

Université de Toulon

IUT de Toulon

Département Génie Electrique et Informatique Industrielle (GEII)

Amplificateur d'instrumentation

Rapport de TP

écrit le 17 octobre 2023

par

Bruno HANNA

Encadrant universitaire : Sebastien PIOCH



Table des matières

Introduction	1
Chapitre 1 Etude Théorique	2
1.1 Pont de Wheatstone	2
1.2 Amplificateur de Différence	3
1.3 Amplificateur d'instrumentation à 3 étages	4
1.3.1 Conclusion sur le CMRR	4
Chapitre 2 Etude Pratique	5
2.1 Pont de Wheastone	5
2.1.1 Configuration Initiale	5
2.1.2 Équilibrage du Pont	5
2.1.3 Mesures et Résultats	5
2.2 Amplificateur d'Instrumentation	7
2.2.1 Amplificateur de Différence	7
2.3 Amplificateur d'Instrumentation à 3 Étages	9
2.3.1 Mesures de Tension	9
2.3.2 Connexion au Pont de Wheatstone	10
Conclusion	11

Introduction

Ce rapport se concentre sur l'analyse technique du pont de Wheatstone et des amplificateurs d'instrumentation à un et trois étages. En intégrant des données expérimentales, des analyses graphiques et une révision critique des erreurs potentielles, nous évaluons les performances opérationnelles de ces systèmes. L'étude souligne l'importance cruciale des travaux dirigés pour la compréhension approfondie et l'application réussie des principes théoriques abordés dans les travaux pratiques.

1

Etude Théorique

1.1 Pont de Wheatstone

Le pont de Wheatstone, illustré à la Figure 1, est un dispositif électrique utilisé pour mesurer de petites variations de résistance. L'objectif principal de cette étude est de déterminer la valeur de la résistance R_4 .

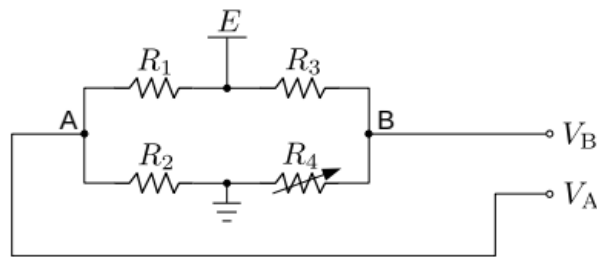


Figure 1.1 – Schéma du pont de Wheatstone

Les tensions V_A et V_B peuvent être exprimées par les équations suivantes :

$$V_A = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot E, \quad V_B = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot E \quad (1.1)$$

La tension différentielle u_d est donnée par :

$$u_d = E \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \quad (1.2)$$

Pour que le pont soit en équilibre ($u_d = 0$), les conditions suivantes doivent être remplies :

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad \text{ou} \quad R_4 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1} \quad (1.3)$$

1.2 Amplificateur de Différence

L'amplificateur de différence est étudié en utilisant le schéma présenté à la Figure 2. Dans le cas d'un amplificateur opérationnel (AOP) idéal, les paramètres sont définis comme suit :

$$A_{d0} = \frac{R_6}{R_5} = \frac{R_8}{R_7} \quad (1.4)$$

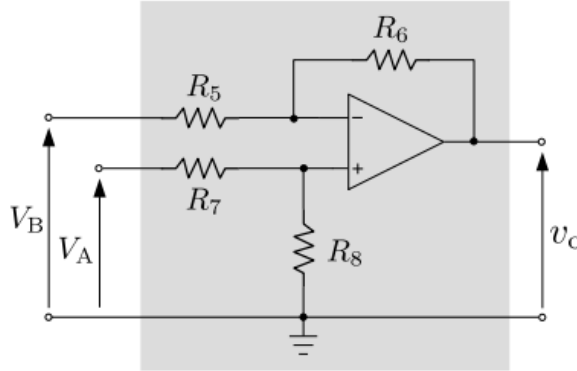


Figure 1.2 – Schéma de l'amplificateur de différence

La tension de sortie v_o est donnée par :

$$v_o = \frac{R_8}{R_8 + R_7} \cdot \left(1 + \frac{R_6}{R_5}\right) \cdot V_A - \frac{R_6}{R_5} \cdot V_B \quad (1.5)$$

En simplifiant, nous obtenons :

$$v_o = V_A - A_{d0} \cdot V_B \quad (1.6)$$

Avec les coefficients d'amplification $A_1 = 1$ et $A_2 = A_{d0}$. L'amplification différentielle A_d et le taux de réjection de mode commun (CMRR) sont donnés par :

$$A_d = \frac{1 + A_{d0}}{2} \cdot A_{mc} = 1 - A_{d0}, \quad \text{et} \quad CMRR = \frac{1 + A_{d0}}{2(1 - A_{d0})} \quad (1.7)$$

Dans le scénario où toutes les résistances sont égales et $A_{d0} = 1$, nous avons :

$$v_o = V_A - V_B \quad \text{avec} \quad A_1 = A_2 = 1, \quad A_d = 1, \quad \text{et} \quad A_{mc} = 0 \quad (1.8)$$

Cependant, en réalité, les résistances ne sont pas parfaitement identiques. En considérant une erreur $\epsilon = 0.01$, les résistances sont définies comme :

$$R_5 = R_8 = R_0(1 + \epsilon), \quad R_6 = R_7 = R_0(1 - \epsilon) \quad (1.9)$$

Dans ce cas, la tension de sortie v_o est modifiée comme suit :

$$v_o = V_A - \frac{1 + \epsilon}{1 - \epsilon} \cdot V_B \quad (1.10)$$

Les nouveaux coefficients d'amplification sont $A_1 = 1$ et $A_2 = \frac{1+\epsilon}{1-\epsilon}$, et les amplifications A_d et A_{mc} sont recalculées comme :

$$A_d = 1(1 + \epsilon), \quad A_{mc} = 1 - \frac{1 + \epsilon}{1 - \epsilon} = \frac{2 \cdot \epsilon}{1 + \epsilon} \quad (1.11)$$

Le CMRR est alors donné par :

$$CMRR = \frac{1}{2 \cdot \epsilon} \quad (1.12)$$

En utilisant les données $V_A - V_B = 2 \text{ mV}$, $\epsilon = 1\%$, et $u_{mc} = 5 \text{ V}$, le taux de réjection en dB est :

$$CMRR = 20 \cdot \log \left(\frac{1}{2 \cdot \epsilon} \right) = 33.98 \text{ dB} \quad (1.13)$$

La tension de sortie dans le cas sans erreur est $v_0 = V_A - V_B = 2 \text{ mV}$. Avec l'erreur, la tension de sortie devient :

$$v_0 = \frac{1}{1 + \epsilon} \cdot (V_A - V_B) + \frac{2 \cdot \epsilon}{1 + \epsilon} \cdot u_{mc} = 101 \text{ mV} \quad (1.14)$$

1.3 Amplificateur d'instrumentation à 3 étages

En analysant le circuit, les tensions aux nœuds V_{O1} et V_{O2} sont déterminées comme suit :

$$V_{O1} = \frac{(R + R_0)V_B - RV_A}{R_0} \quad (1.15)$$

$$V_{O2} = \frac{(R + R_0)V_A - RV_B}{R_0} \quad (1.16)$$

La différence entre V_{O1} et V_{O2} est donnée par :

$$V_{O1} - V_{O2} = \left(1 + \frac{2R}{R_0}\right)(V_B - V_A) \quad (1.17)$$

Par conséquent, la tension de sortie V_O est :

$$V_O = (V_{O1} - V_{O2}) = \left(1 + \frac{2R}{R_0}\right)(V_B - V_A) \quad (1.18)$$

1.3.1 Conclusion sur le CMRR

Pour un amplificateur d'instrumentation idéal, la tension de sortie en mode commun est nulle, car les tensions d'entrée sont égales et leur différence est donc zéro. Cela conduit à un CMRR idéalement infini.

2

Etude Pratique

2.1 Pont de Wheastone

2.1.1 Configuration Initiale

Le montage s'est conformé à la figure 3.1, avec les spécifications suivantes :

- $E = 10\text{ V}$
- $R_1 = R_2 = R_3 = 100\ \Omega$ (précision de $\pm 1\%$)
- $R_4 = 100\ \Omega$ (variable via une boîte à décades)

2.1.2 Équilibrage du Pont

Un ajustement de R_4 a été effectué jusqu'à l'obtention d'une tension différentielle $u_d = V_A - V_B$ nulle, signalant un état d'équilibre du pont.

2.1.3 Mesures et Résultats

Tensions VA et VB

Des mesures de tensions en points A et B ont été réalisées, permettant le calcul des tensions différentielle u_d et de mode commun u_{mc} .

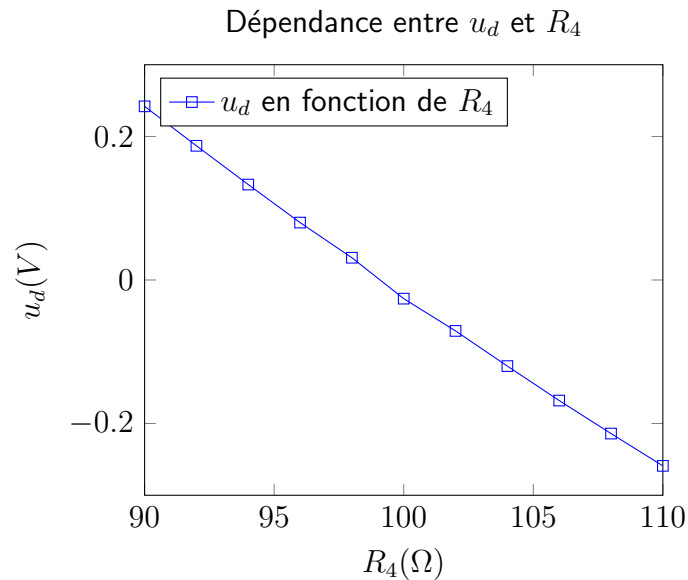
Variation de R4 et Mesures Correspondantes

Une série de mesures pour u_d et u_{mc} a été effectuée, en ajustant R_4 dans l'intervalle $[90 ; 110]\ \Omega$, comme le montre la Table 2.1.

Graphique de $u_d = f(R_4)$

La Figure 2.1 illustre la courbe de u_d par rapport à R_4 .

$R_4(\Omega)$	$V_A(V)$	$V_B(V)$	$u_d(V)$	$u_{mc}(V)$
90	5.018	4.776	0.242	4.897
92	5.018	4.831	0.187	4.9245
94	5.018	4.885	0.133	4.9515
96	5.018	4.938	0.08	4.978
98	5.018	4.987	0.031	5.0025
100	5.018	5.044	-0.026	5.031
102	5.018	5.089	-0.071	5.0535
104	5.018	5.138	-0.12	5.078
106	5.018	5.186	-0.168	5.102
108	5.018	5.232	-0.214	5.125
110	5.018	5.277	-0.259	5.1475

Table 2.1 – Mesures des tensions pour différentes valeurs de R_4 Figure 2.1 – Graphique de u_d en fonction de R_4

Interprétation et Conclusion

L'expérience valide les principes clés du pont de Wheatstone. L'équilibre, atteint lorsque u_d est nul, survient à $R_4 = 100 \Omega$, confirmant l'égalité des résistances. V_A reste constant à 5.018 V, tandis que V_B augmente avec R_4 , réduisant u_d comme illustré à la Figure 2.1. Parallèlement, u_{mc} croît suite à l'augmentation de V_B . Ces résultats confirment l'importance de l'équilibrage précis des résistances et la sensibilité du pont à de petites variations, soulignant son utilité pour des mesures précises.

2.2 Amplificateur d'Instrumentation

2.2.1 Amplificateur de Différence

Expérience 1 : Mesure de la Tension de Sortie

Avec des résistances $R_5 = R_6 = R_7 = R_8 = 1\text{ k}\Omega$, et un A.-O.P. TL081 alimenté en $\pm 15\text{ V}$, les mesures suivantes ont été obtenues :

- Pour $V_A = V_B = 0\text{ V}$, la tension v_o était de 0.0091 V , indiquant une tension de décalage due aux imperfections de l'A.-O.P.
- Pour $V_A = V_B = u_{mc} = 5\text{ V}$, la tension v_o était de 0.0089 V . L'amplification en mode commun A_{mc} a été calculée comme suit :

$$A_{mc} = \frac{v_o}{u_{mc}} = 1.78 \times 10^{-6} \quad (2.1)$$

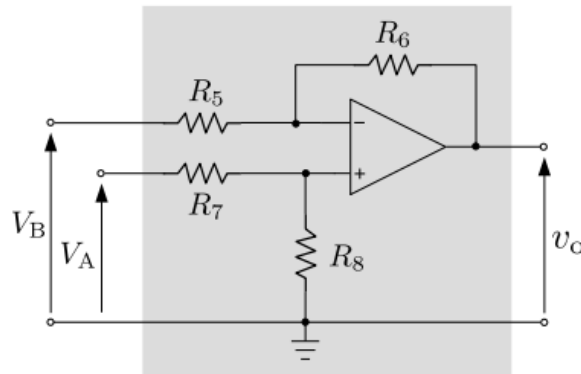


Figure 2.2 – Amplificateur d'instrumentation à 3 étages

Expérience 2 : Connexion au Pont de Wheatstone

Avec le pont de Wheatstone connecté à l'amplificateur de différence et $R_4 = 105 \Omega$, les tensions suivantes ont été mesurées :

$$— V_A = 4.911 V$$

$$— V_B = 5.051 V$$

$$— v_o = 150 mV$$

L'amplification en mode différentiel A_d a été déduite de la formule suivante :

$$A_d = \frac{v_o - A_{mc} \cdot u_{mc}}{V_A - V_B} \quad (2.2)$$

En insérant les valeurs mesurées, on obtient :

$$A_d = \frac{150 \times 10^{-3} - 1.78 \times 10^{-6} \cdot 5}{4.911 - 5.051} \quad (2.3)$$

Le CMRR en dB a été ensuite calculé en utilisant la relation :

$$CMRR = 20 \cdot \log \left(\frac{A_d}{A_{mc}} \right) \quad (2.4)$$

En insérant les valeurs de A_d et A_{mc} calculées précédemment, on obtient la valeur de CMRR en dB.

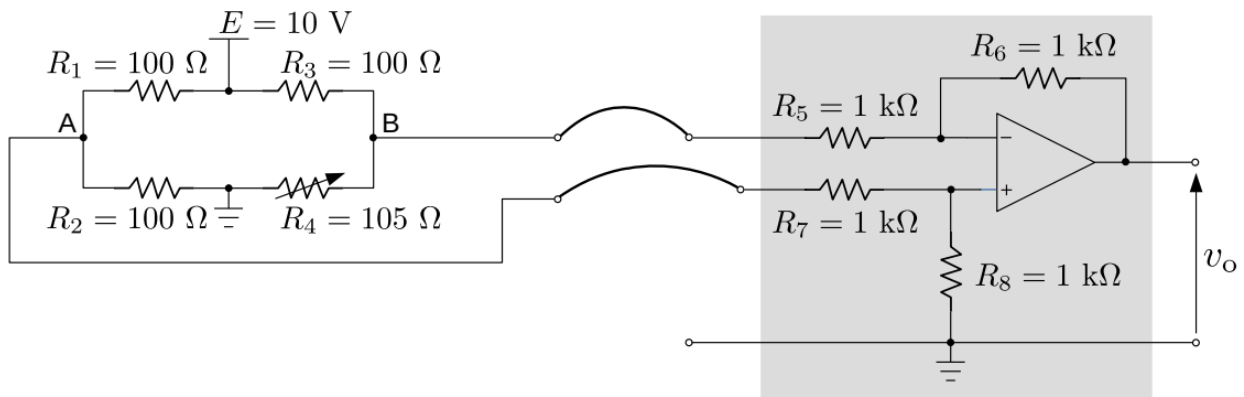


Figure 2.3 – Pont de Wheatstone connecté à l'amplificateur de différence

2.3 Amplificateur d'Instrumentation à 3 Étages

Un montage d'amplificateur d'instrumentation à 3 étages a été réalisé comme indiqué dans la figure ci-dessous.

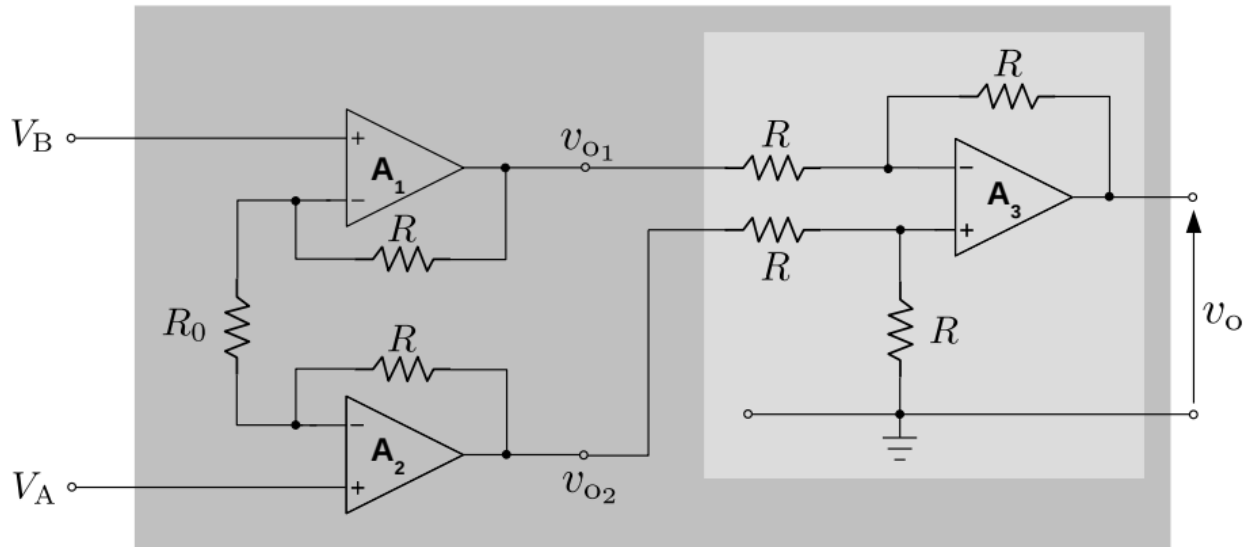


Figure 2.4 – Pont de Wheastone connecté à l'amplificateur de différence

Les composants utilisés étaient les suivants : $R_0 = 1\text{ k}\Omega$ et $R = 10\text{ k}\Omega$. Les trois A.-O.P. étaient contenus dans le circuit intégré TL084, alimenté en $\pm 10\text{ V}$.

2.3.1 Mesures de Tension

1. Avec $V_A = V_B = 0\text{ V}$, la tension de sortie v_o a été mesurée à -0.0134 V .
2. Avec $V_A = V_B = u_{mc} = 5\text{ V}$, la tension de sortie v_o a été mesurée à 0.0067 V . L'amplification en mode commun A_{mc} a été calculée en utilisant la formule $A_{mc} = \frac{v_o}{u_{mc}}$, donnant $A_{mc} = 1.34 \times 10^{-3}$.

2.3.2 Connexion au Pont de Wheatstone

Le pont de Wheatstone a été ensuite connecté à l'amplificateur d'instrumentation à 3 étages. Avec $R_4 = 105 \Omega$, les tensions suivantes ont été mesurées :

$$— V_A = 5.172 V$$

$$— V_B = 4.978 V$$

$$— v_o = -3.68 V$$

L'amplification en mode différentiel A_d a été calculée avec la formule :

$$A_d = \frac{v_o - A_{mc} \cdot u_{mc}}{V_A - V_B} \quad (2.5)$$

Le CMRR en dB a été ensuite déterminé par :

$$CMRR = 20 \cdot \log \left(\frac{A_d}{A_{mc}} \right) \quad (2.6)$$

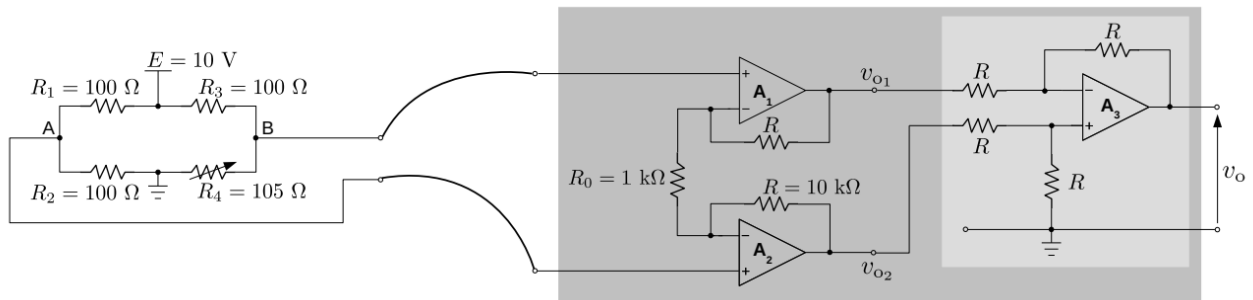


Figure 2.5 – Pont de Wheatstone relié à l'amplificateur d'instrumentation à 3 étages

Conclusion

Cette analyse technique a confirmé l'importance des TD dans la maîtrise des concepts appliqués lors des TP. Malgré les défis induits par les variations de composants, les systèmes étudiés, le pont de Wheatstone et les amplificateurs d'instrumentation ont démontré une performance conforme aux attentes théoriques. L'analyse graphique a révélé des insights cruciaux, soulignant la nécessité d'une précision instrumentale et d'une compréhension théorique robuste pour l'interprétation des données et la résolution des problèmes pratiques.