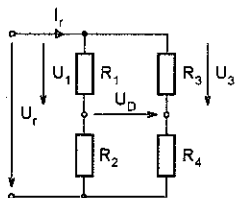
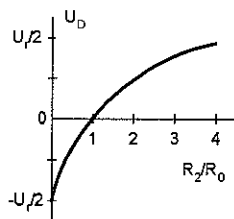


5.5 Přístrojové zesilovače

Jsou určeny k zesilování malých rozdílových napětí s velkou souhlasnou složkou. Typickým zdrojem tohoto signálu je *pasivní rezistorový můstek*, napájený ze zdroje napětí nebo proudu obr.5.21, [10], [13], [14], [15], [16], [23].



a) zapojení můstku



b) převodní charakteristika

Obr.5.21 Pasivní rezistorový můstek a jeho převodní charakteristika

Pro výstupní napětí můstku platí

$$U_D = U_3 - U_1 = U_r \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \quad (5.62)$$

Při vyváženém můstku, tj., při $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_0$, je napětí $U_D = 0$. Při změně jednoho z rezistorů, např. při $R_2 = R_0 + \Delta R$, je za předpokladu $R_0 \gg \Delta R$ výstupní napětí můstku

$$U_D \approx U_r \frac{\Delta R}{4 R_0} \quad (5.63)$$

Nevýhodou zapojení je malá citlivost můstku U_D/U_r a nelinearita převodní charakteristiky, projevující se při větších změnách rezistoru R_2 . Stejně vlastnosti mají můstky, u kterých se mění vždy jen jeden z rezistorů.

Při shodné změně rezistorů $R_2 = R_3 = R_0 - \Delta R$ má můstek dvojnásobnou citlivost vzhledem k předchozímu zapojení

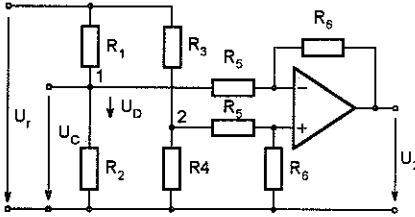
$$U_D \approx U_r \frac{\Delta R}{2 R_0} \quad (5.64)$$

a jeho převodní charakteristika je lineární. Můstek se změnou všech čtyř rezistorů, např. $R_2 = R_3 = R_0 + \Delta R$, $R_1 = R_4 = R_0 - \Delta R$ má maximální citlivost

$$U_D \approx U_r \frac{\Delta R}{R_0} \quad (5.65)$$

a jeho převodní charakteristika je též lineární.

Pro zesílení rozdílového napětí můstku se v nejjednodušším případě užívá rozdílový zesilovač, obr.5.22.



Obr.5.22 Pasivní můstek s rozdílovým zesilovačem

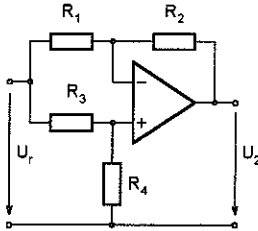
Za předpokladu, že pro rezistory platí $R_5 \gg R_1 \parallel R_2$ a $R_5 \gg R_3 \parallel R_4$, je výstupní napětí rozdílového zesilovače

$$U_2 = U_r \frac{R_6}{R_5} \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

Souhlasné napětí můstku $U_C = U_r/2$ způsobuje chybu výstupního napětí, která je určena činitelem potlačení CMRR operačního zesilovače a párovou neshodností rezistorů R_5, R_6 .

Aktivní rezistorový můstek na obr.5.23 má při shodných jmenovitých hodnotách rezistorů $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_0$ nulové výstupní napětí. Při změně odporu rezistoru $R_2 = R_0 + \Delta R$ je

$$U_2 = -\frac{U_r}{2} \frac{\Delta R}{R_0} \quad (5.66)$$



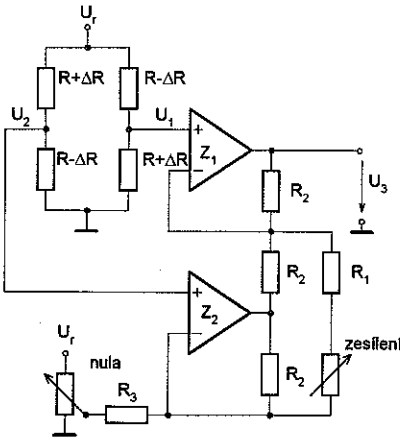
Obr.5.23 Aktivní rezistorový můstek

Můstek má lineární převodní charakteristiku v celém rozsahu změn $\Delta R/R_0$.

Asymetrický přístrojový zesilovač na obr.5.24 je tvořen zesilovači Z_1, Z_2 , zapojenými jako zesilovače napětí $U - U$. Pro rozdílové zesílení zesilovače platí

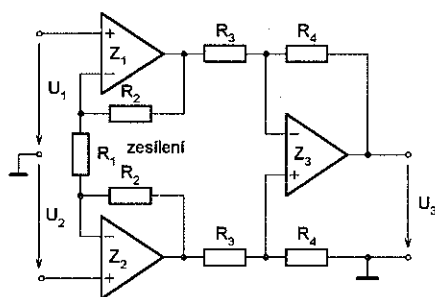
$$\frac{U_3}{(U_1 - U_2)} = 2 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (5.67)$$

Rezistorem R_1 se mění rozdílové zesílení přístrojového zesilovače. Napětím na rezistoru R_3 se kompenzuje nesymetrie rezistorů můstku, napěťová nesymetrie zesilovačů a nepřesnost rezistorů R_2 .



Obr.5.24 Asymetrický přístrojový zesilovač

Symetrický přístrojový zesilovač na obr.5.25 se skládá ze vstupních zesilovačů napětí, tvořenými zesilovači Z_1 , Z_2 a výstupního rozdílového zesilovače Z_3 . Rozdílové zesílení přístrojového zesilovače je dáno součinem rozdílového zesílení vstupních zesilovačů a výstupního rozdílového zesilovače



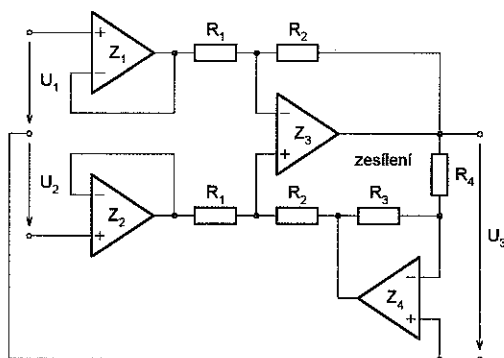
$$\frac{U_3}{U_2 - U_1} = \frac{R_4}{R_3} \left(1 + 2 \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (5.68)$$

Rozdílové zesílení se obvykle mění změnou rezistoru R_1 . Při shodných dvojicích rezistorů R_2 , R_3 , R_4 je souhlasné zesílení vstupního rozdílového stupně +1 a výstupního rozdílového zesilovače 0. Skutečné souhlasné zesílení přístrojového zesilovače je určeno párovými nepřesnostmi rezistorů R_2 , R_3 , R_4 . Poměrem

Obr.5.25 Symetrický přístrojový zesilovač

rezistorů R_3/R_4 lze nastavit maximální činitel potlačení CMRR.

Přístrojový zesilovač s lineárním zesílením na obr.5.26 umožňuje změnou rezistoru R_4 lineárně měnit rozdílové zesílení podle vztahu



$$\frac{U_3}{U_2 - U_1} = \frac{R_2 R_4}{R_3 (R_1 + R_2)}$$

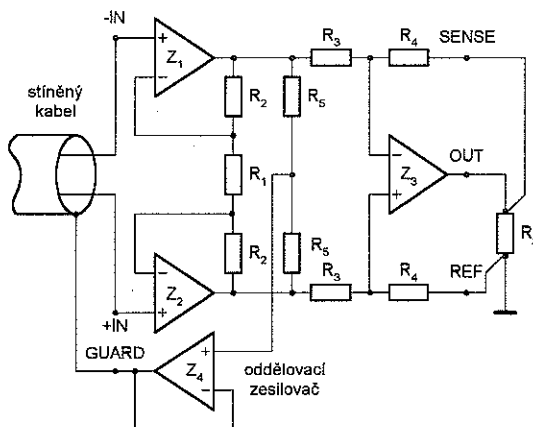
Při $R_1 = R_2$ je rozdílové zesílení

$$\frac{U_3}{U_2 - U_1} = \frac{R_2 R_4}{2 R_1 R_3} \quad (5.69)$$

Pro potlačení vlivu souhlasného napětí a svodu přívodních kabelů se užívá metod aktivního stínění a vlečného napájení.

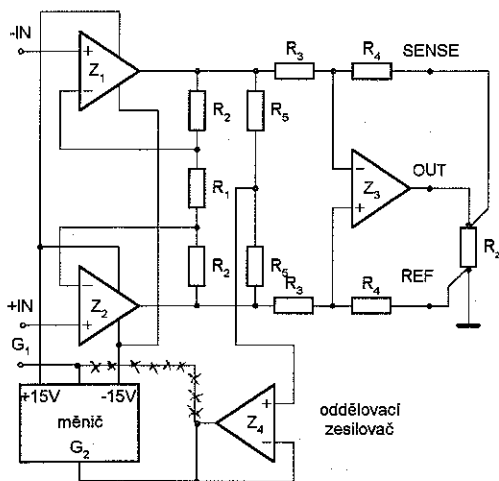
Obr.5.26 Přístrojový zesilovač s lineárně proměnným zesílením rezistorem R_4

Přístrojový zesilovač s aktivním stíněním (guarding) na obr.5.27 má děličem s rezistory R_5 odvozenou střední hodnotu vstupních napětí, kterou je po impedančním oddělení zesilovačem Z_4 buzen plášť kabelu. Čtyřsvorkové připojení zátěže snímacími svorkami REF a SENSE potlačuje vliv odporu přívodů k zátěži Z_L .



Obr. 5.27 Přístrojový zesilovač s aktivním stíněním

Přístrojový zesilovač s vlečným napájením (bootstrapping) má oddělené napájení vstupních zesilovačů měničem, jehož země G_1 , G_2 jsou spojeny s pláštěm přívodních kabelů a se středem symetrického napájení výstupního zesilovače Z_3 , obr. 5.28. Zapojení se užívá tam, kde souhlasná složka vstupního rozdílového napětí je podstatně vyšší, než je dovolené maximální souhlasné napětí zesilovačů Z_1 , Z_2 .



Obr. 5.28 Přístrojový zesilovač s vlečným napájením vstupů