

Licence : L3 EEA – Parcours Ingénierie Electrique

Université Paul Sabatier

Toulouse III



## **L3 EEA REL**

# *Textes de Travaux pratiques Electronique analogique*

- Tp 1***                    **Filtres Actifs**
- Tp 2***                    **Amplificateur Différentiel**
- Tp 3 :***                    **Amplificateur d'instrumentation**  
**Application : « la balance électronique »**

Responsable Tps :

Thierry PERISSE  
thierry.perisse@univ-tlse3.fr  
Alex TAKACS  
atakacs@laas.fr

- Tp 1***            **Filtres Actifs**
- Tp 2***            **Amplificateur Différentiel**
- Tp 3***            **Amplificateur d'instrumentation**  
**Application :**  
**« La balance électronique »**

Datasheet :

AOP            TL074/84

SSM-2210    Transistors Appairés

INA114        Amplificateur d'instrumentation

## Tp 1 FILTRES ACTIFS

### 1- Structure de Sallen-Key :

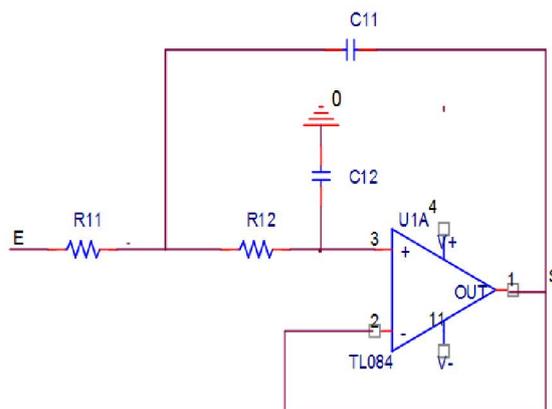
#### 1-1 Etude de la structure :

- Donner la fonction de transfert du montage en précisant les expressions de la pulsation propre et de l'amortissement.  $S/E$  ;  $\omega_0$  ;  $m$ .

#### 1-2 Filtre passe-bas de Bessel :

- On désire réaliser un filtre possédant une **fréquence de coupure de 10Khz et une atténuation de 40 db à 40Khz.**
- Déterminer l'ordre du filtre, en déduire la fonction de transfert.
- En utilisant la structure de Sallen-Key, donner le schéma de réalisation.

Structure de SALLEN KEY



### 2- Réalisation du filtre avec PSPICE

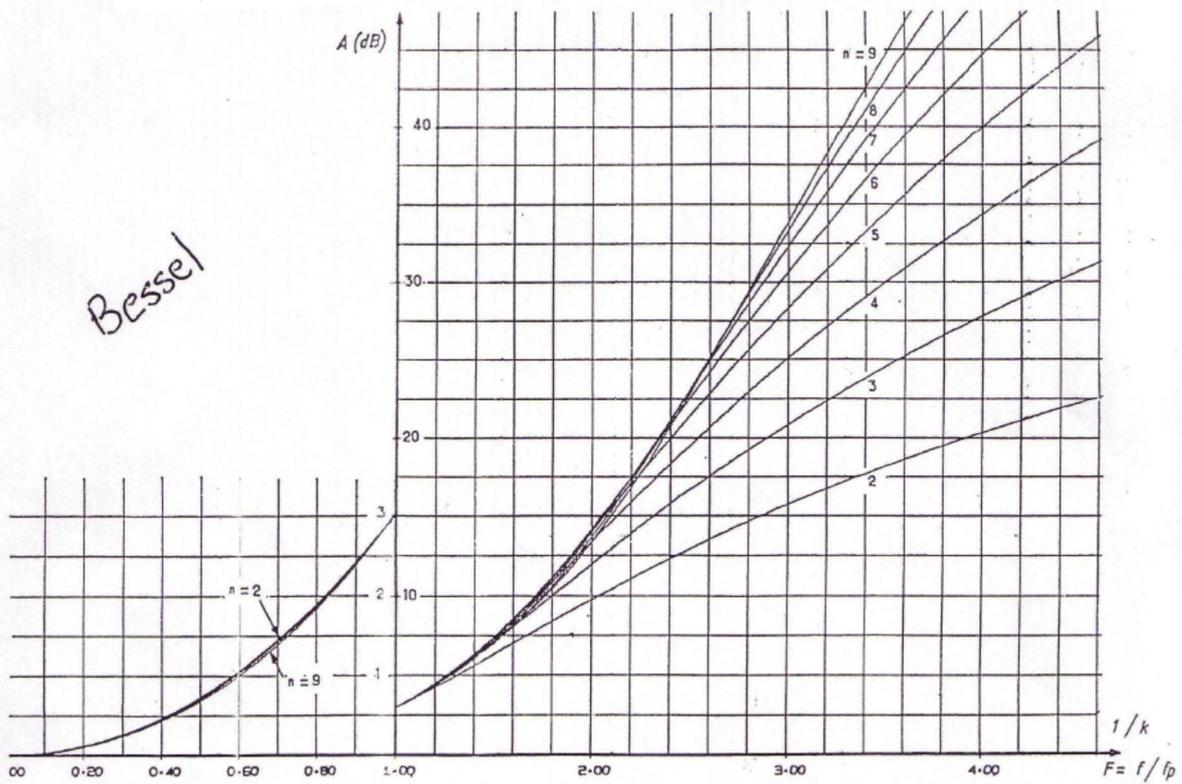
- *Simuler chacune des cellules et faire apparaître les points particuliers.*
- *Donner le Bode en gain et en phase du filtre de Bessel complet.*

**La tolérance sur les résistances sera prise à 10% et celle sur les condensateurs à 20%.**

- *Faire l'analyse de Monte Carlo (voir l'application n°4 du manuel).*
- *Faire l'analyse Worst Case (voir l'application n°6 du manuel).*

Biblio :

- Electronique 'Systèmes bouclés linéaires, de communication et de filtrage'  
Manneville / Esquieu
- Filtres actifs PAUL BILDSTEIN
- Cours/TD Géronimi.



N	CIRCUIT	m	q	$V_m$	$F_m$	FONCTION DE TRANSMISSION
2	1	0.6808	0.9077	-	-	$(0.6180P^2 + 1.3616P + 1)$
3	1 2	0.4998 0.7560	0.9547	-	-	$(0.4771P^2 + 0.9996P + 1)$ $(0.756P + 1)$
4	1 2	0.3871 0.6698	1.0048 0.7298	1.02 -	0.768 -	$(0.3889P^2 + 0.7742P + 1)$ $(0.4889P^2 + 1.3396P + 1)$
5	1 2 3	0.5700 0.3107 0.6656	0.7241 1.0441	- 1.09	- 1.116	$(0.4128P^2 + 1.1401P + 1)$ $(0.3245P^2 + 0.6215P + 1)$ $(0.665P + 1)$
6	1 2 3	0.6108 0.4843 0.2565	0.6363 0.7236 1.0745	- - 1.17	- - 1.376	$(0.3887P^2 + 1.2217P + 1)$ $(0.3504P^2 + 0.9686P + 1)$ $(0.2756P^2 + 0.5130P + 1)$
7	1 2 3 4	0.5472 0.4151 0.2166 0.5936	0.6203 0.7252 1.0990	- - 1.26	- - 1.595	$(0.3394P^2 + 1.0944P + 1)$ $(0.3010P^2 + 0.8303P + 1)$ $(0.2380P^2 + 0.4332P + 1)$ $(0.593P + 1)$
8	1 2 3 4	0.5556 0.4876 0.3601 0.1863	0.5690 0.6108 0.7278 1.1199	- - - 1.34	- - - 1.787	$(0.3161P^2 + 1.1112P + 1)$ $(0.2979P^2 + 0.9753P + 1)$ $(0.2621P^2 + 0.7202P + 1)$ $(0.2087P^2 + 0.3727P + 1)$
9	1 2 3 4 5	0.5121 0.4355 0.1628 0.3159 0.5386	0.5533 0.6051 1.1384 0.7312	- - 1.42 -	- - 1.962 -	$(0.2834P^2 + 1.0243P + 1)$ $(0.2635P^2 + 0.8710P + 1)$ $(0.1854P^2 + 0.3257P + 1)$ $(0.2310P^2 + 0.5319P + 1)$ $(0.538P + 1)$

— Filtres passe-bas de Bessel. Valeur des éléments et des grandeurs de réglage.



## Tp 2 : Amplificateur différentiel

L'amplificateur différentiel (soit une paire différentielle associée à un miroir de courant) constitue l'étage d'entrée des amplificateurs opérationnels.

Nous étudierons un étage amplificateur réalisé à partir de transistors NPN, nous le caractériserons en évaluant ses impédances et gains en mode commun et différentiel, ainsi que son taux de réjection de mode commun.

### 1- Le miroir de courant (fig. 1) :

On considère les transistors identiques avec  $\beta = 400$  et la diode zéner de 5v6.

#### 1.1 Etude aux forts signaux :

- Montrer que  $I_{R3}$  est pratiquement égal à  $I_{C4}$ .
- Calculer les valeurs de  $R3$  et de  $R4$  afin d'avoir un courant  $I_{C4}$  de 10mA.

#### 1.2 Etude aux faibles signaux :

- Donner l'ordre de grandeur de l'impédance d'entrée du montage  $Z_e$ .

#### *Manipulation :*

*Câbler la source de courant en utilisant les valeurs normalisées les plus proches pour les résistances ; Mesurer  $I_{C4}$  avec un ampèremètre et  $I_{R3}$  aux bornes de  $R3$  à l'oscilloscope.*

### 2- L'étage différentiel (fig.2) :

On considère :  $\beta = 400$  et  $V_{be} = 0.6V$ .

#### 2.1 Etude aux forts signaux :

Calculer la valeur de la résistance  $R_6$  permettant d'obtenir  $I_{R6} = 10mA$ .

Calculer la valeur de  $R1(R2)$  pour avoir  $V_{c1}=V_{c2}=V_{cc}/2$ .

#### 2.2 Etude aux faibles signaux :

2.2.a Calculer les valeurs des paramètres  $r_{be1}$ ,  $r_{be2}$ ,  $r_{ce1}$  et  $r_{ce2}$  des modèles faibles signaux des transistors.

2.2.b Les signaux d'entrées arbitraires sont décomposables en signaux de mode commun et de mode différentiel :  $V_1 = V_{cm} + V_{dm}$  et  $V_2 = V_{cm} - V_{dm}$ .

$$\text{Il vient : } V_{dm} = \frac{V_1 - V_2}{2} \quad \text{et} \quad V_{cm} = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

$$\text{D'où la tension de sortie : } V_{s1} = A_{dm} V_{dm} + A_{cm} V_{cm}$$

Exprimer  $A_{dm}$  en fonction de  $r_{be}$ ,  $\beta$ ,  $R_C$ .

2.2.c Exprimer  $A_{cm}$  en fonction de  $r_{be}$ ,  $\beta$ ,  $R_C$  et  $R_E$ .

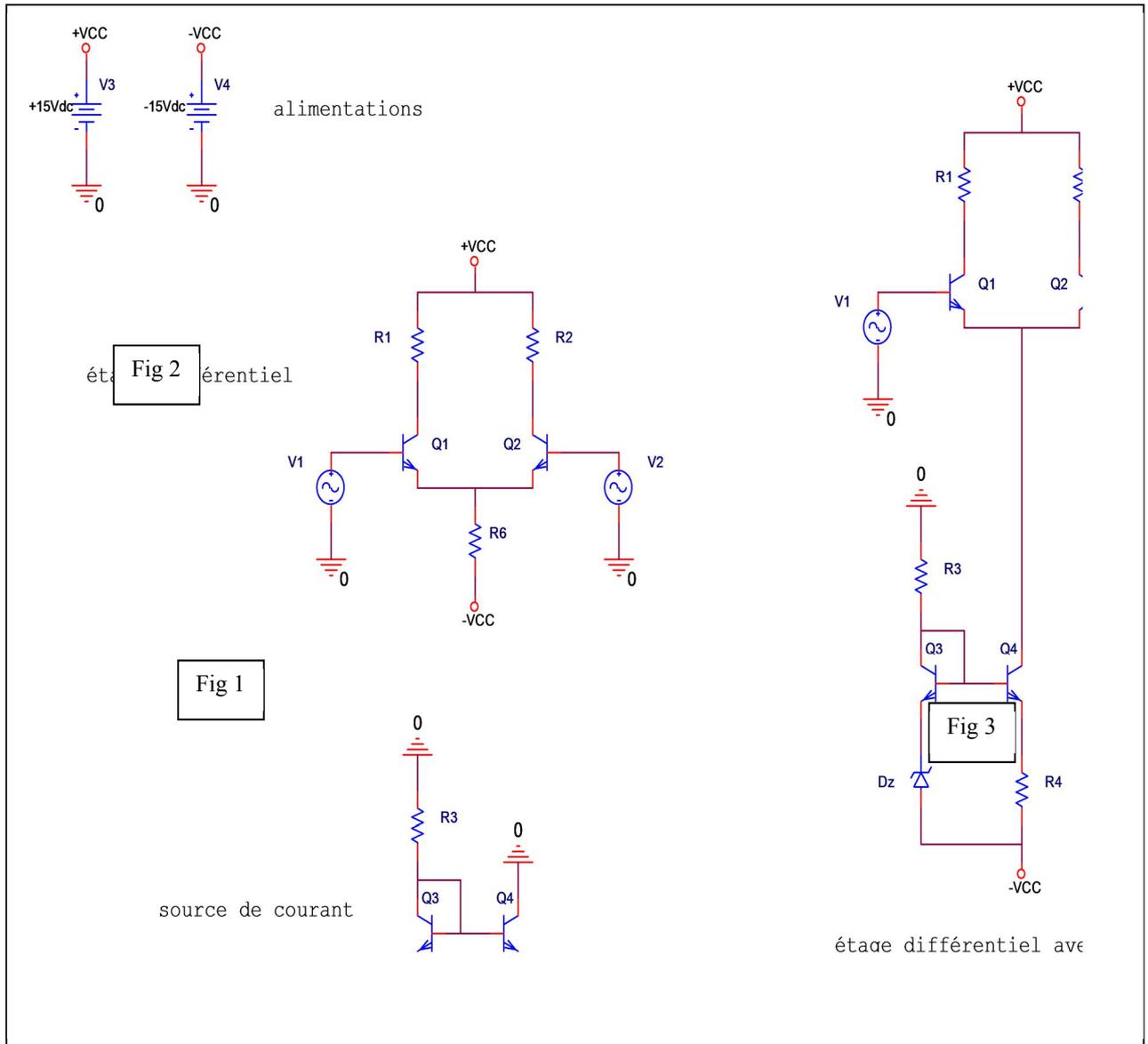
2.2.d Calculer le taux de réjection de mode commun  $T_{RMC} = \left| \frac{A_{dm}}{A_{cm}} \right|$ .

2.2.e Calculer la valeur de l'impédance d'entrée différentielle  $Z_d$ .

2.2.f Calculer la valeur de l'impédance d'entrée de mode commun  $Z_c$ .

**Sur la fig 3 on réalise le schéma complet (source de courant + cellule différentielle) :**

2.2.g On remplace la résistance  $R_6$  du montage précédent par la source de courant, la polarisation étant directement compatible. Evaluer le nouveau taux de réjection de mode commun. Conclure.



**Manipulation :**

Choisir l'amplitude de la tension à appliquer sur les bases des transistors de manière à pouvoir mesurer le gain de mode commun et le gain de mode différentiel. Justifier ce choix.

Appliquer  $V_1 = V_2$  et calculer le gain de mode commun. Appliquer  $V_1 = -V_2$  et mesurer le gain de mode différentiel. En déduire le taux de réjection de mode commun.

Refaire la même manipulation en remplaçant  $R_6$  par la source de courant.

## TP 3 : Amplificateur d'instrumentation et application : « la balance électronique »

### I Montage à un amplificateur

#### 1) Principe

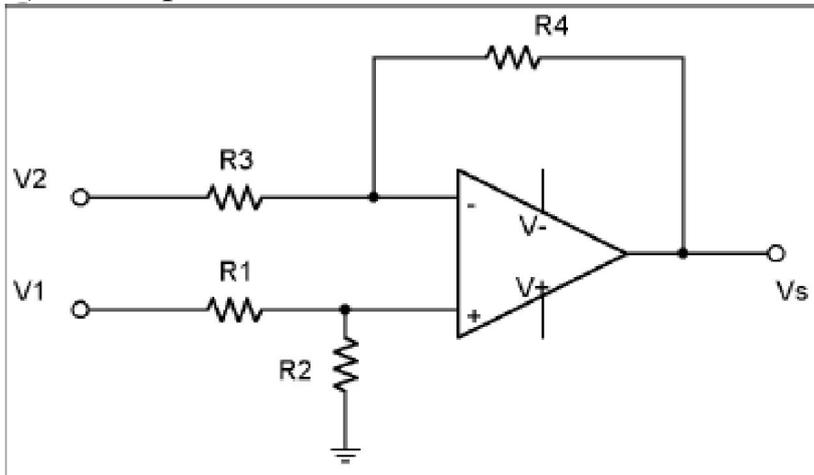


Figure 1: schéma électrique de l'amplificateur de différence

- Rappelez le but de l'amplificateur d'instrumentation et ses caractéristiques essentielles.
- En supposant l'amplificateur opérationnel parfait, trouvez la relation liant  $V_s$  en fonction des deux tensions d'entrée  $V_1$  et  $V_2$ .
- On introduit les tensions  $V_{mc}$  et  $V_d$  respectivement tension de mode commun et tension différentielle définies ci dessous :

$$V_{mc} = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad \text{et} \quad V_d = V_1 - V_2$$

Donnez la nouvelle relation  $V_s$  en fonction de  $V_{mc}$  et  $V_d$ . En déduire le gain en mode commun  $G_{mc}$  et le gain en mode différentiel  $G_d$  définis comme suit :

$$V_s = G_d V_d + G_{mc} V_{mc}$$

Le taux de réjection du mode commun TRMC exprimé en décibel est défini par la relation suivante :

$$T_{RMC} = 20 \text{ Log} \left( \left| \frac{G_d}{G_{mc}} \right| \right)$$

On posera  $R_1 = R_3$  et  $R_2 = R_4$ . Calculez le taux de réjection du mode commun dans ce cas particulier.

d) En fait, en raison des tolérances sur les composants (5%), l'égalité entre ces résistances est irréalisable. On posera  $x = \Delta R/R$  la sensibilité résistive identique pour chacune des résistances ( $x \ll 1$ ).

Calculez dans le pire des cas, représenté sur la figure 2, le gain en mode commun. On admettra que le gain différentiel  $G_d$  reste inchangé, calculez le taux de réjection du mode commun TRMC de ce montage ( $x=0.05$ ).

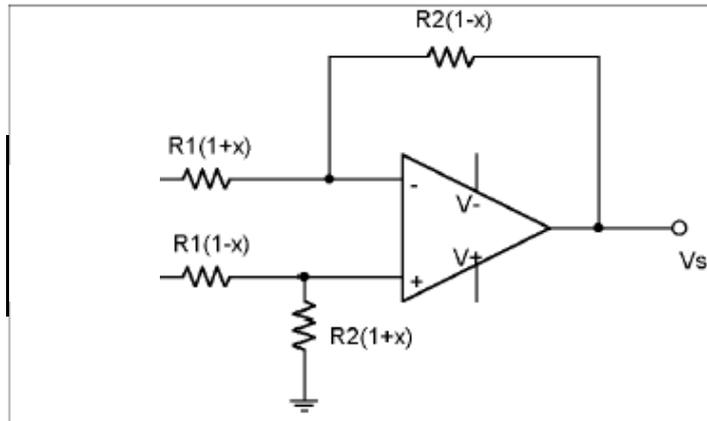


Figure 2: schéma électrique de l'amplificateur de différence compte tenu des dispersions sur les résistances.

## 2) réalisation pratique

On utilisera l'amplificateur opérationnel TL081,  $R_1 = R_3 = 1.2 \text{ Kohms}$  et  $R_2 = R_4 = 120 \text{ Kohms}$  (tolérance 5 %). On découplera les alimentations à l'aide de deux capacités de 100 nF.

## 3) mesures expérimentales

- **mesures de gains et du TRMC**

On se place en mode sinusoïdal à une fréquence de 1 KHz.

Mesurez le gain différentiel, le gain en mode commun. En déduire le TRMC. Comparez le taux de réjection en mode commun expérimental à la valeur théorique compte tenu de la tolérance des composants. Conclure.

Dans cette étude, on a négligé le TRMC de l'amplificateur opérationnel du TL081 donné par la documentation technique. Qu'en pensez-vous ?

- **mesures des impédances d'entrée**

On peut définir deux impédances d'entrée vues de l'entrée non inverseuse  $V_1$  et de l'entrée inverseuse  $V_2$  respectivement.

Calculez et mesurez ces deux impédances en n'alimentant successivement qu'une seule des deux entrées. Conclure.

- **mesure de la bande passante de l'amplificateur différentiel**

Mesurez la fréquence de coupure du montage. A l'aide du produit (gain \* bande passante) donné par la documentation technique, comparez votre mesure à la fréquence de coupure théorique.

Conclure sur les avantages et inconvénients d'un tel montage.

## II Amplificateur d'instrumentation à trois amplificateurs :INA 114

### 1) principe

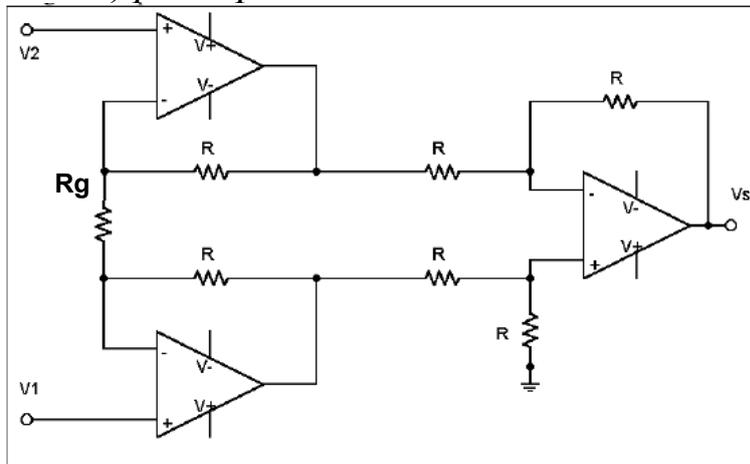


Figure 3: schéma électrique de l'amplificateur d'instrumentation à trois amplificateurs

Trouvez la relation liant  $V_s$  et les entrées  $V_1$  et  $V_2$ . Le gain en mode différentiel est-il facilement ajustable ? Le montage est-il symétrique quant aux entrées inverseuse et non inverseuse ? Calculez le taux de réjection en mode commun de ce montage.

### 2) réalisation pratique

On cablera l'INA 114 selon la notice technique afin d'obtenir un gain différentiel égal à 100. Les alimentations seront découplées à l'aide de deux capacités de 100 nF. La patte 5 sera connectée à la masse.

### 3) mesures

On se place en mode sinusoïdal à une fréquence de 1 KHz.

Comme précédemment, mesurez le gain différentiel, le gain en mode commun. En déduire le TRMC. Mesurez également la fréquence de coupure du montage. Comparez toutes ces valeurs à celles données dans la documentation technique.

Quels sont les avantages de l'amplificateur d'instrumentation INA 114 par rapport à l'amplificateur de différence étudié précédemment ?

### III Application : la balance électronique

#### 1) principe

Une jauge de contrainte collée sur une « poutre » est cablée dans un pont de wheasthone selon la figure 4.

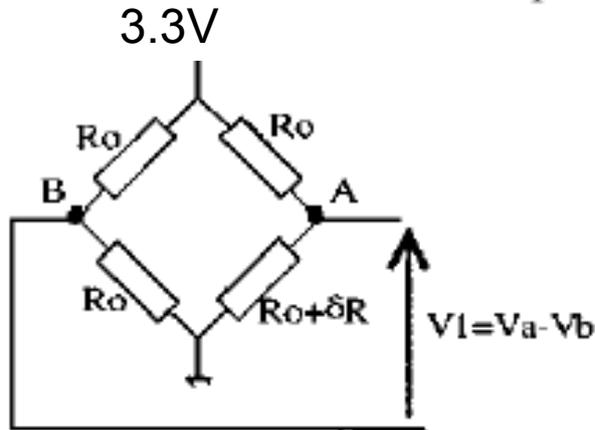


Figure 4: schéma électrique du pont de Wheatstone

$\delta r$  représente la variation de résistance de la jauge de contrainte quand on applique sur la jauge, une contrainte ( $\delta r \ll 1$ ). En posant une masse sur la poutre, la jauge se déforme et l'on obtient en sortie du pont une tension ( $V_a - V_b$ ) proportionnelle à la masse mesurée. C'est le principe de mesure de la balance électronique.

Montrez que :

$$V_a \approx E/2 + E\delta R / 4R_0 \text{ et } V_b = E/2$$

Sachant que la tension en mode commun est très importante devant la tension différentielle, un amplificateur d'instrumentation est indispensable pour amplifier et effectuer des mesures correctes de masse.

#### 2) réalisation pratique

On utilisera :

- le pont de Wheatstone issu d'une balance de cuisine commercialisée sous la marque « Terrailon quartz L »
- l'amplificateur d'instrumentation INA 114 avec une résistance  $R_g$  de 50 Ohms
- une série de masses étalonnées de 10g à 500g.

#### 3) mesures

Tracez la caractéristique  $V_s = f(m)$  avec  $V_s$  tension de sortie de l'INA 114 et  $m$  la masse mesurée. Déterminer l'expression mathématique  $V_s = f(m)$ . Il faudra prendre en compte la tension résiduelle lorsqu'aucune masse n'est placée sur la poutre.

Mesurer  $V_s$  pour une masse égale à 1gramme. Quelle est la précision de votre montage ?

Utilisez votre montage pour mesurer la masse d'un objet de votre choix et comparez votre mesure à celle donnée par une balance commerciale.