

Pratique de la Mesure

UN OHMMETRE LINEAIRE

L'étude du mois précédent nous a montré que la fonction ohmmètre du contrôleur universel souffrait de quelques graves défauts :

- L'échelle de lecture n'est pas linéaire. Les lectures sont bonnes du côté du 0 de l'échelle, elles sont presque inexploitable à l'autre extrémité.
 - Un tarage doit être fait avant chaque mesure. En effet, il faut tenir compte de la tension fournie par la pile, laquelle varie non seulement dans le temps, mais également d'un calibre à l'autre. Les calibres les plus bas consomment un courant élevé, les plus hauts un courant proportionnellement plus faible. A noter que, lorsque la résistance interne de la pile est devenue grande, avec son vieillissement, une erreur plus insidieuse peut apparaître dans un même calibre : le tarage se faisant à pleine échelle se fait donc à débit maximum, donc à tension minimum aux bornes de la pile. Mais si, dès lors, vous mesurez une résistance donnant une déviation moindre du galvanomètre, la tension de la pile remontera un peu et provoquera une erreur de tarage absolument indécélable et variable avec la déviation de l'appareil. Toutes les mesures seront ainsi entachées d'une erreur « dynamique » d'autant plus grande que la pile est plus mauvaise. Cet effet est évidemment beaucoup plus accentué dans les calibres inférieurs, pour lesquels la consommation est la plus élevée.
- En définitive, l'ohmmètre du contrôleur universel est un appareil bien imparfait dont la précision globale ne dépasse guère les 10 %. Il nous a donc semblé intéressant, dans la lignée des différents adaptateurs déjà décrits, de proposer un petit montage, tout simple, mais aux possibilités bien meilleures que celles décrites ci-dessus ! C'est donc ce que nous allons faire dans le cadre de l'article de ce mois.

1. Le schéma de l'ohmmètre linéaire

Le montage très simple que nous vous proposons a été extrait des exemples d'applications trouvés dans un Data-Book de NS. Il possède, malgré cette simplicité, des propriétés séduisantes.

- Son échelle de lecture est parfaitement linéaire, la précision étant aussi bonne à faible déviation qu'à pleine échelle. De ce fait, en partant d'une graduation de 0 à 100, comme cela est courant sur le cadran des galvanomètres, on peut espérer une précision générale de 2 à 3 %.

- Le tarage n'existe pas. L'appareil est calibré une fois pour toutes et ce calibrage tient autant que les piles. Il n'y a aucune retouche à faire en passant d'un calibre à l'autre.

- Enfin, il est possible de mesurer des résistances de 1 Ω à 50 M Ω avec une bonne précision. Pour cela, le système comporte vingt gammes permettant dans chaque cas d'exploiter au

mieux les possibilités de l'appareil.

Le schéma est donné en figure 1.

Encore un ampli OP ! Décidément, on va se demander comment on faisait de l'électronique avant l'apparition de ces petites bêtes ! Eh bien, disons-le franchement... beaucoup plus difficilement et avec de moins bons résultats, surtout du côté des amateurs ! Mais maintenant, nous disposons des amplis OP... et nous en abusons !!

Le principe de mesure d'une résistance peut se faire par la mesure du courant qui la traverse

$$I = \frac{U}{R}$$

Mais l'intensité est alors inversement proportionnelle à la résistance mesurée, ce qui conduit à une échelle non linéaire, la courbe correspondante étant une hyperbole, nous l'avons vu le mois dernier. C'est la solution des contrôleurs.

On peut également faire cette mesure de résistance en mesurant la différence de potentiel qui apparaît entre ses extrémités, quand

on la fait traverser par un courant connu et constant.

$$U = R I$$

C'est la loi d'Ohm et, dans ce cas, la tension lue est directement proportionnelle à la résistance mesurée, ce qui conduit à une fonction linéaire et à une graduation parfaitement linéaire. Cependant la solution est plus difficile à mettre en œuvre et nécessite un peu d'électronique !

Ainsi, en imaginant un courant I de 1 mA, la tension aux bornes de R sera fonction de sa valeur :

R	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	... ohms
U	1	2	3	4	5	... volts

Dans cet exemple, on s'aperçoit que U est une mesure de R en $k\Omega$.

Un tel principe de mesure, pour intéressant qu'il soit, pose deux problèmes qui ne sont pas si simples à résoudre :

— L'obtention du fameux courant constant devant passer dans R , et qui doit le rester malgré les diffé-

rentes valeurs prises par cette résistance. On sait que, en principe, la variation de la résistance totale d'un circuit en modifie l'intensité. Il faudra donc neutraliser cet effet. De plus, le courant constant devra prendre autant de valeurs que de calibres prévus. Or cela complique le problème. Il n'est pourtant pas possible de mesurer une $50 M\Omega$ en y faisant passer la même intensité que dans une résistance de 1Ω !

— La mesure de U aux bornes de la résistance ! Si

vous avez lu nos articles concernant les voltmètres, vous savez combien ce problème est difficile. Sachant que nous espérons faire cette mesure aux bornes d'une $50 M\Omega$, sans erreur décelable, vous devez supposer que cela ne se fera pas tout seul !

Et pourtant ces deux prouesses sont très bien

accomplies par le petit montage de la figure 1. C'est ce que nous allons vous expliquer !

Constatons tout d'abord que l'ampli OP est monté en suiveur de tension, l'entrée e^- directement reliée à la sortie S . Un tel montage possède déjà, dans tous les cas, une haute impédance d'entrée. Même avec un vulgaire 741, on atteint les mégohms ! En choisissant un 3130, à entrées à effet de champ, nous atteignons sans peine le million de mégohms ($10^{12} \Omega$) ! Autant dire qu'une telle impédance ne risque pas de perturber la valeur de la résistance à mesurer, même si celle-ci est de $50 M\Omega$! L'ampli OP fournit sur sa sortie une tension égale à celle qui existait sur son entrée e^+ . C'est sur cette sortie qu'un quelconque voltmètre, même à très faible résistance interne, mesurera cette tension. Ainsi le choix du galvanomètre utilisé pour confectionner ce voltmètre est-il assez quelconque, la sensibilité pouvant aller de $50 \mu A$ à 1 mA,

sans aucun problème, hormis celui du calcul des résistances associées. Nous en reparlerons !

Le problème de la mesure de U étant réglé, il reste celui de l'obtention du courant constant. Toute l'astuce du montage consiste à utiliser le même ampli OP pour parvenir au résultat !

La méthode utilisée est assez astucieuse, mais c'est une simple application de la loi d'Ohm :

$$I = \frac{U}{R}$$

Dans ce cas, I est constant si U et R sont constants. La source de tension constante est, dans notre montage, une zener de référence de NS, la LM 336 délivrant une tension typique de 2,490 V. Il ne s'agit pas du tout d'une zener à tension programmable, comme par exemple la TL 431 de Texas, mais simplement d'une zener à tension recalibrable, ce qui permet de supprimer les écarts sur la tension de zener, inévitables sur des modèles à tension fixe. Ici le potentiomètre P_{cal} relié à l'électrode « adjust » de la LM 336 permet de ramener la tension stabilisée à la valeur typique indiquée ci-dessus ! C'est d'ailleurs à cette valeur que le coefficient de température de la LM 336 est le meilleur. Il est de l'ordre de 1,8 mV de 0 à 70° en choisissant le modèle commercial de référence LM 336 B. Cela correspond à mieux que 0,1 % et c'est bien plus que nécessaire pour un appareil de mesure à aiguille, comme celui qui fait l'objet de ces lignes.

La tension de référence apparaît entre les points A et e^- (ou S) de la figure. Il faut alors rappeler l'un des principes de base de la

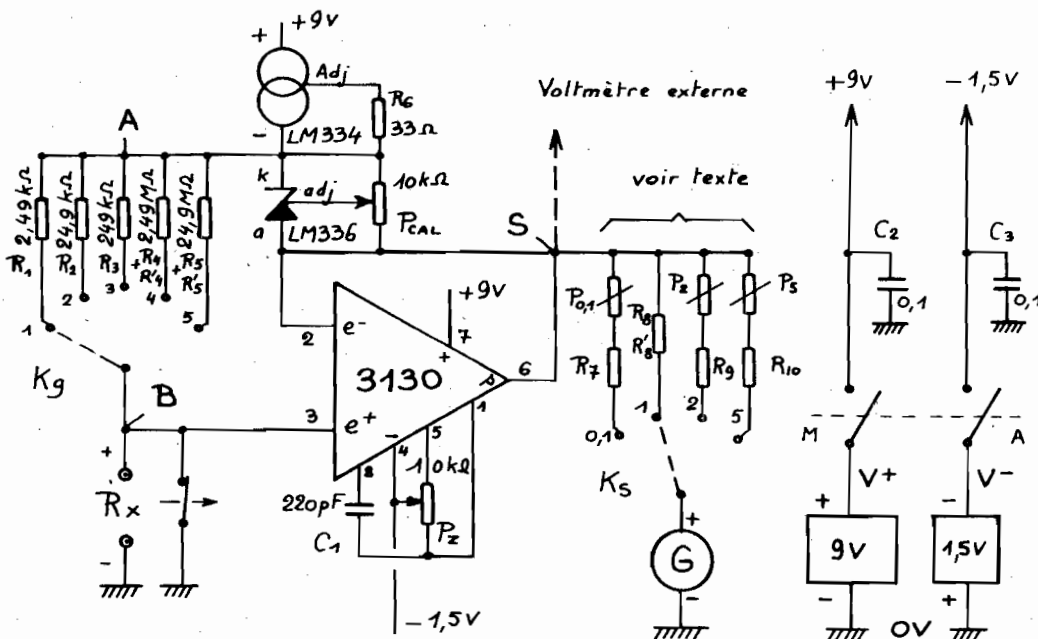


Fig. 1 — Schéma de l'ohmmètre linéaire.

bible du parfait amplio-
piste : la différence de po-
tentiel entre entrées e⁺ et
e⁻ est considérée comme
nulle pour un ampli OP en
bonne santé et dans des
conditions de fonctionne-
ment normal. Ce principe
nous permet de déduire
que la tension de référence
apparaît de même entre A
et e⁺ comme elle apparaît
entre A et e⁻. Par consé-
quent on trouve cette ten-
sion de référence constante
aux bornes de la résistance
de calibre sélectionnée par
le commutateur de
gamme K_g. La résistance
choisie étant constante et
précise (c'est un modèle
1 %) et étant soumise à
une tension constante se
trouve traversée par un
courant également const-
tant donné par la relation

$$I_k = \frac{2,490}{R_g}$$

Ainsi si R_g = R₁ = 2490 Ω
on a

$$I_k = \frac{2,490}{2490} = 1 \text{ mA}$$

En observant les valeurs
de R₁ à R₅, on constate que
I_k va ainsi passer de 1 mA
à 0,1 μA pour les cinq po-
sitions du commutateur de
gamme K_g. Notons aussi
que la cathode de la zener
de référence donne le po-
tentiel + du 2,490 V et
que le courant I_k passe
donc dans les résistances
R_g de A vers B. Mais au
fait, que devient ce courant
I_k en arrivant en B ? Il ne
peut pas entrer dans l'am-
pli OP par e⁺ car la très
haute impédance de cette
entrée peut la faire consi-
dérer comme un circuit ou-
vert. Il faut donc admettre
que l'intégralité de I_k passe
obligatoirement dans la ré-
sistance à mesurer R_x, dis-
posée entre B et masse.

Finalement, nous avons
bien réussi notre dessein :
faire passer un courant

constant, mais commuta-
ble, dans la résistance à
mesurer, et mesurer la ten-
sion développée aux
bornes, sans perturbation !
Mission accomplie !

En gamme basse « 1 » I_k
= 1 mA. Si R_x = 1 000 Ω ;
on a :

U = 1000 × 1/1000 = 1 V.
Cette tension est mesurée,
comme nous l'avons dit,
entre S et masse. C'est
donc là qu'il nous faut dis-
poser le voltmètre. Ce vol-
tmètre peut être propre au
montage décrit, et c'est la
solution que nous préconi-
sons, car nous allons alors
lui donner quatre sensibili-
tés, ce qui nous permettra
de disposer des 5 × 4 soit
20 calibres indiqués au dé-
part. Mais pour réduire le
prix du montage, on peut
aussi utiliser le contrôleur
universel en externe. Les
gamme de cet appareil
s'adapteront souvent beau-
coup moins bien aux be-
soins de notre système.

Ainsi, si notre voltmètre
a une sensibilité de 1 V
pleine échelle, la résistance
de 1 000 Ω donnera cette
pleine échelle, ce qui cor-
respond à 10 Ω par division
d'une graduation de 0 à
100. C'est ce qui se passe
en position « 1 » de K_s. Par
contre, en position « 0,1 »,
le voltmètre est dix fois
plus sensible et donne donc
sa pleine échelle pour une
résistance de 100 Ω avec
une résolution de 1 Ω par
division. Sur la position
« 2 », le voltmètre a une

sensibilité de 2 V : nous
obtenons 2 000 Ω pleine
échelle avec 20 Ω par divi-
sion. Enfin, en position
« 5 », le voltmètre est de
5 V avec 5 000 Ω, pleine
échelle et 50 Ω par divi-
sion.

Cette disposition donne
une très grande souplesse
de mesure et permet tou-
jours d'amener la déviation
à une valeur assez grande
pour minimiser les erreurs
dues à la classe de l'appar-
eil de mesure, au décalage
mécanique du zéro et à la
dérive de l'offset du circuit
intégré :

Attention cependant : en
position « 5 », l'ampli OP
doit fournir une tension
maximum de 5 V pour la
pleine échelle. Pour sortir
5 V du CA 3130, il faut
évidemment une tension
d'alimentation de ce circuit
plus élevée. Des essais sys-
tématiques nous ont mon-
tré qu'il fallait au minimum
8 V. C'est pourquoi nous
avons adopté une valeur de
9 V pour l'alimentation V⁺
du montage.

Nous avons espéré pou-
voir faire fonctionner le sys-
tème avec une tension V⁻
nulle puisque toutes les
tensions obtenues sont po-
sitives. Nos essais nous ont
montré que c'était impossi-
ble. Par contre, il s'est
avéré que - 1,5 V était
parfaitement suffisant pour
un fonctionnement correct.
Il suffit donc d'un simple
élément de pile pour assu-
rer la contre-tension V⁻.

Puisque nous parlons de
l'alimentation, signalons
que le débit sur les deux
piles est de 4 mA au repos.

Il reste un point du mon-
tage dont nous n'avons pas
parlé et qui reste à éluci-
der : c'est le rôle de la
LM 334 ! Comme toute
zener, la LM 336 doit com-
porter une résistance série
(voir figure 2). Ici la
LM 334 en joue la fonc-
tion ! Toutefois, avec une
résistance ordinaire, nous
aurions une alimentation de
la LM 336 à courant très
variable. En effet, lorsque
R_x est nulle, on a S = 0 V
et, par conséquent, cette
résistance R aurait aux
bornes une tension égale à
9 - 2,49 ≈ 6,5 V. Par
contre, si, en « 5 », la ten-
sion de S monte à + 5 V,
cette tension aux bornes de
R ne serait plus que de 9
- 2,49 - 5 ≈ 1,5 V, d'où
un courant de zener variant
dans le rapport de 6,5 à
1,5, soit de 4,5 fois envi-
ron. C'est beaucoup ! Il
s'ensuivrait inévitablement
une variation de la tension
de référence et donc erreur
sur les mesures, en fonc-
tion de la déviation.

Pour supprimer ce grave
défaut, la résistance ordi-
naire R est donc remplacée
par la LM 334, c'est-à-dire
par un générateur de cou-
rant constant programmable.
La LM 334 Z de NS
permet d'obtenir un cou-
rant constant, la tension
d'entrée allant de 1 à
40 V ! La notice NS nous
indique que si cette tension
varie de 1,5 V à 5 V, ce qui
est pratiquement notre cas,
la variation du courant qui
s'ensuivra est de 0,02 %/V,
ce qui correspond donc à
0,1 % pour les 5 V de varia-
tion ! Cette performance
dépasse nos exigences.
Mais n'oublions pas que
le courant issu de la LM
334 alimente non seule-
ment la zener mais

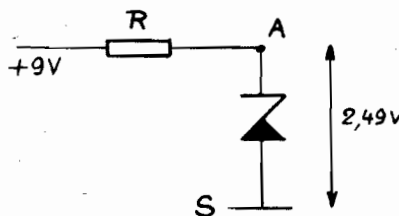


Fig. 2. — Montage habituel d'une zener.

aussi la résistance de calibre. La résistance R_6 permet d'ajuster la valeur du courant de la LM 334. On à :

$$I = 67,7 \text{ mV}/R_6.$$

Comme $R_6 = 33 \Omega$, cela donne $I \approx 67,7/33$, soit environ 2 mA. En calibre 1 de K_9 , R_1 est traversée par un courant de 1 mA. La zener reçoit donc $2 - 1 = 1$ mA. Par contre, en calibre 5, R_5 est traversée par un courant négligeable de $0,1 \mu\text{A}$, ce qui donne 2 mA dans la zener. Ainsi donc, il y a variation du courant zener de 1 à 2 mA, selon la gamme de mesure. La Data-Book nous indique que cette variation va entraîner un glissement de $0,25 \text{ mV}$ de la tension zener, soit $0,01 \%$! C'est parfaitement négligeable et donc il n'y a plus aucune inquiétude à avoir de ce côté !

Ces diverses considérations ont le double avantage de vous faire entrer dans le détail intime du circuit proposé et de vous montrer que l'appareil décrit n'est pas un quelconque gadget mais réellement un appareil de mesure !

Un petit point noir : contrairement aux ohmmètres traditionnels, notre appareil n'a pas le 0 en fin d'échelle mais en début. Vous allez dire que c'est bien plus normal... et vous aurez raison ! Mais, hélas ! si les cordons de mesure ne sont reliés à rien, alors on mesure une résistance infinie et l'appareil dévie en saturation l'aiguille allant en butée. C'est gênant en principe et aussi en pratique, le galvanomètre n'étant pas obligé d'apprécier cette situation, surtout si elle est répétée. Cela entraîne aussi une consommation supplémentaire des piles. Pour éviter cela, nous

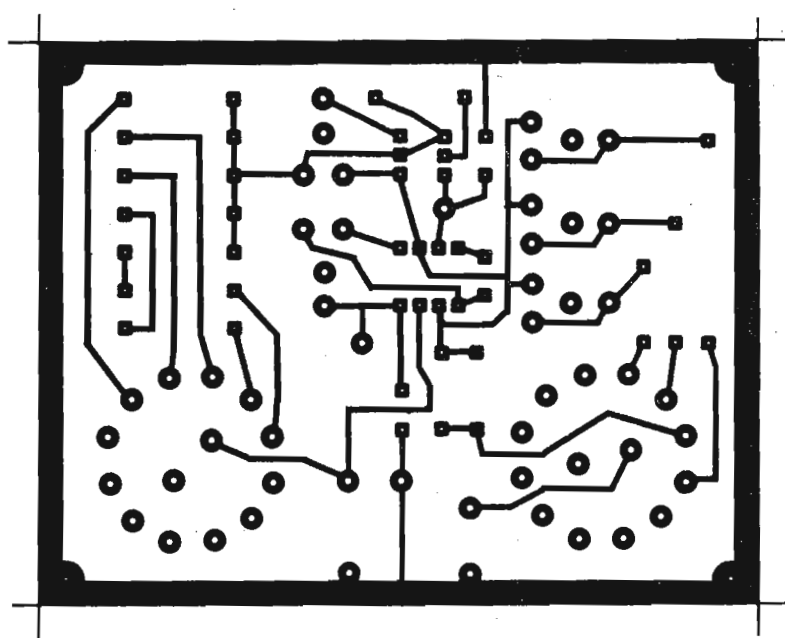


Fig. 3. - Circuit imprimé de l'ohmmètre linéaire.

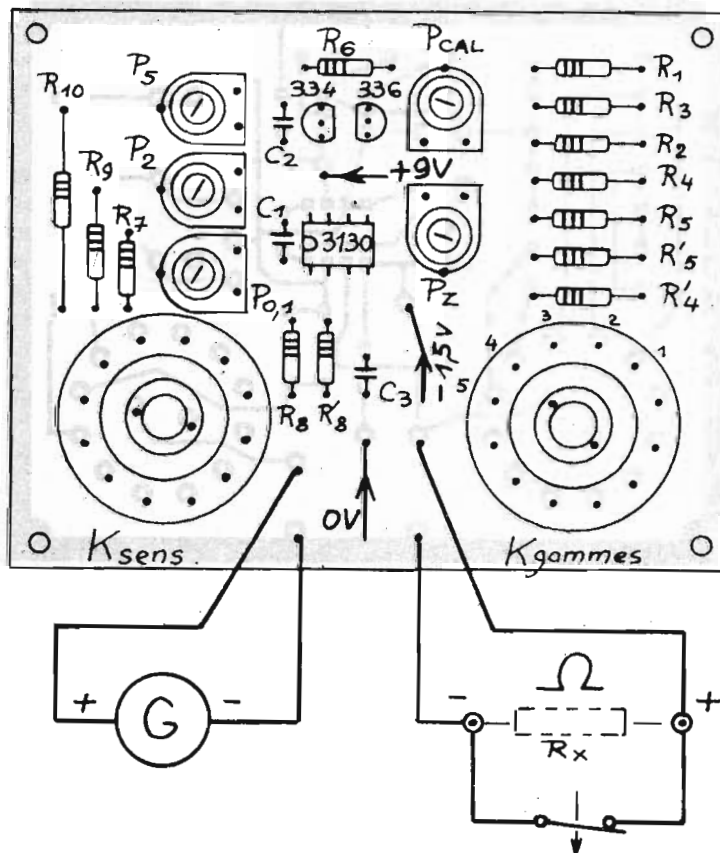


Fig. 4. - Pose des composants ohmmètre.

avons prévu un poussoir court-circuitant au repos les bornes de mesure de R_x . Ainsi, en attente de mesure, l'appareil indique sagement le 0. Pour mesurer une résistance, on la connecte entre les bornes, on appuie sur le poussoir, on note le résultat, on relâche le poussoir et, enfin, on déconnecte la résistance. Une suggestion : si le poussoir comporte trois inverseurs, alors l'un peut être affecté à la fonction ci-dessus (contact de repos), les deux autres étant chargés de la mise sous tension de l'électronique (contacts de travail). Dans ces conditions, les piles vous dureront des années !

2. La réalisation

a) Liste des composants.

1 CA 3130 T
1 LM 336 Z
1 LM 334 Z
1 support DIL 8 br.
2 commutateurs 2 × 6 pos. Lorlin
2 douilles d'entrée
1 poussoir, 1 inverseur, genre 8125 C & K ou mieux 3 inverseurs, genre 8325 C & K
1 double interrupteur (si poussoir à 1 inv.)
1 pile 1,5 V
1 pile 9 V
 R_1 : 2,49 k Ω , 1 %
 R_2 : 24,8 k Ω , 1 %
 R_3 : 249 k Ω , 1 %
 R_4 : 2,49 M Ω , voir texte
 R_5 : 24,9 M Ω , voir texte
 R_6 : 33 Ω
 R_7 à R_{10} : voir texte
 P_{cal} : 10 k Ω , VA05 H
 P_z : 10 k Ω , VA05 H
 $P_{0,1}$, P_2 , P_5 : voir texte
 C_1 : 220 pF, cér.
 C_2 : 0,1 μ F, cér.
 C_3 : 0,1 μ F, cér.

b) Le circuit imprimé

La figure 3 nous en donne le tracé. On pourra

le réaliser facilement en époxy de 15/10 à l'aide de transferts ou par la méthode photo. Si cela peut vous aider, nous pouvons vous fournir un film orange pour tirage aux UV. Prendre contact, avec l'enveloppe self-adressée et timbrée de rigueur pour la réponse.

Etamage après gravure. Perçage des trous à 8/10. Agrandir ensuite à 12/10 ceux des VA05 H et des commutateurs. On pourra percer au centre de chaque VA05 H, un trou de 40/10 de manière à accéder au réglage par l'arrière. Les trous d'angles à 25 ou 30/10 selon la visserie utilisée.

c) Montage

Se reporter à la figure 4. La réalisation est particulièrement simple. On commencera par monter le support de CI puis tous les composants passifs. Placer ensuite les deux diodes NS, dans le bon sens, évidemment. Terminer par la mise en place des commutateurs, convenablement calés sur le nombre correct de positions. Pour ce faire, commutateur vu de face, le tourner à fond dans le sens anti-horaire, rondelle-clicquet enlevée : on obtient ainsi la première position. Placer alors la rondelle-clic-

quet soit à 4 soit à 5, suivant le cas. Vérifier que le nombre exact de positions est bien obtenu.

Les résistances R_1 , R_2 , R_3 sont à 1 % et ne nécessitent donc aucun ajustage. Par contre, les R_4 et R_5 sont quasi introuvables et donc à réaliser par association série de deux valeurs 5 %. Par exemple, 2,2 M Ω et 240 k Ω pour R_4 , 22 M Ω et 2,7 M Ω pour R_5 . Un tri sera nécessaire pour arriver au résultat correct. Pour ce qui concerne les résistances donnant les sensibilités du voltmètre interne, elles sont à calculer par le réalisateur, en fonction du galva monté. On utilisera la formule

$$R = \frac{U}{I} - r$$

dans laquelle U est la sensibilité à obtenir pour le voltmètre (0,1 V ou 1 V ou 2 V ou 5 V), i est la sensibilité du galvanomètre et r sa résistance.

La résistance R_8 correspond au résultat trouvé pour mesurer 1 V. Le circuit imprimé est prévu pour deux résistances en parallèle, si la valeur donnée par le calcul n'est pas standard. Pour les trois autres résultats, on prévoira à peu près 10 % du nombre obtenu en élément ajustable ($P_{0,1}$, P_2 ou P_5), les 90 %

restants constituant la partie fixe (R_7 , R_9 , R_{10}).

L'installation définitive peut se faire selon la figure 5 dans un boîtier à face avant inclinée. Mais ceci est laissé à votre entière initiative.

d) Etalonnage

Dans l'idéal, il faut disposer de quelques valeurs de résistances 1 % ou, mieux, bien réparties entre 1 000 Ω et 10 M Ω .

On commence par régler l'offset du circuit intégré. Poussoir d'entrée au repos, ou bornes R_x court-circuitées, amener l'aiguille exactement au zéro, par P_z .

Se placer alors en gamme 1 et en sensibilité 1 du voltmètre. Mesurer une 1 000 Ω , 1 %. Amener l'aiguille du galva exactement sur la graduation 100 par le jeu de P_{CAL} . Vérifier ensuite que l'étalonnage des gammes 2 et 3 est bon. Pour les gammes 4 et 5, avec des résistances 1 %, on réglera les valeurs de R_4 et R_5 , pour avoir une mesure exacte, sans retouche de P_{CAL} .

Il reste maintenant à régler les trois sensibilités du voltmètre pour que les mesures se recoupent parfaitement. Il suffit pour cela d'agir sur le réglage de la sensibilité correspondante.

Votre ohmmètre est alors terminé, et vous constaterez à l'usage les qualités de cet appareil, laissant loin derrière lui le classique contrôleur universel.

F. THOBOIS

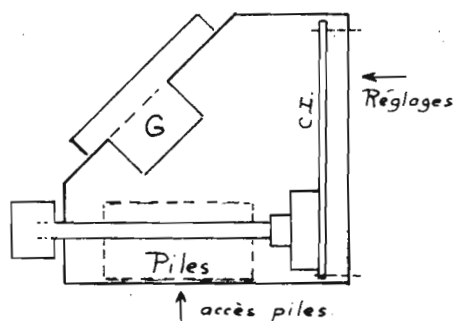


Fig. 5. — Disposition possible pour ohmmètre autonome.