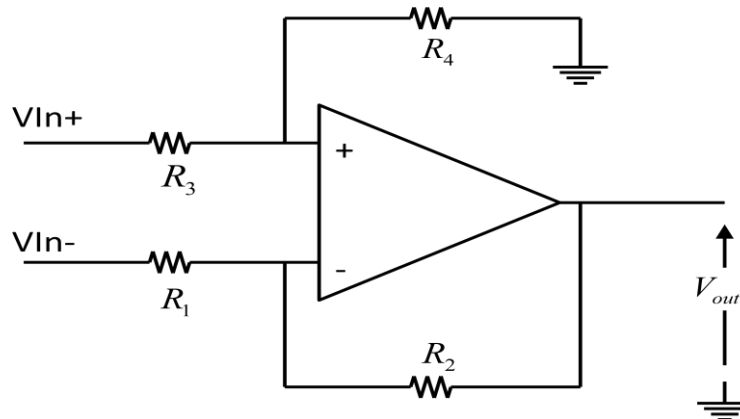


ELEC-H-313 – Instrumentation

Exercices sur le CMRR

L'amplification différentielle à 1 ampli-op



Calculer le gain en mode commun et le gain différentiel du montage amplificateur à 4 résistances.

$$V_o = V_{in+} \frac{R_4}{R_3 + R_4} \frac{R_2 + R_1}{R_1} - V_{in-} \frac{R_2}{R_1}$$

Pour calculer le gain en mode commun, on a par définition

$$V_{in+} = V_{in-} = V_{cm}$$

Et donc

$$V_o = V_{cm} \frac{R_4}{R_3 + R_4} \frac{R_2 + R_1}{R_1} - V_{cm} \frac{R_2}{R_1}$$

$$G_{cm} = V_o / V_{cm} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \frac{R_2 + R_1}{R_1} - \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_1 (R_3 + R_4)}$$

Pour calculer le gain en mode différentiel, on a par définition

$$V_{in+} = -V_{in-} = V_{dm} / 2$$

Et donc

$$V_o = \frac{V_{dm}}{2} \frac{R_4}{R_3 + R_4} \frac{R_2 + R_1}{R_1} + \frac{V_{dm}}{2} \frac{R_2}{R_1}$$



$$G_{dm} = V_o / V_{dm} = \frac{1}{2} \frac{R_4}{R_3 + R_4} \frac{R_2 + R_1}{R_1} + \frac{1}{2} \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_1 + R_2}{2R_1} \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

Que vaut le CMRR si $R_1 = R_3 = 1k\Omega$ et $R_2 = R_4 = 10k\Omega$?

$$A_{mc} = 0 \text{ et } A_d = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} \rightarrow CMRR = \infty$$

Que vaut le CMRR si la tolérance sur les résistances est de 1% ?

Prenons par exemple le worst case, c'est-à-dire le CMRR minimum. Soit le code Matlab suivant :

```
Tol = 0.99:0.001:1.01;
```

```
R1_nom = 1;
```

```
R2_nom = 10;
```

```
R3_nom = 1;
```

```
R4_nom = 10;
```

```
CMRR_min = inf;
```

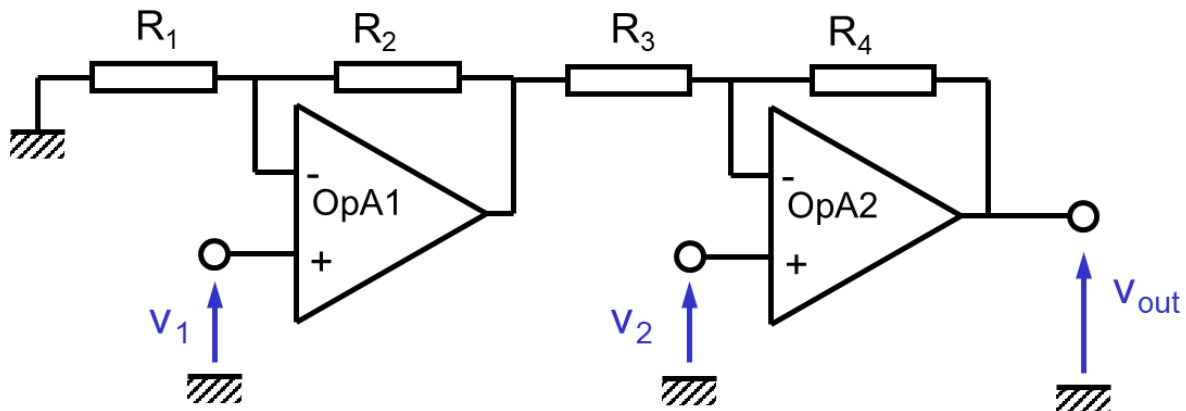
```
for index_r1 = 1:length(Tol)
    for index_r2 = 1:length(Tol)
        for index_r3 = 1:length(Tol)
            for index_r4 = 1:length(Tol)
                R1 = R1_nom*Tol(index_r1);
                R2 = R2_nom*Tol(index_r2);
                R3 = R3_nom*Tol(index_r3);
                R4 = R4_nom*Tol(index_r4);
                Gmc = R4/(R3+R4)*(R2+R1)/R1 - R2/R1;
                Gmd = 1/2*(R4/(R3+R4)*(R2+R1)/R1 + R2/R1);
                CMRR = 20*log10(abs(Gmd/Gmc));
                if CMRR < CMRR_min
                    CMRR_min = CMRR;
                end
            end
        end
    end
end
```

Le CMRR minimum obtenu vaut 48.8 dB.

Sur base des résultats précédents, expliquer quelle serait l'influence de résistances de sources non négligeables.

Les gains en mode commun et en mode différentiel seraient largement modifiés et le CMRR résultant serait bien moins bons (exemple avec résistances R_1 et R_3 qui varient de 50% alors que cas précédent 1%)

L'amplification différentielle à 2 amplis-op



Quel est le gain du mode commun GMC et le gain du mode différentiel G_d de ce schéma?
Que devient G_d lorsque les résistances sont choisies de sorte à annuler le mode commun?

Calcul des gains

$$V_x = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_1$$

$$\Rightarrow V_{out} = -\frac{R_4}{R_3} \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_1 + \frac{R_3 + R_4}{R_3} V_2$$

Calcul du gain du mode commun

$$V_1 = V_2 = V_{MC}$$

$$\Rightarrow G_{MC} = \frac{V_{out}}{V_{MC}} = \frac{R_1 R_3 + R_1 R_4 - R_1 R_4 - R_2 R_4}{R_1 R_3} = 1 - \frac{R_2 R_4}{R_1 R_3}$$

Calcul du gain du mode différentiel

Si on prend

$$V_2 = -V_1 = \frac{V_d}{2}$$

$$\Rightarrow G_d = \frac{V_{out}}{V_d} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{R_4}{R_3} + \frac{R_4}{R_3} \frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{R_4}{R_3} \left(2 + \frac{R_2}{R_1} \right) \right)$$

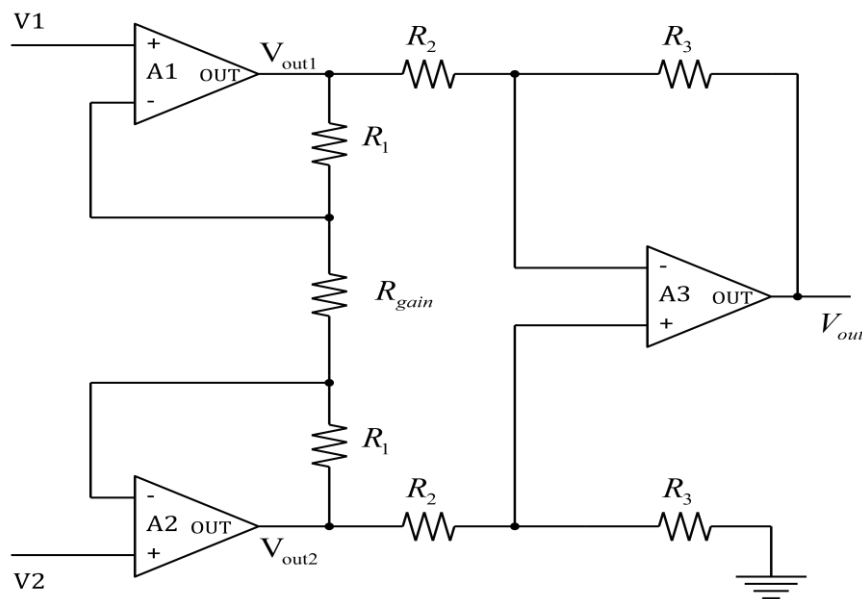
Si les résistances sont choisies de sorte à annuler le mode commun

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$$

$$\Rightarrow G_d = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \left(2 + \frac{R_2}{R_1} \right) \right)$$

$$\Leftrightarrow G_d = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

L'amplification différentielle à 3 amplis-op



Calculer le gain différentiel de ce montage.

Le calcul du gain peut se diviser en deux étapes :

- Le gain A_{d1} entre l'entrée du système ($V_1 - V_2$) et la sortie des amplificateurs A_1 et A_2
- Le gain A_{d2} entre la sortie des amplificateurs A_1 et A_2 et la sortie du système

Ces deux parties sont dissociées car les amplificateurs A_1 et A_2 sortent en basse impédance et leur tension de sortie n'est donc pas influencée par la charge en aval. De ce fait, le gain total du système vaut :

$$A = A_{d1} \cdot A_{d2}$$

Pour le calcul du premier étage, on peut appliquer le principe de superposition. Si on applique une tension de $V_{diff}/2$ sur V_1 et de 0V sur V_2 , on obtient une différence de potentiel de $V_{diff}/2 - 0 = V_{diff}/2$ aux bornes de la résistance R_g . Le courant dans R_g vaut donc $V_{diff}/(2 R_g)$ et la tension en sortie :



$$V_{out1,diff/2} = \frac{V_{diff}}{2} \frac{1}{R_{gain}} (2 R_1 + R_g)$$

Le système étant symétrique, la tension résultante en appliquant une tension de $-V_{diff}/2$ sur V_2 et de 0V sur V_1 sera identique. La tension totale en sortie est double et le gain vaut :

$$A_{d1} = 1 + \left(2 \frac{R_1}{R_g} \right)$$

De manière similaire, pour le calcul du deuxième étage, on peut appliquer le principe de superposition. Si on applique une tension de $V_{diff}/2$ à la sortie de A_1 et de 0V à la sortie de A_2 , on obtient :

$$V_{out2,diff/2} = -\frac{V_{diff}}{2} \frac{R_3}{R_2}$$

Si on applique une tension de $-V_{diff}/2$ à la sortie de A_2 et de 0V à la sortie de A_1 , on obtient :

$$V_{out2,-diff/2} = -\frac{V_{diff}}{2} \left(\frac{R_2 + R_3}{R_2} \right) \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) = -\frac{V_{diff}}{2} \frac{R_3}{R_2}$$

Comme nous cherchons le gain et pas la phase, le signe moins nous intéresse peu. Le gain vaut :

$$A_{d2} = \frac{R_3}{R_2}$$

Quels sont les avantages de ce montage par rapport à l'amplification différentielle à 1 ampli-op ?

Moins d'influence par rapport aux impédances de source et gain en mode différentiel plus élevé grâce au premier étage d'amplification.