



## TD10 Amplificateur d'Instrumentation :

Ce type d'amplificateur est destiné à "extraire" les signaux issus de capteurs, d'amplitudes souvent faibles, d'une tension de mode commun élevée, considérée comme une perturbation, et à les amplifier avec un gain ajustable, précis et stable.

Le modèle de l'Amplificateur Linéaire Intégré (ALI), incluant les imperfections qui vont être prises en compte, est donné à la figure B-1 et celui de l'amplificateur d'instrumentation idéal à la fig B-2. On peut définir l'erreur introduite par un taux de réjection de mode commun CMRR, non infini, par le rapport suivant :

$$\varepsilon_{CMRR} = \frac{A_{mc} \cdot V_{ec}}{A_d \cdot V_{ed}}$$

Cette erreur a deux origines :

- le CMRR1 de l'amplificateur intégré (ALI) donné par le fabricant;
- le CMRR2 dû au principe d'association des composants discrets autour de l'ALI.

La recherche de l'expression du CMRR2 dans 2 montages différents va permettre une étude comparative et une quantification de l'influence de la tolérance K% des résistances sur sa valeur. Pour K% = 5% on aura K = 0,05.

Pour ce calcul, la définition approchée suivante sera adoptée :

$$CMRR2 = \frac{A_d \text{ pour la valeur nominale des résistances (soit } K = 0)}{A_{mc} \text{ prenant en compte la valeur de la tolérance } K}$$

Il est demandé, pour les 2 montages, de formuler ce CMRR2 par des expressions littérales de formes similaires afin de faciliter la comparaison.

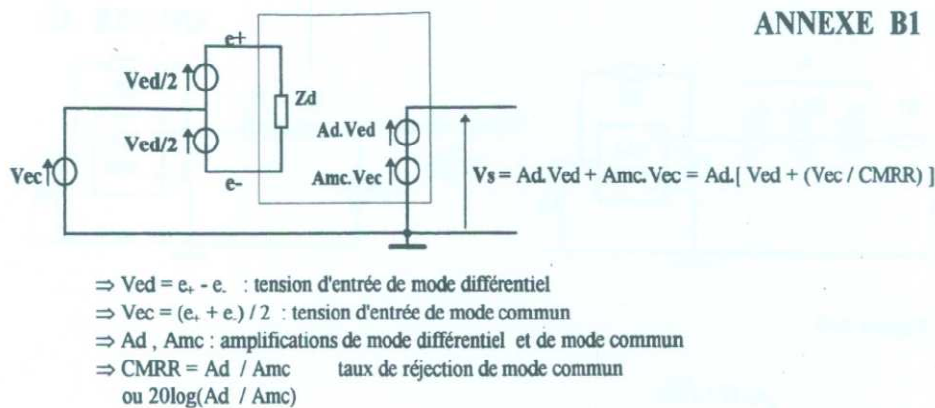


Figure B-1

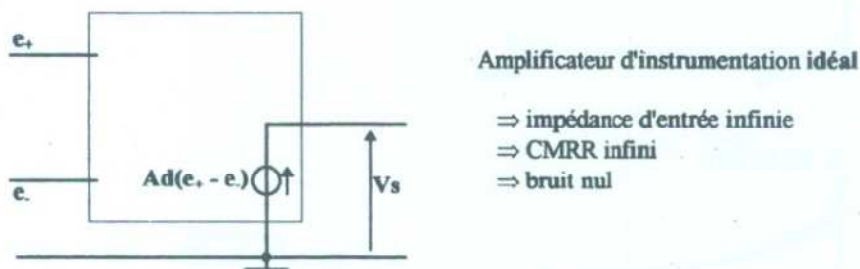


Figure B-2



## Amplificateur différentiel élémentaire (un seul aop)

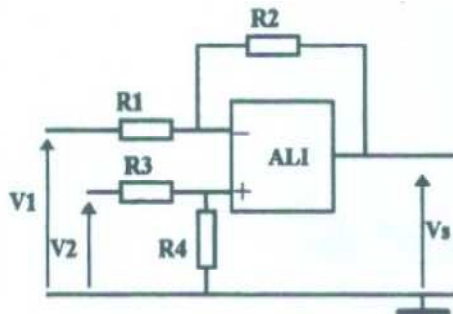


Figure B-3

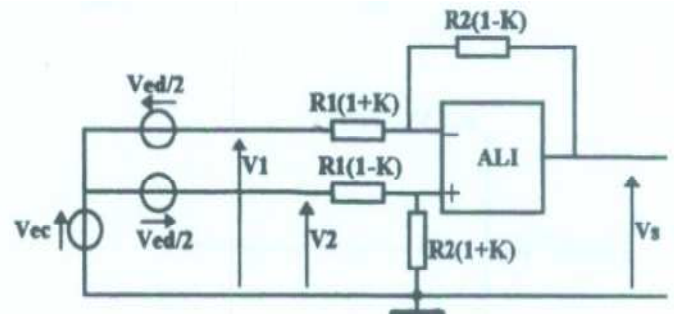


Figure B-4

On démontre, pour la structure la plus simple d'un amplificateur différentiel donnée à la figure B-3, que:

$$Ad2 = \frac{Vs}{(V2 - V1)} = \frac{R2}{R1} \text{ si } \frac{R4}{R3} = \frac{R2}{R1}$$

Le montage d'étude de la figure B-4 va permettre de quantifier l'influence de la tolérance des résistances sur le CMRR dans le cas où  $R2/R1 = R4/R3$  ; il propose la situation la plus défavorable.

- B-1. Exprimer  $Vs = f(\text{Vec}, K, R1, R2)$  lorsque  $Ved = 0$  dans le montage de la figure B-4. Comme  $K \ll 1$ , montrer que cette expression peut se mettre sous la forme:  
 $Vs = \text{A}mc2 \cdot \text{Vec}$  avec  $\text{A}mc2$  de la forme  $(A.K)$   
 Exprimer  $\cdot \text{A}mc2$ .
- B-2. En tenant compte des hypothèses et des résultats des deux précédentes questions, donner l'expression approchée de  $\text{CMRR2} = f(K, R1, R2)$ . Quelles conséquences tirez-vous concernant le dimensionnement et le choix des résistances  $R1$  à  $R4$  pour se rapprocher le plus possible des propriétés de l'amplificateur idéal défini à la figure B-2? Peut-on satisfaire simultanément ces trois propriétés?
- B-3. Exprimer l'erreur  $\epsilon_{\text{CMRR2}}$  introduite par ce montage en y faisant apparaître  $\text{CMRR2}$ .  
 $\epsilon_{\text{CMRR2}} = f(\text{CMRR2}, \text{Vec}, V2, V1)$ .  
**Application numérique :**  $V1 = 10V$      $V2 = 10,1V$      $R2/R1 = 100$ .  
 Calculer  $\text{CMRR2}$  et  $\epsilon_{\text{CMRR2}}$  pour  $K\% = 5\%$  puis  $0,1\%$ .

### Il reste maintenant à quantifier l'erreur supplémentaire introduite par l'ALI.

- B-4. Exprimer la tension à la sortie du montage figure B-3 (pour  $R1=R3$  et  $R2=R4$ ) à partir de l'expression de la tension à la sortie de l'ALI de la forme  $Vs = Ad \cdot Ved + \text{A}mc \cdot \text{Vec}$  définie à la figure B-1. Y faire apparaître  $\text{CMRR1}$  puis simplifier cette expression en supposant  $\text{CMRR1} \gg 1$  et  $R2 \gg R1$ . En déduire une relation de la forme:  $Vs = A'd \cdot (V2 - V1) + A'mc \cdot ((V1 + V2) / 2)$ . Exprimer  $A'd$  et  $A'mc$ .
- B-5. En déduire l'expression de l'erreur  $\epsilon_{\text{CMRR1}}$  introduite par l'ALI. La comparer à l'expression de  $\epsilon_{\text{CMRR2}}$ .
- B-6. Application numérique:  $V1 = 10V$ .  $V2 = 10,1V$ .     $R2/R1 = 100$   
 Calculer  $\epsilon_{\text{CMRR1}}$  pour les deux ALI ci-dessous:  
 TL.082 AC     $\text{CMRR1} = 80\text{dB}$   
 TLC2652     $\text{CMRR1} = 120\text{dB}$
- B-7. Etablir l'expression littérale du CMRR global de l'amplificateur:  $\text{CMRR} = f(\text{CMRR1}, \text{CMRR2})$ . Calculer le CMRR (exprimé en dB) d'un amplificateur utilisant des résistances à  $0,1\%$  et un ALI du type TLC2652. Quelle recommandation en tirez-vous pour le choix des composants ?



- B-8. Quelle condition stricte permettrait de garantir un CMRR2 infini dans le montage de la figure B-3 ? Cette condition étant satisfaite, quelle serait alors la valeur du CMRR global de l'amplificateur ?

### Amplificateur d'instrumentation à trois étages (3 aops)

Sa structure est donnée à la figure B-6

#### ANNEXE B2

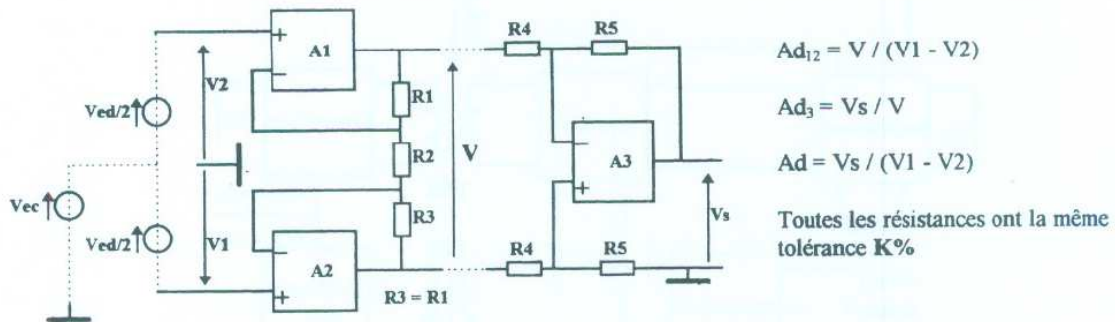


Figure B-6

- B-15. Etablir les expressions de  $Ad_{12}$  et  $Ad$ . La relation  $R1=R3$  est-elle indispensable? Justifier la réponse avec précision et concision. Indiquer une solution pour rendre  $Ad$  ajustable.

**Afin d'étudier l'influence de la tolérance K% des résistances sur le CMRR de l'amplificateur, on remplacera respectivement  $R1$  et  $R3$  par  $R1(1+K)$  et  $R3(1-K)$  puis les résistances  $R4$  et  $R5$  par les grandeurs définies sur la figure B-4.**

- B-16. Exprimer la tension  $V = f(V_{ec})$  lorsque  $V_{ed} = 0$ . Caractériser le CMRR2 de cet amplificateur A1-A2 de sortie  $V$ .
- B-17. En utilisant le résultat de la question B-2, donner l'expression approchée du taux de réjection de mode commun CMRR2 de ce montage à trois étages. Pour une amplification  $Ad$  donnée  $\gg 1$ , en déduire comment choisir les amplifications  $Ad_{12}$  et  $Ad_3$  pour avoir le meilleur CMRR2 (on impose que toutes deux soient supérieures ou égales à 1).
- B-18. Une tension de mode commun  $V_{ec}$ , bien qu'admissible au regard des limites technologiques des ALI, peut entraîner une saturation des sorties des amplificateurs A1 et A2. Si l'on estime à  $\pm 13V$  la zone de fonctionnement linéaire sur les sorties de A1 et A2 où l'on désire une dynamique en tension de  $\pm 10V$ , calculer la plage maximale de variation de  $V_{ec}$ .



Corrigé TD10 Amplificateur d'Instrumentation :

B. L'amplificateur d'instrumentation

Amplificateur différentiel élémentaire

B.1. Figure B-4  $\Rightarrow V_e = V_s \Rightarrow \frac{V_{ec}(1-k)R_2 + V_s(1+k)R_1}{R_2(1-k) + R_1(1+k)} = V_{ec} \cdot \frac{R_2(1+k)}{R_1(1-k) + R_2(1+k)}$

d'où  $V_s = V_{ec} \cdot \frac{4 \cdot k \cdot R_2}{R_2(1+k)^2 + R_1(1-k)^2}$  si  $k \ll 1$  alors  $V_s = \frac{4kR_2}{R_1 + R_2} V_{ec}$  et  $A_{mc2} = \frac{4kR_2}{R_1 + R_2}$

B.2.  $CMRR_2 = \frac{A_{d2}}{A_{mc2}} = \frac{R_1 + R_2}{4kR_1} = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{4k}$  (puisque  $A_{d2} = \frac{R_2}{R_1}$ )

- $\frac{R_2}{R_1}$  le + grand possible ( $CMRR_2 \uparrow$ )
- Résistances élevées pour avoir une grande impédance d'entrée
- Mais  $R_i$  élevées amènent un bruit qui  $\uparrow$  avec  $R$  } donc, adopter un compromis

B.3.  $\epsilon_{CMRR_2} = \frac{A_{mc} \cdot V_{ec}}{A_{d} \cdot V_{ed}} = \frac{V_{ec}}{CMRR_2 (V_2 - V_1)}$

$k=0.05 \Rightarrow CMRR_2 = 50.5$  et  $\epsilon_{CMRR_2} = 0.2$   
 $k=0.001 \Rightarrow CMRR_2 = 25250$  et  $\epsilon_{CMRR_2} = 0.004$

B.4.  $V_s = A_d(e_+ - e_-) + A_{mc} \frac{e_+ - e_-}{2}$

$V_s = A_d \left( V_2 \frac{R_2}{R_1 + R_2} - V_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} - V_s \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) + \frac{A_d}{2 CMRR_1} \left( V_2 \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_s \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$

$V_s \left( 1 + \frac{A_d R_1}{R_1 + R_2} - \frac{A_d R_1}{2 CMRR_1 (R_1 + R_2)} \right) = (V_2 - V_1) \cdot \frac{A_d R_2}{R_1 + R_2} + \left( \frac{V_2 + V_1}{2} \right) \frac{A_d R_2}{CMRR_1 (R_1 + R_2)}$

si  $R_2 \gg R_1$  et  $CMRR_1 \gg 1$  on obtient  $V_s = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) + \frac{R_2}{R_1 \cdot CMRR_1} \cdot \left( \frac{V_2 + V_1}{2} \right)$

soit  $A'_d = \frac{R_2}{R_1}$  et  $A'_{mc} = \frac{R_2}{R_1 \cdot CMRR_1}$

B.5.  $\epsilon_{CMRR_1} = \frac{V_{ec}}{CMRR_1 (V_2 - V_1)}$

même forme que  $\epsilon_{CMRR_2}$

B.6. A.N. TL092AC 80dB  $\rightarrow 10^4$  soit  $\epsilon_{CMRR_1} = \frac{10}{10^4 \times 0.1} = 10^{-2}$  (1%)

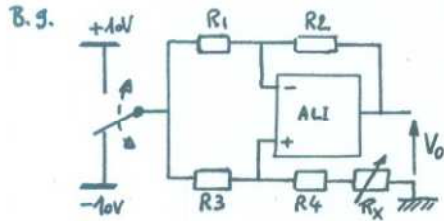
TL2652 120dB  $\rightarrow 10^6$   $\epsilon_{CMRR_1} = 10^{-4}$  (0.01%)

B.7.  $\epsilon_{CMRR} = \epsilon_{CMRR_1} + \epsilon_{CMRR_2} = \frac{V_{ec}}{V_2 - V_1} \left( \frac{1}{CMRR_1} + \frac{1}{CMRR_2} \right) = \frac{V_{ec}}{V_2 - V_1} \cdot \frac{1}{CMRR}$

d'où  $\frac{1}{CMRR} = \frac{1}{CMRR_1} + \frac{1}{CMRR_2} = \frac{1}{10^6} + \frac{1}{25250} = \frac{1}{24630}$  soit 88dB pour le TL2652 et  $k=0.001$

Le CARR d'un montage peut être notablement dégradé, même avec un excellent ALI, si les résistances ne sont pas suffisamment précises.

B.8.  $CMRR_2$  infini si  $R_1 = R_3$  et  $R_2 = R_4 \Rightarrow$  alors  $CMRR = CMRR_1$



- les 2 entrées reliées (pour éliminer  $V_{diff}$ )
- appliquer 2 niveaux de tension (un  $>0$  et un  $<0$ )
- mesurer  $V_0$
- Régler  $R_x$  pour avoir  $\Delta V_0$  le plus faible possible.

B.10.  $R_{Th1} = R1 // R2$  et  $R_{Th2} = R3 // R4$ .

CMRR2 est infini si les résistances vues par les entrées (-) et (+) sont égales.

B.11.  $R1$  et  $R3$  variables avec en permanence :  $\frac{R2}{R1} = \frac{R4}{R3}$

⇒ composant double, bonne précision, pas très facile à mettre en oeuvre.

B.12. A bouclé sur son entrée (+) mais comme [A', R3, R4] est un montage inverseur de phase, on fait |A| comporte une réaction négative ⇒ donc fonctionnement linéaire possible.

△ Erreur sur la figure B.5 : la sortie de l'étage A n'est pas reliée à la masse.

B.13. sur A on  $V_+ = V_-$   $V_1 \frac{R2}{R1+R2} = V_2 \frac{R2}{R1+R2} + (-V_s \frac{R3}{R4} \cdot \frac{R1}{R1+R2})$  d'où  $V_s = \frac{R2}{R1} \cdot \frac{R4}{R3} (V_2 - V_1)$

B.14. Ampli. réglable par  $R4$  variable

CMRR2 infini peut s'obtenir par réglage de  $R2$  (mettre  $R'_2$  var. en série avec  $R2$ )

Amplificateur d'instrumentation à trois étages.

B.15.  $V = (2R1 + R2) \frac{V_2 - V_1}{R2}$   $V_s = -\frac{R5}{R4} V$   $Ad12 = -(1 + 2 \frac{R1}{R2})$  et  $Ad = (1 + 2 \frac{R1}{R2}) \cdot \frac{R5}{R4}$

• Si  $R1 \neq R3$  l'un des 2 étages ( $A1$  ou  $A2$  selon le cas) atteindrait la limite de non linéarité avant l'autre ⇒ donc  $R1 = R3$

•  $Ad$  ajustable ⇒ prendre  $R2$  variable.

B.16. si  $V_{ed} = 0$   $V_1 = V_2$  et  $I_{R2} = 0$  donc  $V = 0$  (Vh)

donc CMRR2 est infini pour cet ampli [A1, A2]

B.17.  $CMRR2 = Ad12 \cdot CMRR2$  de l'étage 3 soit  $CMRR2 = Ad12 \cdot \frac{1 + \frac{R5}{R4}}{4k} = Ad12 \cdot \frac{1 + Ad3}{4k}$

CMRR2 le + important si  $Ad3 = 1$  et  $Ad12 = Ad$  désiré

B.18. Expression de la tension sur la sortie de  $A1$  ou  $A2 = V_{ec} + Ad12 \cdot \frac{V_{ed}}{2}$

d'où  $V_{ec} + Ad12 \frac{V_1 - V_2}{2} \leq$  tension de saturation

$|V_{ec}| \leq 13 - \frac{10}{2} = 8V$  donc  $-8V < V_{ec} < +8V$