

Pont de mesure de Wheatstone

DETERMINATION DES RESISTANCES OHMIQUES.

- Détermination des résistances ohmiques dans un pont de mesure de Wheatstone.
- Évaluation de la précision de mesure.

UE3020300

03/16 UD

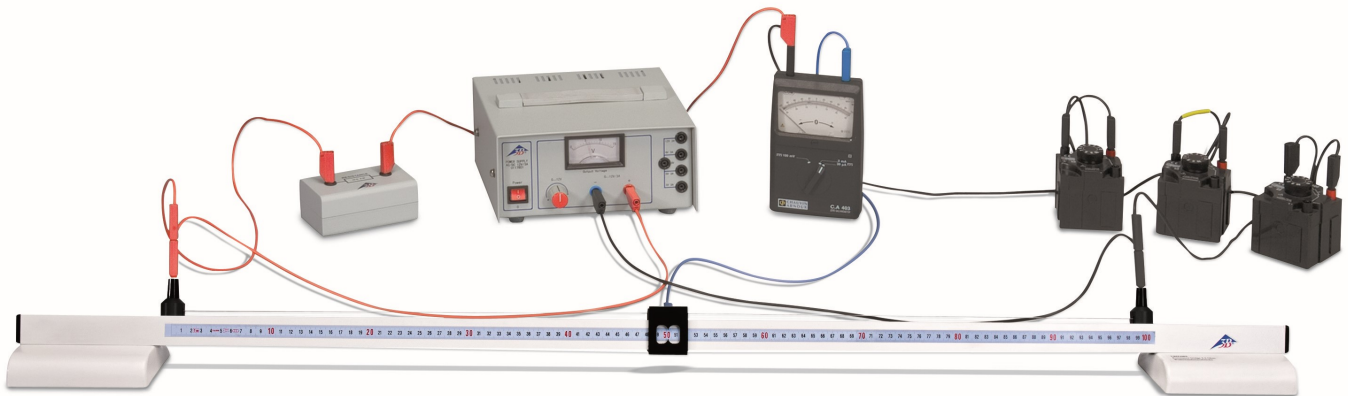


Fig. 1 : Agencement de mesure.

NOTIONS DE BASE GENERALES

Traditionnellement, on détermine les résistances ohmiques dans un pont de mesure de compensation nommé d'après *Ch. Wheatstone* en les comparant avec une résistance de référence. On réalise pour cela un circuit parallèle de deux diviseurs de tension connectés à la même source de tension continue. Le premier diviseur de tension est constitué de la résistance à mesurer R_x et de la résistance de référence R_{ref} , le second des résistances R_1 et R_2 , dont la somme reste inchangée pendant la compensation (voir fig. 2).

Le rapport entre les résistances R_1 et R_2 – si nécessaire – la résistance de référence R_{ref} est modifié jusqu'à ce que le courant transversal I soit compensé à zéro. C'est très précisément le cas lorsque le rapport de résistance des deux diviseurs de tension est identique. Cette condition permet de déduire la résistance inconnue R_x :

$$(1) \quad R_x = R_{ref} \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

Dans l'expérience, le second diviseur de tension est formé par un fil de résistance d'un mètre de long divisé par un contact de frottement en deux parties de longueurs s_1 et s_2 .

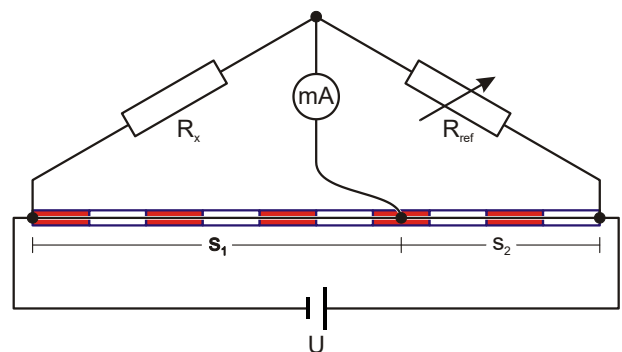


Fig. 2 : Représentation schématique du pont de mesure de Wheatstone

Comme les deux résistances R_1 et R_2 , en raison de

$$(2) R_{1,2} = \rho \cdot \frac{s_{1,2}}{A}$$

ρ : résistance spécifique du matériau du fil
 A : surface de section du fil de résistance

sont représentées par les segments du fil de résistance, l'équation (1) est transformée en

$$(3) R_x = R_{ref} \cdot \frac{s_1}{s_2} = R_{ref} \cdot \frac{s_1}{(1m - s_1)}$$

La précision du résultat dépend de la tolérance de la résistance de référence R_{ref} et des précisions permettant de régler le rapport s_1/s_2 des segments et des résistances R_1/R_2 et de réaliser la compensation à zéro des ponts de mesure.

Selon le principe de la propagation d'erreur d'après Gauss, il résulte pour l'erreur de mesure absolue

$$(4) \Delta R_x = \sqrt{\left(\frac{s_1}{(1m - s_1)} \cdot \Delta R_{ref}\right)^2 + \left(R_{ref} \cdot \frac{1m \cdot \Delta s_1}{(1m - s_1)^2}\right)^2}$$

et, pour l'erreur de mesure relative,

$$(5) \frac{\Delta R_x}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_{ref}}{R_{ref}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta s_1}{s_1} \cdot \frac{1m}{(1m - s_1)}\right)^2}$$

L'erreur de mesure relative $\Delta R_x/R_x$ est représentée dans la Fig. 3 pour $0m < s_1 < 1m$, $\Delta R_{ref}/R_{ref} = 0,005$ (0,5 %) et une erreur de lecture $\Delta s_1 = \pm 0,5mm$. Elle est symétrique par rapport à $s_1 = 0,5m$, elle y a son minimum et va à l'infini pour $s_1 \rightarrow 0m$ et $s_1 \rightarrow 1m$.

La précision du pont de Wheatstone dans sa version comme pont de mesure à fil de frottement est donc maximale lorsque le contact de frottement se trouve au milieu à $s_1 = s_2 = 0,5m$. Selon l'équation (3), on obtient alors juste $R_x = R_{ref}$. Dans la mesure du possible, la résistance de référence doit donc être choisie de manière à ce que les deux segments s_1 et s_2 présentent la même longueur, c'est-à-dire que le rapport $s_1/s_2 = 1$.

La précision de la compensation à zéro du pont de mesure est décrite par la certitude de réglage qui est inversement proportionnelle à la sensibilité du pont de mesure, c'est-à-dire que plus le pont est sensible, plus la compensation à zéro est précise.

La sensibilité décrit le rapport entre la déviation du galvanomètre à zéro et le changement de position du contact de frottement qui occasionne la déviation. Elle augmente avec la sensibilité du galvanomètre à zéro et de la tension d'alimentation U du pont de mesure et dépend des résistances de shuntage ainsi que de la résistance du galvanomètre à zéro. Elle devient maximale lorsque le contact de frottement se trouve au milieu du fil de résistance. Ainsi, non seulement le rapport s_1/s_2 est alors optimal, mais encore la précision de la compensation à zéro est-elle maximale.

Comme la résistance du fil du pont de mesure n'est supérieure que d'environ un ordre de grandeur à la résistance des câbles d'alimentation, on utilise pour les mesures des résistances $R_x \geq 100\Omega$.

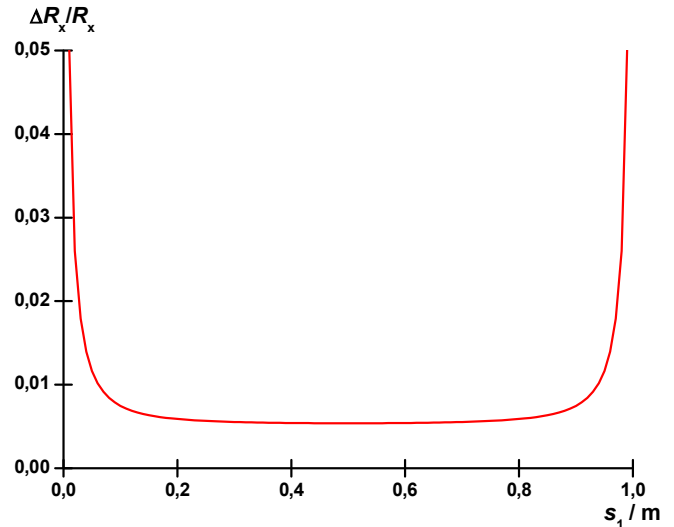


Fig. 3 : Erreur de mesure relative $\Delta R_x/R_x$ en fonction de s_1 selon l'équation (5) avec $\Delta R_{ref}/R_{ref} = 0,005$ (0,5 %) et $\Delta s_1 = \pm 0,5mm$.

LISTE DES APPAREILS

- 1 Pont de Wheatstone 1009885 (U8551002)
- 1 Alimentation CA/CC 0...12 V/ 3 A @230V 1002776 (U117601-230)
- ou
- 1 Alimentation CA/CC 0...12 V/ 3 A @115V 1002775 (U117601-115)
- 1 Galvanomètre à zéro central 1023786
- 1 Décade de résistance 100 Ω 1002732 (U11182)
- 1 Décade de résistance 1 kΩ 1002733 (U11180)
- 1 Décade de résistance 10 kΩ 1002734 (U11181)
- 1 Résistance de précision 100 Ω 1009886 (U51004)
- 1 Résistance de précision 1 kΩ 1009887 (U51005)
- 1 Jeu de 15 cordons de sécurité, 75 cm 1002843 (U138021)

MONTAGE ET REALISATION

Consignes de sécurité :

Ne dépassez jamais la tension maximale admissible de 8 V et le courant maximal admissible de 1,5 A.

Si le galvanomètre à zéro est surchargé, coupez le courant.

- Montez l'expérience comme le montre la Fig. 1. Pour cela, reliez la douille de connexion noire du pont de mesure à résistance une fois avec le pôle négatif du bloc d'alimentation et une autre fois avec la douille « COM » du galvanomètre à zéro via les décades de résistances montées en série. Reliez la douille de connexion rouge de gauche du pont de mesure à résistance une fois avec le pôle positif du bloc d'alimentation et une autre fois avec la douille « COM » du galvanomètre à zéro via la résistance de précision 100 Ω ou 1 kΩ. Reliez la deuxième douille du galvanomètre à zéro au contact de frottement du pont de mesure à résistance. Ne mettez pas encore le bloc d'alimentation en marche.
- Sur le galvanomètre à zéro, sélectionnez le calibre 50 μA et vérifiez la position de l'aiguille de zéro. Le cas échéant, effectuez une compensation à zéro en tournant la vis de réglage sur la plaque frontale.

Les résistances de précision servent de résistances à mesurer R_x , les décades de résistances au réglage de différentes résistances de références fixes R_{ref} .

La résistance $R_x = 100 \Omega$ est mesurée pour les résistances de référence $R_{ref} = 10 \Omega, 50 \Omega, 100 \Omega, 500 \Omega$ et $1 \text{ k}\Omega$ (Tab. 1), la résistance $R_x = 1 \text{ k}\Omega$ pour $R_{ref} = 100 \Omega, 500 \Omega, 1 \text{ k}\Omega, 5 \text{ k}\Omega$ et $10 \text{ k}\Omega$ (Tab. 2). La procédure est décrite ci-après.

Au début d'une série de mesures :

- Sur le galvanomètre de zéro, sélectionnez le calibre 5 mA.
- Régler la plus petite résistance de référence.
- Positionnez le contact de frottement à $s_1 \approx 90 \text{ cm}$.
- Allumez le bloc d'alimentation et réglez une tension de 5 V.

Relevé des valeurs de mesure :

- Placez le contact de frottement dans la position où le galvanomètre à zéro n'affiche plus de courant transversal (compensation à zéro du pont de mesure à résistance).
- Sur le galvanomètre à zéro, sélectionnez le calibre 50 μA et effectuez la compensation à zéro avec autant de précision que possible.
- Lisez la longueur s_1 du premier segment à l'aide de l'aiguille du contact de frottement sur la graduation du rail et notez-la dans les Tab. 1 et 2.
- Sur le galvanomètre à zéro, sélectionnez le calibre 5 mA.
- Réglez pas à pas la résistance de référence supérieure suivante et compensez de nouveau à zéro le pont de mesure à résistance comme décrit plus haut. À chaque pas, veillez à ne pas surcharger le galvanomètre à zéro. Le cas échéant, corrigez grossièrement le contact de frottement.

Tab. 1: Mesure de la résistance $R_x = 100 \Omega$. Résistances de référence réglées R_{ref} , longueurs mesurées s_1 et valeurs qui en résultent de la résistance avec erreurs de mesures selon l'équation (4).

$R_x \pm \Delta R_x / \Omega$ Valeur nominale	$R_{ref} \pm \Delta R_{ref} / \Omega$	$s_1 \pm \Delta s_1 / \text{cm}$	$R_x \pm \Delta R_x / \Omega$ Résultat
100±1	10.00±0.05	91.00±0.05	101.1±0.8
	50.00±0.25	66.80±0.05	100.6±0.6
	100.0±0.5	50.10±0.05	100.4±0.5
	500.0±2.5	16.80±0.05	101.0±0.6
	1000±5	09:15±0.05	100.7±0.8

Tab. 2 : Mesure de la résistance $R_x = 1 \text{ k}\Omega$. Résistances de référence réglées R_{ref} , longueurs mesurées s_1 et valeurs qui en résultent de la résistance avec erreurs de mesures selon l'équation (4).

$R_x \pm \Delta R_x / \Omega$ Valeur nominale	$R_{ref} \pm \Delta R_{ref} / \Omega$	$s_1 \pm \Delta s_1 / \text{cm}$	$R_x \pm \Delta R_x / \Omega$ Résultat
1000±10	100.0±0.5	91.00±0.05	1011±8
	500.0±2.5	66.75±0.05	1004±6
	1000±5	50.05±0.05	1002±5
	5000±25	16.75±0.05	1006±6
	10000±50	9.15±0.05	1007±8

- À partir des longueurs mesurées s_1 (Tab. 1, Tab. 2), calculez les valeurs R_x pour les différentes résistances de référence R_{ref} avec l'équation (3) et les erreurs de mesure ΔR_x avec l'équation (4), puis notez-les dans le Tab. 1.
- À partir des erreurs de mesure, comparez les valeurs résultant de la mesure pour R_x pour les différentes résistances de référence R_{ref} et longueurs s_1 avec les valeurs nominales.

Résultat :

Dans le cadre des erreurs de mesure, les valeurs mesurées correspondent pour toutes les résistances de référence et positions du contact de frottement très bien à la valeur nominale. Cependant, l'erreur de mesure est la plus petite au milieu du fil de résistance à $s_1 = s_2 = 50 \text{ cm}$ et ne varie guère dans l'étendue $10 \text{ cm} \leq s_1 \leq 90 \text{ cm}$ (cf. Fig. 3).

**EXEMPLE DE MESURE ET EVALUATION
AUTRES METHODES DE MESURE**

Compensation à zéro par adaptation de la résistance de référence

- Positionnez le contact de frottement au milieu du fil de résistance à $s_1 = s_2 = 50$ cm.
- Sur les décades de résistances, réglez une résistance de référence de manière à ce que la déviation d'aiguille sur le galvanomètre à zéro se trouve aussi proche que possible de la position zéro.
- Déplacez le contact de frottement dans la position où l'aiguille du galvanomètre à zéro se trouve très précisément en position zéro, puis déterminez-en la résistance à mesurer.

Résistance de référence fixe pour différentes résistances à mesurer

- Inversez les résistances de précision et les décades de résistances de sorte que les résistances de précision servent de résistances de référence fixes R_{ref} et les décades de résistances au réglage de différentes résistances à mesurer R_x .