

A. O. I. P. "MESURES"

23 à 27, Place Jeanne d'Arc

B.P. N° 301 - 75 PARIS

TEL : (1) 707-59-79

729

NOTICE RÉSERVÉE  
AU SERVICE ÉLECTRONIQUE  
ENTRETIEN

VOLTMETRE ELECTRONIQUE DIFFERENTIEL

- Réf : VP -

Notice d'utilisation

NOTICE RÉSERVÉE  
AU SERVICE ÉLECTRONIQUE  
ENTRETIEN

**AOIP**

A. O. I. P. "MESURES"  
23 à 27, Place Jeanne d'Arc  
B.P. N° 301 - 75 PARIS  
TEL : (1) 707-59-79

729

NOTICE RÉSERVÉE  
AU SERVICE ÉLECTRONIQUE  
ENTRETIEN

VOLTMETRE ELECTRONIQUE DIFFERENTIEL

- Réf : VP -

Notice d'utilisation

-- TABLE DES MATIERES --

|   | Pages |
|---|-------|
| <u>CHAPITRE I - GENERALITES</u>   |       |
| 1.1 - POSITION DU PROBLEME DANS L'OPTIQUE ACTUELLE                        | 1     |
| 1.2 - PRINCIPE DU VOLTMETRE ELECTRONIQUE DIFFERENTIEL                     | 2     |
| 1.3 - COMPARAISON AU POTENTIOMETRE CLASSIQUE                              | 3     |
| <u>CHAPITRE II - DESCRIPTION DES DIVERS CIRCUITS</u>                      |       |
| 2.1 - SCHEMA FONCTIONNEL COMPLET  | 5     |
| 2.2 - DIVISEUR KELVIN-VARLEY  | 6     |
| 2.3 - ETALON DE TENSION A ZENER   | 9     |
| 2.4 - AMPLIFICATEUR DE MESURE   | 12    |
| 2.4.1 - Circuits auxiliaires de l'amplificateur                           | 13    |
| 2.4.1.1 - Millivoltmètre de sortie W                                      | 13    |
| 2.4.1.2 - Découpeur (Chopper)   | 13    |
| 2.4.1.2.1 - Filtre du découpeur   | 14    |
| 2.4.1.3 - Filtre de l'enregistreur potentiométrique extérieur.            | 15    |
| 2.5 - REDUCTEUR D'ENTREE ET SHUNT A PLUSIEURS CALIBRES DE L'AMPLIFICATEUR | 15    |
| 2.5.1 - Cas du Voltmètre à lecture directe                                | 17    |
| 2.5.2 - Cas du Voltmètre électronique différentiel                        | 17    |
| 2.5.3 - Cas du nanoampèremètre  | 17    |
| 2.5.4 - Cas du quotientmètre  | 18    |
| 2.5.5 - Shunt et dispositif de protection                                 | 18    |
| 2.6 - ALIMENTATION  | 19    |
| <u>CHAPITRE III - SOMMAIRE DES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES</u>            |       |
| 3.1 - FONCTIONNEMENT EN VOLTMETRE A LECTURE DIRECTE                       | 20    |
| 3.2 - FONCTIONNEMENT EN VOLTMETRE ELECTRONIQUE DIFFERENTIEL               | 20    |
| 3.3 - FONCTIONNEMENT EN NANOAMPEREMETRE                                   | 21    |
| 3.4 - FONCTIONNEMENT EN QUOTIENTMETRE                                     | 22    |
| 3.5 - FACTEUR DE REJECTION  | 22    |



# VOLTMETRE ELECTRONIQUE DIFFERENTIEL

- Réf.VP -

Notice d'utilisation

## CHAPITRE I - GENERALITES

### POSITION DU PROBLEME DANS L'OPTIQUE ACTUELLE

La méthode potentiométrique connaît à l'heure actuelle un regain de faveur, malgré son ancienneté, en raison du développement de la technique des étalons et des mesures de haute précision qui imposent une méthode d'opposition. De nombreux problèmes électroniques et même non spécifiquement électriques font appel couramment à la mesure de faibles d.d.p. (1). Entre les réalisations ordinaires et celles de haute définition (0,1  $\mu$ V) et de haute précision (0,001 %), il y a un compromis permettant de satisfaire la clientèle dont les besoins exigent de bonnes mesures.

Dans ce cadre, l'exploitation judicieuse des diviseurs de tension de précision a été développée.

D'autre part, la recherche de la commodité d'emploi, de la consommation négligeable et de la rapidité de la mesure jointe à une bonne sensibilité ont orienté les chercheurs vers des solutions, où la précision des méthodes classiques revalorisée par la souplesse de méthodes électroniques mérite d'être exploitée à fond.

Les applications du voltmètre électronique différentiel rejoignent celles du potentiomètre parmi lesquelles il y a lieu de mentionner :

- 1) - L'étalonnage des appareils de mesure à courant continu et, en particulier de ceux du type magnétoélectrique ;
- 2) - L'étalonnage des appareils de mesure dont le fonctionnement est similaire en continu et en alternatif tels que ceux des types électrodynamique, électrostatique et thermique. Ces appareils qui rentrent dans la catégorie dite de transfert, se prêtent à un étalonnage en continu valable en alternatif avec parfois de très légères corrections. La précision qu'on retire du procédé est nettement avantageuse en raison du fait que les méthodes d'étalonnage en alternatif sont en général plus délicates à mettre en oeuvre et souffrent par l'absence de véritables étalons ;
- 3) - La mesure de très faibles différences de potentiel, inférieures au mV dans bien des cas (tensions d'effet Hall) dérive d'alimentations stabilisées ou d'amplificateurs à courant continu, déséquilibre d'amplificateurs à courant continu différentiels ;
- 4) - La comparaison de f.e.m. (2) de même valeur nominale ;

- (1) différence de potentiel
- (2) force électromotrice.

- 5) - L'étalonnage précis de certains traducteurs de grandeurs non-électriques en grandeurs électriques.

1.2 - PRINCIPE DU VOLTMETRE ELECTRONIQUE DIFFERENTIEL -

En raison du réglage par bonds, cet appareil joue un rôle intermédiaire entre le potentiomètre de zéro et celui à déviation.

Rappel des principes :

Potentiomètre de zéro (fig.1.1) à courant constant

On oppose à la différence de potentiel "e" à mesurer la chute de tension  $u = Ri$ , produite par un courant constant "i" à travers une résistance R réglable faisant partie d'un circuit à résistance totale constante. Le contrôle du courant (appelé tarage) "i", dont la valeur est choisie égale numériquement à une puissance entière de 10 (0,1 - 1 - 10 ou 100 mA), se fait aux bornes d'une résistance R dont la valeur en  $\Omega$  est égale à la f.e.m. de l'étalon "e" (1,0186 V abs. pour un élément Weston) multipliée par une puissance entière de 10, soit 10,186 - 101,86 - 1018,6 ou 10 186  $\Omega$ .

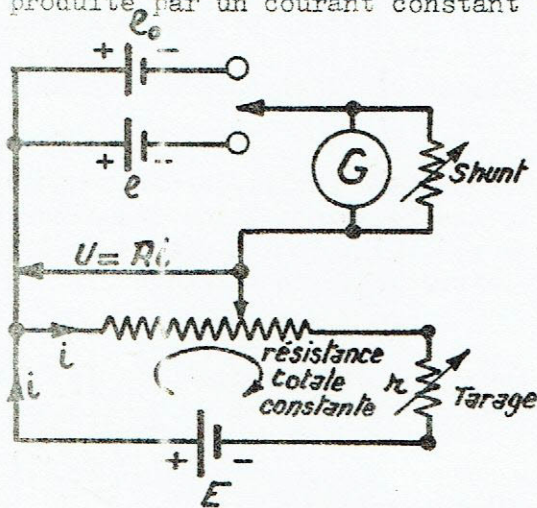


Fig.1.1 - Potentiomètre de zéro à courant constant

La d.d.p. d'opposition est décelée, par le galvanomètre et réglée à zéro d'abord pour l'étalon, ensuite pour l'inconnue "e" dont la valeur est ainsi lue directement sur le bouton de réglage de R en raison de la valeur ronde du courant "i".

Potentiomètre à déviation (fig.1.2.)

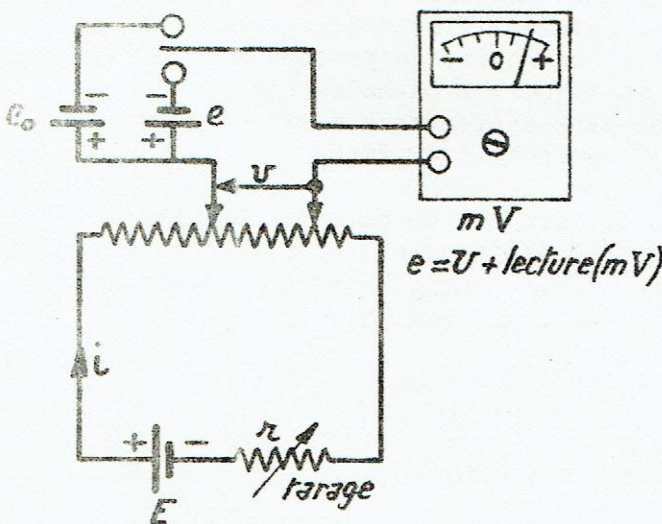


Fig. 1.2 - Potentiomètre à déviation -

Comme le réglage de l'opposition parfaite même une méthode d'interpolation lorsqu'on n'arrive pas à ramener le galvanomètre au zéro par le jeu des boutons, sont de nature à faire perdre à l'expérimentateur un temps précieux. Aussi a-t-on essayé de simplifier et d'accélérer les mesures en cherchant à éviter la réalisation d'une opposition rigoureuse.

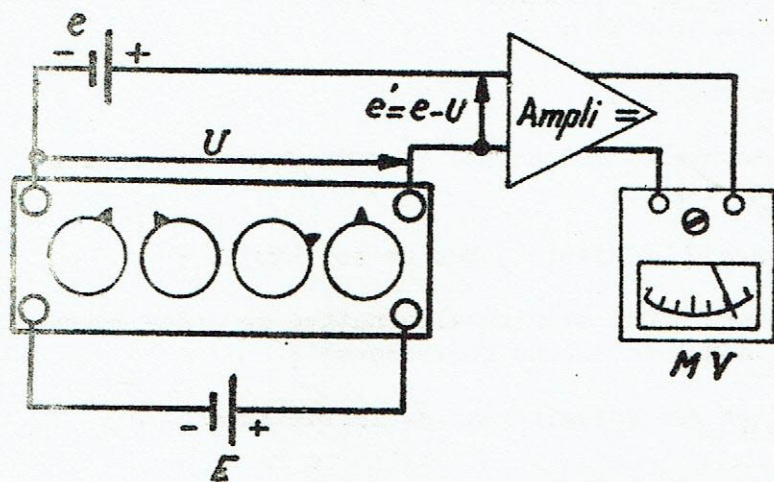
Le galvanomètre devient alors un appareil à déviation, mais le spot ou l'aiguille doivent rester dans les limites de la graduation de l'échelle de lecture.

L'opposition étant imparfaite, c'est le galvanomètre qui recueille l'appoint de tension positif ou négatif nécessaire pour l'obtention de l'opposition théorique. En d'autres termes, la f.e.m. inconnue "e" est la somme de la lecture des boutons majorée de la d.d.p. indiquée par le galvanomètre qui doit être ainsi un appareil étalonné par exemple en millivolts.

Dans les potentiomètres à déviation classiques non compensés, la consommation du galvanomètre ou du millivoltmètre fausse la mesure, et c'est là que nous voyons l'intervention de l'électronique pour aboutir au voltmètre électronique différentiel.

Dans cet appareil, la consommation de l'appareil de zéro est négligeable puisque celui-ci est constitué par un amplificateur à grande résistance d'entrée travaillant sur appareil magnétoélectrique à la sortie.

Cette remarque nous permet d'établir le schéma fonctionnel simplifié (fig.1.3). L'inconnue "e" est opposée à la tension  $u = Ri$  réglable par bonds en agissant sur des décades jumelées de façon à garder la somme  $R + R'$  constante.



Le réglage discontinu conduira habituellement à une différence de potentiel d'erreur,

$$e' = e - u$$

différente de zéro et le millivoltmètre MV déviara à droite ou à gauche du zéro.

Si le nombre de boutons de réglage est suffisant, 4 par exemple, on arrive à une résolution nettement suffisante pour travailler en classe 0,1.

Fig. 1.3 - Schéma fonctionnel simplifié du voltmètre électronique différentiel.

### 1.3 - COMPARAISON AU POTENTIOMETRE CLASSIQUE

La sensibilité est conditionnée par :

- Le seuil de fonctionnement de l'amplificateur A ;
- L'instabilité de ces appareils ;
- La sensibilité, c'est-à-dire la d.d.p. donnant lieu à une déviation du millivoltmètre l'emportant sur l'amplitude de l'instabilité ou de la dérive ;
- La subdivision des décades de réglage.

Pour l'appareil A.O.I.P., la sensibilité est d'environ  $10 \mu V$ , donc  $1/100 \text{ mV}$ . Une tension de  $10 \text{ mV}$  peut donc être mesurée avec une sensibilité de réglage de  $1/1000 = 0,1 \%$ .

La sensibilité d'un potentiomètre classique est limitée par le galvanomètre et peut être de  $0,1 \mu V$ .

Ce domaine est d'ailleurs pratiquement le seul où le voltmètre

électronique différentiel se trouve en état d'infériorité. Ce désavantage ne se fait sentir que dans les mesures de très faibles f.e.m. qui interviennent surtout qu'en physique électronique et pour lesquelles même le voltmètre numérique le plus sensible devient inutilisable.

Le voltmètre électronique différentiel présente de très NOMBREUX AVANTAGES DANS LE DOMAINE DES APPAREILS DE MESURE DE CLASSE 0,1 qu'on ne retrouve pas sur un potentiomètre usuel. Ces avantages seront commentés en détail au chapitre II.

En voici un aperçu sommaire :

- 1) - l'amplificateur et le millivoltmètre permettent l'utilisation en voltmètre électronique à plusieurs calibres :  
(0,1 - 1 - 10 - 100 - 1000 V) ;
- 2) - mise en oeuvre très rapide ;
- 3) - maniabilité intéressante et robustesse (pas de galvanomètre fragile), anti-vibratoire ;
- 4) - dispositif de mesure plus simple , pas de servitudes ;
- 5) - possibilité de mesure d'une tension alternative de crête moyennant l'adjonction d'une cartouche redresseuse ;
- 6) - possibilité de sortie sur enregistreur de faible impédance :  
1000  $\Omega$  ;
- 7) - possibilité de mesurer le rapport de deux tensions continues (quotientmètre) ;
- 8) - dispositif de protection contre les surcharges inexistant dans les potentiomètres classiques ;
- 9) - résistance d'entrée très élevée : 10 M  $\Omega$  ;
- 10) - fonctionnement à lecture directe en micro ou nanoampèremètre (chute de tension 0,1 V).

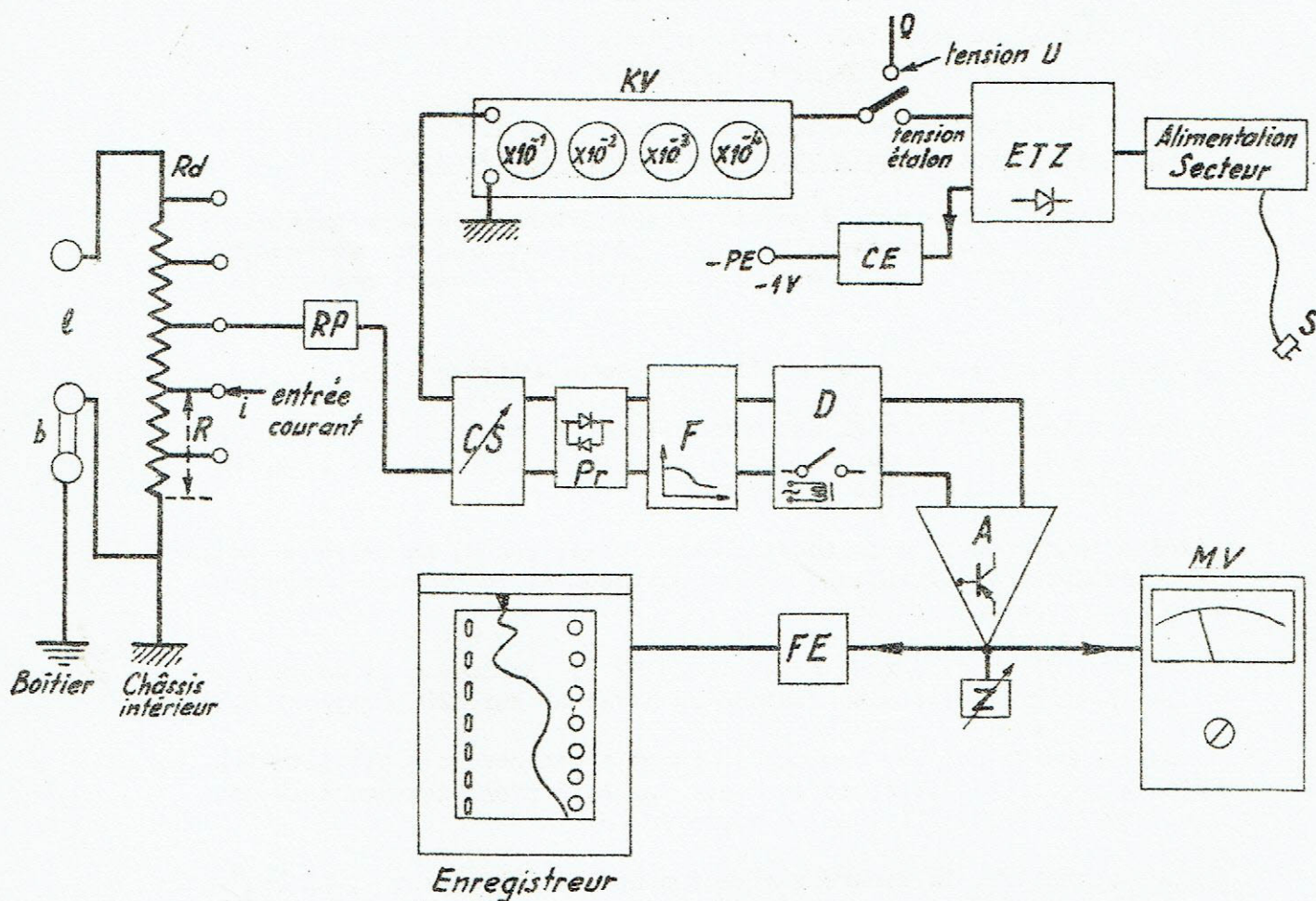
Simultanément avec la comparaison au potentiomètre, il est intéressant de constater la supériorité du voltmètre électronique différentiel sur les appareils de classe 0,1 , les voltmètres numériques et électroniques au point de vue précision avec comme contrepartie le réglage manuel et l'indication un peu moins rapide.

-:~::~:-:~::~:-:~::~:-:~::~:-:~::~:-



CHAPITRE II - DESCRIPTION DES DIVERS CIRCUITS

2.1 - SCHEMA FONCTIONNEL COMPLET (fig.2.1)



- Schéma fonctionnel du voltmètre électronique différentiel -

Légende :

- |    |   |     |   |
|----|---|-----|---|
| e  | - tension à mesurer   | MV  | - millivoltmètre  |
| Rd | - diviseur d'entrée   | KV  | - diviseur de tension du type Kelvin-Varley -   |
| R  | - fraction de Rd destinée à la mesure des courants.                           | ETZ | - étalon de tension à diodes Zener  |
| Rp | - résistance de protection  | CE  | - dispositif fournissant une force contre-électromotrice de 1 V destinée à faciliter le tarage. |
| CS | - commutateur de sensibilité  | PE  | - borne d'entrée pour le pôle négatif de la pile étalon Weston opposée à CE (tarage).           |
| Pr | - dispositif de protection à semi-conducteurs (diodes au silicium tête-bêche) | S   | - secteur alternatif à 50 Hz  |
| D  | - découpeur (chopper)   | Z   | - réglage de zéro de la tension de sortie de l'amplificateur.                                   |
| A  | - amplificateur à transistors   | Q   | - entrée quotientmètre.   |
| FD | - filtre à résistance-capacité du découpeur.                                  |     |   |
| b  | - barrette  |     |   |
| FE | - filtre et réducteur d'entrée de l'enregistreur.                             |     |   |

Un commutateur fonctionnel non figuré permet de brancher l'amplificateur A avec le calibre désiré sélectionné par CS.

- a) à la sortie du réducteur attaquée par la tension à mesurer "e", (fonctionnement en voltmètre électronique)
- b) entre la sortie du réducteur et la sortie du diviseur Kelvin-Varley - (fonctionnement en voltmètre électronique différentiel).

D'autre part, l'inverseur Q permet de substituer à la tension étalon, une tension U, qui devient ainsi la source d'alimentation du diviseur KV. L'appareil permet alors la mesure du rapport e/U (fonctionnement en quotientmètre).

La mesure d'une tension "e" s'effectue comme suit :

Le commutateur fonctionnel est branché dans la position V (voltmètre), le calibre étant d'abord de 1000 V, ensuite 100, 10, etc... , de façon à avoir une lecture convenable.

L'ordre de grandeur de la tension étant ainsi connu, on passe en potentiomètre après avoir affiché sur le diviseur KV le rapport correspondant à la tension mesurée.

Si par exemple, le dégrossissage donne 82 V, on placera le commutateur de calibre sur 100, et les boutons du diviseur sur 8200 (rapport 0,82).

On agit ensuite sur les boutons de façon à ramener le millivoltmètre MV au zéro, si possible, après avoir augmenté progressivement la sensibilité de l'amplificateur au moyen de CS.

En quotientmètre, la mesure s'effectue de la même manière, après avoir dégrossi la valeur de la tension U qu'on cherche à comparer à "e". La tension U est ensuite raccordée au moyen de Q au diviseur KV.

En somme, la lecture des boutons donne, suivant la fonction, la tension mesurée "e" ou le rapport de deux tensions à comparer e et U.

Pour la mesure d'un courant i, ce dernier est envoyé dans une fraction du réducteur à résistance Rd d'entrée. Il en résulte une chute de tension. Cette tension mesurée e et la résistance en service R permettent d'explicitier le courant  $i = e/R$  - (Voir chap. IV).

## 2.2- DIVISEUR KELVIN-VARLEY - (Fig.2.2.)

Ce dispositif ingénieux permet de réaliser un rapport de tension dont la précision est supérieure à la précision de réglage des résistances prises individuellement. Il élimine en outre, l'effet du coefficient de température. Son schéma est indiqué à la figure 2.2.

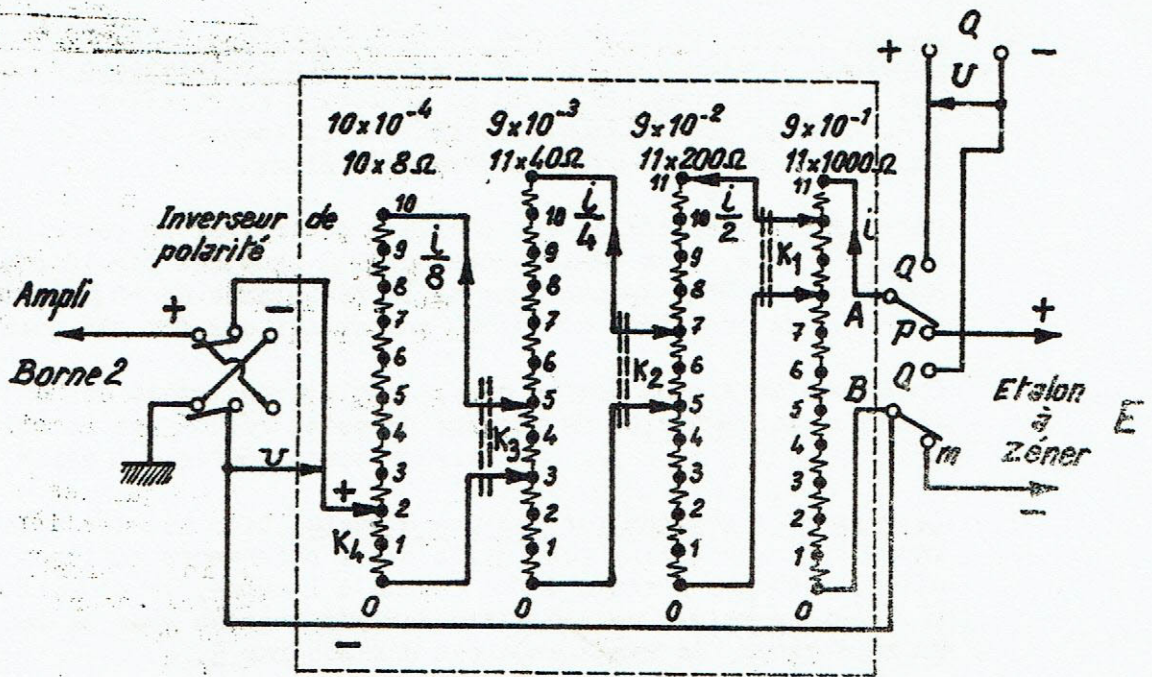


Fig.2.2 - Schéma du diviseur KELVIN-VARLEY du VP

Le premier élément comporte une rangée de 11 résistances de 1 000 Ω garanties à 0,1 % mais égalisées à 10 millionièmes près par comparaison préalable au moyen d'un procédé de double pesée appliquée à une méthode de zéro (pont).

Sur les plots de jonction se déplace un curseur double K 1 destiné à shunter deux éléments adjacents par une rangée de 11 résistances de 200 Ω.  
 Le curseur double K<sub>2</sub> shunte deux de celles-ci par 11 résistances 5 fois plus faibles donc de 40 Ω.  
 Le troisième curseur double K<sub>3</sub> shunte deux des dernières résistances adjacentes par dix éléments 5 fois moins résistants donc de 8 Ω.  
 Enfin le curseur simple K<sub>4</sub> peut mettre en service l'une quelconque des dix dernières résistances.

Toutes les résistances sont à 0,1 %, mais l'égalité des éléments d'une même rangée est réalisée avec une approximation dépendant de leur valeur, comme le montre le tableau qui suit :

| Résistance de l'élément<br>Ω | Rapport relatif des éléments de<br>même valeur nominale |
|------------------------------|---|
| 1 000                        | 10 <sup>-5</sup>  |
| 200                          | 10 <sup>-4</sup>  |
| 40                           | 10 <sup>-3</sup>  |
| 8                            | 10 <sup>-2</sup>  |

L'examen du montage permet de constater que :

- 1) - la résistance totale vue des bornes d'entrée A et B est pratiquement constante quelle que soit la position des commutateurs en raison du fait que les résistances de 1 000 ne diffèrent entre elles que de  $10^{-5}$  et que l'égalité de deux éléments résistants adjacents et de la rangée qui les shunte est réalisée avec la même précision.

Cette résistance totale est facile à déterminer en remontant de la sortie vers l'entrée. Deux résistances de  $40 \Omega$  shuntées par 10 résistances de  $8 \Omega$  donc par  $80 \Omega$  donnent une seule résistance de  $40 \Omega$  et tout se passe comme si la troisième décade ne comportait que dix éléments de  $40 \Omega$ .

On trouve en fin de compte que la résistance totale est de  $10\ 000 \Omega$ . Bien que la précision de réglage de cette résistance ne soit que de  $0,1\%$  les rapports donnés par le diviseur seront définis à moins de  $10^{-4}$  près.

- 2) - Le rapport s'obtient par lecture directe, bien que les valeurs des résistances ne soient pas égales à des puissances entières de 10. En effet, à chaque passage d'une décade à l'autre, le courant est divisé par deux en raison de l'égalité des résistances vues de la jonction. En même temps, la résistance est divisée par 5.

En conséquence lorsqu'on passe d'une décade de 11 éléments de résistance  $R$  parcourus par un courant  $i$  à une décade de 11 éléments de résistance  $R/5$  parcourus par un courant  $i/2$ , la chute de tension par élément passe de

$$Ri \text{ à } \frac{R}{5} \frac{i}{2} = \frac{Ri}{10}$$

En d'autres termes, lorsqu'on passe d'une décade à la suivante de gauche à droite, le poids d'un élément est divisé par 10. Tout se passe donc comme si l'on avait affaire à un système classique à lecture directe.

Dans le cas de la figure 2.2 le facteur de réducteur est  $0,8532 = u/E$

- 3) - La disposition symétrique des contacts réduit considérablement les f.e.m. thermoélectriques, qui se trouvent en opposition lorsqu'on parcourt un circuit fermé comprenant deux résistances d'une décade et les 11 autres qui les shuntent par l'intermédiaire des curseurs doubles. Si la mécanique est soignée et bien symétrique, l'échauffement est le même pour chaque contact.
- 4) - Les commutateurs sont du type à contacts élastiques à balai équilibré reposant en trois points. Les lames d'un balai sont séparées les unes des autres dans le but d'éviter le couplage élastique nuisant à leur élasticité par un raidissement inutile. De plus, elles sont coudées de façon que leurs extrémités assurant les contacts se présentent obliquement par rapport à leur trajectoire sur les plots.

Cette disposition assure une usure uniforme et évite la formation de sillons. La pression des lames est soigneusement réglée de manière à réaliser un bon contact et une manoeuvre souple.

Comme les balais sont en bronze phosphoreux travaillant à une pression convenable sur les plots en laiton dressés avec soin, aucun grippage n'est à craindre.

La position oblique des balais conduit à une usure uniforme et insignifiante permettant de faire jouer un dispositif de rattrapage automatique.

- 5) - La stabilité de la tension du bloc d'alimentation exige un débit sur résistance constante. Il a été prévu ainsi deux modes de fonctionnement pour donner plus de souplesse à l'appareil :
- a) débit direct sur les 10 000 Ω du diviseur KV sous une tension égale à 1 V à 10<sup>-5</sup> près ;
  - b) débit sur un réducteur comprenant en série une résistance de 9 000 Ω et une autre de 1 111,1 Ω (en réalité 1105 et une résistance réglable de 10 Ω). Cette dernière étant shuntée par le diviseur KV de 10 000 Ω (voir figure 2.5).
- Dans ce dernier cas, le KV shunté par 1 111 Ω donne une résistance équivalente de

$$\frac{1\ 111,1 \times 10\ 000}{11\ 111,1} = 1\ 000\ \Omega$$

en d'autres termes, la résistance de 9 kΩ du réducteur se trouve en série avec 1 000 Ω d'où une réduction de tension dans le rapport

$$\frac{1\ 000}{1\ 000 + 9\ 000} = \frac{1}{10}$$

et le diviseur KV est ainsi alimenté sous 0,1 V. Il en résulte un découplément de la sensibilité de réglage, puisque 100 mV sont ainsi étalés en fractions de 1/10 000 grâce aux quatre boutons de réglage.

### 2.3 - ETALON DE TENSION A ZENER (fig.2.3)

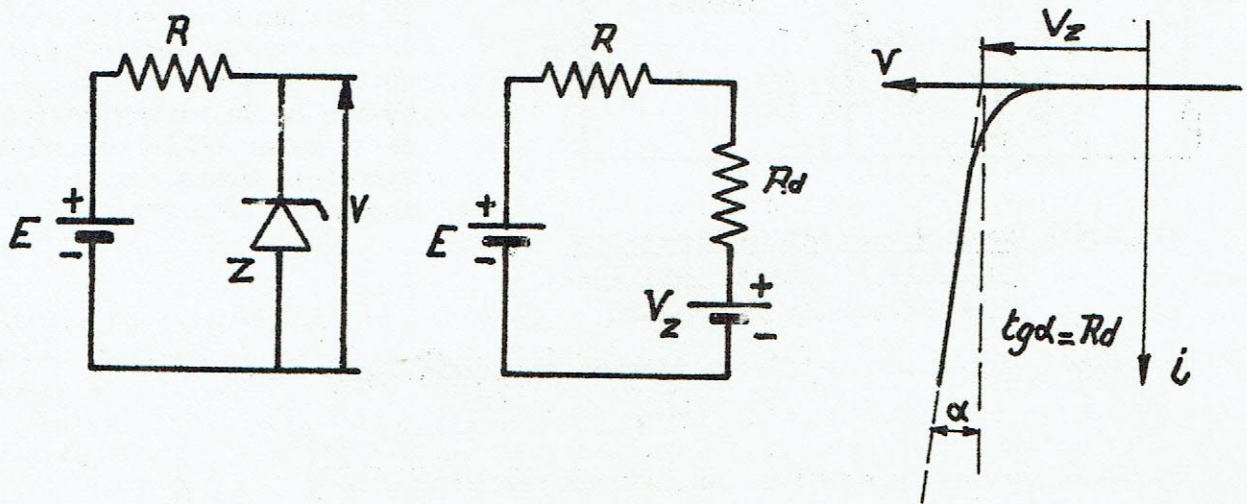


Fig.2.3 - Montage d'un stabilisateur à Zener et circuit équivalent

Pour en comprendre le fonctionnement, il suffit d'examiner l'allure de la caractéristique dans la région de Zener (fig.2.3) pour en conclure que l'élément de résistance dynamique  $R_d$  se comporte pratiquement comme une pile de f.e.m.  $V_Z$  (tension de Zener) et de résistance interne égale à  $R_d$ .

La résistance  $R$  nécessaire pour la stabilisation absorbe environ le tiers de la tension d'alimentation  $E$  provenant du secteur redressé et filtré par deux cellules RC dans le voltmètre potentiométrique.

Lorsque  $E$  varie, la tension de sortie  $V = R_d i + V_Z$  varie de  $R_d \Delta i$  avec

$$\Delta i = \frac{\Delta E}{R + R_d}$$

d'où  $\frac{\Delta V}{\Delta E} = \frac{R_d}{R + R_d}$  et  $k = \frac{\Delta V/V}{\Delta E/E} = \frac{E}{V} \frac{R_d}{R + R_d} \approx \frac{E}{2E/3} \frac{R_d}{R + R_d} = \frac{1,5 R_d}{R + R_d}$

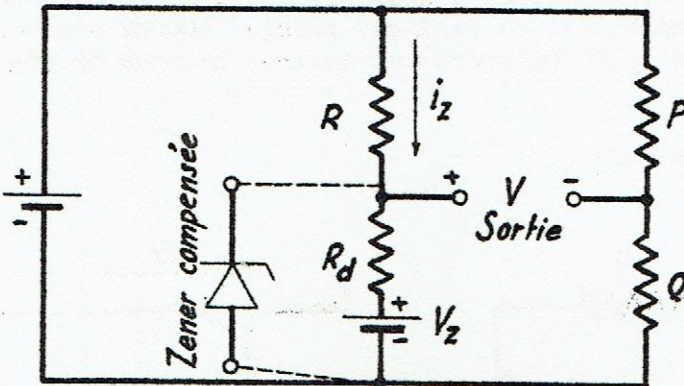
Pour une tension de Zener de 7 V et une source  $E = 10$  V, on a pour un débit de 5 mA

$$R = \frac{10-7}{5 \cdot 10^{-3}} = 600 \Omega.$$

Une résistance dynamique de  $24 \Omega$  donne une stabilité relative faible.

$$k = \frac{1,5 \times 24}{624} = \frac{1}{17,3}$$

C'est la raison pour laquelle on adopte le montage en pont (fig.2.4) combattant les variations de tension de la source.



On règle les résistances auxiliaires de façon à réaliser la condition

$$RQ = PR_d$$

Les diagonales sont alors indépendantes et une variation de la tension  $E$  n'influe pas sur la tension de sortie pourvu qu'on reste sur la partie linéaire de la caractéristique de la Zener où la résistance dynamique reste sensiblement constante (fig.2.3).

Fig.2.4 - Montage en pont de Wheatstone équilibré en résistances pour améliorer la stabilisation

Un calcul simple montre que la tension de sortie  $V$  est égale à

$$V_Z \frac{P}{P + Q}$$

et n'est pas influencée par les faibles variations de  $E$ .

Pour profiter de la stabilisation ainsi obtenue, on peut compenser le coefficient de température de la Zener par une autre de même coefficient mais de signe contraire, comme c'est le cas ici.

La tension déjà stabilisée par pont, subit encore l'effet d'un stabilisateur à deux étages (fig. 2.5) à Zener.

On remarque à la figure 2.5 que la tension redressée est filtrée d'abord par une capacité de découplage de 50  $\mu\text{F}$ , ensuite par deux cellules RC (1 k $\Omega$ , 50  $\mu\text{F}$ , 1 k $\Omega$ , 100  $\mu\text{F}$ ). Les inductances, bien qu'efficaces, ont été évitées par le constructeur pour ne pas perturber le fonctionnement de l'amplificateur de mesure sensible par un rayonnement magnétique parasite.

Les combinaisons de résistance de cuivre et de manganin en série et en shunt sont destinées à ajuster la tension d'alimentation du diviseur Kelvin-Varley à 0,1 ou 1 V, et à assurer au bloc étalon un coefficient de température négligeable, de l'ordre de  $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ .

La résistance de 10  $\Omega$  est réglée en usine de façon à disposer sur la borne marquée PE (pile étalon) d'une tension de -1 V par rapport à la masse. De cette manière, le tarage du bloc étalon peut être effectué à l'aide d'une pile étalon WESTON de f.e.m. :

$$1,0186 \text{ V abs.}$$

laquelle branchée entre la borne d'entrée de l'appareil et -PE donne une tension différentielle de :

$$0,0186 \text{ V}$$

Il suffit d'afficher sur les boutons du diviseur cette tension, c'est-à-dire, le nombre 186 sur les trois dernières décades et de travailler en voltmètre électronique différentiel (voir 4.2-6) sur le calibre de 100 mV pour se rendre compte si le réglage est correct.

Dans la négative, on agit sur la vis marquée "Tarage" (voir platine fig.4.1) jusqu'au moment où l'aiguille du millivoltmètre reste au zéro.

Les 4 inverseurs sont accouplés (position 0,1 V et zéro).

La position 0 met l'entrée du Kelvin-Varley en court-circuit. La tension d'attaque du voltmètre électronique différentiel étant nulle, on en profite pour le réglage du zéro électronique - (Voir amplificateur fig.2.6)

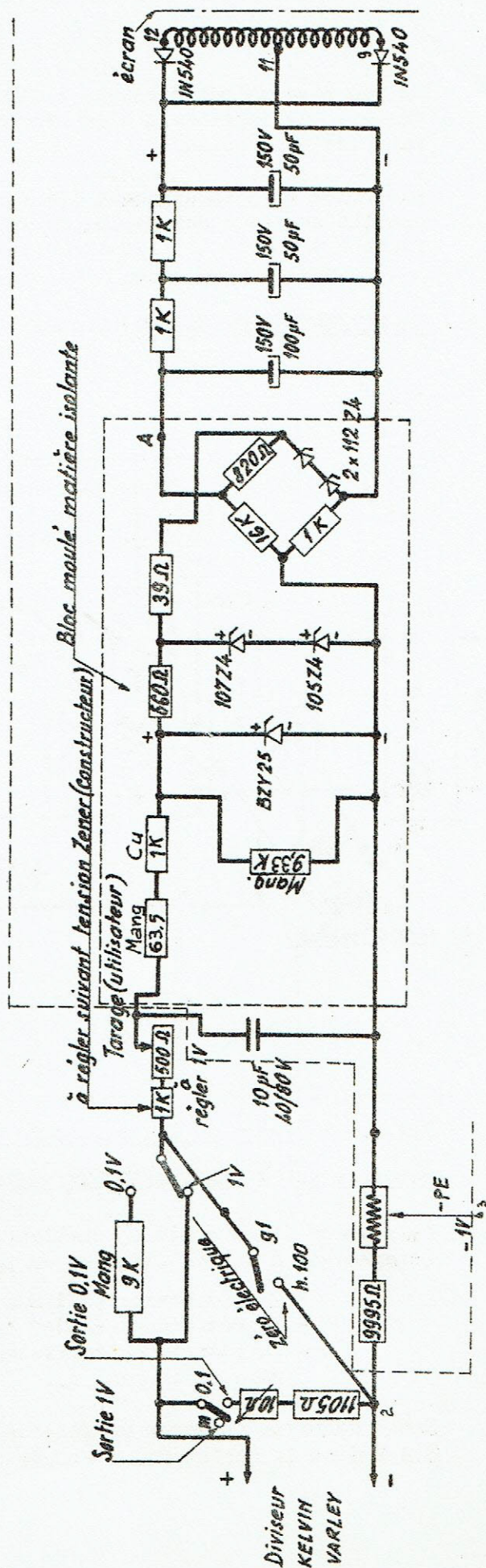


Fig.2.5 - Schéma complet de l'étalon à ZENER et des divers circuits de réglage.

On remarque en outre que le bloc étalon est découplé à la sortie par une capacité de  $10\ \mu\text{F}$  destinée à éliminer les petites tensions variables résiduelles permanentes ou erratiques.

Le triage et l'appariement des Zener se fait de façon soignée. Le bloc est ensuite soumis à des cycles de température et à des essais de stabilité de façon à donner à l'utilisateur les garanties nécessaires.

2.4 - AMPLIFICATEUR DE MESURE (fig.2.6)

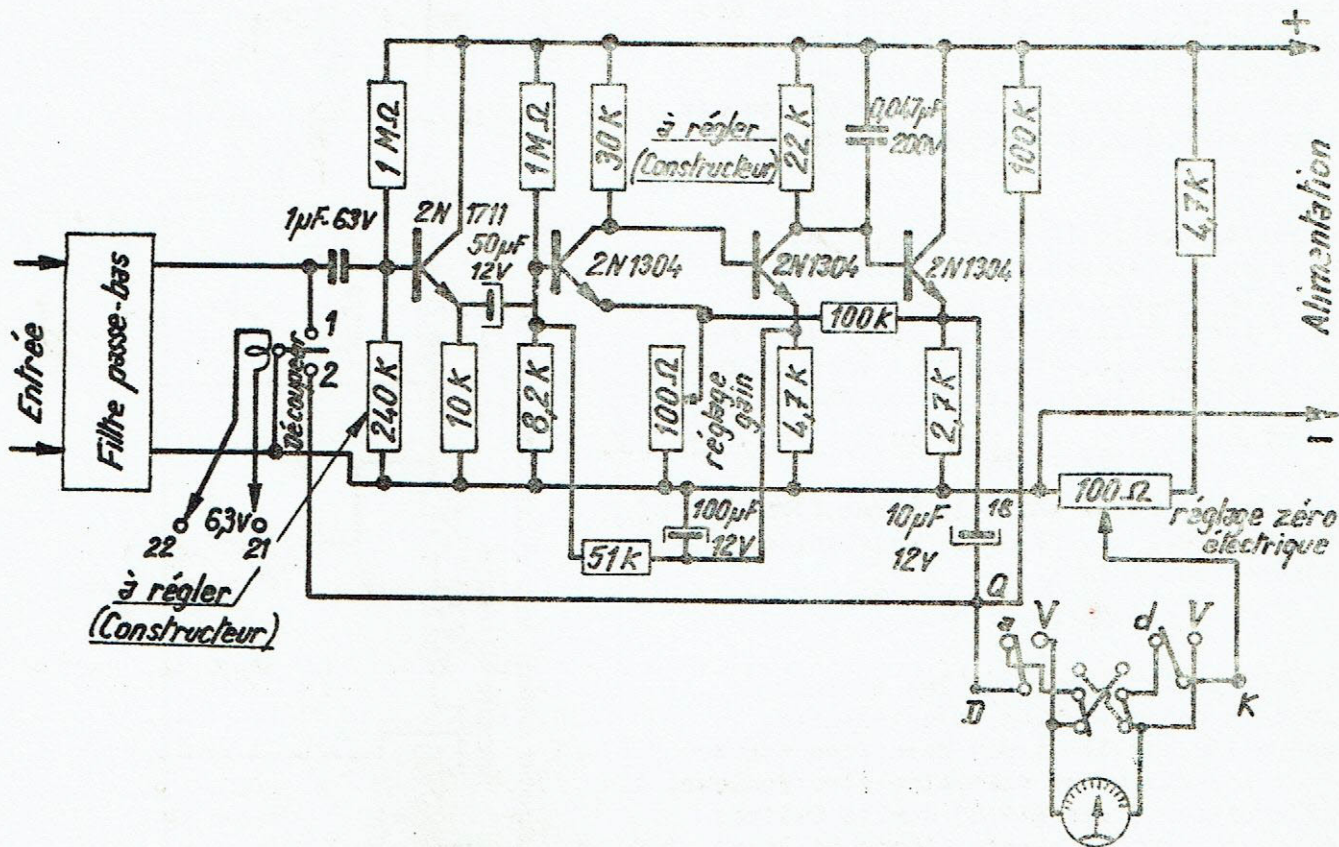


Fig.2.6 - Schéma de l'amplificateur de mesure

Celui-ci est à transistors et comporte quatre étages.

Le premier étage monté en émetteur-suiveur joue le rôle d'adaptateur d'impédance. L'impédance d'entrée comporte en parallèle

- la résistance de  $1\ \text{M}\ \Omega$
- la résistance de  $240\ \text{k}\ \Omega$
- la résistance équivalente entre émetteur et masse multipliée par le gain en courant  $h_{21}$

Cette dernière comporte en parallèle une résistance de  $10\ \text{k}\ \Omega$ , une résistance de  $8,2\ \text{k}\ \Omega$  et la résistance d'entrée du deuxième transistor. On néglige l'impédance



de la capacité de couplage de  $50 \mu\text{F}$  à la fréquence de travail, qui est de 50 Hz. Cette impédance n'est que de  $63 \Omega$ .

Un calcul sommaire conduit à une résistance d'entrée de l'ordre de  $100\,000 \Omega$ .

- Dans le schéma de l'amplificateur, on remarque deux circuits de contre réaction destinés à stabiliser le gain. Ce dernier doit avoir une valeur déterminée pour rendre possible le fonctionnement en appareil étalonné. Pour arriver à ce but, le constructeur a prévu un premier réglage portant sur la résistance de charge de  $22 \text{ k}\Omega$  du troisième transistor et un réglage plus fin par l'intermédiaire du potentiomètre de  $100 \Omega$  destiné à doser le taux d'une des chaînes de contre-réaction.
- Le millivoltmètre branché dans le circuit de sortie subit l'action d'une tension continue. La remise à zéro "électrique" se fait au moyen du potentiomètre de  $100 \Omega$  accessible par une vis (voir platine fig.4.1).
- L'utilisation de transistors NPN permet une disposition plus convenable par rapport à la masse.
- L'amplificateur et son circuit d'entrée sont blindés afin d'éviter l'action des champs parasites extérieurs.
- Le circuit d'alimentation, comme celui du diviseur KV, ne comporte pas d'inductances de filtrage afin d'éviter le rayonnement magnétique parasite de celles-ci.

#### 2.4.1 - Circuits auxiliaires de l'amplificateur

##### 2.4.1.1 - Millivoltmètre de sortie MV

- Ce pivotant à zéro médian est un appareil de classe 1 de 90 mm de longueur d'échelle comportant 50 divisions de part et d'autre du zéro marquées de 0,2 en 0,2 jusqu'à 1.
- La déviation maximale d'un côté du zéro est obtenue pour une tension de 55 mV et un courant de  $100 \mu\text{A}$  (résistance  $550 \Omega$ ).
- Le pivotage de l'appareil a été prévu particulièrement robuste en vue de résister aux surcharges de toute nature provenant d'une mauvaise utilisation des calibres. Comme nous le verrons plus loin, une protection spéciale a en outre été prévue à l'entrée de l'amplificateur.
- Un inverseur bipolaire permet de travailler en VP avec la polarité convenable (voir platine fig.4.1. poussoirs noir et rouge marqués "Polarité").
- Lorsque l'appareil fonctionne en voltmètre électronique la polarité de la tension à mesurer est indiquée par la déviation du MV.

##### 2.4.1.2 - Découpeur (chopper)

L'intervention de celui-ci est utile afin d'éviter l'influence de la dérive des tensions d'électrodes. Comme celles-ci sont de même nature que le signal, qui est continu, l'action de ce dernier risque d'être faussée par une éventuelle dérive.

Le découpeur permet de transformer le signal à détecter continu en signal haché. L'amplificateur fonctionne ainsi en régime différentiel et une légère dérive ne perturbe pas la tension de sortie qui est aussi variable mais unidirectionnelle.

En effet, (fig.2.6) lorsque la lame du découpeur est en 1, l'entrée est court-circuitée et la tension à mesurer n'est pas transmise à l'amplificateur.

Dans la position 2, l'entrée est ouverte à une impulsion de polarité définie, laquelle amplifiée par l'appareil alimente le millivoltmètre. Comme le découpage se fait à 50 Hz, l'appareil de sortie ne réagit pas aux ondulations en raison de l'inertie de son équipement et intègre la tension à mesurer, en indiquant sa valeur moyenne.

Le circuit magnétique du découpeur utilisé est alimenté sous la tension normalisée de 6,3 V pour le chauffage de la plupart des tubes de réception et son branchement se fait directement aux bornes d'un enroulement de chauffage secondaire (voir schéma complet en fin de fascicule).

Un découpeur n'est efficace que dans la mesure où son bruit de fond est négligeable. Dans le voltmètre potentiométrique le bruit de fond en question ne dépasse pas 12  $\mu\text{V}$ .

#### 2.4.1.2.1 - Filtre du découpeur

Le fonctionnement du découpeur se traduit par un court-circuit périodique dans le circuit d'entrée et du diviseur. Pour en empêcher la réaction sur la source et le diviseur KV, on recourt à un filtre dont l'efficacité exige plusieurs cellules à résistance-capacité (fig.2.7).

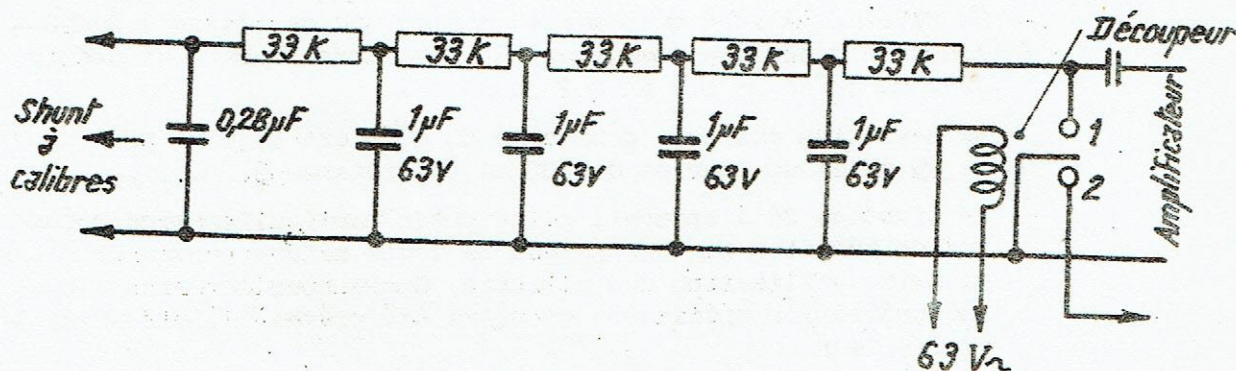


Fig.2.7 - Schéma du filtre RC du découpeur

Ce filtre vu des bornes du découpeur comporte cinq cellules comprenant chacune une résistance série de 33 k $\Omega$  et une capacité de découplage de 1  $\mu\text{F}$  (0,28  $\mu\text{F}$  pour la dernière). Le coefficient de filtrage d'une cellule seule à 50 Hz est de l'ordre de 10. En raison de la charge représentée par une cellule aux bornes de la capacité de la cellule précédente. L'efficacité de deux cellules est inférieure à 10 x 10, mais la perte n'est pas considérable si l'on songe que l'impédance d'une cellule est environ 10 fois celle d'une capacité.

Les cinq cellules assurent ainsi un filtrage suffisamment efficace pour empêcher toute réaction du découpeur. Celui-ci est blindé comme l'amplificateur pour être protégé des champs extérieurs parasites, dont l'effet serait d'augmenter le bruit de fond ou d'introduire des tensions parasites dans le circuit d'entrée de l'amplificateur.

#### 2.4.1.3 - Filtre de l'enregistreur potentiométrique extérieur

La nature pulsée de la tension aux bornes du millivoltmètre et sa forte valeur pour un enregistreur A.O.I.P. de type courant nécessitent :

- a) une réduction de la tension de sortie normale,
- b) un filtrage convenable.

Ces deux fonctions sont assurées par le circuit de la figure 2.8, qui se raccorde aux bornes D et K de sortie de l'amplificateur.

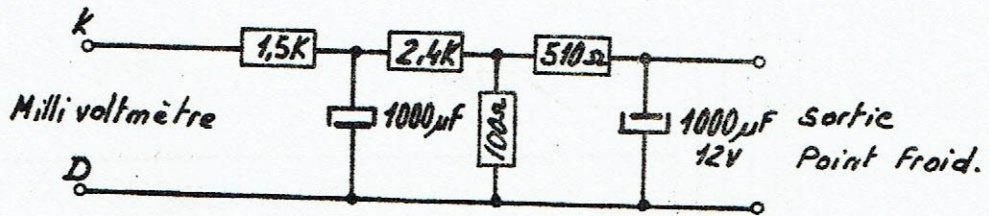


Fig. 2.8 - Réducteur et filtre de l'enregistreur potentiométrique extérieur

L'échelle - 55 + 55 mV du millivoltmètre MV correspond alors aux bornes d'utilisation L et D à la gamme - 1,25 + 1,25 mV d'un potentiomètre enregistreur A.O.I.P. de 1 000 Ω de résistance d'entrée.

L'emploi d'un enregistreur est toujours intéressant pour suivre l'évolution d'une tension en fonction du temps et en particulier la dérive d'une source stabilisée, par exemple, grâce à la sensibilité de l'appareil atteignant quelques  $10^{-5}$  dans les cas les plus favorables et au moins  $10^{-4}$  en général.

Le point froid de la sortie enregistreur est indépendant de la polarité (fiche de droite de la prise, vue côté face arrière de l'appareil).

#### 2.5 - REDUCTEUR D'ENTREE ET SHUNT A PLUSIEURS CALIBRES DE L'AMPLIFICATEUR

Ces circuits à plusieurs prises sont équipés de commutateurs mécaniquement accouplés. Aussi, faut-il commenter simultanément leur fonctionnement.

Les éléments du shunt sont à 0,1 %. Les résistances du réducteur sont à 0,05 % mais leurs rapports nominaux sont réglés à 0,01 % près.

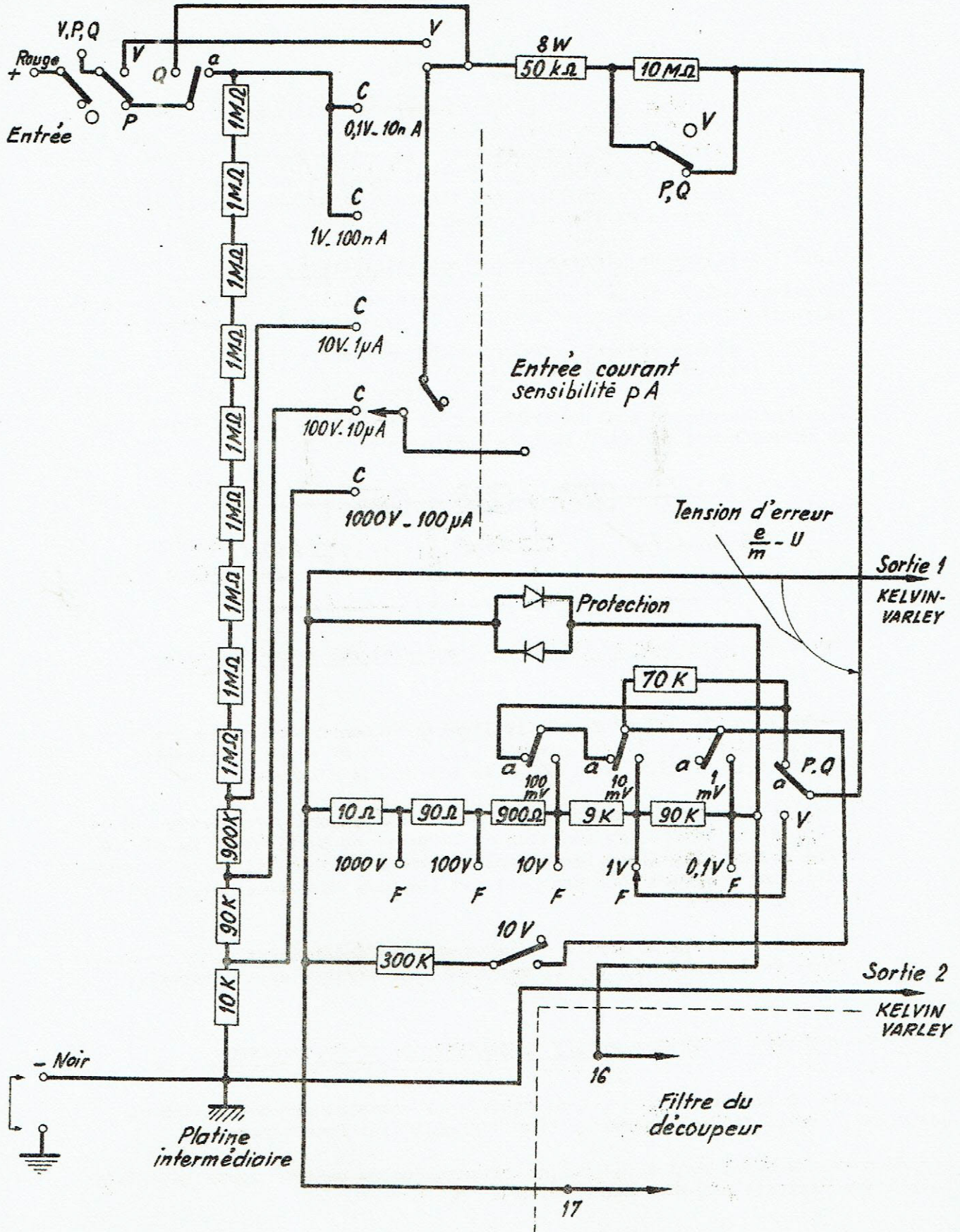


Fig.2.9 - Réducteur d'entrée et shunt à plusieurs sensibilités de l'amplificateur.

### 2.5.1 - Cas du voltmètre à lecture directe

En voltmètre, tous les commutateurs (professionnels à grains d'argent) se trouvent dans la position V.

On remarque que le circuit de mesure comprend en série une résistance de  $10\text{ M}\Omega$  et une autre de  $50\text{ k}\Omega$ . D'autre part, la résistance totale du shunt est de  $100\text{ k}\Omega$  ainsi que la résistance équivalente du filtre d'entrée du découpeur lorsque ce dernier est en fonctionnement. Cette résistance est définie par le quotient de la tension continue appliquée par le courant moyen absorbé.

En voltmètre, on a affaire à un véritable shunt universel puisque le fonctionnement se fait en courant et non en tension en raison de la présence de la résistance série élevée de  $10\text{ M}\Omega$ . Pour une tension donnée, le courant est donc pratiquement imposé et un shunt universel convient parfaitement.

En raison du grand nombre de facteurs perturbateurs qui interviennent simultanément, le fonctionnement en voltmètre ne se fait qu'en classe 5. Il rend, certes, de précieux services en tant qu'appareil à lecture directe ; mais, surtout lors du dégrossissage de la tension à mesurer en voltmètre électronique différentiel.

Le commutateur du shunt comporte 5 positions marquées :  
0,1 - 1 10 - 100 et 1000 V.

### 2.5.2- Cas du voltmètre électronique différentiel -

Dans cette éventualité, tous les commutateurs se trouvent dans la position marquée "P".

La tension à mesurer "e" attaque le réducteur d'entrée dont la résistance totale est de  $10\text{ M}\Omega$ . C'est, en somme, la résistance d'entrée de l'appareil.

Simultanément, le diviseur KV se trouve alimenté et sa tension de sortie u se trouve en opposition avec une fraction e/m de l'inconnue. Le mode opératoire pour la mise en opposition et le réglage définitif sont expliqués au chapitre IV consacré à l'utilisation pratique.

### 2.5.3- Cas du nanoampèremètre -

La source de courant est alors à raccorder entre la douille marquée "Entrée courant" (voir fig. 2.9. et 4.1.) et la masse. Si la douille est réunie au pôle positif, le commutateur de polarité doit être sur +.

La tension à mesurer "e" est la chute de tension  $R_i$ , engendrée par le courant i, envoyé dans une fraction du diviseur d'entrée.

Fonctionnement : (voir chapitre III - § 3.3 )

#### 2.5.4- Cas du quotientmètre -

A la tension d'alimentation normale du diviseur KV, on substitue la tension la plus forte U à comparer à une tension e plus faible. Lorsqu'on appuie sur la touche marquée Q (fig. 4.1), les inverseurs se placent dans la position marquée "Q" (fig. 2.2. et 2.9).

La tension U réduite par le diviseur dans un certain rapport est égale à e en agissant sur les boutons du KV jusqu'à ce que l'opposition soit obtenue au millivoltmètre.

Si m est la lecture des boutons (inférieure ou égale à 1) , on a :

$$e = mU$$

ou , si l'on veut, les quotients  $e/U = m$  ou  $U/e = 1/m$ , sont directement fournis par l'appareil.

#### 2.5.5- Shunt et dispositif de protection -

On sait , par les explications données au § 2.5.1, que le shunt travaille en courant en voltmètre à lecture directe, et de ce fait, a la structure d'un shunt universel.

Sa résistance totale de 100 000  $\Omega$  comporte 5 prises à :  
100 000 (0,1 V), 10 000 (1 V), 1000 (10 V), 100 (100 V) et 10 (10 V).

En voltmètre électronique différentiel - (donc également en nanoampèremètre) et en quotientmètre, la résistance de 10 M $\Omega$  est court-circuitée pour permettre de travailler avec une bonne sensibilité (fig. 2.9).

La résistance totale du circuit d'attaque se trouve ainsi considérablement réduite, et une résistance de 70 k $\Omega$  a été prévue pour les calibres de 10 et 100 mV pour lesquelles la résistance de 90 k $\Omega$  du shunt n'est pas en service. Pour le calibre 1 mV, cette résistance d'adaptation n'est pas nécessaire.

Afin d'éviter la surcharge du millivoltmètre, un limiteur de tension a été prévu à l'entrée du shunt. Celui-ci comprend deux diodes à jonction au silicium montées tête-bêche.

Rappelons que le courant direct de ces diodes est négligeable jusqu'à une tension de l'ordre de 0,4 V environ, et que, pour des tensions de l'ordre de quelques dizaines de mV, la résistance directe est sensiblement égale à la résistance inverse.

Pour se rendre compte de l'ordre de grandeur de cette dernière, il y a lieu de retenir que, sous une tension de quelques dizaines de V, le courant consommé n'atteint pas quelques centièmes de  $\mu$ A.

En d'autres termes, pour les calibres prévus, les diodes n'interviennent que pour une tension de quelques dixièmes de volt. Au delà de 0,5 ou 0,6 V, l'intervention est très brutale et l'effet de shunt d'abord progressif dégénère sensiblement en un véritable court-circuit.

La tension transmise à l'entrée de l'amplificateur est ainsi limitée à une valeur telle, que la mise hors service du millivoltmètre de construction robuste est impossible, même en cas de fausse manoeuvre sur le commutateur de calibre de tension.

- Une protection supplémentaire intervient en raison de la saturation de l'amplificateur, lequel, en cas de surcharge, sort des limites du domaine de linéarité.

## 2.6- ALIMENTATION

Afin d'éviter les interactions nuisibles, l'alimentation de l'amplificateur de mesure est séparée de celle du bloc de tension étalon.

POUR AUGMENTER LE FACTEUR DE REJECTION, LE TRANSFORMATEUR D'ALIMENTATION A ETE MUNI D'UN ECRAN ENTRE L'ENROULEMENT PRIMAIRE ET LES ENROULEMENTS SECONDAIRES ISOLES ENTRE EUX.

L'enroulement primaire protégé par fusible à cartouche de 0,2 est prévu pour une tension de réseau :  $220 \text{ V} \pm 10 \%$

La consommation primaire est de l'ordre de 35 mA.  
(puissance apparente 7,7 VA environ)

CHAPITRE III - SOMMAIRE DES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

3.1- FONCTIONNEMENT EN VOLTMETRE A LECTURE DIRECTE

- 5 gammes en classe 5  
0,1 - 1 - 10 - 100 - 1000 V -
- Indication automatique de polarité sur le cadran millivoltmètre de sortie à zéro médian ;
- Résistance d'entrée sensiblement égale à 10 M $\Omega$  pour toutes les sensibilités .
- Changement de calibre par sélecteur à clavier à touches avec sécurité. Un verrouillage mécanique empêche l'enclenchement simultané de deux touches.
- Protection automatique en cas de fausse manoeuvre sur les touches.

3.2- FONCTIONNEMENT EN VOLTMETRE ELECTRONIQUE DIFFERENTIEL

- 5 gammes en classe 0,05  
0,1 - 1 - 10 - 100 - 1000 V -
- Changement de calibre par sélecteur à touches avec sécurité, comme dans le cas du voltmètre à lecture directe .
- Lecture de la tension sur 4 boutons (après réglage de l'opposition) dont trois à 10 positions, 0 à 9, et le dernier à 11 positions marquées de 0 à 10. La subdivision de la gamme de réglage est ainsi de 1/10 000.
- Précision absolue , deux à cinq unités du dernier bouton (échelons de 1/10 000).
- Précision relative calculable à partir de la précision absolue et la tension à mesurer.
- Sensibilités de réglage approximatives : pour une source de faible résistance (1000  $\Omega$  au plus).

|                 |   |
|-----------------|---|
| Calibre 0,1 V : | 0,5 division du millivoltmètre pour un échelon de la quatrième décade (subdivision 1/10 000 de la résistance totale du diviseur KV) |
| 1 V :           | 4 divisions pour un échelon de la 4ème décade   |
| 10 V :          | 0,8 " " " " "   |
| 100 V :         | 3 " " " " "   |
| 1000 V :        | 5 " " " " "   |

La faible sensibilité pour le calibre 0,1 V (6 à 10 fois moins que dans les cas les plus favorables) s'explique par le fait que le diviseur KV est alimenté sous 0,1 V seulement, et non 1 V comme pour les autres calibres.



Le fait que pour les calibres de 10 V la sensibilité passe par un minimum est dû à ce que le diviseur d'entrée vu des bornes du circuit de mesure présente la plus forte résistance. On trouve entre la borne 10 V et la masse une résistance de 1 MΩ. Celle-ci est shuntée par le reste du diviseur, soit 9 MΩ en série avec la résistance de la source à mesurer (effet négligeable).

Par contre, pour 1 V on a en parallèle le diviseur de 10 MΩ et la source de résistance interne supposée faible.

De même pour 100 V, on n'a que 100 kΩ entre le point de commutation et la masse. Cette résistance tombe à 10 kΩ seulement pour le calibre de 1 000 V.

### 3.3- FONCTIONNEMENT EN NANOAMPEREMETRE

Pour utiliser l'appareil en nanoampèremètre :

a) Enfoncer la touche 100 V.

b) Enfoncer la touche 1 du détecteur .

La sensibilité de l'appareil indicateur correspond alors à  $10^{-10}$  A, soit une étendue de mesure de  $\pm 10^{-8}$ . Cet appareil est chiffré de 0 à 100, au moyen de 50 divisions.

c) Affichage sur les boutons des décades -

1° cas : Si l'on affiche zéro partout, l'étendue de mesure est  $\pm 10^{-8}$  A. L'impédance est de 70 kΩ et la chute de tension maximale 0,7 mV.

2° cas : Si l'on utilise les décades, l'étendue de mesure peut atteindre  $10^{-5}$  A.

Le chiffre affiché sur le bouton  $\times 10^{-1}$  indique des microampères, le chiffre affiché sur le bouton suivant, des dixièmes de microampères, et ainsi de suite.

Le quatrième bouton correspond aux dizaines lues sur l'indicateur. L'impédance augmente de 70 kΩ à 100 kΩ. La chute de tension est, en volt, égale à la lecture faite sur les boutons.

Par exemple , l'affichage :

$$1 \times 10^{-1} + 3 \times 10^{-2} + 4 \cdot 10^{-3}$$

correspond à une chute de tension de 0,134 V = 134mV.

La précision est 0,1 %  $\pm 10^{-10}$  A. sur toutes les étendues de mesure.

N.B. A ces faibles niveaux, la mesure n'est possible à  $10^{-10}$  A près, qu'avec un secteur peu perturbé, ou en prenant des précautions pour alimenter l'appareil.

Sans précaution particulière, les perturbations produisent normalement moins de 2,5 divisions d'instabilité.

Exemples d'utilisation :

a) Mesure d'un courant de  $10^{-9}$  A.

On affiche zéro sur les décades et on lit directement en  $10^{-10}$  sur le détecteur.

b) Mesure de  $1,252 \cdot 10^{-6}$  A.

On affiche 1 sur le bouton des décades x 0,1.

On constate qu'il faut afficher 2 sur le second bouton, 5 sur le troisième (selon le sens de déviation de l'indicateur), et on lit, par exemple, 24 sur l'indicateur .

La valeur est :

$12524 \cdot 10^{-10}$  A, à un millièmè près, c'est-à-dire  $\pm 12 \pm 1$ .

On aurait pu afficher 2 sur la quatrième décade et ne pas lire l'indicateur.

On aurait obtenu :  $12520 \cdot 10^{-10} \pm 12$ .

Remarque : En enclenchant la touche 1 000 V et la touche 1 du détecteur, il est possible de mesurer un courant de 100  $\mu$ A, ou des courants plus faibles avec des chutes de tension moins importantes que dans le cas précédent.

En effet, la résistance interne n'est alors que de 10 k $\Omega$ , et on lit sur les boutons :

9 x 10  $\mu$ A      9 x 1  $\mu$ A, et ainsi de suite.

La chute de tension est de 1 V sur 100  $\mu$ A - 100 mV sur 10  $\mu$ A, etc.. La précision est de 0,1 %  $\pm 10^{-10}$  A.

Cependant, contrairement au cas où la touche 100 V est enfoncée, la déviation du détecteur ne correspond pas à l'affichage de la dernière décade : la sensibilité devient  $0,6 \cdot 10^{-10}$  A, donc légèrement plus grande.

De toute façon, il est possible de lire la valeur sur les boutons après avoir recherché un équilibre sur le détecteur.

### 3.4- FONCTIONNEMENT EN QUOTIENTMETRE

- On peut mesurer le rapport de deux tensions continues e et U pour e U 250 V, tension admissible du diviseur KV.

- L'erreur absolue sur le quotient provenant du diviseur est d'une unité au plus de la dernière décade du diviseur KV, lorsque la tension d'alimentation de ce dernier atteint au moins 100 mV. L'erreur relative due au diviseur se calcule en divisant l'erreur absolue par la lecture.

- L'erreur du réducteur d'entrée intervient pour e dépassant 1 V. Elle est de 0,01 % en valeur relative.

- Pour des tensions d'alimentation du diviseur KV supérieures à 100 mV, une interpolation sommaire est possible, et l'erreur absolue peut rester inférieure à  $5 \cdot 10^{-5}$  (voir § 4.8 - utilisation)

### 3.5 - FACTEUR DE REJECTION (anciennement taux de réjection)

Celui-ci atteint 95 dB pour une source de tension de 1 M $\Omega$  de résistance interne et passe à 120 dB pour 10 000  $\Omega$  en voltmètre électronique différentiel.

La platine intermédiaire est obligatoirement réunie au boîtier.

---:---:---:---:---:---:---:---:---

CHAPITRE IV - UTILISATION PRATIQUE

4.1 - PLATINE DE L'APPAREIL (fig.4.1)

Légende de la figure 4.1 - Signification des numéros

- |  |   |
|--|---|
| 1 - Vis de fixation  | 15 - Symbole indiquant le sens de<br>branchement de la pile étalon<br>Weston extérieure destinée au<br>tarage   |
| 2 - Borne d'entrée positive(rouge)   | 16 - Clavier à touches n° 1   |
| 3 - Poussoir marche-arrêt à voyant<br>incorporé  | 17 - Clavier à touches n° 2   |
| 4 - Millivoltmètre magnétoélectri-<br>que -55 + 55 mV<br>-100 + 100 $\mu$ A (+ 50 divisions)     | 18 - Douille de raccordement du<br>pôle négatif de la pile éta-<br>lon (le positif est réuni à<br>la borne d'entrée 2)  |
| 5 - Décade des dixièmes  | 19 - Vis de réglage du potenti-<br>mètre de tarage sur pile éta-<br>lon.  |
| 6 - Décade des centièmes   | 20 - Poussoirs de polarité utilisés<br>en méthode de zéro pour mettre<br>en opposition la tension à me-<br>surer avec la tension régle-<br>ble étalonnée (utilisés en po-<br>tentiomètre nanoampèremètre<br>et quotientmètre) |
| 7 - Douille d'entrée pour la<br>mesure des courants pôle<br>positif (le négatif est la<br>masse) | 21 - Borne d'alimentation néga-<br>tive du diviseur Kelvin -<br>Varley (en quotientmètre)   |
| 8 - Décade des millièmes   | 22 - Borne d'alimentation positive<br>du diviseur Kelvin..Varley<br>(en quotientmètre).   |
| 9 - Décade des décimillièmes du<br>diviseur Kelvin-Varley  | 23 - Vis de fixation de la platine<br>sur le châssis.   |
| 10 - Barrette de connexion destinée<br>à réunir la platine inter-<br>médiaire au boîtier.        |   |
| 11 - Borne "boîtier"   |   |
| 12 - Borne "platine intermédiaire"   |   |
| 13 - Vis de remise à zéro mécanique<br>de l'équipage du MV                                       |   |
| 14 - Vis commandant le potenti-<br>mètre de remise à zéro élec-<br>trique.                       |   |

#### 4.1.1- Accessoires extérieurs divers

- Le boîtier est muni d'une poignée métallique chromée articulée à double emploi. Elle facilite le transport et sert également de béquille. Pour cela, il suffit de la replier sous le boîtier pour amener les bras latéraux en contact avec les butées fixées sur les côtés du capot. L'appareil peut alors fonctionner en position inclinée permettant à l'opérateur de travailler assis tout en bénéficiant d'une liberté de manœuvre et d'une facilité de lecture convenables.
- A l'arrière du coffret se trouvent de gauche à droite :
  - 1) la prise d'alimentation mâle avec répartiteur de tension comportant une broche fileté amovible qu'on visse dans la douille correspondant à la tension du réseau (220 V eff  $\pm$  10 %).
  - 2) un porte-fusible équipé d'un fusible cartouche de 0,2 A.
  - 3) une fiche blindée femelle à deux conducteurs d'un type courant destinée au raccordement d'un potentiomètre enregistreur extérieur. Nous nous chargeons de la fourniture du câble de liaison nécessaire.
  - 4) un cavalier métallique dont le rôle est d'assurer une bonne liaison électrique entre le châssis de montage et le boîtier. Sans cette précaution, l'efficacité du blindage serait douteuse.
  - 5) une possibilité de montage en rack a été prévue.

#### 4.2 - CONTROLES ET REGLAGES AVANT LA MISE SOUS TENSION

- 1) Après avoir vérifier le répartiteur de tension, régler le zéro mécanique du millivoltmètre au moyen de la vis 13, s'il y a lieu.
- 2) Quelle que soit la fonction de l'appareil (voltmètre électronique, voltmètre électronique différentiel, quotientmètre), il est recommandé de commencer en voltmètre avec le plus fort calibre. Pour cela, il suffit d'enfoncer la touche V du premier clavier et la touche 1 000 du second.
- 3) Mettre l'appareil sous tension en enfonçant le poussoir 3. Un voyant s'allume à l'intérieur. On constate simultanément une déviation balistique de l'aiguille du MV vers la droite suivie d'un retour progressif vers le zéro.
- 4) Attendre quelques minutes pour permettre aux transistors de prendre leur température de régime.
- 5) Si l'aiguille du MV n'est pas au zéro, enfoncer la touche 0 du premier clavier et procéder à un réglage au moyen de la vis 14 (fig.4.1). Ce réglage peut se faire, les bornes d'entrée 2 et 12 (réunies à 11) à vide ou en court-circuit.

En raison de l'influence de diverses actions parasites (fluctuations, bruits de fond, etc...) on peut observer un très léger mouvement erratique de l'aiguille ne dépassant pas  $\pm$  1/2 division.

6) - Le tarage de la tension d'alimentation du diviseur Kelvin-Varley est effectué en usine, mais l'utilisateur peut procéder, s'il y a lieu, à un éventuel contrôle.

Pour cela, vérifier qu'aucune touche n'est enfoncée.

Raccorder le pôle négatif de la pile Weston à la douille 18 (fig.4.1) et le pôle positif à la borne d'entrée 2 (rouge).

Enfoncer le poussoir rouge 20.

Comme sur la douille 18 se trouve déjà une tension d'opposition de - 1 V (voir aussi fig.2.2 et parag. 2.3), la tension à contrôler est :

$$e_0 - 1 \text{ volt}$$

$e_0$  étant la f.e.m. de la pile étalon.

Si celle-ci est de 1,0186 V, on affichera 186 sur les trois dernières décades.

Enfoncer ensuite la touche 1 du deuxième clavier et la touche 100 mV du détecteur de zéro (premier clavier).

Si l'aiguille reste au zéro, on enfonce la touche 10 mV. Si elle reste toujours au zéro on passe sur 1 pour vérifier si le tarage est bon.

Chaque fois que l'aiguille ne se trouve pas à zéro, on agit sur la vis 19 du potentiomètre de réglage de 500  $\Omega$  (voir fig.2.2) jusqu'à complète satisfaction.

Il est bon d'utiliser un tournevis d'environ 2 mm de diamètre pour obtenir un réglage commode.

#### 4.2.1 - Conseils

Malgré la bonne stabilité des circuits de l'appareil, il ne faut pas perdre de vue qu'une faible dérive est toujours possible. Il est donc souhaitable de reprendre le zéro de temps à autre. Il suffit d'enfoncer la touche 0 du premier clavier (N° 16 fig.4.1) et de procéder selon le mode opératoire indiqué en 5). Il n'y a pas lieu de modifier le montage, et c'est un avantage de l'appareil, la manoeuvre de la touche "zéro" débranche les deux sources de l'entrée de l'amplificateur.

Rappelons que pour faire revenir toutes les touches d'un clavier à leur position de repos, il suffit d'appuyer très légèrement sur l'une d'elles, sans l'enclencher.

#### 4.3 - MESURE D'UNE TENSION CONTINUE EN VOLTMETRE ELECTRONIQUE

- La tension à mesurer doit être inférieure à 1 000 V.
- Brancher celle-ci entre les bornes d'entrée 2 et 11 (ou 12)
- Enfoncer la touche V du clavier 1 et la touche 1 000 du clavier 2. Le sens de la déviation donne la polarité de la tension.
- Si la déviation est inférieure à 5 divisions (100 volts), enfoncer la touche 100. La touche 1 000 revient à sa position de repos.
- Si la déviation est alors supérieure à 5 divisions, la tension est comprise entre 10 et 100 V (déviation totale 50 divisions). Il est, à ce moment là, inutile de continuer à augmenter la sensibilité et d'enfoncer la touche 10. On risque de faire buter l'aiguille.

- La valeur de la tension est lisible en classe 5, c'est-à-dire que l'erreur absolue sur la lecture atteint 2,5 divisions.

Rappelons qu'en comparaison, la précision est nettement meilleure, puisque c'est l'erreur de prise de point qui intervient pour chaque lecture. Celle-ci est nettement inférieure à l'erreur de classe.

#### 4.4- MESURE D'UNE TENSION CONTINUE EN VOLTMETRE ELECTRONIQUE DIFFERENTIEL

- On commence par effectuer toutes les opérations nécessitées par une mesure de tension en voltmètre à lecture directe (§ 4.3).
- Si la tension est négative (déviaton de l'aiguille à gauche), on appuie sur le poussoir noir 20 (fig.4.1). Dans le cas contraire, on appuie sur le poussoir rouge. Ces manoeuvres tendent à mettre la tension à mesurer (ou une fraction de celle-ci par le jeu du diviseur) en opposition avec la tension étalon réglable au moyen du diviseur Kelvin-Varley.
- La tension  $e$  étant connue, on choisit un calibre tel que la déviation soit la plus forte possible, entre 5 et 50 divisions, c'est-à-dire entre 0,1 et 1 d'après la chiffrasion du cadran.

La graduation de 0 à 1 du cadran guide l'expérimentateur dans le réglage des décades du KV.

- Si  $m$  est la lecture (nombre inférieur à l'unité), on l'affiche sur les boutons. Dans cet affichage, il n'y a habituellement que les deux premiers chiffres qui soient sûrs dans le cas le plus favorable.

Cet affichage revient à présenter aux bornes de sortie du diviseur KV une tension sensiblement égale à celle qui vient d'être mesurée par lecture directe.

- On passe alors en méthode d'opposition en appuyant sur la touche 100 mV du détecteur de zéro (clavier 1) adjacente à la touche V.

La différence des tensions à mesurer  $e/K$ , et affichée  $u$  ( $K$  étant le facteur de réduction du réducteur d'entrée) est alors envoyée sur le plus fort calibre du shunt de l'amplificateur de zéro.

- Si le millivoltmètre ne dévie pas, pousser la touche "10 mV". Il est rare qu'on n'obtienne pas une déviation. Agir sur les boutons en profitant de ce que le sens de déplacement de l'aiguille suit celui des boutons. Si l'aiguille se trouve à gauche du zéro, on tournera les boutons de gauche à droite.

On termine le réglage sur la position "1mV".

La tension inconnue est alors égale au calibre lu sur la touche, affecté du coefficient  $m$  du Kelvin-Varley lu sur les boutons et dont la valeur est au plus égale à l'unité.

Si l'on travaille sur les calibres de 0,1 et de 10 V, il est généralement possible de ramener l'aiguille au zéro à 1/2 division près, comme il a été expliqué en 3.2.

Pour les autres calibres, la sensibilité permet une interpolation grossière en raison de la bonne sensibilité (voir tableau des performances en 3.2). L'approximation peut alors se faire à la moitié ou à 1/3 d'un échelon de la décade des décimillièmes près.

Comme l'erreur de rapport est de 0,01 %, l'erreur minimale de mesure lorsque la première décade est sur 8 ou 9, est donc de l'ordre de 0,02 %. L'erreur de rapport du KV est négligeable.

Dans le cas général, on tiendra compte de l'erreur de rapport 0,01 % pour le réducteur qui sera majorée de l'erreur relative sur la lecture des décades, calculée à partir de l'erreur absolue exprimée en divisions ou fractions de divisions de la dernière décade.

Pour des raisons de prudence, il est bon de majorer de 0,01 % l'erreur ainsi calculée.

- L'évaluation précédente de l'erreur est valable lorsque la résistance interne de la source ne dépasse pas  $1/10\ 000$  de la résistance de  $10\ M\Omega$  du diviseur, c'est-à-dire  $10\ 000\ \Omega$ .

La tension inconnue est alors égale au calibre lu sur la touche affecté du coefficient m du Kelvin-Varley lu sur les boutons et dont la valeur est au plus égale à l'unité.

Déjà pour cette valeur, la chute de tension interne fausse la f.e.m. de 0,01 %.

- Le voltmètre électronique différentiel mesure la d.d.p. aux bornes d'une source de tension débitant sur  $10\ M\Omega$ . Le calcul de la limite supérieure de l'erreur de mesure n'est possible que lorsqu'on connaît l'ordre de grandeur de la résistance interne.

#### 4.5- MESURE DE LA DERIVE D'UNE ALIMENTATION STABILISEE

Même principe que pour la mesure des tensions où l'on exploite la stabilité de fonctionnement. La plus faible variation susceptible d'être détectée de façon correcte est de l'ordre d'un quart d'échelon de la décade des décimillièmes, c'est-à-dire une variation absolue de  $2\ \text{à}\ 3 \cdot 10^{-5}$ , à condition de travailler sur les calibres 1, 100 ou 1 000 V. (voir tableau des performances en 3.2).

Pour profiter des performances maximales de l'appareil, il y a intérêt à faire débiter l'alimentation stabilisée sur un diviseur tel que la tension à surveiller soit légèrement inférieure à l'une des valeurs nominales des calibres indiqués.

On peut travailler ainsi autour de 0,95, 95 ou 950 V.

Il suffira de constituer un diviseur par deux boîtes de résistances de bonne construction et de limiter la consommation à une valeur raisonnable aussi bien pour les boîtes que pour l'alimentation.

Cette façon d'opérer permet d'effectuer un affichage sur les quatre décades, voisin de l'unité, d'où une nette amélioration de la définition.

#### 4.6 - ETALONNAGE D'UN VOLTMETRE OU D'UN MILLIVOLTMETRE

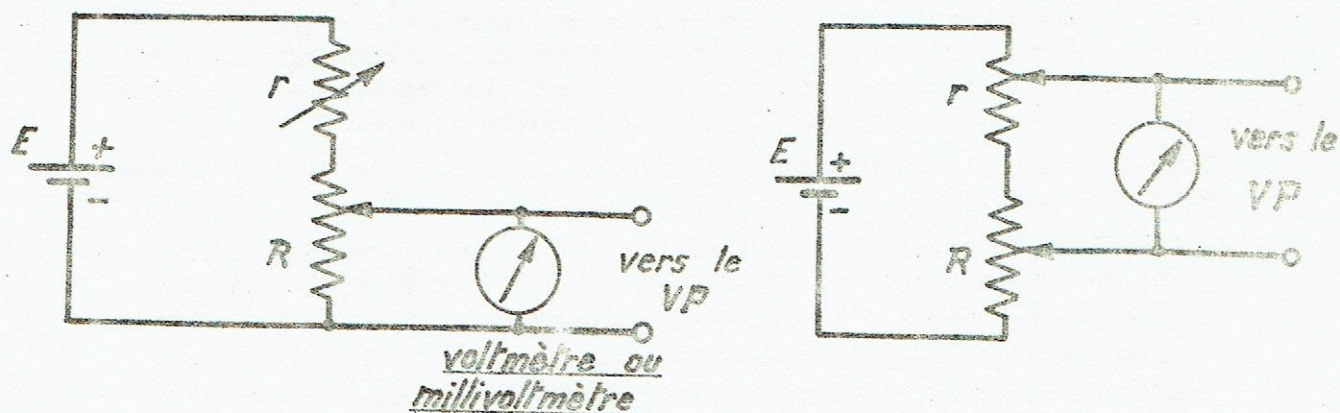


Fig. 4.2 - Montage pour l'étalonnage d'un voltmètre ou d'un millivoltmètre.

La source E sera choisie suivant le calibre à étalonner (fig.4.2)

Pour un millivoltmètre, un élément d'accumulateur suffit. Le potentiomètre R travaillera avec un courant de quelques dizaines de mA ou seulement de quelques mA pour un appareil à étalonner ne consommant qu'un mA ou moins pour la déviation totale.

La résistance réglable r de l'ordre de R/10 joue le rôle de vernier. On peut également adopter le système du double potentiomètre dont la consommation ne varie pas avec la position des curseurs.

Nous conseillons autant que possible d'éviter l'emploi de piles sèches dont la stabilité est sujette à caution, contrairement à ce qui a lieu pour l'accumulateur au plomb.

Dans le cas d'un voltmètre, il est souhaitable de prendre, à défaut d'accumulateurs, une alimentation stabilisée. Il est en effet impossible d'étalonner un appareil de classe 0,1 par exemple, au moyen d'une source de tension ne présentant pas toutes les garanties de stabilité. L'aiguille effectue habituellement un mouvement irrégulier, de faible amplitude, certes, mais suffisante pour compromettre la bonne marche des opérations.

Faute d'alimentation stabilisée réglable, on recourt à une alimentation stabilisée fixe débitant sur des potentiomètres ou des boîtes de résistances servant d'éléments de réglage.

#### 4.7- MESURE D'UN COURANT CONTINU

Pour la mesure d'un courant en nanoampères, se reporter au chapitre III - 3.3.

Pour des intensités supérieures à 100  $\mu$ A, on mesure la chute de tension due au courant I à travers un étalon pouvant être pris sur une boîte de résistances de précision.



L'avantage de la boîte de résistances est considérable sur la résistance fixée en raison de la possibilité d'amener la chute de tension à une valeur légèrement inférieure à une puissance entière de 10 prévue parmi les calibres voltmétriques, donc 0,1 ou 1 V, si l'on peut se permettre des chutes de tension de cet ordre.

Le premier chiffre significatif peut être 9, et l'on se trouve dans les conditions de performances optimales déjà définies en § 4.5 (dérive d'une alimentation stabilisée).

Dans la pratique, on sera presque toujours amené à limiter la chute de tension à moins de 0,1 V, calibre correspondant à une définition de l'ordre de 0,01 % (voir tableau des sensibilités en 3.2).

- La chute de tension  $R_i$  se mesure de la même manière qu'une tension par la méthode d'opposition (voir 4.4).
- Pour les courants supérieurs à 100 mA, les mesures précises exigent une résistance à quatre bornes. Dans ce dernier cas, le réglage de R est impossible.
- L'erreur se calcule comme pour une mesure de tension en tenant compte de la précision de la résistance étalon.

#### 4.7.1- Remarques diverses sur la mesure des courants faibles

- Une mesure de courant faible doit être interprétée en fonction de la nature de la source. Une source de courant idéale a une résistance interne infiniment grande. Il existe des cas en physique où l'on se rapproche de cette condition idéale : chambres d'ionisation, courants piézoélectriques, par exemple.

Dans les autres cas, la source est l'association d'une f.e.m. et d'une résistance interne  $R_i$ .

Si, donc, la mesure se fait au moyen d'une sonde de résistance R, la chute de tension détectée au potentiomètre est :

$$u = R_i = \frac{R_e}{R + R_i}$$

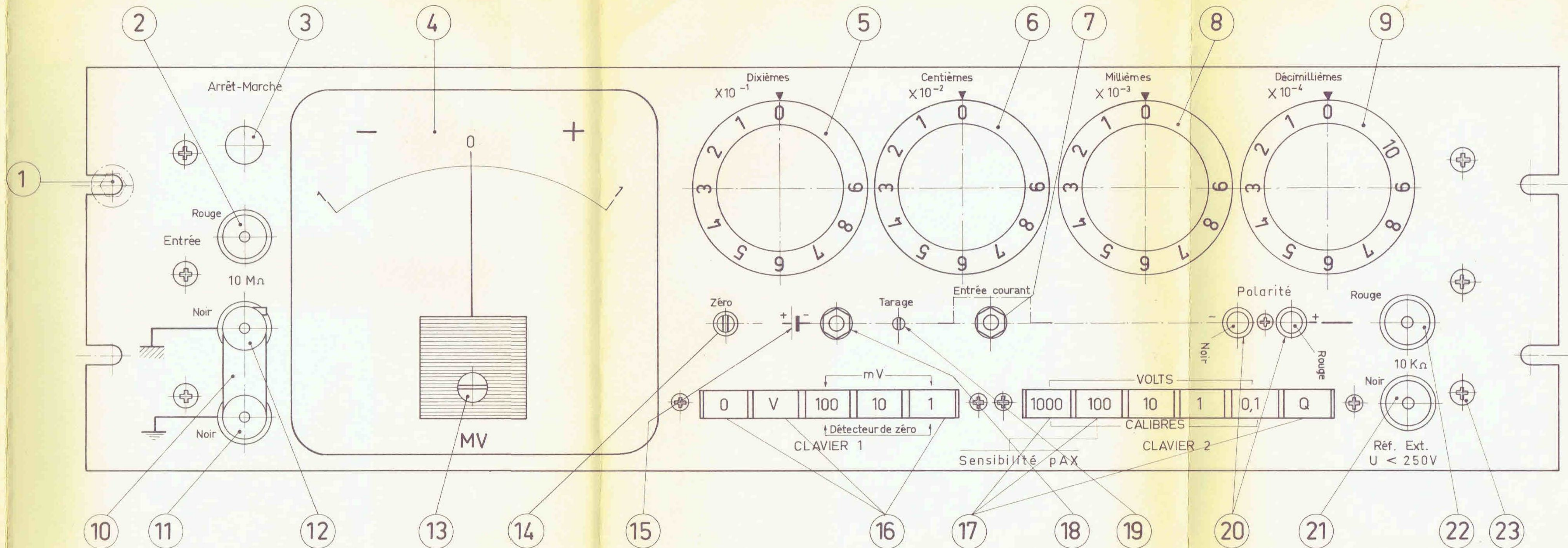
Si la résistance de la sonde R est négligeable devant  $R_i$ , on mesure en réalité le courant de court-circuit de la source, c'est-à-dire :

$$\frac{e}{R + R_i} \approx \frac{u}{R}$$

C'est le courant de la source idéale.

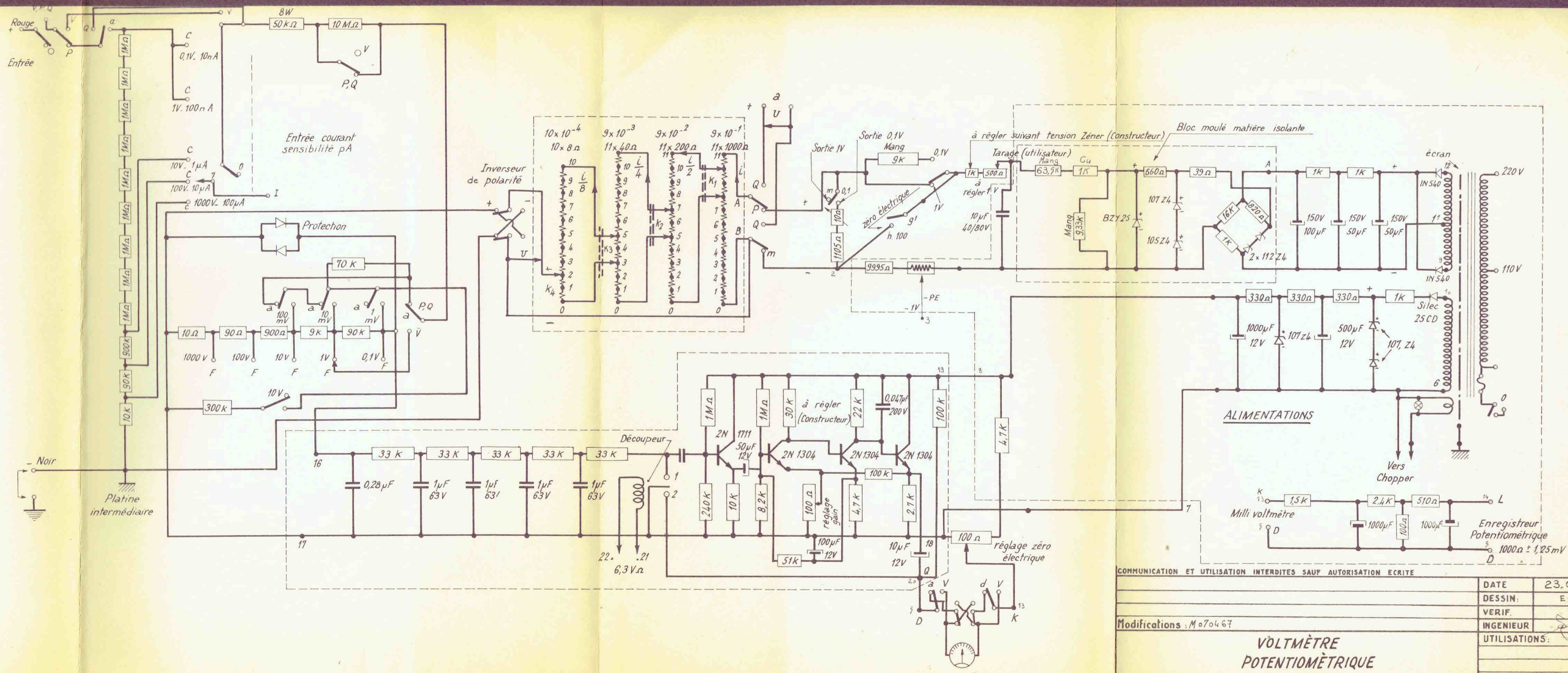
Dans les autres cas, il y a intérêt à se rendre compte de la valeur de la résistance interne.





COMMUNICATION ET UTILISATION INTERDITES SAUF AUTORISATION ECRITE

|  |           |                |
|--|-----------|----------------|
|  | DATE      |                |
|  | DESSIN    |                |
|  | VERIF.    |                |
| Modifications :  | INGENIEUR |                |
| PLATINE DE L'APPAREIL EN GRANDEUR RÉELLE                         |           | UTILISATIONS : |
| Fig 4.1.   |           |                |
| ASSOCIATION DES OUVRIERS EN INSTRUMENTS DE PRÉCISION             |           | <b>AOIP</b>    |
| 8 à 14, rue Charles Fourier, Paris (13 <sup>e</sup> ). GOB 83.00 |           |                |



COMMUNICATION ET UTILISATION INTERDITES SAUF AUTORISATION ECRITE

|               |          |
|---------------|----------|
| DATE          | 23.09.66 |
| DESSIN:       | E_xT     |
| VERIF.        |          |
| INGENIEUR     |          |
| UTILISATIONS: |          |

Modifications : M 070467

**VOLTMÈTRE  
POTENTIOMÉTRIQUE**

ASSOCIATION DES OUVRIERS EN INSTRUMENTS DE PRÉCISION  
8 à 14, rue Charles Fourier - Paris (13<sup>e</sup>) - GOB.83.00 **AOIP SPM2595E**