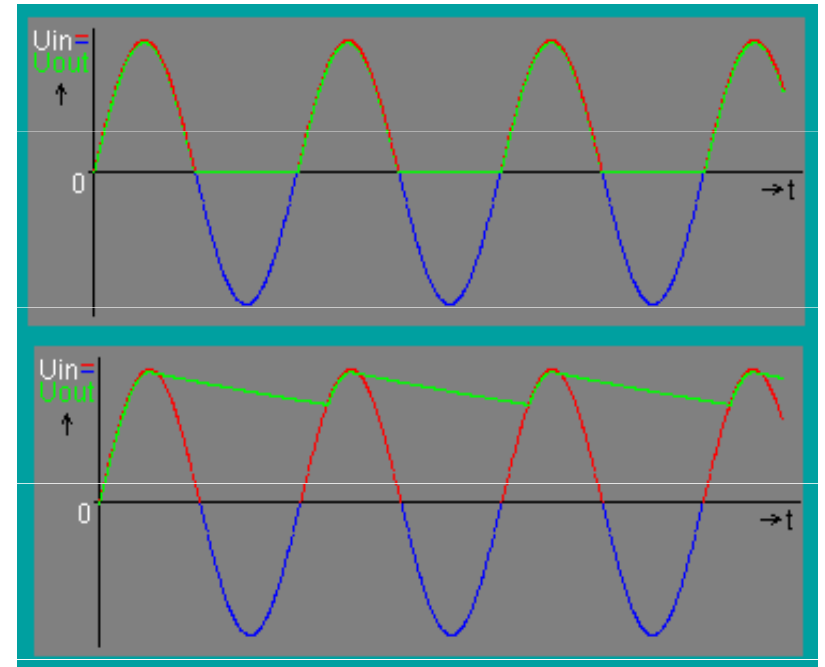
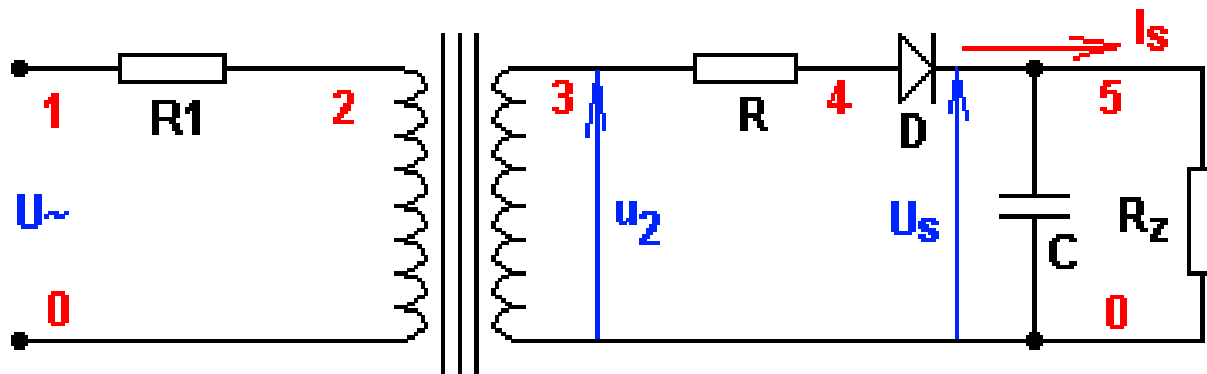


Usměrňovače a násobiče

- Podle výkonu:
 - výkonové usměrňovače - frekvence od desítek Hz až do desítek kHz,
 - detektory - frekvence od 100 kHz až po desítky GHz.

Čím je vyšší kmitočet, který má dioda usměrňovat, tím menší musí mít kapacitu PN přechod, jinak by mohl diodou téci kapacitní proud řádově vyšší, než proud v závěrném směru; tím je také dáno, že detektory velmi vysokých kmitočetů nemohou pracovat s příliš velkým výkonem.

Jednocestný usměrňovač



- Usměrnění a filtrace střídavého průběhu.
- Sekundárním vinutím transformátoru teče stejnosměrný proud, který může transformátor přesytit.
- Výstupní zvlnění má stejný kmitočet jako vstupní střídavé napětí.
- Ochranný odpor R slouží k omezení proudu při **zapnutí zdroje** - filtrační kondenzátor je při zapnutí vybitý a představuje zkrat. Bez omezovacího odporu by mohl proud diodou přesáhnout dovolenou velikost.

Zvlnění

- Zvlnění závisí na kmitočtu vstupního napětí a na zapojení usměrňovače. Dalšími obvody (filtry) se dá zvlnění snížit.
- Pulsace určuje, kolik pulsů má stejnosměrné napětí během jedné periody vstupního napětí:

$$p = \frac{f\sigma_{(1)}}{f}$$

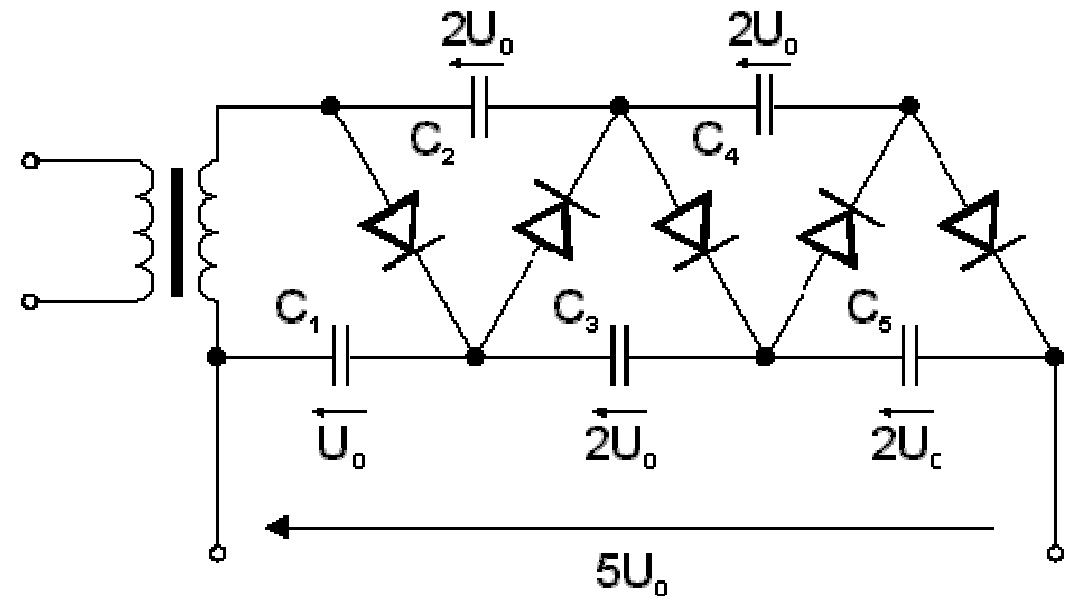
- Kde $f\sigma_{(1)}$ je kmitočet harmonické složky střídavého průběhu, f je kmitočet napájecího napětí
- Zvlnění napětí je dáno vztahem:

$$\sigma_u = \frac{U_{fh}}{U_{di0}} \cdot 100$$

- Kde U_{fh} je efektivní hodnota vyšších harmonických složek, U_{di0} je ideální stejnosměrné napětí naprázdno na výstupu nezátíženého usměrňovače

Násobič napětí

(Delonův násobič)



- dioda D_1 nabije kondenzátor C_1 na napětí U_0
- při změně polarity napětí na sekundáru je pak toto napětí v serii s napětím na sekundáru, otevře diodu D_2 a ta bude nabíjet kondenzátor C_2 .
- výsledné napětí na kondenzátoru C_2 je $2U_0$.
- obdobně pak na kondenzátoru C_3 bude napětí $2U_0$ a stejné napětí se ustaví na kondenzátorech C_4 a C_5 . Kondenzátory C_1 , C_3 a C_5 jsou v serii a celkové napětí na této seriové kombinaci je $5U_0$ - násobič napětí pěti.

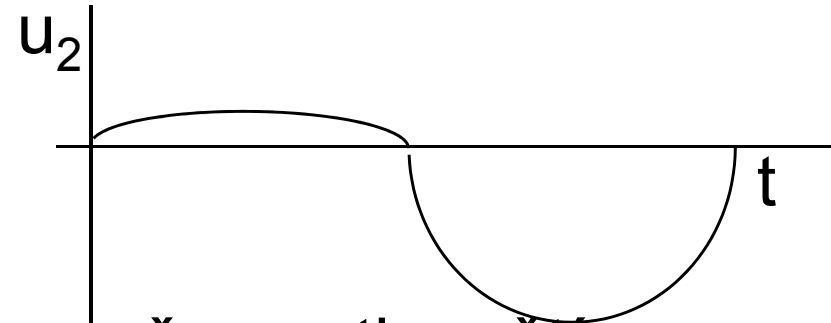
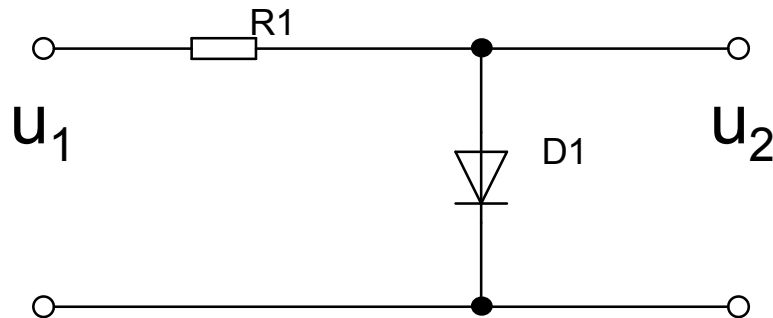
- K čemu jsou násobiče napětí, když se zdá, že bychom mohli prostě navinout na transformátoru více závitů a dosáhnout stejného efektu s jedno- nebo dvoucestným usměrňovačem?
 - **Důvodem** je, že čím je větší počet závitů na cívce, tím má vinutí větší vlastní kapacitu. Tato kapacita spolu s indukčností vinutí tvoří rezonanční obvod a transformátor bude pracovat s nejnižšími nároky na energii právě tehdy, bude-li kmitočet roven rezonančnímu kmitočtu transformátoru. **Velký počet závitů znamená velkou vlastní kapacitu a tedy nízkou rezonanční frekvenci** podle Thomsonova vztahu:

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

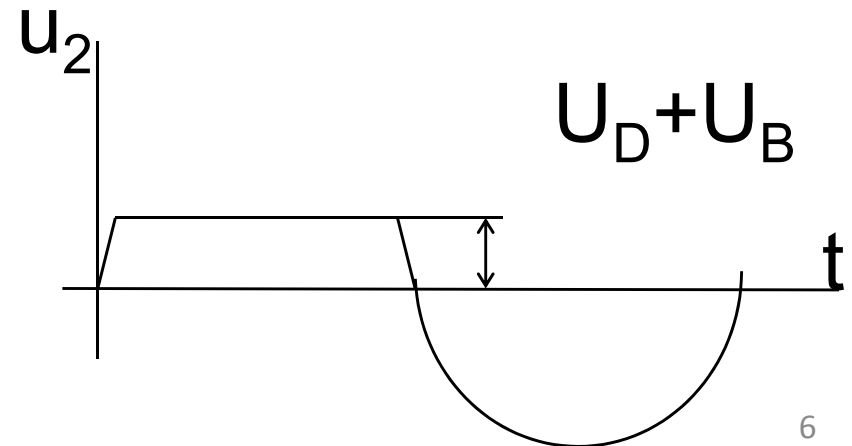
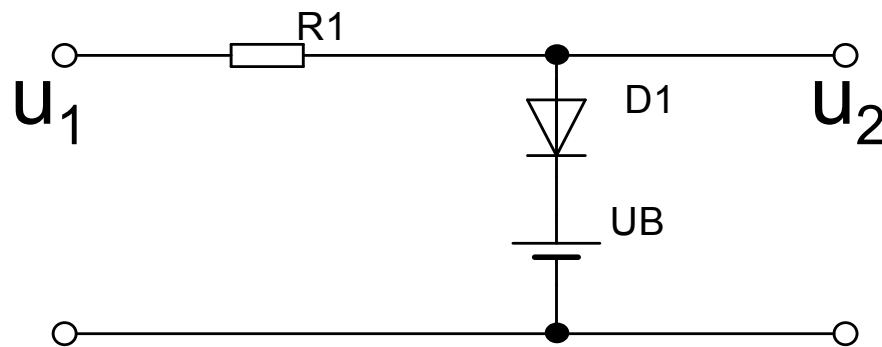
- U televizorů pracuje zdroj vysokého napětí často na frekvenci řádkového rozkladu 15 625 Hz.
- Násobič napětí se **používá tam, kde potřebujeme vysoké napětí s malým odběrem**, v barevných televizorech je urychlovací napětí 25 kV pro barevnou obrazovku vyráběno násobičem napětí).

Omezovače

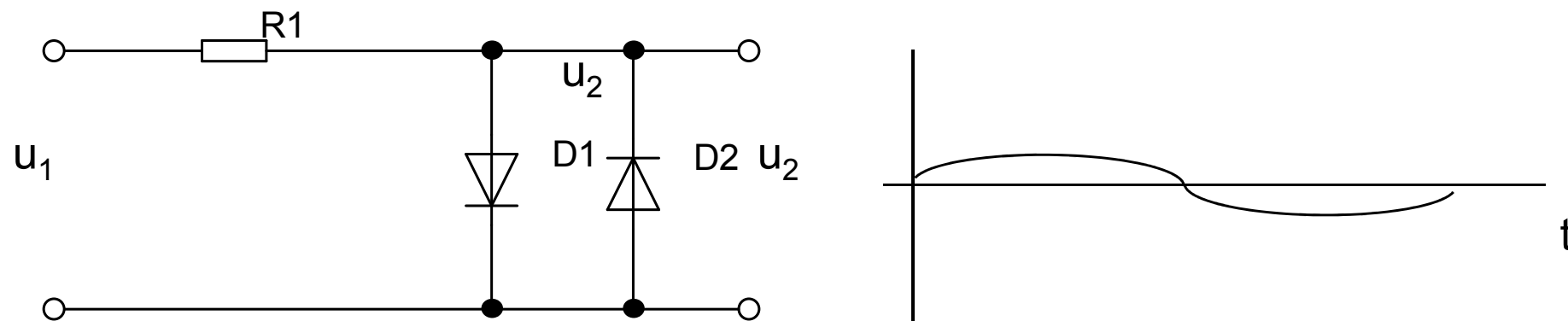
- Úprava střídavého napětí
- Jednostranný paralelní omezovač



- Jednostranný paralelní omezovač s protinapětím



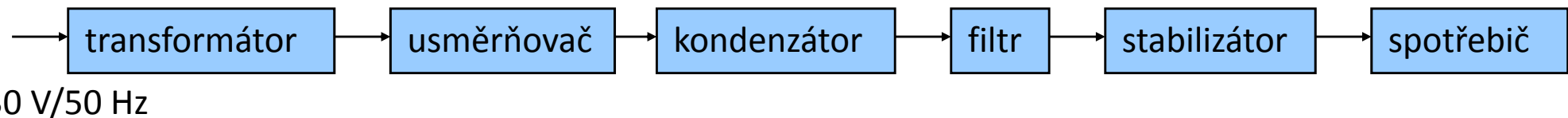
- Oboustranný paralelní omezovač



Omezovače lze použít pro tvarování sinusového signálu.

Blokové schéma napájecího zdroje

Elektrická zařízení, která nemohou být napájena přímým síťovým napětím, to je 230 V/50 Hz z důvodů technických či bezpečnostních se napájí tzv. napájecími zdroji, které mají výstupní napětí snižené, popř. usměrněné a vyhlazené.

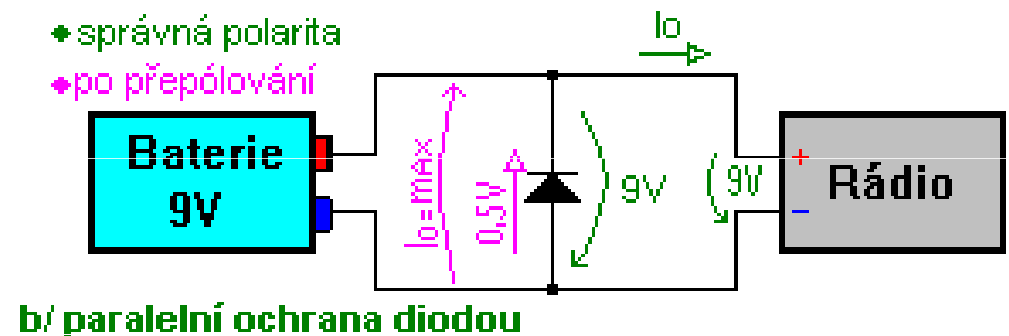
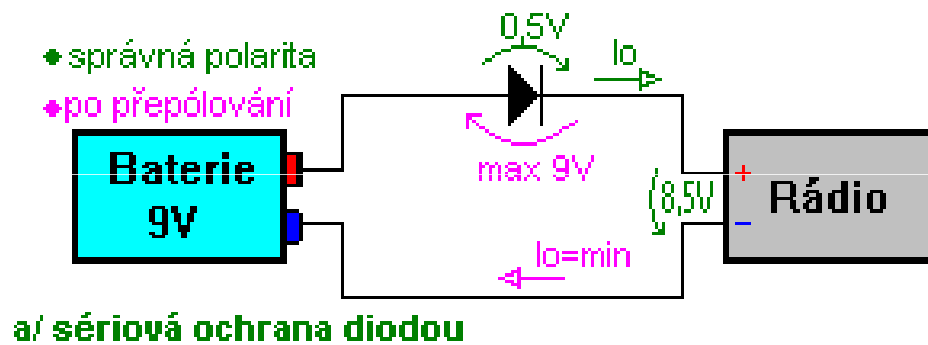


Části napájecího zdroje:

Značka na schématu	Součást	Význam
T	Transformátor	Snižuje napětí na velikost požadovanou elektrickým zařízením.
U	Usměrňovač	Přeměňuje střídavý proud na stejnosměrný.
K	Kondenzátor	Vybíjením překlenovává nulové napěťové mezery.
F	Filtr	Vyhlazení napětí, aby mělo co "nejrovnější" průběh.
S	Stabilizátor	Stabilizuje napětí po transformaci a usměrnění na požadovanou velikost.
Rz	Napájený spotřebič	Spotřebič, který nemůže být připojen na síťové napětí.

Diody v ochranných obvodech

- Ochrana proti přepólování zdroje



- Ochrana tranzistoru při spínání indukční zátěže
- Ochrana vstupu operačního zesilovače
- atd.

Měniče

- Stejnoseměrný proud na střídavý
- Podle druhu komutace:
 - Závislé (invertory) – řízené usměrňovače pracující v invertorovém režimu
 - Nezávislé (střídače) – nouzové zdroje

Střídače

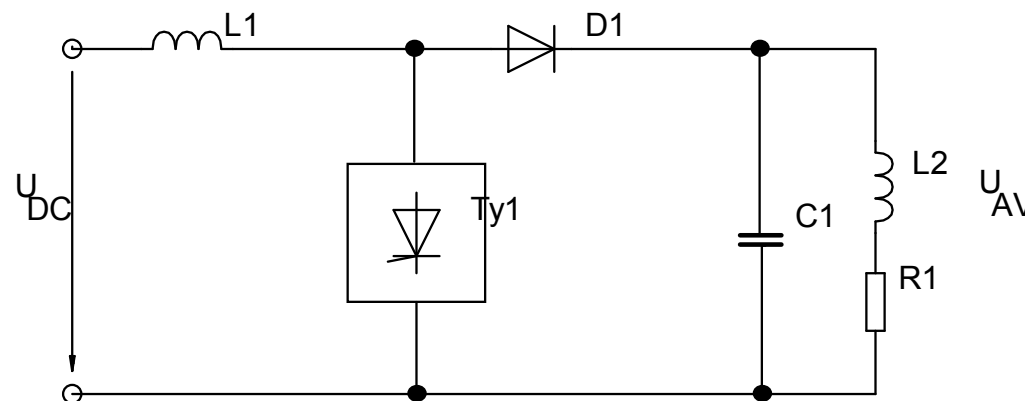
- Podle druhu komutace:
 - S vlastní komutací – napájení je stejnosměrné
 - Komutované zátěží – pro 1f spotřebiče, využívají rezonančních obvodů

Měniče stříd. proudu na stříd. proud jiných parametrů

- Nepřímé střídavé měniče – složen z usměrňovače a střídače
- Cyklokonvertory – pro řízení otáček asynchronních motorů a k napájení trakčních vedení. Požadovaná frekvence se dosahuje vhodným spínáním tyristorů, výkon lze regulovat změnou úhlu řízení.
- Měniče komutované sekundární sítě – pro přenos stejn. energie na velké vzdálenosti, propojení sítě o různé frekvenci

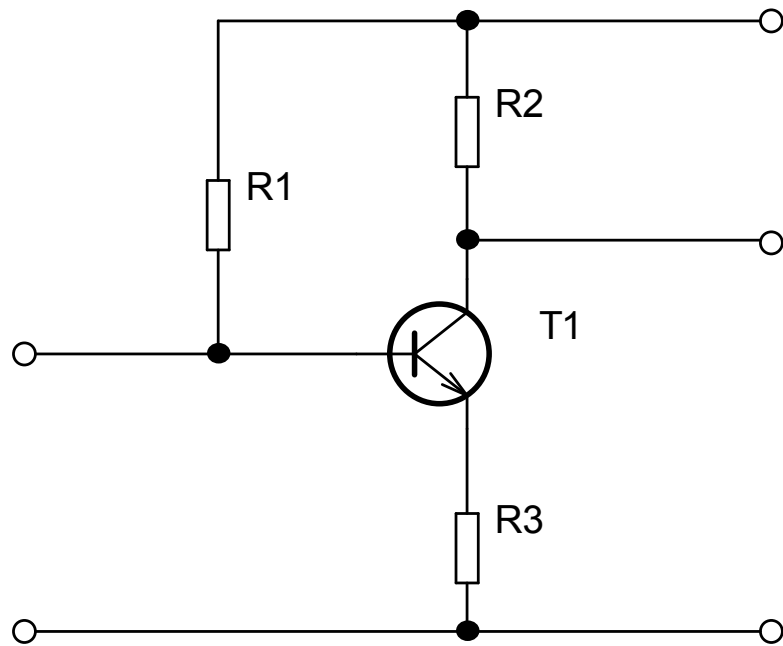
Měniče stej. proudu na stej. proud jiných parametrů

- Stejnoseměrnou energii nelze transformovat.
- Používají se v trakci pro napájení stej. motorů a jako zdroje stej. napětí.
- Měniče mění velikost a polaritu stej. napětí
 - Pulsní měniče pro snižování napětí – lze využít dělič napětí, ale to je ztráta. Proto se využívá měniče.
 - Pulsní měniče pro zvyšování napětí

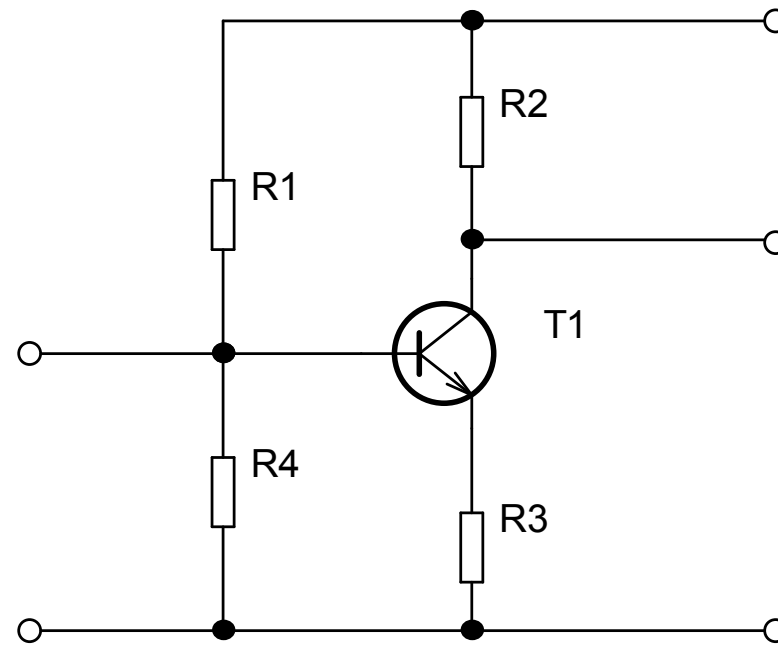


Obvody s tranzistory

Obvody pro nastavení prac. bodu:



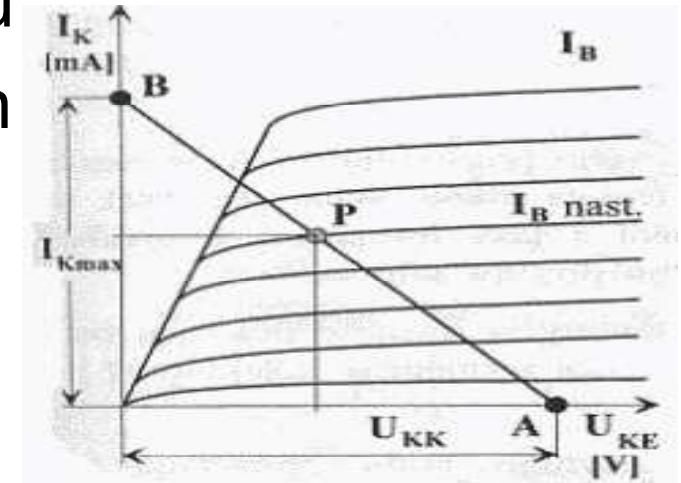
Sériový odpor do báze



Napěťový dělič

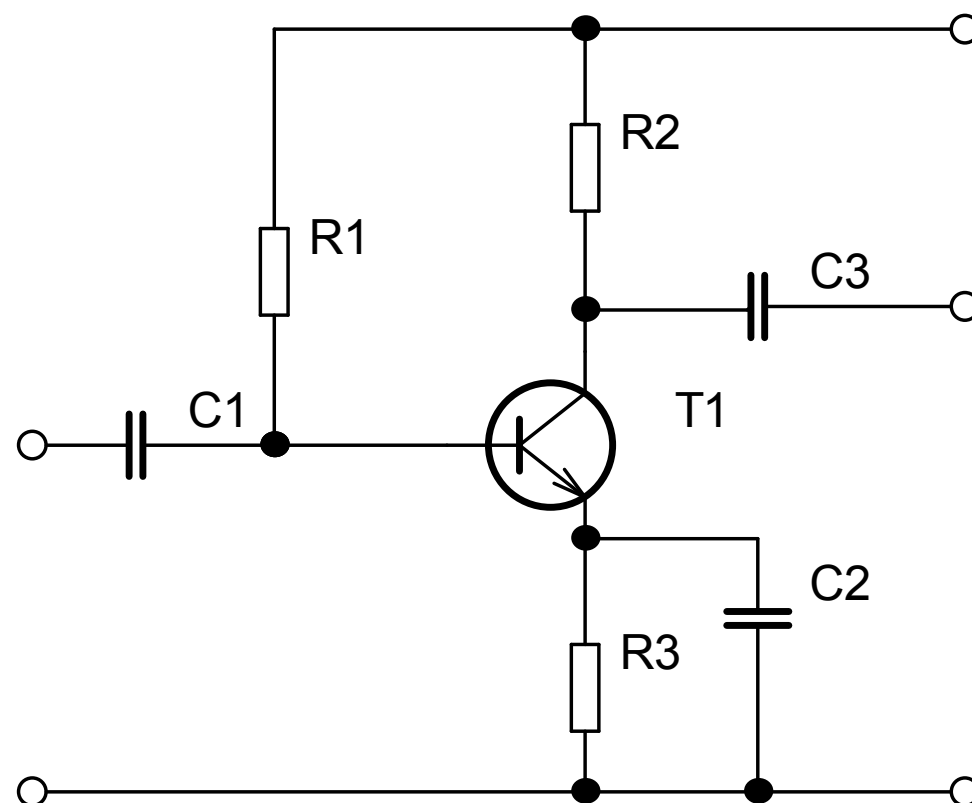
Stabilizace prac. bodu

- Stabilizace klidového pracovního bodu
 - Změna parametrů v důsledku změn teploty a stárnutí
 - Kolísání napětí zdrojů
 - Změna parametrů součástek
- Stabilizační obvody
 - Jednoduché bez zpětné vazby
 - Se zápornou zpětnou vazbou (proudové, napěťové)
 - Využívající typických nelinearit



Nízkofrekvenční zesilovače

- Jednostupňový zesilovač
 - Zesiluje kmitočty akustického rozsahu (10 Hz - 20 kHz) a patří do třídy A. Patří sem i napěťové zesilovače
- Požadavky:
 - Velká vstupní citlivost
 - Dostatečně velký vstupní odpor
 - Dlouhodobá stálost nastavení pracovního bodu
 - Co nejmenší zkreslení
 - Možnost zavedení účinných zpětných vazeb
 - Velký rozkmit výstupního napětí
 - Malý výstupní odpor



Třídy zesilovačů

Podle polohy prac. bodu (s malou účinností – do 0,5):

Podle:

- 1) Podle polohy pracovního bodu
- 2) Podle úhlu otevření tranzistoru
- 3) Podle použití

- **Třída A** – pracovní bod tranzistoru je tak nastaven, že tranzistor pracuje v aktivním režimu - předzesilovače
- **Třída B** – tranzistor zesiluje pouze jednu půlvlnu vstup. Signálu – výkonové zesilovače
- **Třída AB** – tranzistorem vede proud o něco déle než je $\frac{1}{2} T$ – výkonové zesilovače
- **Třída C** – tranzistorem je veden proud po dobu kratší než je $\frac{1}{2} T$ – výstupní signál je velmi zkreslený, proud není harmonický, zátěží je obvykle ladící obvod, který si vybere pouze základní harmonickou signálu – vf zesilovače

Třídy s vysokou účinností:

- **Třída D** - příliš složité a používají se pro analogo-digitální techniky, např. A/D převodníky
- **Třída H**

Třída	Umístění pracovního bodu	Úhel otevření	První půlvlna	Druhá půlvlna	Účinnost	Zkreslení	Použití
A	Střední hodnota kolektorového proudu.	360°	Prochází	Prochází	Menší než 50 %	Malé	Všeobecné použití (napěťové, nízkofrekvenční)
AB	Dolní část charakteristiky	180°	Prochází	Prakticky neprochází	Vyšší než 50 %	Nepatrné	Nízkofrekvenční i vysokofrekvenční zesilovače
B	Bod zániku kolektorového proudu	Nejvýš 180°	Prochází zkresleně	Neprochází	Až 70%	Nepatrné	Vysokofrekvenční zesilovače
C	Na prodloužené charakteristice	Méně než 180°	Prochází zkresleně	Neprochází	Až 80%	Velké	Vysokofrekvenční zesilovače, vysílače, oddělovače, omezovače

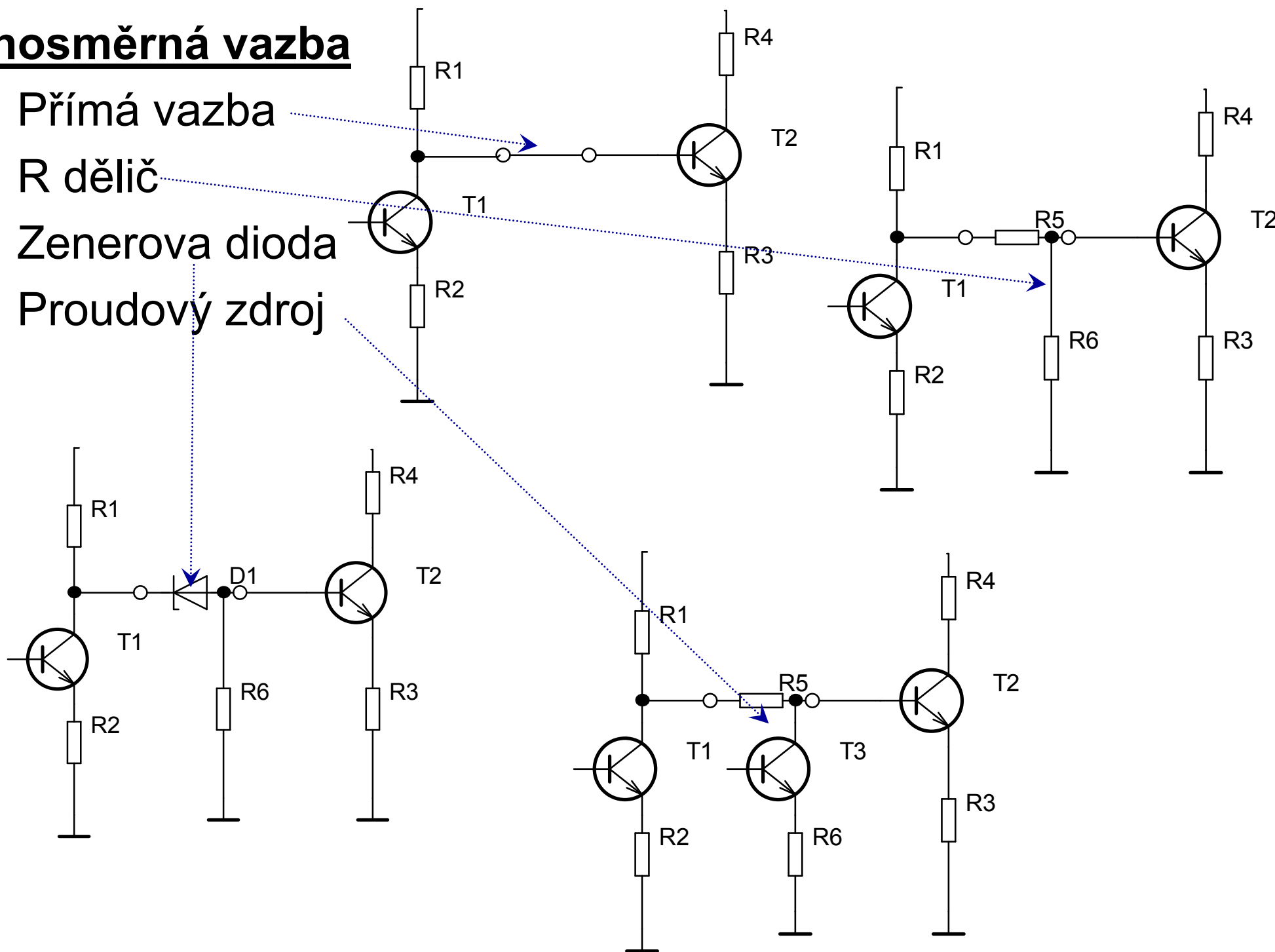
Vazba zesilovacích stupňů

Pro větší zesílení se zesilovače řadí do kaskády.

- Stejnoseměrná vazba
 - Přímá vazba
 - R dělič
 - Zenerova dioda
 - Proudový zdroj
- Střídavá vazba
 - Kapacitní
 - transformátorová

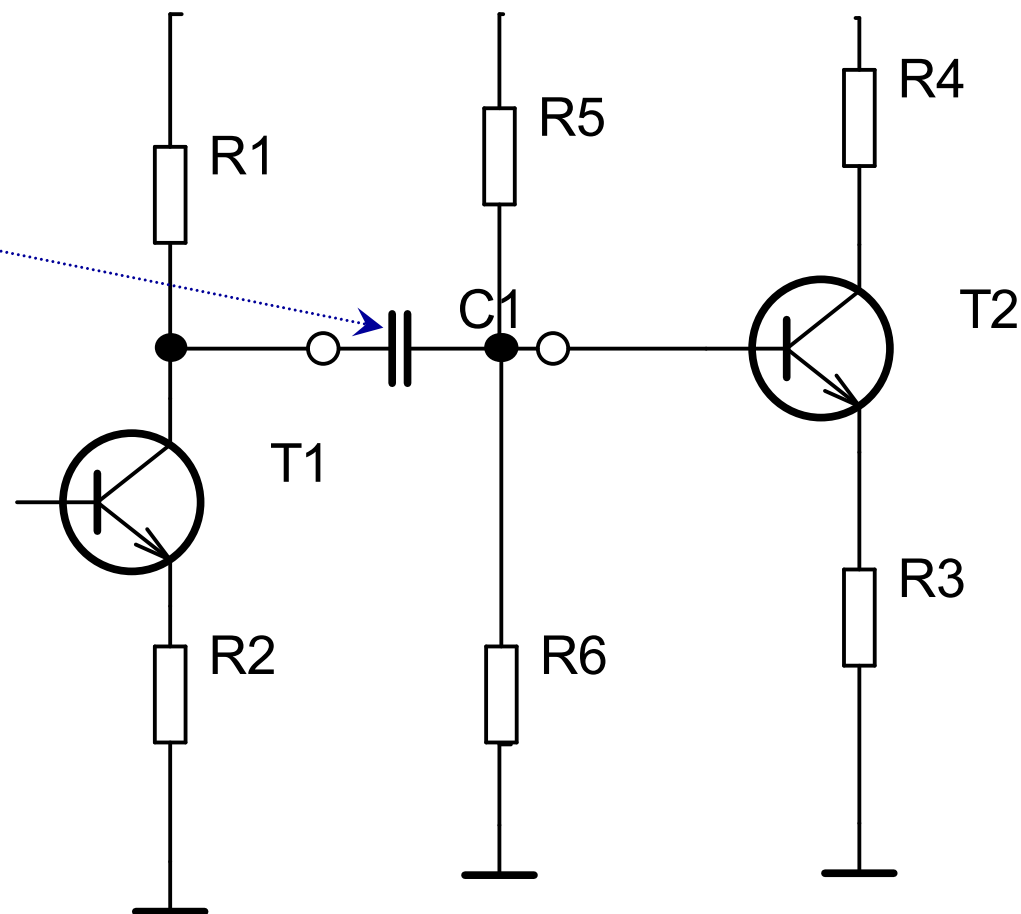
Stejnoseměrná vazba

- Přímá vazba
- R dělič
- Zenerova dioda
- Proudový zdroj



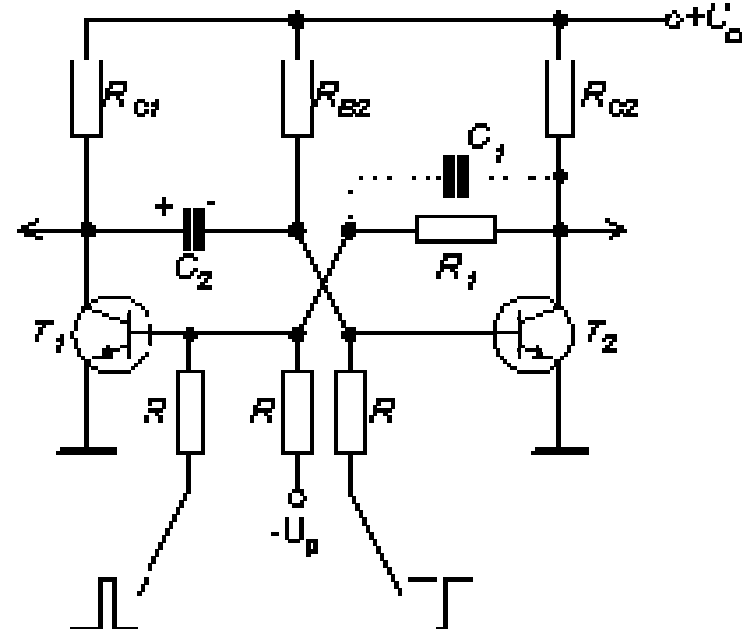
Střídavá vazba

- Kapacitní
- transformátorová



Klopné obvody

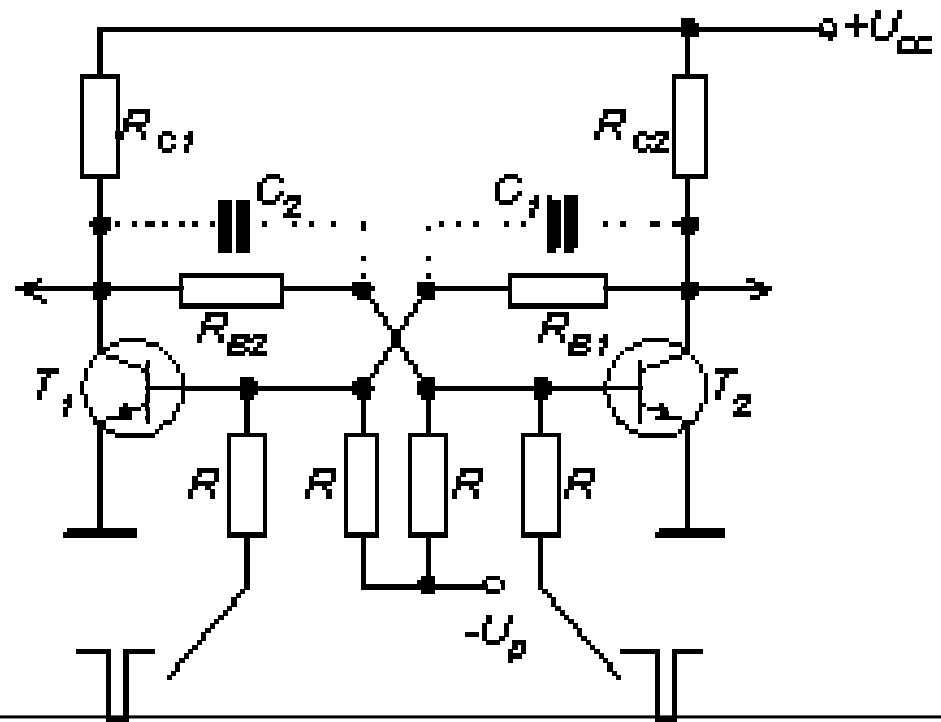
- **Monostabilní –**
- má *jeden stabilní stav*, v němž může setrvat libovolně dlouho, spouštěcím impulsem ho lze vychýlit do kvazistabilního stavu, v němž setrvá po určité době a poté se vrátí zpět do stabilního stavu.



V klidové poloze bude tranzistor T_1 zavře a tranzistor T_2 otevřen. V tomto stavu se bude kondenzátor C_2 nabíjet na naznačenou polaritu. Pokud přivedeme kladný impuls do báze zavřeného tranzistoru T_1 nebo záporný impuls do báze otevřeného tranzistoru T_2 , obvod se překlopí a kondenzátor C se bude přes odpor R_{B2} a otevřený T_1 vybíjet. Bude se vybíjet k nule a pak na opačnou polaritu než je naznačeno. V okamžiku, kdy napětí na kondenzátoru dosáhne prahového napětí B-E (u T_2), T_2 se otevře, jeho kolektorové napětí klesne na nulu, tato záporná změna se přenesse do báze T_1 , T_1 se zavře a obvod se dostane do výchozí klidové polohy. V ní bude vyčkávat příchodu dalšího spouštěcího impulsu.

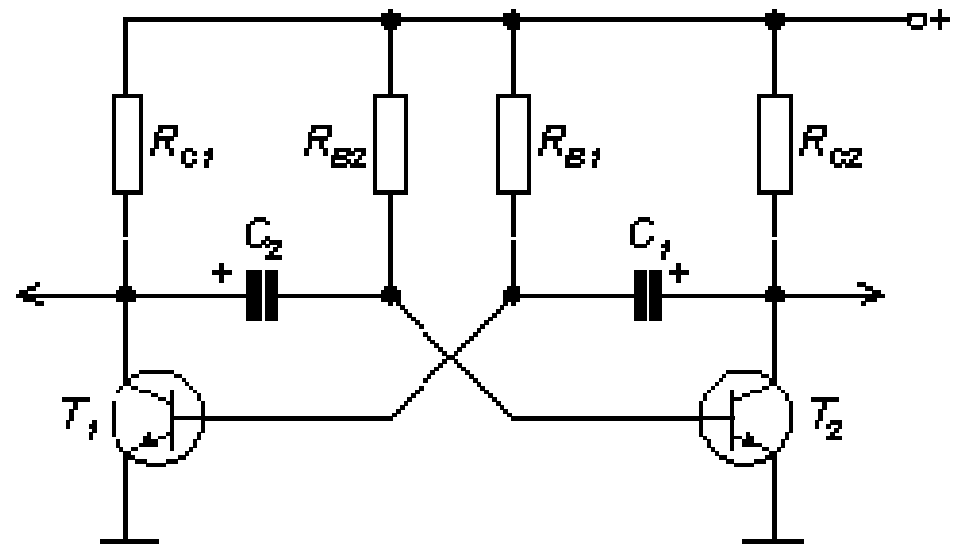
- **Bistabilní klopný obvod**

- je takový elektronický obvod, který má *dvě klidové polohy*, v každé z nich může setrvat libovolně dlouhou dobu, vnějším impulsem lze klopný obvod překlopit z jedné do druhé stabilní polohy.



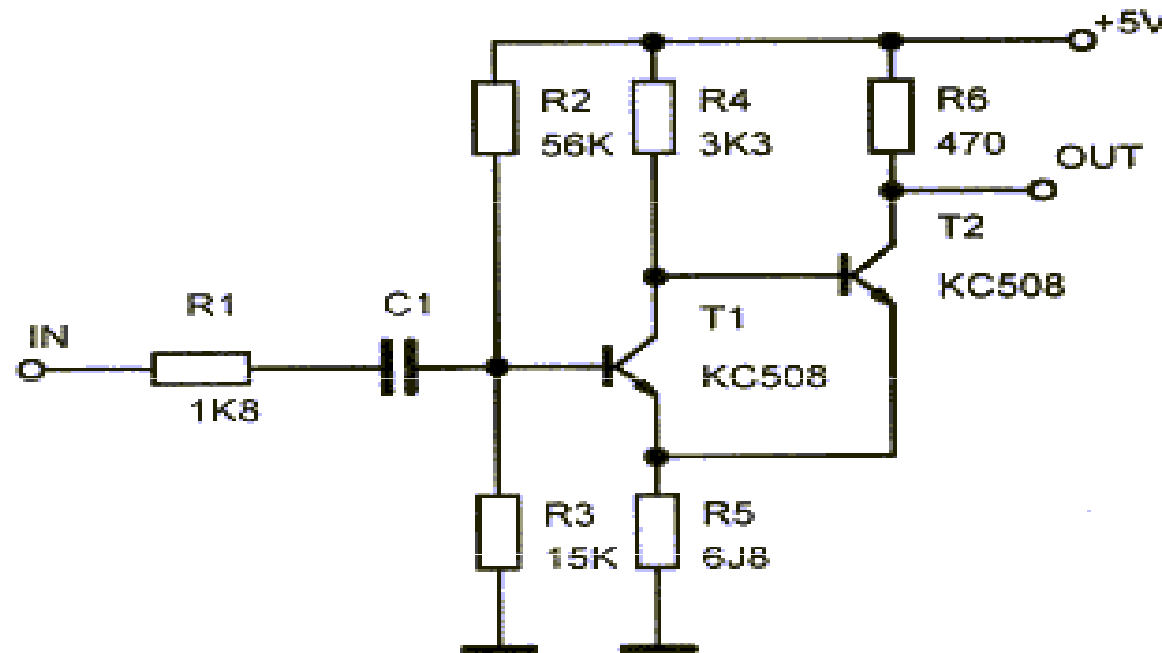
Po připojení ke zdroji napájecího napětí se obvod ustálí tak, že jeden tranzistor bude otevřen a druhý zavřen (náhodně). Zavedeme-li v libovolném čase do báze otevřeného tranzistoru záporný impuls, začne se tento tranzistor zavírat, jeho kolektorové napětí roste, tento vzrůst se přeneseme na bázi druhého tranzistoru, ten se otevírá, děj probíhá lavinovitě, až se původně zavřený tranzistor úplně otevře a původně otevřený tranzistor úplně zavře. Tím skončí překlápění a obvod setrvává v tomto stabilním stavu až do příchodu dalšího spouštěcího impulsu. Spouštět lze i zavedením kladného impulsu do báze zavřeného tranzistoru. Spouštěcí impuls je vždy třeba přivést přes omezovací rezistor, nikdy nesmí být přiloženo plné napětí, aby nedošlo k destrukci tranzistoru.

- **Astabilní klopné obvody** nemají žádnou klidovou polohu, neustále kmitají, je to generátor obdélníkových průběhů - oscilátor



Když bude tranzistor T_1 zavřen a tranzistor T_2 otevřen – bude se nabíjet kondenzátor C_2 v obvodu $+U_{cc} - R_{C1} - C_2 - T_2(\text{B-E}) - \text{zem}$. Současně se bude vybíjet kondenzátor C_1 (nabitý v předchozím cyklu) v obvodu $+U_{cc} - R_{B1} - C_1 - T_2(\text{C-E}) - \text{zem}$. Bude se vybíjet k nule a pak na opačnou polaritu, než je naznačeno, v okamžiku, kdy napětí na něm dosáhne prahového napětí přechodu B-E (u T_1), T_1 se otevře, jeho kolektorové napětí klesne k nule, tato záporná změna se přenesse přes C_2 na bázi T_2 a ten se uzavře. V tomto stavu se bude nabíjet kondenzátor C_1 v obvodu $U_{cc} - R_{C2} - C_1 - T_1(\text{B-E}) - \text{zem}$. Současně se bude vybíjet kondenzátor C_2 v obvodu $U_{cc} - R_{B2} - C_2 - T_1(\text{C-E}) - \text{zem}$. Bude se vybíjet k nule a pak na opačnou polaritu, než je naznačeno. V okamžiku, kdy na něm napětí dosáhne prahové hodnoty přechodu B-E tranzistoru T_2 , T_2 se otevře, jeho kolektorové napětí klesne k nule, tato záporná změna se přenesse přes C_1 do báze T_1 a T_1 se zahradí. Tento děj se periodicky opakuje, dokud se vypne proud.

- **Schmittův klopný obvod** - má dva stabilní stavy, které se skokem mění při průchodu vstupního signálu nastavenou napěťovou úrovní na vstupu. Má emitorovou vazbu. Je možno tak z analogového signálu, získat signál logický pro řízení TTL logiky.



V klidovém stavu je tranzistor T1 uzavřen a tranzistor T2 je plně otevřen. Na výstupu je tedy velice malé napětí dané součtem saturačního napětí tranzistoru a úbytkem napětí na rezistoru R5.

- S příchodem signálu se při určité hodnotě vstupního napětí U_H otevře tranzistor T1, který uzavře tranzistor T2 a na výstupu je tudíž přibližně napájecí napětí (logická úroveň H).
- Aby se obvod překlopil zpět do logické úrovně L, je zapotřebí, aby hodnota vstupního napětí klesla pod určitou hodnotu U_L , která je menší než U_H .
- Rozdílu $U_H - U_L$ se říká napěťová hystereze obvodu.

Oscilátory

Generace periodických signálů

- Podle tvaru signálu:
 - Harmonický
 - Obdélníkový
 - Pilovitý
 - Trojúhelníkový
- Podle stálosti kmitočtu:
 - S jedním kmitočtem
 - Přeladitelný
- Podle prvků:
 - RC (Wienův člen, T-článek)
 - LC (Kolpicův, Hartleův, ...)
 - Krystalový

- Oscilátor je zdroj střídavého napětí jehož frekvence je určena součástkami.
- Nezpracovává žádný signál, ale je sám zdrojem signálu na rozdíl od zesilovače je dvoj pól.
- Oscilátor \Rightarrow Řídicí obvod zesilovače

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

Oscilátory LC

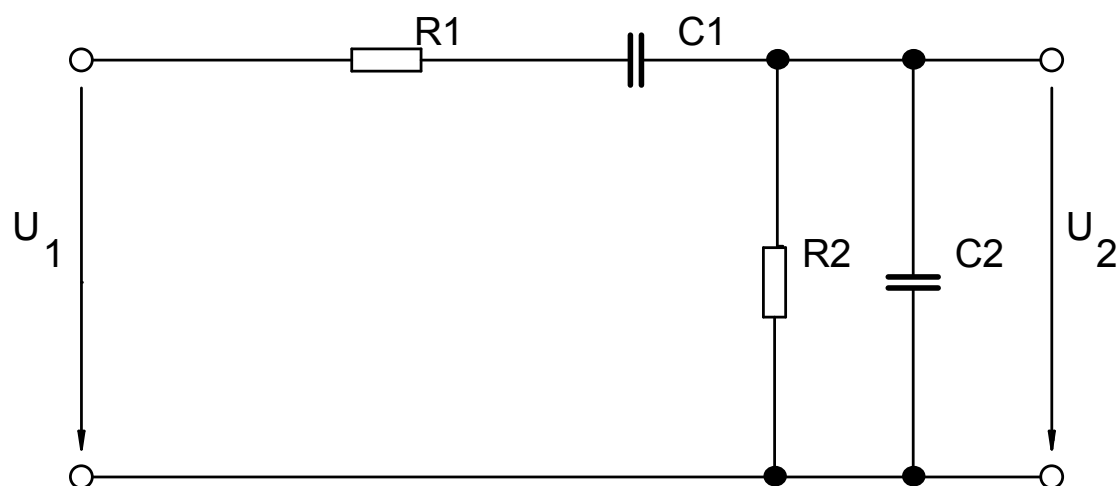
Vstup zesilovače je induktivně vázán s řídicím rezonančním obvodem. Po zapnutí napájení se prudce zvýší proud v cívce, což vyvolá indukci zvýšení proudu, to zvýší kolektorový proud a ten přes indukční vazbu zvyšuje proud do báze. Zastavení nárůstu nastane vlivem zakřivení charakteristiky tranzistoru (nasycením), tím nastane nepatrné snížení kolektorového proudu, to vlivem kladné zpětné vazby vyvolá snížení proudu do báze. Tentýž děj se opakuje, leč opačným směrem.

V **rezonančním obvodu** vzniká sinusový průběh. Kvalita sinusových oscilátorů se posuzuje dle stability frekvence.

Kmitočet oscilátoru:

Oscilátory RC

- Oscilátory RC mají zpětnou vazbu (řídící člen) vytvořený kombinací členů RC. Frekvence tohoto oscilátoru je dána hodnotami RC.
- Každý člen CR posune fázi o 60° a tranzistor o 180° .



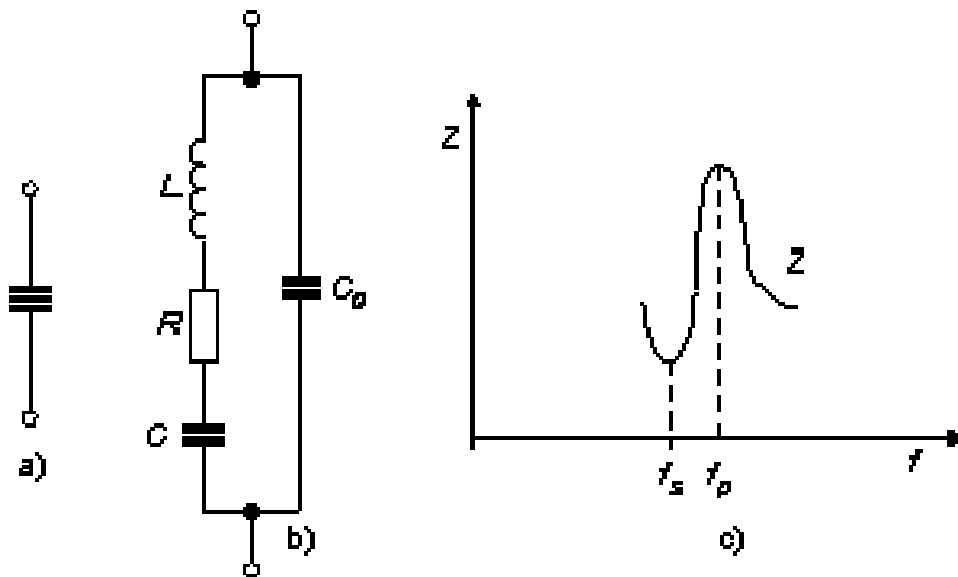
Kmitočet oscilátoru:

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

Krystalové oscilátory

- Mají vysokou stabilitu kmitočtu. Ke své chodu využívají piezoelektrických vlastností. (Řídící člen je tvořen piezoelektrickým rezonátorem, což je destička vhodně vyříznutá z křemene a je volně uložena mezi dvěma kovovými elektrodami)
- Krystal se přiloženým napětím deformuje a deformací se na jeho pólech indukuje napětí (Střídavé napětí způsobí mechanické kmity krystalového výbrusu. Amplituda mechanických kmitů dosáhne maxima, jestliže kmitočet ladícího elektrického napětí bude roven vlastnímu mechanickému rezonančnímu kmitotu destičky oscilátoru).
- V elektrickém obvodu se chová jako rezonanční obvod.

- Má dva rezonanční kmitočty.
- V sériovém rezonačním obvodu je impedance nejmenší, zato v paralelním rezonačním obvodu je impedance nejvyšší.
- Indukčnost v sériovém rezonačním obvodu je velká a kapacita v sériovém rezonačním obvodu je malá, proto se musí **krystal zapojit tak, aby jeho impedance měla indukční charakter.**
- Krystalové rezonátory („krystaly“) se vyrábějí v širokém rozsahu kmitočtů.
- Použití je v obvodech digitálních hodin nebo i v počítačích.



Piezoelektrický rezonátor:
 a) schématická značka,
 b) náhradní schéma,
 c) impedanční charakteristika

Integrované obvody

- Integrovaný obvod IO, popř. IC (Integrated Circuit)
- Je to mikroelektronický celek s pasivními a aktivními prvky, který tvoří určitý funkční obvod a je umístěný v jedné křemíkové destičce - čipu.
- Vznik kolem roku 1960.
- Hlavní výhody:
 - Poměrně vysoká spolehlivost
 - Malé rozměry
 - Nízká váha
 - Nízká spotřeba elektrické energie
- Nevýhody:
 - Výkonové IO je nutno chladit (v počítačích)

Dle technologického hlediska

- **Monolytické** - nejprve se na desce monokrystalu křemíku připraví rezistory, kondenzátory, diody, tranzistory a ty se pak propojí do funkčního celku (planárně epitaxní technologie)
- **Vrstvené** - na izolační destičce (sklo, keramika) se nanášením vrstev (naprašováním) vytváří MOS-FETy, pasivní prvky, izolační a vodivostní cesty
 - Tenkovrstvé
 - Hrubovrstvé – využívají sítotisku a RC prvky jsou vytvářeny pastami
- **Hybridní** - vrstvenou technikou se vyrobí rezistory a kondenzátory a do toho se vsadí monolitickou technikou diody a tranzistory

Dle složitosti

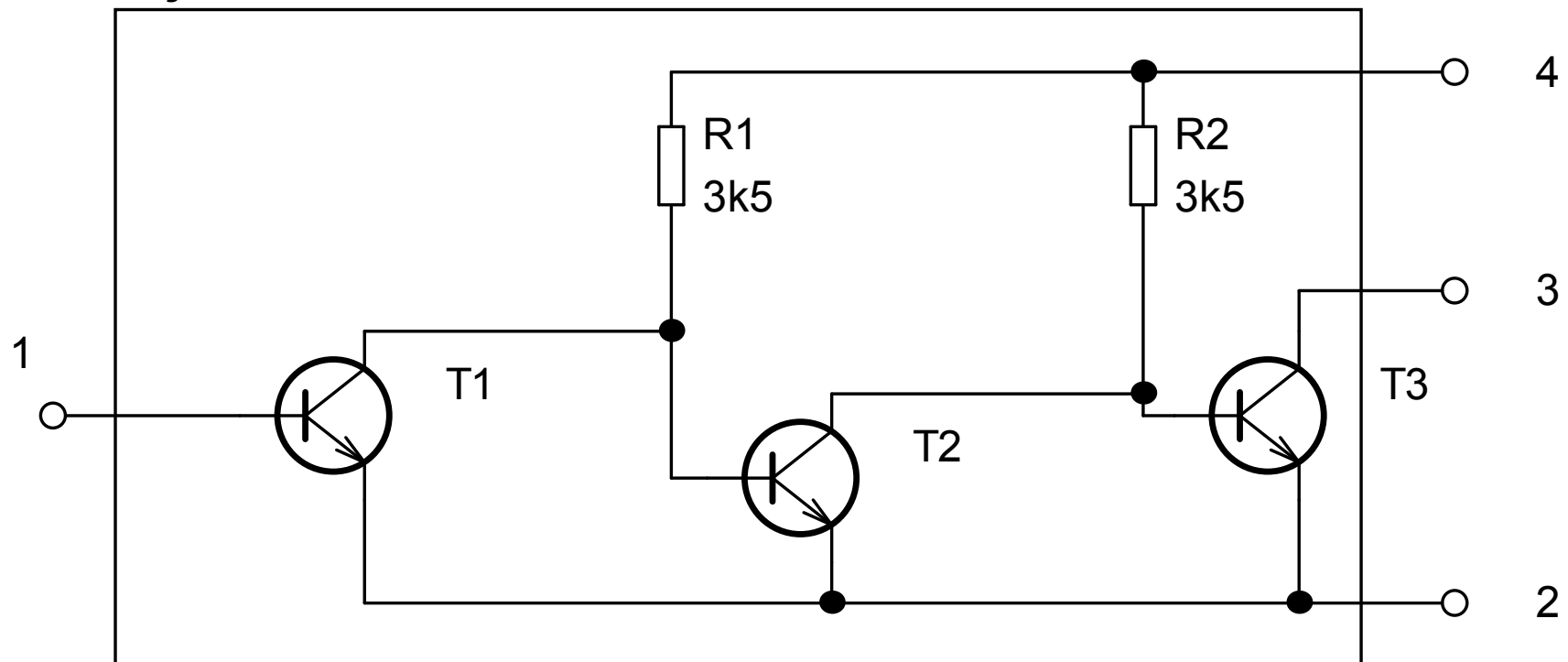
Stupeň integrace	Rok výroby	Typ integrace	Význam zkratky	Počet hradel	Počet součástek
1	počátek 60. let	SSI	Small Scale Integration	10 - 15	Do 100
2	polovina 60. let	MSI	Middle Scale Integration	25 - 100	Do 1000
3	počátek 70. let	LSI	Large Scale Integration	> 100	Do 10 000
4	80. léta	VLSI	Very Large Scale Integration	> 1000	Do 100 000
5	90. léta	ULSI	Ultra Large Scale Integration	> 10000	> 100 000

Dle zpracování signálu

- Analogové – signál se mění s časem spojitě
- Digitální – signál může mít jen 2 logické úrovně 0 a 1 – číslicový

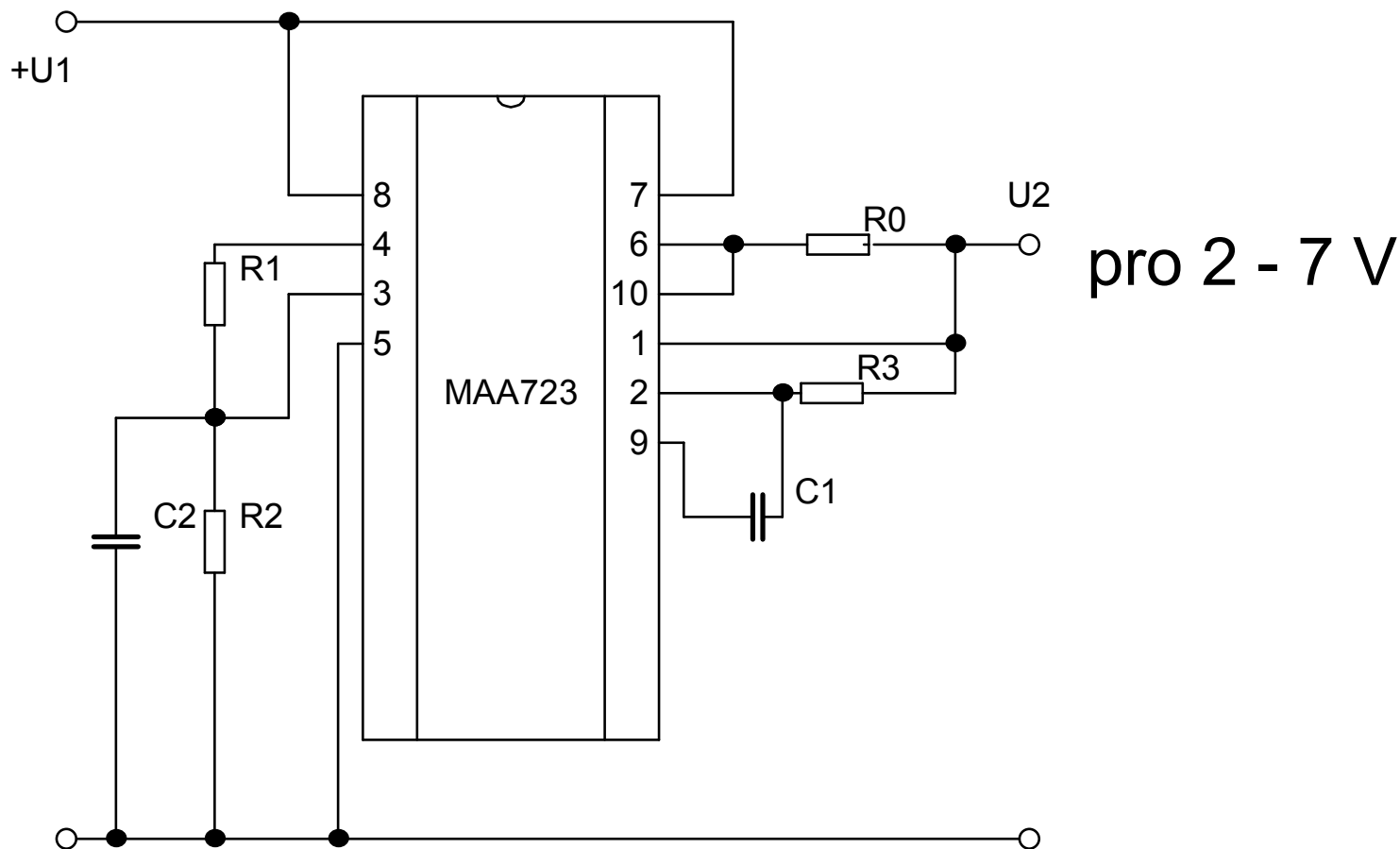
Lineární integrované obvody

- Nejjednodušší MAA 115 – 3 tranzistory 2 rezistory
- nf zesilovač
- Požívají se v televizní i měřící technice



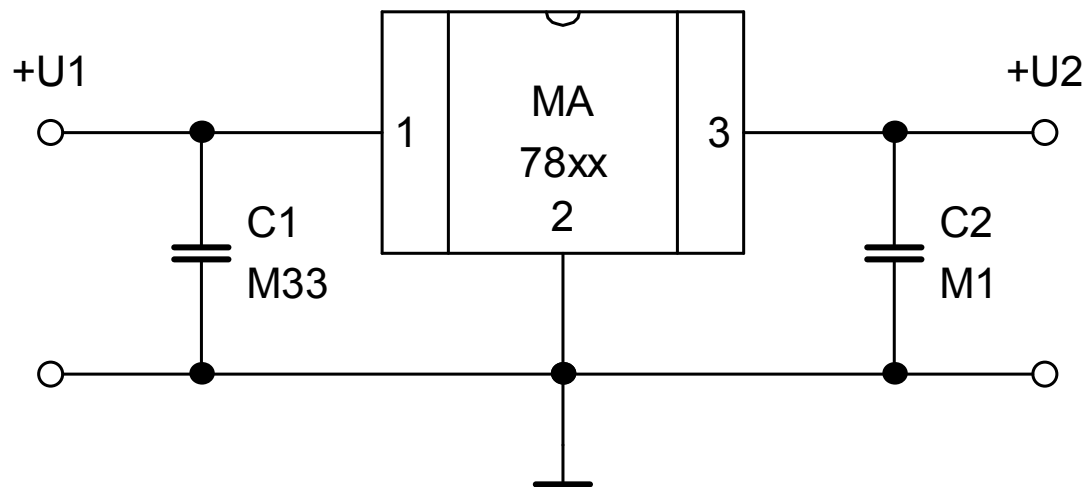
Analogové integrované obvody pro stabilizátory a referenční zdroje

- Jsou schopny pracovat v různých provozních režimech a různým výst. napětí – nastaveno vnějšími obvody
- Jsou určeny pro stabilizaci výstupního napětí



Jednoúčelové int. obvody

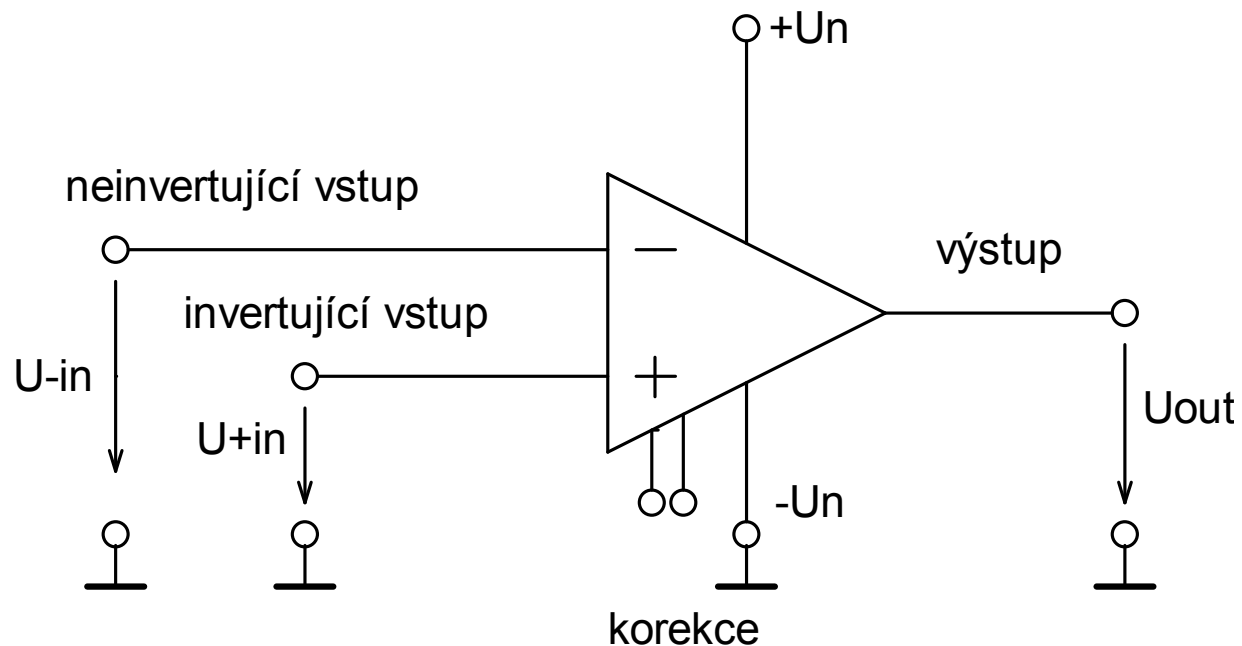
- Jsou určeny pro stabilizaci jediného napětí
- Typ MA 78xx
- Výhodou je s minimem součástek schopnost dodávat až 1A
- Lze využít i jako zdroj konst. proudu



Základní aplikační schéma

Operační zesilovače

- Univerzální zesilovací obvod.
- Realizoval matematické operace v analogových počítačích.
- Nyní – stej. zesilovač s velkým zesílením.

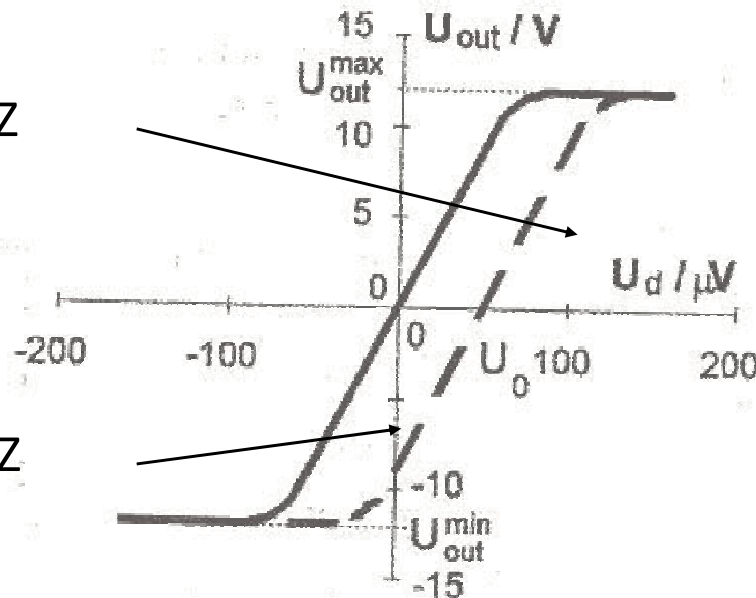


Vlastnosti

- Zesílení rozdílového signálu (80-100 dB – vlastní zesílení)

$$A_d = \frac{\Delta U_{out}}{\Delta U_d} = \frac{\Delta U_{out}}{\Delta(U_{+in} - U_{-in})}$$

Reálný OZ



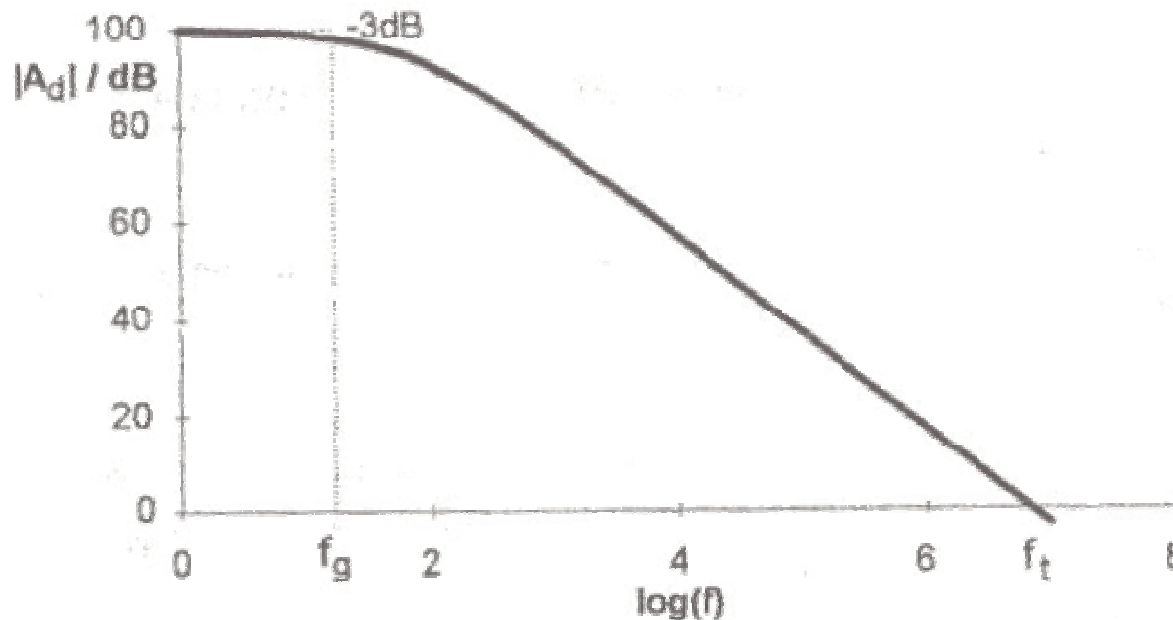
Ideální OZ

Závislost výstupního napětí na rozdílu vstupních napětí

$$A_g = \frac{\Delta U_{out}}{\Delta U_g}$$

- Zesílení souhlasného signálu (na oba vstupy je přivedeno současně shodné napětí U_g , zesílení A_g je přibližně 1)
 - neideálnost oper. zesilovače se charakterizuje zeslabení $G = A_d/A_g$

- Vstupní odpor
 - Vůči rozdílovému signálu - $M\Omega$
 - Vůči souhlasnému signálu - $G\Omega$
- Kmitočtová charakteristika
 - Totožná s dolnofrekvenční propustí



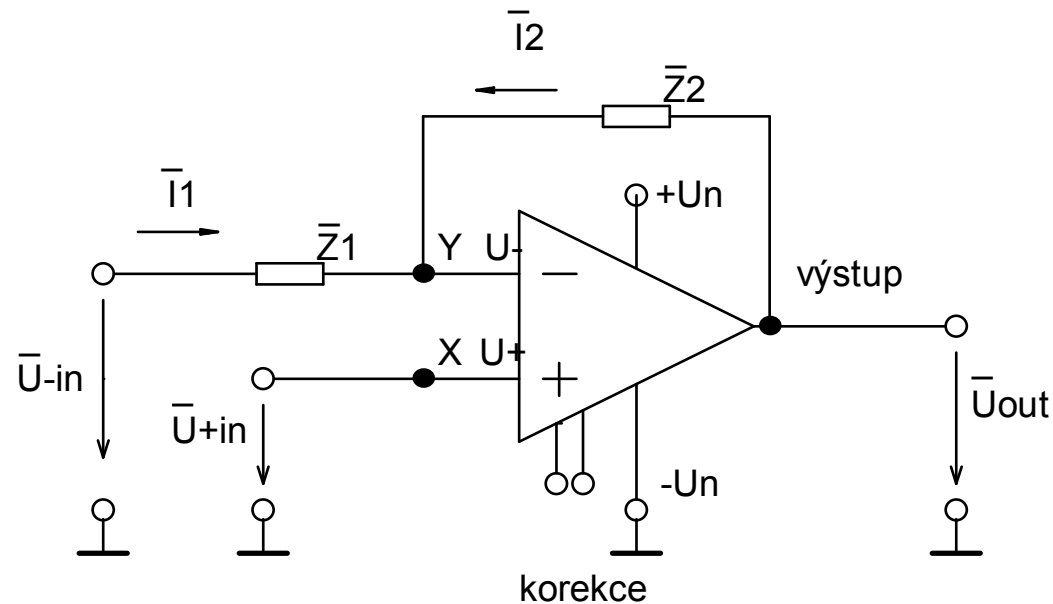
- **Velikost napájecího napětí**
Je obvykle ± 9 V (až na výjimky se dá použít i napětí ± 15 V, protože větší by způsobilo poškození OZ)

Další vlastnosti

- Na oba vstupy lze přivést napětí libovolné polarity a na výstupu bude napětí odpovídající dle vstupu při symetrickém napájení:
 - Napětí na invert. vstupu bude na výstupu otočeno o 180° .
 - Napětí na neinvert. vstupu bude mít na výstupu stejnou polaritu.
 - U rozdílných napětí na vstupu bude zesílen rozdíl vstupních napětí
- O velikosti zesílení rozhoduje (výhradně) poměr dvou impedancí (vstupní a zpětnovazební)
- Zpětná vazba z výstupu vstupuje do invertujícího vstupu záporná a do neinvertujícího vstupu vstupuje kladná
- Na přenos signálu se nejčastěji podílí zvenku připojené rezistory (stejná pravidla platí pro každou impedanci)
- Vstupní odpor invertujícího zesilovače (s bipolární technologií) určuje odpor rezistoru, který je malý a na neinvertujícím zesilovači je velký.
- Kmitočtová kompenzace je nastavena ve vnitřní struktuře OZ nebo pomocí kapacity mezi piny 1-8

Analýza zapojení

- Aplikace Kirchhoffových zákonů



- Pro bod Y platí:
$$\hat{I}_1 + \hat{I}_2 = \frac{\hat{U}_{-in} - \hat{U}_{+in}}{\hat{Z}_1} + \frac{\hat{U}_{out} - \hat{U}_{+in}}{\hat{Z}_2} = 0$$
- Výstupní napětí:
$$\hat{U}_{out} = \hat{U}_{+in} \left(1 + \frac{\hat{Z}_2}{\hat{Z}_1} \right) - \hat{U}_{-in} \frac{\hat{Z}_2}{\hat{Z}_1}$$
- Zesílení oper. zesilovače:
$$A_d = \frac{U_{out}}{U_{+in} - U_-}$$

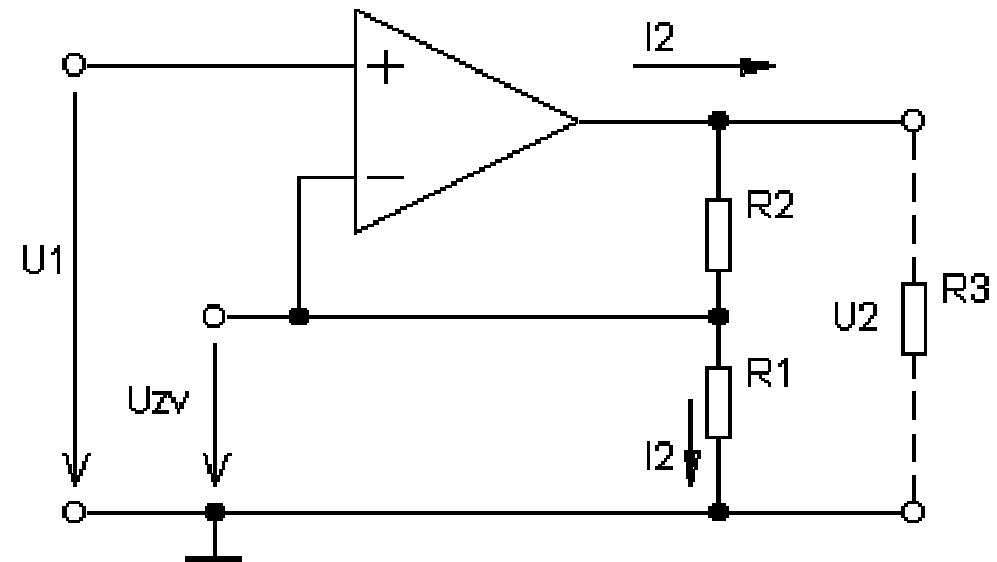
Lineární zesilovače

- Neinvertující zesilovač
 - Operace odečítání

$$U_1 = U_{ZV} = U_2 * \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_2 = U_1 * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$A_{ZV} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$



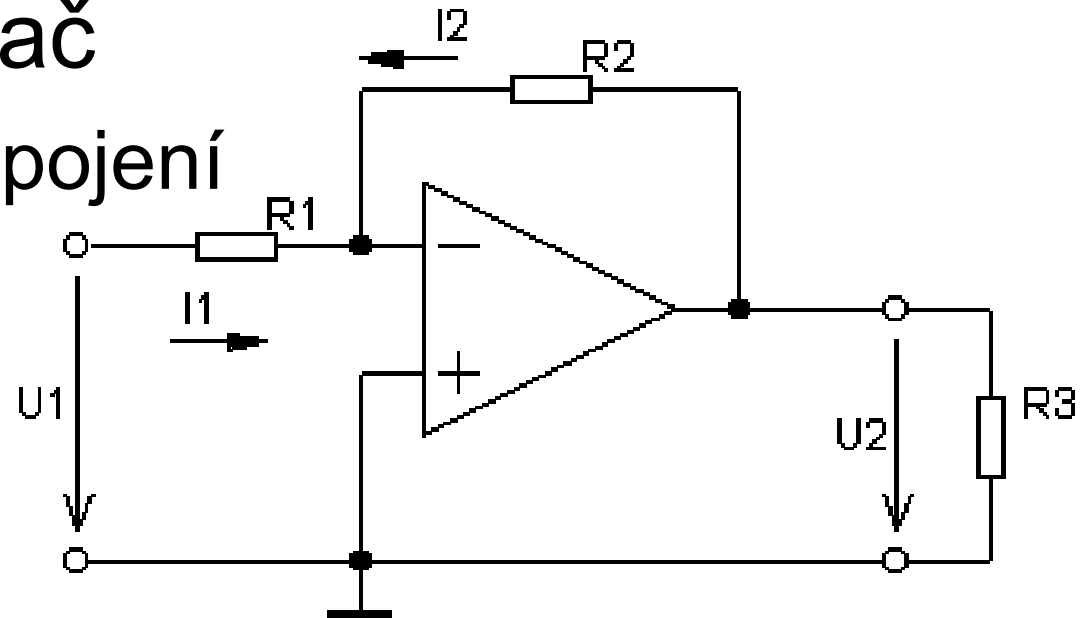
- Invertující zesilovač

- Nejjednodušší zapojení

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = -I_2 = -\frac{U_2}{R_2}$$

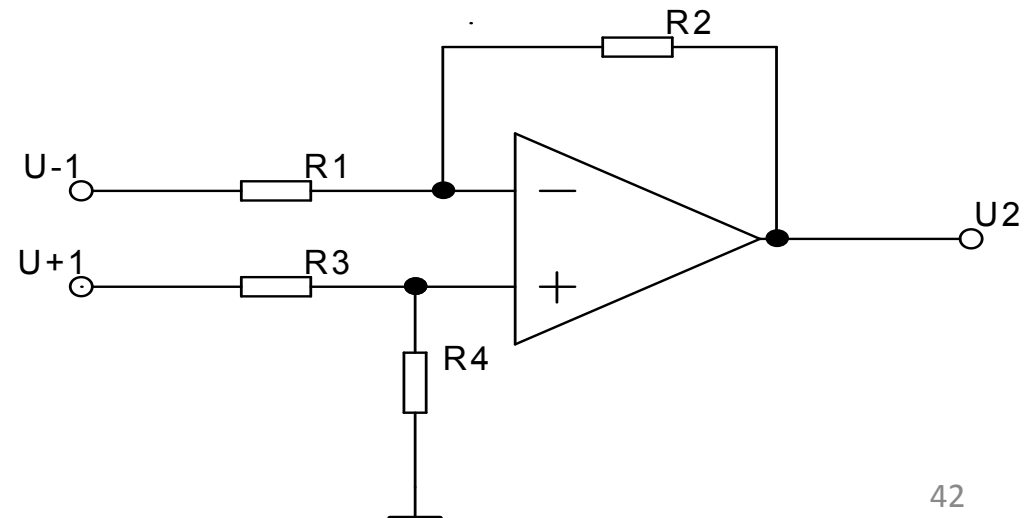
$$U_2 = -\frac{R_2}{R_1} * U_1$$

$$A_{zV} = -\frac{R_2}{R_1}$$



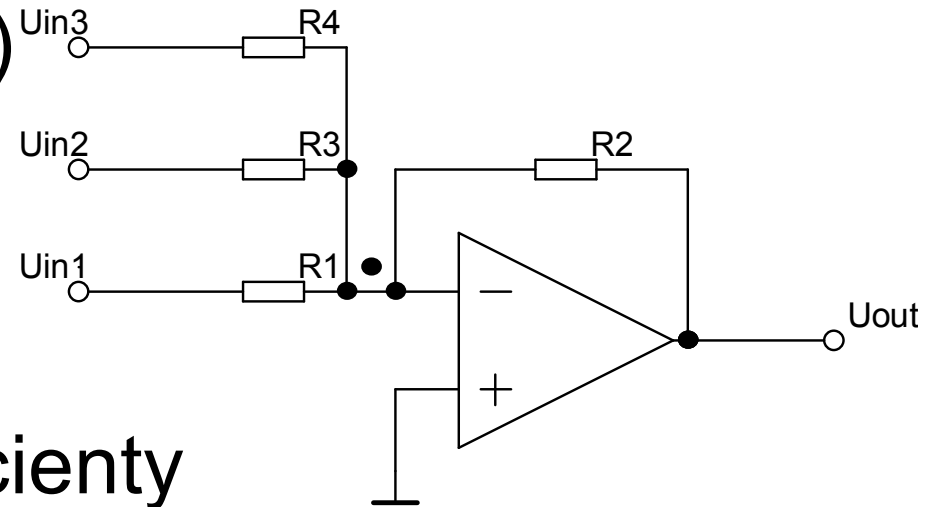
- Rozdílový (diferenciální) zesilovač

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1} (U_{-1} - U_{+1})$$



- Sumátor (sčítací zesilovač)

$$U_{out} = -(U_{in1} + U_{in2} + U_{in3})$$



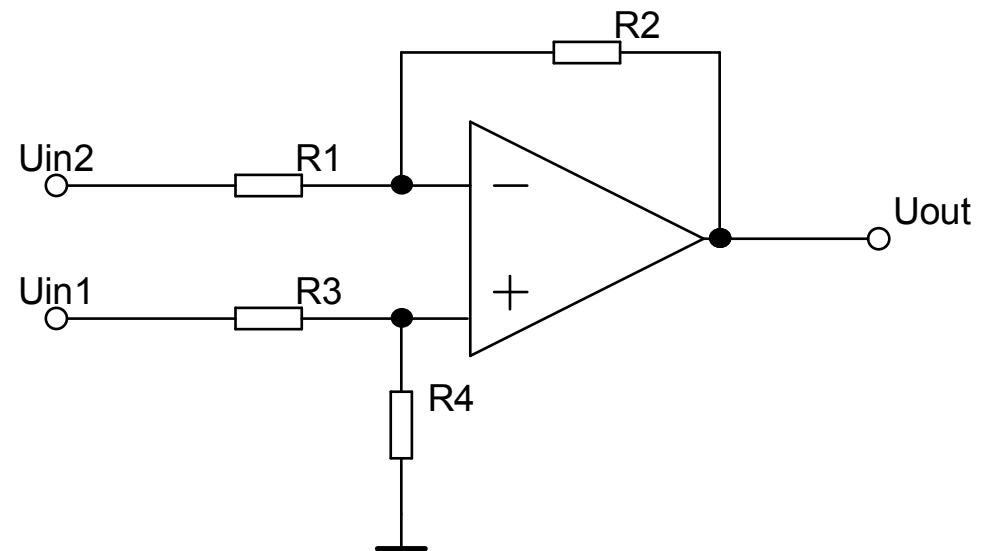
- Sumátor s váhovými koeficienty

$$U_{out} = (U_{in1} \cdot R_2 / R_1 + U_{in2} \cdot R_2 / R_3 + U_{in3} \cdot R_2 / R_4)$$

- Odečítání signálů

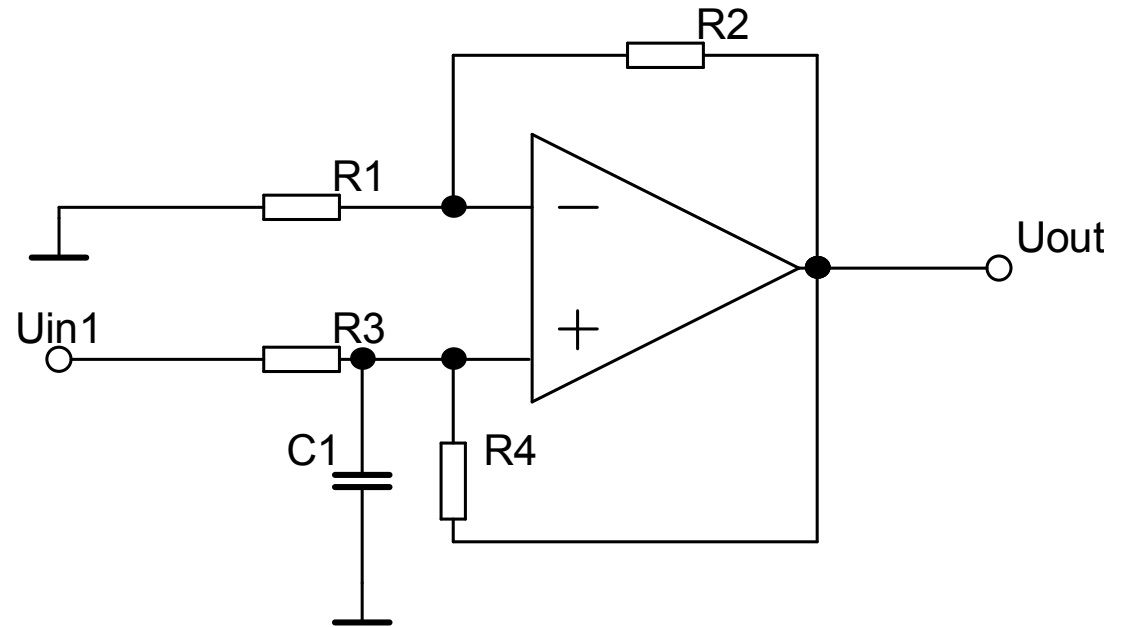
$$U_{out} = U_{in1} - U_{in2}$$

$$(pro R_2 = R_1, R_3 = R_4)$$



- Integrátor

$$U_{out} = \frac{2}{RC} \int_0^t U_{in1}(t) dt$$



- Derivátor

$$U_{out}(t) = -R_2 C \frac{dU_{in1}(t)}{dt}$$

