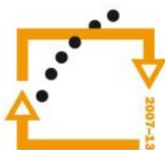




MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



**OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost**

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Inovace bakalářského studijního oboru Aplikovaná chemie

Reg. č.: CZ.1.07/2.2.00/15.0247



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

APLIKACE POČÍTAČŮ V MĚŘÍCÍCH SYSTÉMECH PRO CHEMIKY *s využitím LabView*



3.
Převod neelektrických veličin na elektrické,
propojování přístrojů - impedanční
přizpůsobení, napět'ové úrovně, šum a
rušení, stínění. Operační zesilovače.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

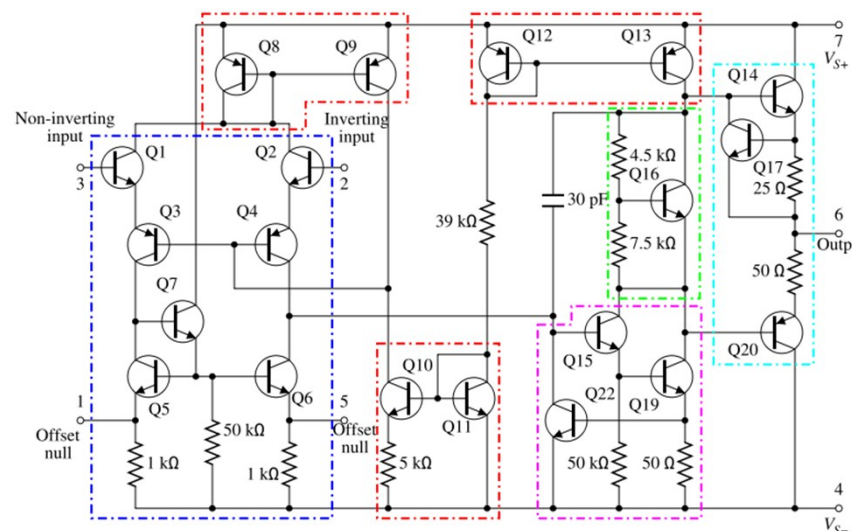
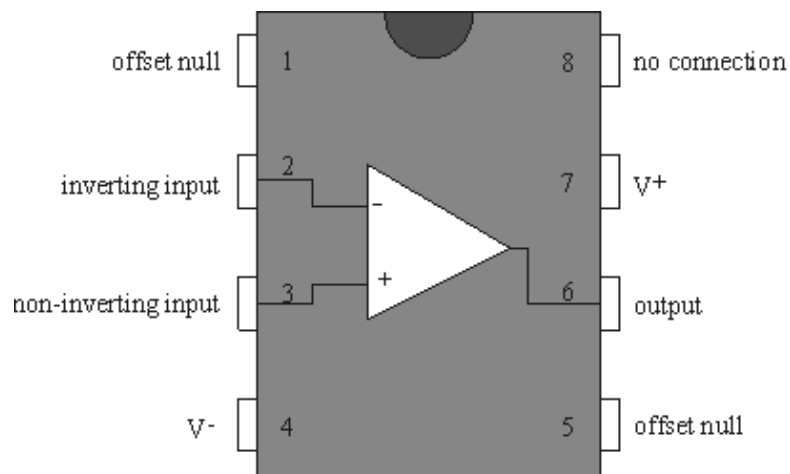
Operační zesilovače



Operační zesilovač (OZ, operational amplifier) je diferenční (rozdílový) zesilovač s velmi vysokým zesílením pro stejnosměrné i střídavé signály.

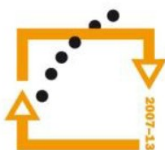
Jeho funkční vlastnosti jsou ovlivnitelné zpětnou vazbou, která tvoří externí obvod.

Při analýze činnosti OZ se vychází z modelu tzv. ideálního operačního zesilovače, který je charakterizován nekonečným zesílením, nekonečným vstupním odporem a nekonečně širokým frekvenčním pásmem.





MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



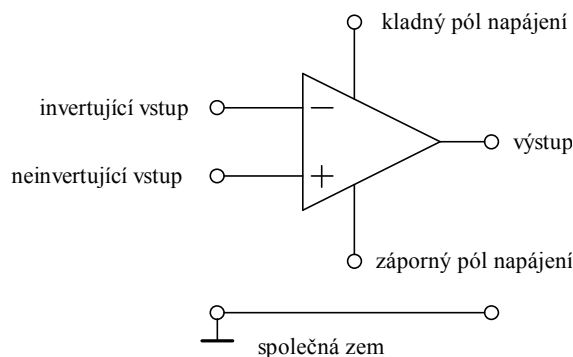
**OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost**

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Operační zesilovače

OZ bývá napájen ze zdroje tzv. symetrického napětí (typicky $\pm 9-15$ V).

Takový zdroj má tři svorky, z nichž jedna dodává kladné a druhá záporné napětí vzhledem ke společné zemi, která tvoří třetí svorku.



Napájecí vývody se ve schématech zpravidla vynechávají, z důvodu přehlednosti schématu.

OZ má dva vstupy (symetrické vzhledem ke společné zemi), z nichž je jeden je neinvertující a druhý je invertující (na výstupu OZ se po připojení napětí na invertující vstup objeví napětí opačného znaménka, je-li neinvertující vstup spojen se zemí).

Výstup zesilovače je nesymetrický, vztahuje se ke společné zemi.



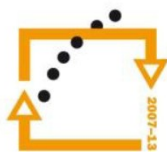
evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



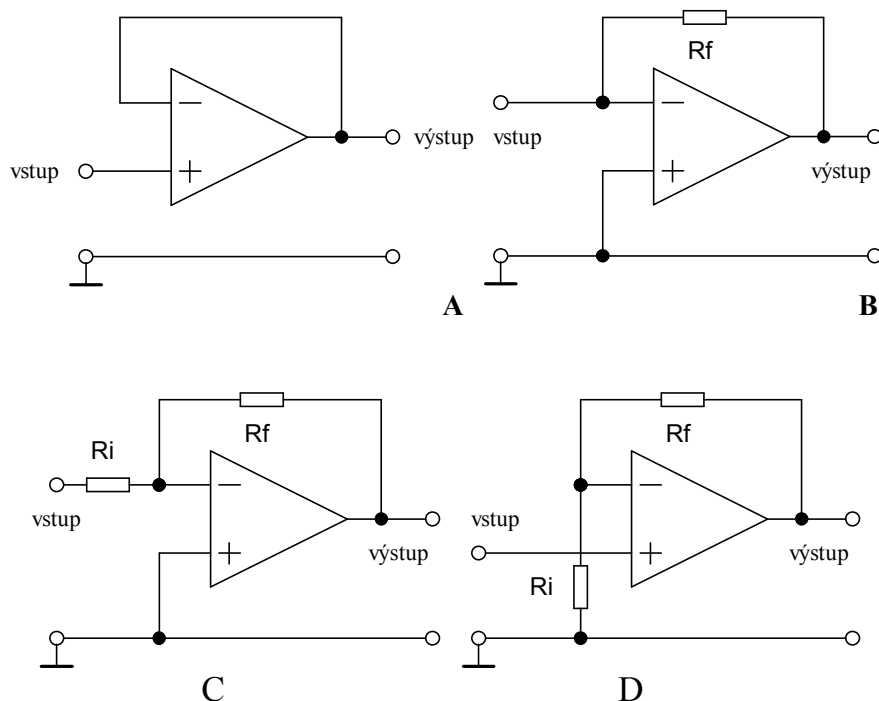
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

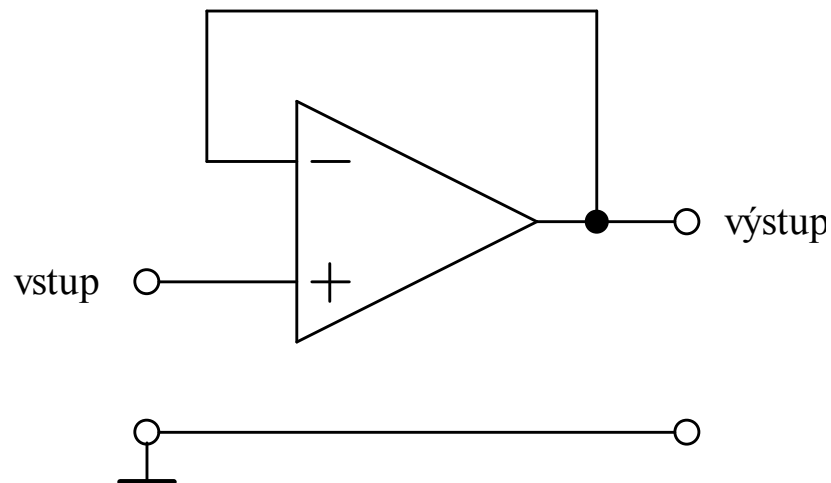
Operační zesilovače



Základní zapojení OZ. A: sledovač napětí, B: převodník proud/napětí (proudový sledovač), C: invertující zesilovač, D: neinvertující zesilovač

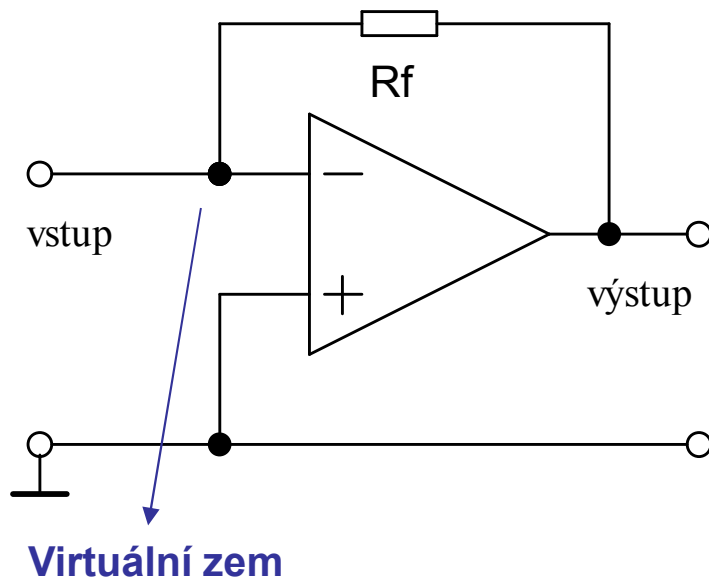
Při analýze zapojení OZ se vychází z teoretického modelu tzv. ideálního OZ. Ten je charakterizován nekonečným zesílením, nekonečně velkým vstupním odporem (tj. proudy tekoucí invertujícím a neinvertujícím vstupem „dovnitř“ zesilovače jsou nekonečně malé) a nekonečnou šířku pásma přenášených frekvencí. Reálné OZ se ideálnímu OZ pouze přibližují.

Sledovač napětí



Nejjednodušší, ale často využívané zapojení OZ je sledovač napětí. Sledovač napětí je obvod, vytvořený propojením výstupu s neinvertujícím vstupem. Vstupní signál je přiveden na neinvertující vstup. Na výstupu OZ je napětí identické se vstupním napětím. Toto zapojení slouží jako převodník impedance – izoluje zdroje napětí o vysokém výstupním odporu („měkký“ zdroj, tj. zdroj který není schopen dodávat proud) od vstupů s nízkou impedancí.

Převodník proud/napětí



$$u_{vstup} = -i_{vstup} R_f$$

Převodník proud/napětí se používá k vyhodnocení signálu z čidel s proudovým výstupem, např. fotonásobičů, elektrod apod. Protože vstupní odpor OZ je velký, prochází proud zpětnovazebním odporem R_f . Vzhledem k velkému zesílení OZ se zpětná vazba snaží udržet napětí blízké potenciálu neinvertujícího vstupu, tedy nulové (virtuální zem). Výstupní napětí je tedy úbytek napětí na odporu R_f :



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



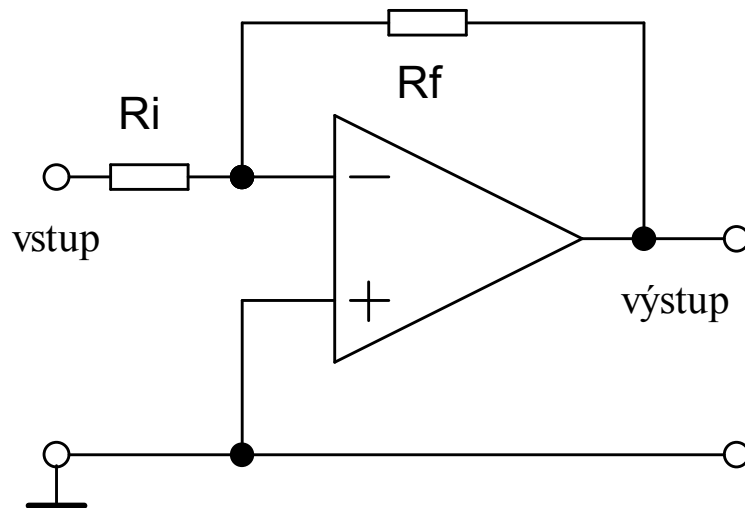
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Invertující zapojení



$$U_{výstup} = -U_{vstup} \frac{R_f}{R_i}$$

Za předpokladu ideálního zesilovače se proud i_{vstup} vstupující do zesilovače musí rovnat proudu $i_{výstup}$, který prochází zpětnou vazbou a výstupní napětí se musí rovnat napětí na zpětnovazebném odporu R_f .

- Sčítací obvod



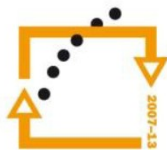
evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

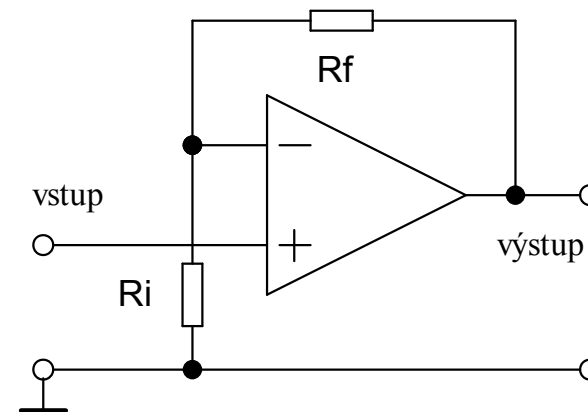


OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Neinvertující zapojení

$$U_{výstup} = U_{vstup} \left(1 + \frac{R_f}{R_i} \right)$$



Za předpokladu ideálního zesilovače je $u_d = 0$. Děličem R_f/R_i se část výstupního napětí přivede na neinvertující vstup, takže napětí ve sčítacím bodě bude rovno:

$$U_s = R_i i_i = \frac{R_i}{R_i + R_s} U_{výstup}$$

Výstupní napětí je rovno rozdílu napětí na vstupech a zesílení naprázdno

$$U_{výstup} = A_0 (U_{vstup} - U_s)$$

Kombinací se získá vztah

$$U_{vstup} = \frac{U_{výstup}}{A_0} + U_{výstup} \left(\frac{R_i}{R_i + R_f} \right)$$



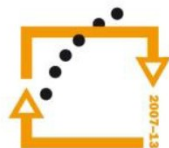
evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



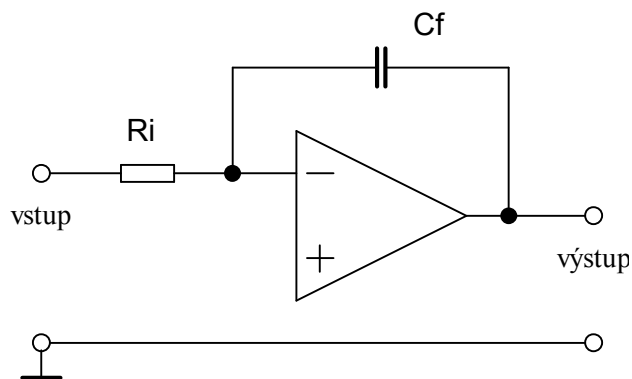
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



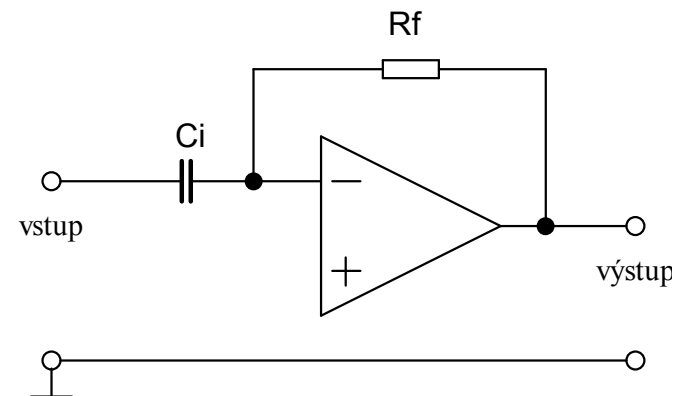
OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Integrátor a derivátor



$$U_{výstup} = \frac{1}{RC} \int_0^t U_{vstup} dt$$



$$U_{výstup} = -CR_f \frac{dU_{vstup}}{dt}$$

Vodní model kondenzátoru



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Komparátor

OZ reaguje na rozdíl napětí na vstupech. Protože zesílení OZ bez zavedené zpětné vazby je velmi vysoké (reálně 105 - 106), stačí velmi malý rozdíl napětí na vstupech a na výstupu se objeví saturační napětí (kladné, nebo záporné, podle smyslu difference napětí na vstupech). OZ v takovémto zapojení slouží jako komparátor. Komparátoru se nejčastěji využívá jako signalizátoru odchylky napětí na senzorech (např. tepelné čidlo apod.) od referenční hodnoty hlídané veličiny. Ve výše uvedeném příkladu teplotního čidla pak při poklesu teploty dojde k překlopení komparátoru a sepnutí zahřívání (termostat). Při praktické realizaci je téměř vždy nutné do zapojení zavést tzv. hysterezi. U termostatu hystereze znamená mírný rozdíl teplot, při kterém dojde k zapnutí a vypnutí zahřívání. Tím se zabrání neustálému zapínání/vypínání termostatu. Zavedení hystereze se realizuje zavedením kladné zpětné vazby, která má navíc i pozitivní vliv na rychlost překlápění komparátoru. Komparátor s hysterezí se nazývá Schmittův klopný obvod.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Reálný operační zesilovač

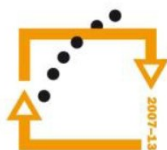
Chceme-li využívat operační zesilovač v různých zapojeních, měli bychom o něm vědět co nejvíce údajů a znát všechno co dokáže. Proto musíme dobře rozumět běžným pojmům, které nás o jeho vlastnostech informují.

1. Zesílení

Operační zesilovač pracuje téměř výhradně se zpětnou vazbou, vedenou z výstupu zpět na vstup. Je to obvykle zpětná vazba záporná a zmenšuje zesílení. O celkovém zesílení pak nerozhoduje vlastní operační zesilovač, nýbrž nastavení prvků zpětné vazby. Aby toto tvrzení platilo beze zbytku, musel by mít operační zesilovač nekonečně velké zesílení (ideální OZ). Můžeme počítat s hodnotou 10^4 až 10^8 . Např. u 741 výrobci obvykle uvádějí hodnotu 50 000 až 150 000, což odpovídá 5×10^4 až 15×10^4 , a to je zesílení vysoké. V běžných zapojeních využijeme zesílení např. stokrát. Snadno se nastaví pomocí zpětné vazby, správnou volbou dvou rezistorů.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



**OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost**

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Reálný operační zesilovač

2. Požaduje se, aby zesílení bylo nezávislé na zatížení výstupu zesilovače. Jinak řečeno, neměla by ho ovlivňovat velikost impedance zátěže (odporu), což u tranzistorového zesilovače nelze dosáhnout. Ani operační zesilovač tento požadavek nesplní stoprocentně, ale velmi se tomu blíží. Jeho výstupní impedance má být co nejmenší, nejlépe rovna nule (ideální OZ).



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

3. Přestože vstupní odpor není příliš nízký, zatěžuje obvody ke kterým je připojen a od kterých získává signál. Kromě toho zatěžuje i obvod zpětné vazby vlastního operačního zesilovače. Dále vstupní odpor není stálý, mění se v rozmezí přibližně $50 \text{ k}\Omega$ až $2 \text{ M}\Omega$. Záleží na tom, o jaký vstup se jedná a jak je zapojen. K tomu nutno dodat, že uvedené údaje platí pro bipolární obvody, nikoli pro moderní operační zesilovače BIFET a BIMOS se vstupními obvody FET. Ty se vyznačují vstupním odporem o mnoho řádů vyšším, takže připojené obvody prakticky nezatěžují (ideální OZ má vstupní odpor nekonečný).



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

4. Nulovému vstupnímu napětí musí odpovídat nulové výstupní napětí (ideální OZ). Vypadá to sice jako samozřejmost, ale není to tak jednoduché. Nepříznivě se tu projevuje několik skutečností:

a) *Vstupní napěťová nesymetrie*

Způsobuje ji nedokonalá symetrie vstupních obvodů. Ty nejsou nikdy naprosto stejné, a tak se objeví určité, třebaže malé výstupní napětí, a to za situace, kdy na vstupu není žádný signál. Tuto chybu je možné a zpravidla i nutné dodatečně kompenzovat. Kromě toho dochází samovolně ke změnám vstupní napěťové nesymetrie. Tomuto jevu se obvykle říká drift. Protože nejzávažnějším původcem driftu je teplota polovodičových přechodů, a ta se mění, vstupní napěťovou nesymetrii se podaří vykompenzovat zpravidla až po zahřátí integrovaného obvodu na provozní teplotu.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

b) Vstupní klidový proud

Způsobují ho nestejně velké proudy, které tečou do každého vstupu. Bipolární technologie tu o několik řádů prohrává proti moderním obvodům, což je dáno podstatou činnosti bipolárních tranzistorů proti unipolárním. Nikoliv nepodstatná je však skutečnost, že vlivem driftu dochází k poměrně značné změně klidového proudu právě u operačních zesilovačů s FET na vstupu. Velký vliv na vznik klidového proudu mají rezistory připojené ke každému vstupu, tj. zařazené do cesty proudu. Požaduje se proto, aby k oběma vstupům byly připojeny úplně stejné odpory. To ale není vůbec jednoduché dodržet. Do druhého vstupu se musí zapojit stejně velký odpor, který se rovná výsledné hodnotě paralelního spojení odporů, které vedou k neuzemněnému vstupu. Tato hodnota se obtížně zjišťuje. Je to však tím potřebnější, čím jsou zapojené odpory větší.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



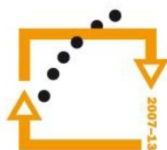
OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

5. Při zesilování střídavého napětí se zesílení směrem k vyšším kmitočtům zmenšuje. Mění se i fáze signálu, což bývá příčinou nestability zesilovače, projevující se zakmitáváním, případně úplným rozkmitáním. K tomu dojde tím, že se fáze otočí až o 180° , takže z původní záporné zpětné vazby se stane zpětná vazba kladná. Proto se zavádí kmitočtová kompenzace pomocí jedné nebo několika pasivních součástek, připojených zvenku k operačnímu zesilovači. Některé mají tuto kmitočtovou kompenzaci již zabudovanou uvnitř a nazýváme ji vnitřní kmitočtovou kompenzací. Avšak vnitřní kompenzace je nastavena pro určitý mezní kmitočet s ohledem na co největší zesílení. V řadě případů tento kmitočet našim potřebám nevyhovuje, je příliš nízký. Negativně se může projevit i vliv různě nastavené zpětné vazby. Chceme-li tedy dosáhnout širšího přenášeného pásma, volíme operační zesilovač s vnější kompenzací i za cenu menšího zesílení. Moderní zesilovače mají zabudovanou vnitřní kompenzaci, a přesto se vyznačují poměrně velkou šíří přenášeného pásma.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



**OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost**

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

6. Důležitý parametr je tzv. rychlost přeběhu. V podstatě jde o rychlost změny výstupního napětí, kterou operační zesilovač dokáže vyvinout za zlomek sekundy, přesněji za jednu mikrosekundu. Udává se ve voltech za mikrosekundu (V/ms). Samotné číslo nám toho moc neříká, avšak podle katalogu můžeme porovnávat čísla určující rychlost přeběhu u jednotlivých typů. Platí, že čím vyšší rychlost, tím větší šíře přenášeného pásma a menší nelineární zkreslení (pokles zesílení se zvyšujícím se kmitočtem). Obecně platí: čím rychlejší operační zesilovač, tím lepší vlastnosti.