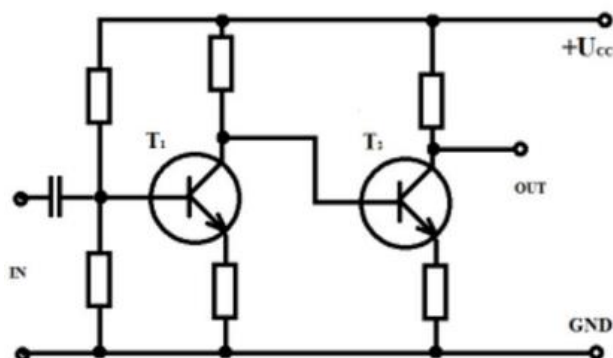
Spojení jednotlivých zesilovačů (stupňů) se nazývá vazba a podle provedení této vazby se vícestupňové zesilovače označují.

Tranzistorový zesilovač s galvanickou vazbou:

Jednotlivé stupně jsou vodivě spojeny.

Je možné zesilovat stejnosměrné i střídavé signály.

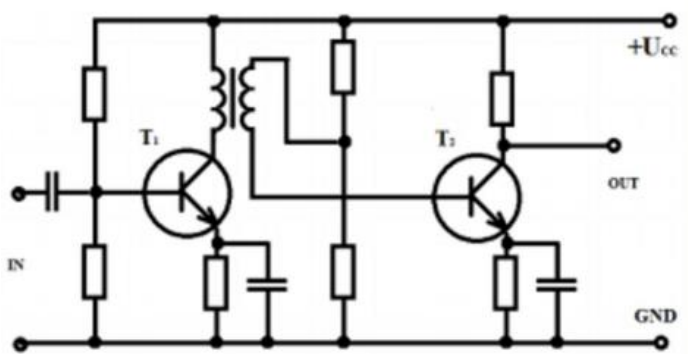
Nevýhodou je zkreslení signálu.



Tranzistorový zesilovač s transformátorovou vazbou:

Jednotlivé stupně jsou odděleny transformátorem. Výhodou je velké výkonové zesílení. Nevýhodou cena transformátoru.

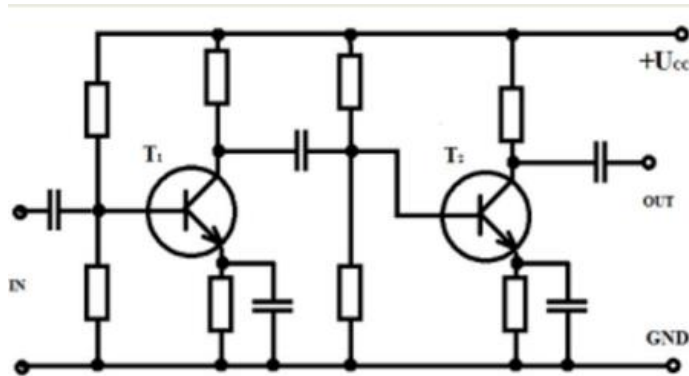
(počtem závitů můžeme měnit amplitudu, můžeme otáčet fází – můžeme ideálně nabudit ten další stupeň vhodným nastavením toho transformátoru, další výhoda – galvanické oddělení, nezesiluje stejnosměrné signály)



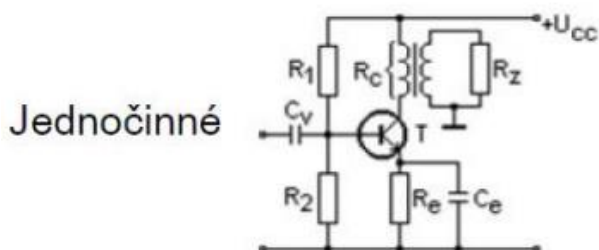
Tranzistorový zesilovač s odporově – kapacitní vazbou:

Jednotlivé stupně jsou odděleny kondenzátorem. Zesilují jen střídavé signály. Často využíváné v předzesilovačích.

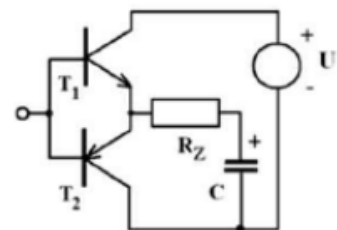
(je nejvíce používaná, přes kondenzátor prochází pouze střídavý proud, tato kapacitní vazba určuje dolní mezní frekvenci toho zesilovače, čím bude ta frekvence nižší, tak tím hůř bude procházet. Samozřejmě ta dolní mezní frekvence v tomto zapojení je dána všema 3 kondenzátory, které stojí v cestě)



Výkonové zesilovače



Dvojčinné



Nastavení a stabilizace pracovního bodu jednostupňového zesilovače

Pracovní bod tranzistoru je určen velikostí proudu kolektorového I_C a kolektorovým napětím U_{CE} . Většinou vyhovuje to, že napětí na kolektoru bývá nastaveno na polovinu napájecího napětí zdroje.

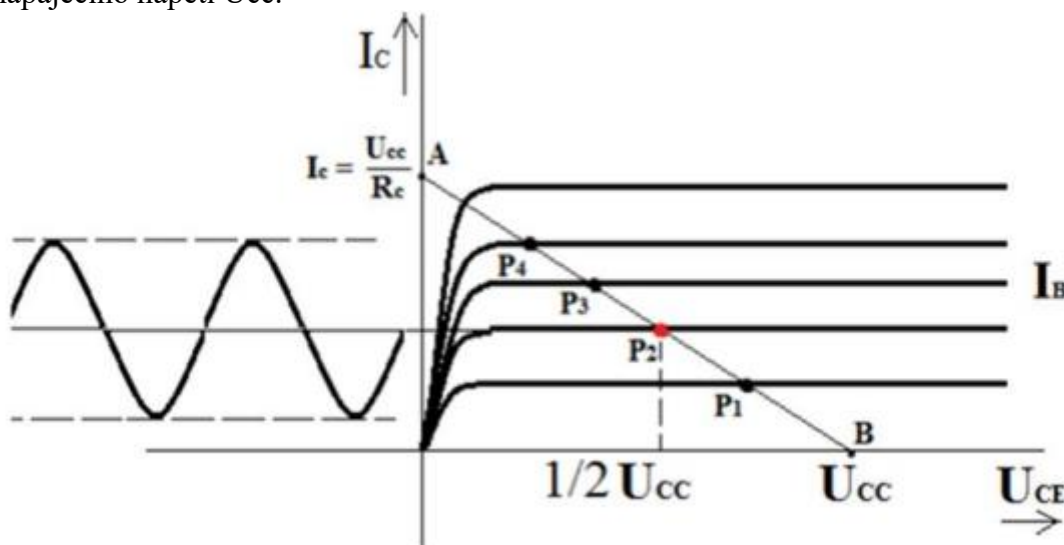
Nastavením pracovního bodu tranzistoru rozumíme určení hodnoty stejnosměrného proudu báze – I_B .

Abychom dosáhli co největší amplitudy výstupního napětí a nejmenší zkreslení, mělo by mít v klidu U_{CE} poloviční hodnotu napájecího napětí.

Nejčastější způsob zapojení tranzistoru jako zesilovače je v zapojení se společným emitorem (SE). V tomto zapojení je na stupních svorkách U_{BE} a na svorkách výstupní napětí U_{SE} .

Vývod emitoru je tedy společný pro vstup i výstup zesilovače. Pokud na vstup zesilovače připojíme zdroj sinusového signálu, dojde k jeho zesílení, výstupní proud však bude velmi zkreslený. Proud I_C poteče tranzistorem pouze během kladné půlvlny vstupního signálu, neboť na bázi B musí být kladné napětí oproti emitoru E a to je splněno pouze při kladné půlvlně vstupního signálu. Při záporné půlvlně je PN přechod B-E polarizován v závěrném směru a tranzistor je uzavřen, proudy I_B a I_C jsou nulové. Průběh proudů je vidět na převodní charakteristice označené A. Ta odpovídá stavu, kdy je klidový proud bázi I_B nulový. Pokud by byl do báze, např. odporovým děličem R1, R2 přiveden proud I_B , došlo by k trvalému otevření tranzistoru a vytvoření tzv. klidového kolektorového proudu I_C viz. převodní charakteristika B. Nyní by došlo k zesílení celého vstupního signálu bez zkreslení.

Nastavení a stabilizace pracovního bodu tranzistoru: Vytvoření kolektorového proudu v závislosti na velikosti proudu báze I_B se znázorňuje v soustavě výstupních charakteristik I. kvadrantu voltampérové charakteristiky tranzistoru. Samotné umístění pracovního bodu je určeno velikostí rezistoru R_C , který omezuje velikost kolektorového proudu I_C a velikostí napájecího napětí U_{CC} .



Pracovní bod se volí, pokud možno uprostřed zatěžovací přímky vymezené krajními body A a B. Bod A odpovídá maximální hodnotě proudu I_C a v bodě B je proud I_C roven nule, napětí $U_{CE} = U_{CC}$. Střed zatěžovací přímky, je přibližně místem rovnajícím se polovině napájecího napětí ($1/2 U_{CC}$). V našem případě je hledaným bodem bod P2 a s ním související velikost proudu I_B . Zatěžovací bod se volí přibližně uprostřed zatěžovací přímky proto, aby došlo k zesílení obou polovin vstupní sinusovky bez zkreslení. Pokud zvolíme pracovní bod v bodě P1 – dojde k ořezání spodní části sinusovky, zesilovač by však pracoval s menšími ztrátami. Naopak, pokud požadujeme co nejvyšší zesílení, za cenu velkého zkreslení posuneme pracovní bod do bodu P4.

Zpětná vazba v zesilovači

Zpětná vazba zesilovače znamená převedení části výstupního signálu zpět na vstup. Zapojení zpětné vazby má značný vliv na vlastnosti zesilovače. Zpětných vazeb v zesilovači je několik druhů.

Kladná ZV – signál vrácený na vstup se sčítá se vstupním signálem. Zvyšuje lineární zkreslení signálu a snižuje stabilitu zesilovače, výhodou je vyšší zesílení. Používá se v oscilátorech.

Záporná ZV – signál vrácený zpět se odčítá od vstupního signálu. Používá se nejčastěji, zvyšuje stabilitu zesilovače a zmenšuje zkreslení signálu při zesílení, nevýhodou je zmenšení zesílení.

Pokud je zpětnovazební veličina úměrná výstupnímu napětí nebo proudu, dělí se zpětné vazby ještě na napěťové, nebo proudové a podle místa zapojení zpětné vazby se dále rozdělují na paralelní a sériovou zpětnou vazbu.

Příklad zapojení záporné zpětné vazby v zesilovači:

