

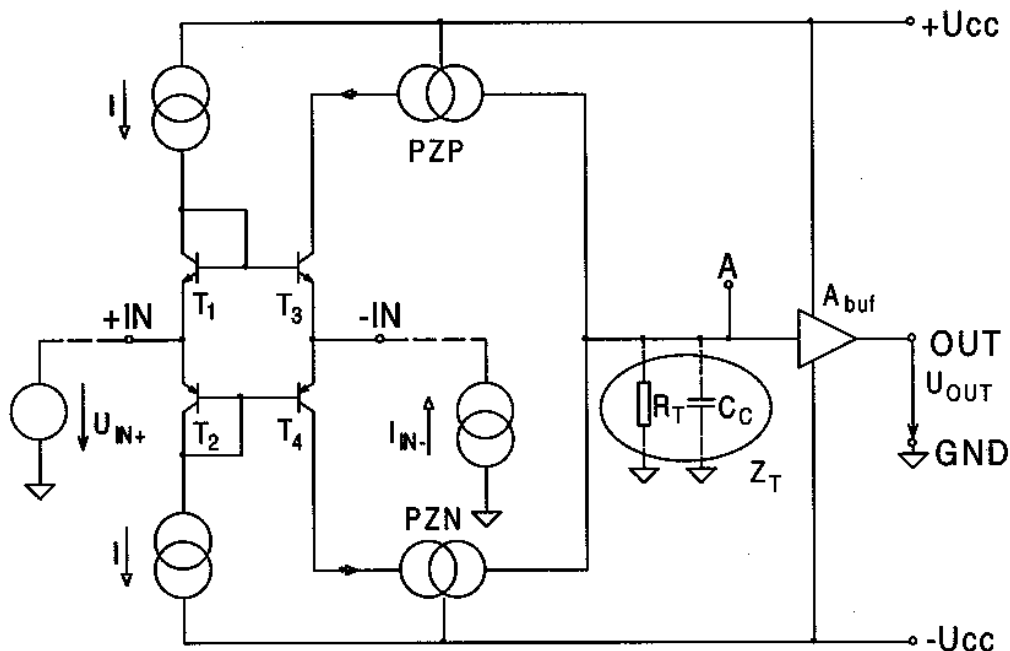
**Operační zesilovače
s proudovou zpětnou vazbou**
(modely & obvodové vlastnosti)

1. Úvod, základní princip TIA

TIA = TransImpedance Amplifier (též OTI = Operational TransImpedance amplifier):

- patří mezi moderní a dostupné prvky "částečného" proudového režimu (vstup I_{in} , popř. též U_{in} , výstup U_{out})
- vyvinul se z napěťového OZ metodou vřazení "aktivní zpětné vazby" (1988 **Bowers** et. al.)
- obvodově má blízko k proudovému konvejšoru (typické uspořádaní jej v sobě zahrnuje)

Zjednodušená struktura TIA (2. generace)



Princip:

- 1) T_1 a T_3 = proud. zrcadlo "N", T_2 a T_4 = proud. zrcadlo "P"
 T_1 a T_2 = "biasované" diody, dvojí funkce T_3 a T_4 :
 - z pohledu bází oboupolaritní emitorové sledovače
 - z pohledu emitorů oboupolaritní zapojení SB \Rightarrow velká Z_{IN+} , malá Z_{IN-} , chování sledovače napětí
- 2) změny úrovní ve sledovači snímány PZP, PZN, transformace na napětí ve styčném vysokoimp. uzlu A:

$$U_{OUT} = Z_T I_{IN-}, \quad Z_T \dots \text{transimpedanční zisk } [\Omega]$$

2. Modely TIA pro analýzu elektronických obvodů

Model ideálního TIA (ITIA)

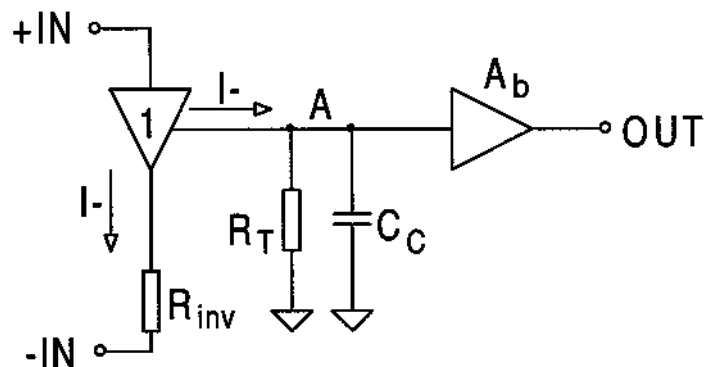
- ① nekonečné, reálné $Z_T (=R_T)$ na všech kmitočtech
- ② nulové vnitřní rušivé zdroje
- ③ $Z_{IN+} \rightarrow \infty$, $Z_{IN-} = 0$, $Z_{OUT} = 0$
- ④ nekonečné potlačení souhlasných vstupních veličin

Polemika:

- Z vlastnosti ① vyplývá "virtuální zkrat" (stejně jako u IOZ) a nulový vst. proud invertující svorky.
- Podle ③ má však invertující svorka nulový odpor \Rightarrow rozdíl oproti IOZ!
- Předchozí dvě tvrzení nejsou v rozporu:
 - pokud $|Z_T| = \infty$, pak je ITIA identický s IOZ (nulorová dvojice)
 - pokud $|Z_T| < \infty$, ale i blízké nekonečnu, jsou ITIA a IOZ formálně rozdílné!

Výsledek: *pojmy ITIA a IOZ neztotožňovat, i při velikém zesílení se projeví odlišné obvodové chování TIA...*

Model pro analýzu ve frekvenční oblasti



respektuje:

- impedanční poměry, kmit. závislé zesílení 1. řádu
- šířku pásma ZV soustavy při malých i velkých ziscích

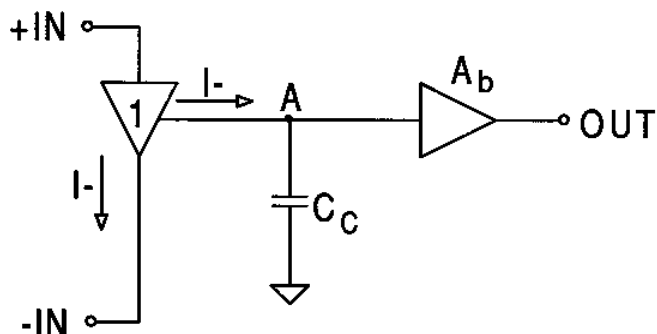
neřeší:

- ss chybové parametry (napětový a proudový offset a jejich drifty)
- otázky limitace zesilovače, přeběhové rychlosti (toto patří do nelineárních parametrů!)

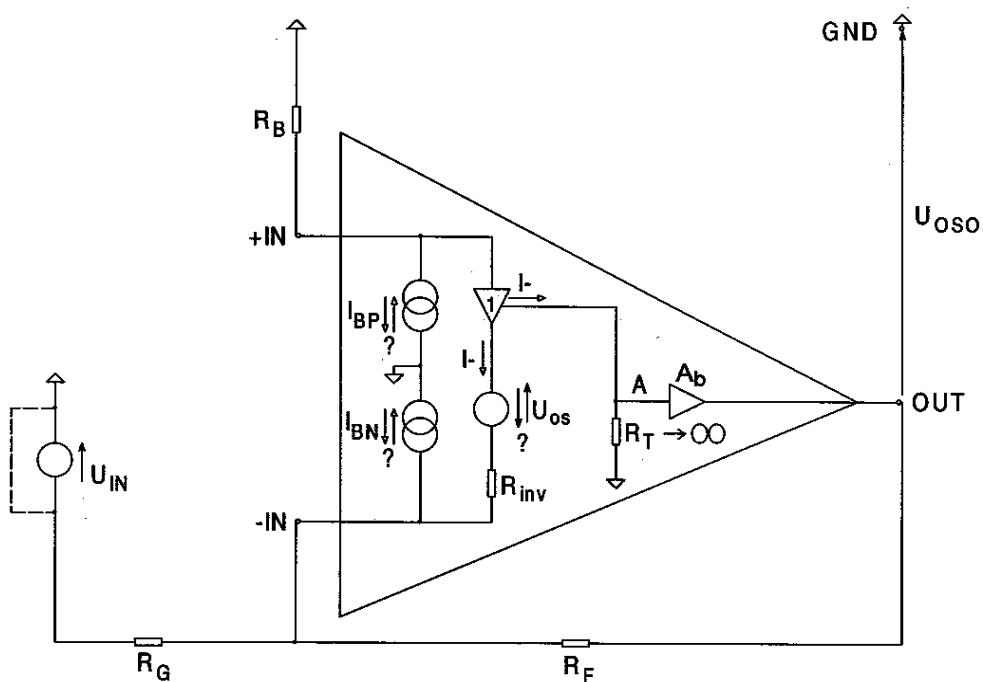
2. Modely TIA pro analýzu elektronických obvodů (dokončení)

Model pro analýzu v časové oblasti

- představa TIA jako jednoduchého proudového integrátoru
- ve frekvenční oblasti modeluje vř chování TIA
- jednoduchá demonstrace nekonečné SR – neomezený proud na nabíjení vnitřní kapacity



Model pro analýzu stejnosměrných chyb



$$U_{OSO} = \pm U_{OS} \left(1 + \frac{R_F}{R_G} \right) \pm I_{BP} R_B \left(1 + \frac{R_F}{R_G} \right) \pm I_{BN} R_F$$

Model pro analýzu stejnosměrných chyb (dokončení)

2 zdroje ss chyb TIA:

- *chybové napětí* U_{OS} ,
- *chybový proud* $I_{OS} = |I_{BP}| - |I_{BN}|$

kompensace proudové složky: poslední dva členy nulové

$$\Leftrightarrow \text{podmínka } R_B = R_F \parallel R_G$$

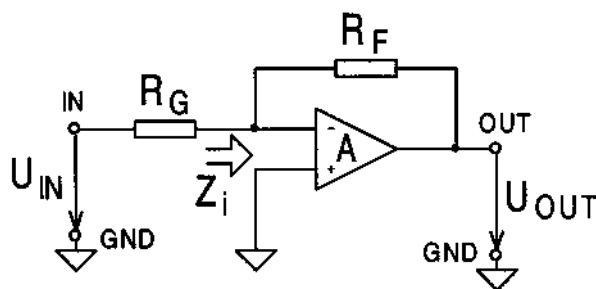
potíže:

- vztah ve skut. závisí ještě na proud. poměru I_{BN}/I_{BP} a jeho *znaménku* \Leftrightarrow při nepříznivé korelaci parametrů součástek ve vstupním dílu TIA se offset může i zvýšit (!)

kompensace napěťové složky – výstupní offset U_{OSO} závisí na zisku soustavy, lze kompenzovat jedině nulováním U_{OS} (zásah do vnitřní struktury nebo klasické ext. nulování)

3. Vlastnosti zpětnovazebních soustav s TIA

běžná OS invertujícího zesilovače:



osazená **napěťovým OZ**

nízká Z_i dána pouze zpětnovazebním efektem
samotný zesilovač vysoké Z_{in}

×

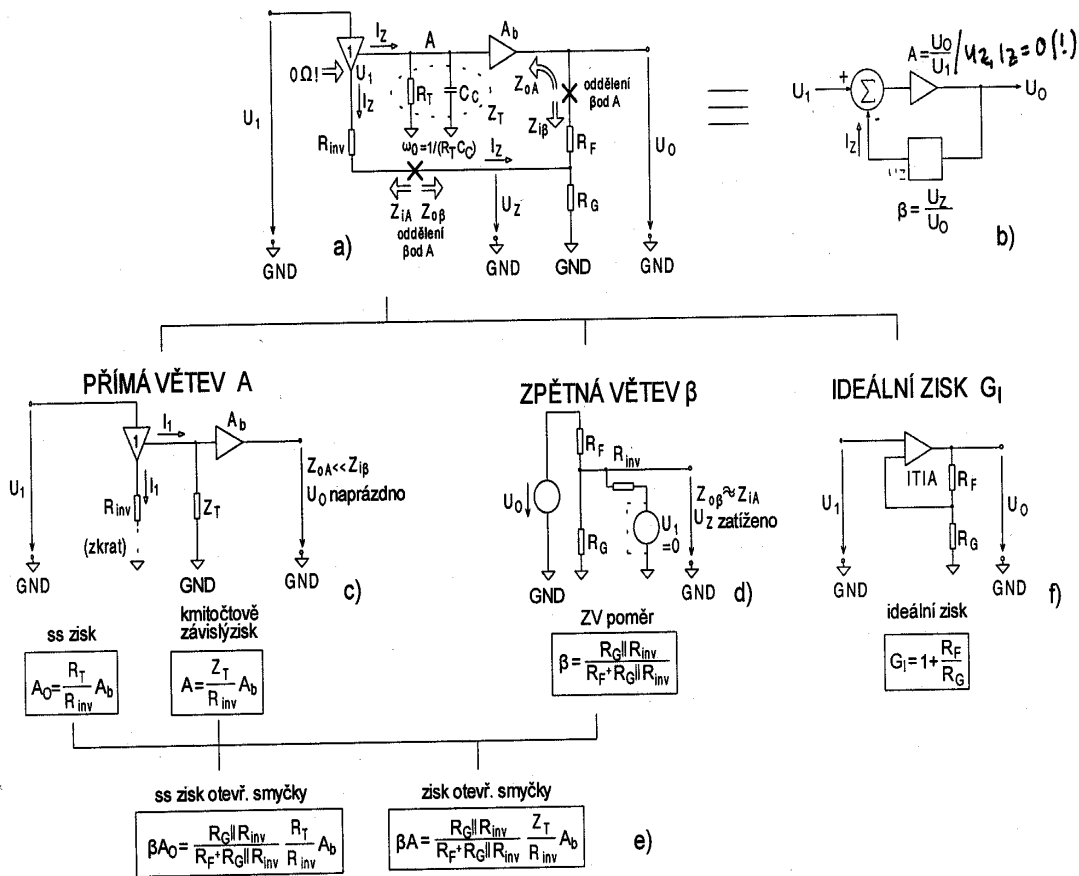
osazená **TIA**

invertující svorka je z principu nízkoimpedanční, pro ZV-efekt je rozhodující její proud (byť zanedbatelně malý)

\Leftrightarrow **proudová ZV představuje kvalitativně jiný druh vazby v OS !**

Pozn.: pozor na terminologickou nejednotnost: s termínem *proudová ZV* se setkáváme i u řazení bloků obecné ZV soustavy

Postup analýzy ZV soustavy neinvertujícího zesilovače



- zapojení rozdělím na celky a určím dílčí přenosy G_1 , β , A (pozor na zachování impedančních poměrů!)
- aplikuji Blackův vztah: $G = G_1 \beta A / (1 + \beta A)$, šířka pásma uzavřené soustavy bude $\omega_C = \omega_0 (1 + \beta A_0)$

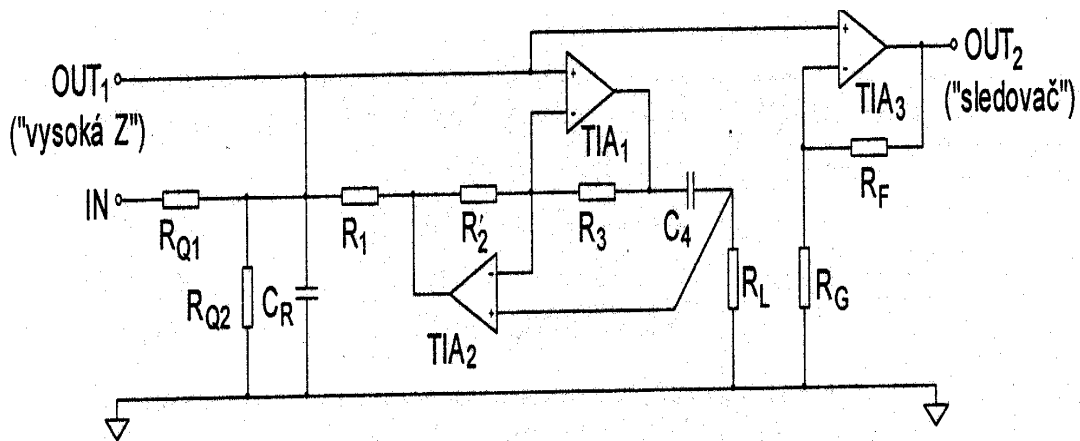
Výsledky a komentář:

- zpětnovazební poměr sítě je při $R_{inv} = 0$ roven $1/R_F \Rightarrow$ **obecná závislost na absolutních hodnotách prvků**
 - platí pro šířku pásma, která je při malých ziscích pro daný R_F konstantní: $f_C = A_b / (2R_F C_C)$
- *Pozor: citlivost na absolutní hodnoty přináší větší hrozbu nestability, např. zvýšenou citlivost na parazitní kapacity invertujícího vstupu!*

4. Příklad: Bikvad s TIA

- realizuje paralelní rezonátor s prvky R_Q, L_{ekv}, C_R , indučnost realizována "synteticky", tj. *Antoniovým konvertorem*
- 2 možnosti, jak realizovat L_{ekv} : verze s kapacitorem C_2 , resp. C_4
- Při analýze se *potencionální nestabilita projeví i v náhradním schématu* (viz záporné obvodové prvky), respektive činitelem jakosti obvodu $Q_{PP} \rightarrow \infty$, závislým na jakosti Q_L induktoru
- **Výhody použití TIA v obvodu: schopen realizovat velká Q_{PP} , malé kmitočtové chyby, vysoké pracovní frekvence**

Schéma bikvadu



Náhradní zapojení induktoru

NF VARIANTA	VF VARIANTA
$L_P = L_{id} \frac{R_T + 3R_X}{R_T + R_X}$ $G_P = \frac{2}{R_T + 3R_X}$	$L_P = L_{id}, R_S = -\frac{3 \cdot GBP \cdot C \cdot R_X}{2(3 + GBP \cdot C)}$ $G_P = \frac{2}{3R_X}, L_S = -\frac{9L_{id}}{2(3 + GBP \cdot C)}$
$Q(\omega=1) \doteq \frac{1}{2} \frac{R_T}{R_X}$	$Q(\omega=1) \doteq \frac{1}{2} \frac{C}{C_C}$

Shrnutí-vlastnosti TIA v operační síti

výhody:

- přibližně konstantní šířka pásma soustavy pro určitý rozsah zisků \Rightarrow výhoda při konstrukci zesilovačů s říditelným ziskem
- dobré frekvenční vlastnosti – šířka pásma může dosahovat desítek MHz
- vysoká rychlost přeběhu, krátká doba ustálení \Rightarrow výhoda pro "impulsní aplikace", zapojení s rychlými A/D a D/A převodníky
- některé typy TIA mají vyveden "konvektorový výstup" \Rightarrow podstatné rozšíření aplikačních možností

nevýhody:

- podle požadované šířky pásma soustavy je v praxi nutno volit velikost ZV prvku (např. rezistoru), např. u zapojení invertujícího zesilovače vychází proto velmi malý vstupní odpor
- nižší úroveň potlačení souhlasného vstupního signálu, zejména u zapojení diferenčního zesilovače (vstupy TIA nemají stejné vlastnosti...)
- většinou vyšší a hůře korigovatelné ss chyby
- velká citlivost na parazitní kapacity ve zpětné vazbě a na kapacitní zátěž výstupu \Rightarrow nutnost dodržet doporučený návrh desky plošných spojů, řídit jen velmi malé kapacitní zátěže