

# réalisez et équipez vous-mêmes

## VOTRE LABORATOIRE

### II. L'APPAREILLAGE DE BASE

**L**A mise au point d'un montage électronique peut, à la rigueur, dans un cas simple, être effectuée par une vérification rapide. Ce sont les cas des nombreux gadgets fonctionnant par tout ou rien, dont le but est d'actionner un relais, d'allumer une lampe, ou d'émettre un son.

Dans des cas plus complexes, comme l'essai d'un amplificateur, il n'est pas évident que le fonctionnement soit assuré du premier coup, même si les valeurs des composants du schéma d'origine ont été respectées : la dispersion des caractéristiques peut être telle que la polarisation incorrecte d'un seul étage puisse entraîner le fonctionnement défectueux de tout l'amplificateur.

Par ailleurs, lorsqu'on cherche à mettre au point un montage de

conception « maison », le tâtonnement inévitable dans le choix des valeurs des composants ne peut être fait à l'aveuglette.

Dans l'un ou l'autre cas, si l'on veut se sortir d'affaire, il est indispensable de posséder quelques appareils de mesure qui permettront, en se référant à des repères de tension, de courant, de fréquence, etc. de savoir si le fonctionnement d'un étage est conforme ou non aux spécifications établies, ou si la valeur d'un composant doit être augmentée ou diminuée.

Ces considérations, assez évidentes, ne sont pas toujours présentes dans l'esprit des expérimentateurs trop impatientes, qui sont parfois déçus de n'avoir pu obtenir rapidement le résultat qu'ils espéraient. Ils en concluent hâtive-

ment que le schéma est rempli d'erreurs, ou que l'appareil dont on leur a proposé la réalisation, n'est pas viable.

La solution réside essentiellement dans la vérification rationnelle et logique de l'appareil, ce qui implique de comprendre l'essentiel de son fonctionnement et de posséder l'appareillage de base qui guidera l'amateur dans ses investigations.

Cet équipement comprend un minimum d'appareils capables d'assurer globalement les fonctions suivantes :

- vérification de la valeur des composants (résistances, condensateurs, semi-conducteurs...),
- mesure des paramètres électriques les plus usuels (tensions, courants) en continu et en alternatif,
- fourniture de signaux (généra-

teurs HF ou BF).

A ces fonctions de base, il conviendrait d'ajouter des alimentations continues pour les montages d'essai : ce ne sont pas à proprement parler des appareils de mesure, mais elles sont toujours intégrées à l'équipement du laboratoire.

Le premier, et souvent l'unique appareil de mesure que possède l'amateur électronique, est le multimètre (ou contrôleur universel). C'est, en effet, celui qui offre, sous un faible volume, le plus grand nombre de possibilités d'emploi pour vérifier les paramètres les plus fondamentaux. C'est donc par cet appareil que nous commencerons nos descriptions.

#### LE MULTIMÈTRE : SON PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Il existe dans le commerce une impressionnante quantité de ces appareils dont on trouvera un tableau récapitulatif des caractéristiques à la fin de cet article.

Tous sont basés sur le même principe (sauf les modèles digitaux) qui consiste, au moyen d'un galvanomètre sensible et précis, à réaliser un voltmètre et un milliampèremètre en continu et en alternatif. La mesure des résistances s'effectue aisément au moyen d'une ou deux piles contenues dans l'appareil. Certains d'entre eux peuvent être transfor-

més en capacimètres et en fréquence-mètres. Quelques-uns enfin possèdent un petit générateur de signaux riches en harmoniques (signal-tracer) pour les besoins du dépannage courant.

On trouvera sur la figure 1 les schémas de principe du fonctionnement, pour chaque cas d'utilisation du multimètre.

La fonction de Voltmètre continu est la plus classique (Fig. 1a) : une simple résistance est montée en série avec le galvanomètre. Soit :

- V, la tension à mesurer en valeur maximale (sensibilité de la gamme),
- i, le courant traversant le galvanomètre,

-  $r_g$ , la résistance du cadre du galvanomètre.

- R, la résistance série.

L'application de la loi d'Ohm donne

$V = (R + r_g) i$  qui nous amène à déduire la valeur de R :

$$R_{\text{serie}} = \frac{V}{i} - r_g \quad (1)$$

Si nous prenons des valeurs typiques on aura, par exemple :

V : gamme 1 V,  $i = 50 \mu A$ ,  $r = 1\ 000 \Omega$  d'où  $R = 19\ 000 \Omega$ .

Cette valeur, ajoutée à la résistance interne du galvanomètre, soit au total  $20\ 000 \Omega$ , représente la résistance offerte par le voltmètre pour chaque volt mesuré à pleine échelle. On dit que l'appa-

reil présente une résistance d'entrée de  $20\ 000 \Omega/V$ . Cette résistance sera d'autant plus grande que la sensibilité du galvanomètre sera élevée, c'est-à-dire que le courant nécessaire pour faire dévier à fond le galvanomètre sera faible.

La formule (1) peut s'écrire

$$R_{\text{serie}} = \Omega/V \times V - r_g$$

Si ces notions sont assez communes, l'influence du multimètre sur la mesure de la tension est moins connue : nous renvoyons le lecteur intéressé à l'annexe 1.

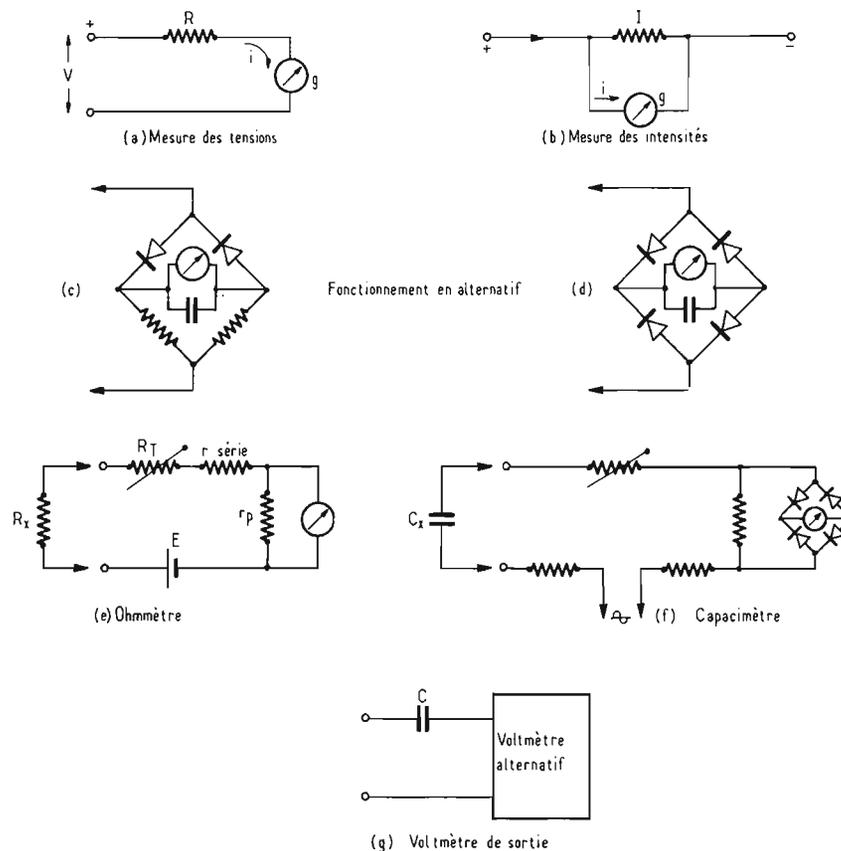


Fig. 1.

La figure 1b indique le montage correspondant à l'utilisation du multimètre en ampèremètre ou milliampèremètre.

Une résistance ou shunt,  $r$ , de faible valeur est branchée en série avec le circuit de mesure. Le galvanomètre dérive une faible partie du courant principal  $I$  proportionnellement au rapport des résistances :

$$r_g \cdot i = r \cdot I$$

$$\text{d'où } r_{\text{shunt}} = r_g \frac{I}{i} \quad (2)$$

Si, par exemple, on désire mesurer un courant de 1 ampère à pleine déviation avec un galvanomètre de  $50 \mu\text{A}$  ( $1\,000 \Omega$ ), il faudra un shunt de :

$$r = 1\,000 \times 5 \cdot 10^{-5} \Omega = 0,05 \Omega$$

On trouvera en annexe 2 l'incidence de l'introduction de l'ampèremètre sur la valeur du courant d'un circuit.

L'obtention des mesures de courant ou de tension en alternatif se fait simplement en utilisant un pont de deux ou quatre diodes (Fig. 1c et 1d), pour redresser le

signal aux bornes du galvanomètre. Cette méthode a malheureusement un inconvénient : la courbure de la caractéristique courant/tension des diodes introduit une déformation importante de la linéarité de mesure pour les signaux de faible amplitude, ce qui oblige, dans ce cas, à faire une gravure spéciale du cadran de l'appareil. D'autre part, les diodes ont parfois des caractéristiques dispersées, et la capacité des connexions en conjonction avec les résistances série, limite la bande passante de l'appareil à quelques kilohertz, de sorte qu'on ne peut prétendre faire des mesures aussi précises en alternatif qu'en continu.

La mesure des résistances se fait simplement en mesurant la diminution de courant engendrée dans une boucle lorsqu'on y introduit la résistance à mesurer. Il existe plusieurs configurations d'ohmmètre; celle que nous avons choisie sur la figure 1e correspond à un montage assez répandu.

Une pile  $E$  de 1,5 ou 3 V, une résistance ajustable  $R_T$  et le galva-

nomètre sont les éléments principaux de ce circuit. Lorsqu'on réunit les bornes de mesure ( $R_x = 0$ ), la déviation correspondante du galvanomètre est tarée par  $R_T$  pour la déviation maximale. Si l'on branche  $R_x$ , la déviation sera, évidemment, moins importante : il suffit de graver une échelle spéciale (en général hyperbolique) à zéro à droite pour permettre l'appréciation des valeurs de résistance aux faibles valeurs. La résistance  $r_{\text{série}}$  sert à limiter le courant dans le galvanomètre lorsque  $R_T$  est au minimum de sa course (appareil en position tarage). Cette valeur est commutée sur chacune des sensibilités.

Pour les faibles valeurs de  $R_x$ , on ne peut faire apparaître de variations sensibles de courant dans la boucle de mesure que si le courant est relativement important. C'est pourquoi une résistance  $r_p$  est branchée en parallèle sur le circuit du galvanomètre.

Dans le cas de résistances très élevées, au contraire, on améliorera la précision en choisissant  $R_T + r_{\text{série}} = R_x$  moyen (centre de

gamme). Or, si  $r_{\text{série}}$  a une valeur élevée, le courant risque d'être trop faible pour faire dévier à fond le galvanomètre en position tarage. On est alors obligé de choisir une pile de tension plus importante (9 à 22,5 V).

Généralement, la mesure de résistance entre  $10 \Omega$  et  $1 \text{ M}\Omega$  se fait dans des conditions acceptables de rapidité et de précision. Pour les faibles valeurs, on tiendra compte, éventuellement, de l'effet que pourrait avoir un courant important sur l'élément mesuré : destruction de jonctions, polarisation magnétique de têtes de lecture (P.U. ou magnétophone), etc.

La mesure des condensateurs non-polarisés s'effectue suivant le même principe que pour la mesure des résistances, en remplaçant, cette fois, la pile par une source de tension alternative (le secteur, par exemple) et en utilisant le pont redresseur du galvanomètre. Le tarage se fait, de la même façon à pleine échelle en court-circuitant les bornes de mesure ( $C_x = \infty$ ).

L'inconvénient de ce procédé est qu'il est limité aux condensa-

teurs de 500 pF à  $1 \mu F$  environ, non polarisés, et qu'il fait intervenir la tension élevée du réseau.

La fonction voltmètre de sortie est obtenue en intercalant un condensateur de forte valeur, bien isolé, dont le rôle est d'éliminer le contenu superposé à la tension alternative de mesure, comme c'est le cas sur la plaque d'un tube ou l'électrode d'un transistor.

Parfois, on trouvera une fonction mesure de fréquence obtenue en branchant un condensateur de valeur fixe en série avec le voltmètre alternatif. On opère de la même façon que pour la mesure des condensateurs, ce qui donne, après un tarage préalable une déviation proportionnelle à la fréquence. Il ne faut pas, cependant que l'on s'y trompe : cette mesure intéresse plus les électriciens (fréquence du réseau 50 ou 400 Hz) que les électroniciens, en raison de la tension élevée qu'elle demande et de la limitation de la bande passante.

La mesure des condensateurs polarisés par la méthode balistique peut être considérée comme intéressante pour une vérification globale de la qualité d'un condensateur électrochimique : elle consiste à observer la première déviation obtenue par un multimètre branché en ohmmètre aux bornes duquel on aura disposé le condensateur à mesurer. Cette pointe de courant est sensiblement proportionnelle à la valeur de la capacité du condensateur sous réserve que ce dernier soit en bon état et ait été soigneusement déchargé avant la mesure. Toutefois, il n'est pas facile, sans circuit de mémoire de faire une lecture de la déviation surtout si le condensateur n'est pas de très forte valeur. Quelques constructeurs signalent dans la notice d'emploi de leur appareil, cette possibilité d'utilisation.

### SPÉCIFICATIONS D'UN MULTIMÈTRE

Bien que la réalisation d'un tel appareil par un amateur soit théoriquement possible, nous l'en dissuadons formellement, même s'il possède un excellent galvanomètre calibré. S'il ne fallait acheter qu'un seul outil de mesure, ce serait un multimètre. Les problèmes posés par la commutation des gammes, la stabilité des mesures, la robustesse etc. en font un appareil dont seuls, les constructeurs spécialisés peuvent maîtriser la technologie. D'ailleurs, la grande

diffusion de ces appareils a permis de les vendre à des prix relativement avantageux.

Ce petit appareil, qui peut mesurer tant de paramètres, doit être, cependant, choisi avec beaucoup de soins. Nous examinerons successivement les caractéristiques essentielles dans chaque fonction, et donnerons les limites raisonnables qu'il conviendra de prendre en considération pour un éventuel achat. Nous aurons ainsi dressé un portrait-robot dont l'amateur électronicien pourra faire son profit.

La résistance interne d'un multimètre branché en voltmètre est le facteur déterminant de sa sensibilité. En conséquence, il conviendrait de choisir un appareil dont la résistance interne soit aussi élevée que possible, en aucun cas inférieure à  $10\,000 \Omega/V$  (domaine des électriciens). Cependant, il faut considérer que plus un appareil est sensible et plus il est fragile... et cher. D'un autre côté, il est inutile d'essayer de lutter sur ce point avec les voltmètres électroniques. Une bonne valeur de résistance, d'ailleurs la plus courante est  $20\,000 \Omega/V$ .

Les gammes de mesure sont établies en fonction des besoins les plus répandus : dans le cas des tensions continues, pour les manipulateurs de semi-conducteurs que sont les électroniciens amateurs, les valeurs à mesurer sont assez faibles. Une préférence sera donc donnée aux appareils présentant une sensibilité maximale de l'ordre du volt (à pleine échelle).

Les recouvrements entre gammes seront de préférence de 1/3, ce qui peut paraître luxueux, mais évite les erreurs d'appréciation et rend les lectures plus confortables. La sensibilité la plus faible sera de 1 000 V.

Les courants continus iront des valeurs les plus faibles possibles ( $50$  ou  $100 \mu A$ ), pour apprécier les courants base des transistors usuels, à plusieurs ampères (courant collecteur des transistors de puissance) avec des recouvrements moins poussés mais supérieurs à  $1/10^e$ .

Les tensions alternatives pourront être mesurées avec une résistance interne moindre (jusqu'à  $5\,000 \Omega/V$ ) afin de favoriser la bande passante.

En fait, comme nous l'avions indiqué plus haut, le multimètre n'est pas un appareil très pratique ni précis pour la mesure des tensions au-delà de  $500$  à  $1\,000$  Hz. Avec une sensibilité minimale de  $1\,000$  V et maximale de  $2$  ou  $3$  V on couvrira les besoins courants.

La bande passante sera telle qu'à  $15$  V et à  $1\,000$  Hz on n'ait pas une réduction de tension supérieure à  $10\%$ , par rapport à une référence prise à  $50$  Hz.

Les intensités alternatives ne seront mesurées qu'à l'occasion de vérifications de débit primaire d'une alimentation secteur. Il n'est donc pas indispensable de pouvoir mesurer des courants inférieurs à  $50$  ou  $100$  milliampères en alternatif.

La fonction ohmmètre sera assurée sur  $4$  à  $5$  gammes dans un rapport de  $10$ . On devra pouvoir apprécier moins de  $10$  ohms et plus de  $2 M\Omega$ , ce que la plupart, sinon la totalité, des appareils du commerce permettent d'atteindre sans difficultés. La mesure de résistance au-delà des limites indiquées est évidemment souhaitable mais la précision de lecture souffre, le plus souvent, des mauvais contacts ou des fuites.

L'échelle des décibels n'est recommandée que si les performances en mesure des tensions alternatives sont acceptables (voir plus haut).

La mesure des condensateurs est intéressante mais ne doit en aucun cas constituer un critère de choix car si l'on est amené à faire de telles mesures on s'équipera, tôt ou tard d'un capacimètre plus pratique.

La configuration des commutations revêt, en revanche une importance capitale. La préférence serait à donner aux multimètres qui ont autant d'entrées que de possibilités d'utilisation. Mais cet arrangement n'est pas très pratique et risque même en cas de distraction d'être dangereux, si l'on oublie de déplacer la position des cordons à chaque mesure de caractère différent.

Le commutateur unique est, bien sûr, d'une utilisation plus agréable mais il doit être très bien étudié et d'une qualité irréprochable : les résultats les meilleurs seront obtenus par des contacts dorés ou rhodiés.

L'encliquetage doit être net, pas trop dur et la manœuvre du bouton de commutation ne doit pas dissimuler les indications gravées ni être entravée par les cordons.

Une mention particulière est à faire à propos de la lisibilité du cadran : rien n'est plus exaspérant que d'avoir à faire des calculs mentaux pour connaître la valeur du paramètre mesuré. La lecture doit être rapide, non ambiguë sur une échelle décimale (sauf, évidemment sur la fonction ohms).

Le miroir anti-parallaxe, très en vogue, il y a quelques années, n'est pas indispensable, surtout si l'aiguille est très proche du cadran. La classe de précision indique l'erreur en pourcentage que l'on commet avec une déviation maximale de l'appareil. Cette erreur est la somme des « erreurs constructeur » et tient compte de la précision des composants, au moment où l'appareil a été réalisé.

On peut estimer qu'une classe de  $1,5$  en continu et  $2$  ou  $3$  en alternatif est une performance très honorable pour ce type d'appareils.

Il faut, cependant, considérer que l'on commet une erreur de mesure plus importante lorsque :

- le circuit de mesure est perturbé (voir annexes 1 et 2).
- la déviation n'est pas totale.
- l'appréciation est difficile (aiguille entre 2 divisions consécutives).
- la température varie dans des limites importantes.

Prenons un exemple précis : soit un multimètre de classe  $1,5$  qui indique  $5$  V en continu sur sa gamme  $10$  V.

L'erreur théorique est de  $\pm 150$  mV.

L'erreur d'appréciation peut être évaluée à  $\pm 1\%$  de la valeur mesurée soit  $\pm 50$  mV, de sorte qu'on obtiendra une appréciation globale de  $5$  V  $\pm 200$  mV (de  $4,8$  à  $5,2$  V), soit une erreur effective de  $\pm 4\%$ , à laquelle viendraient s'ajouter d'éventuelles erreurs dues aux variations de température et, naturellement, à la réaction du circuit mesuré.

Comme on peut le voir, il faut être extrêmement prudent dans l'appréciation d'une valeur lue sur le cadran du multimètre. Il est vrai que les erreurs ne s'accumulent pas forcément dans le même sens et que, statistiquement elles sont réduites de moitié.

Signalons, pour terminer, que l'achat d'un multimètre est un acte sérieux et qu'il convient de prendre toutes précautions contre d'éventuels déboires, c'est-à-dire :

- de ne choisir qu'un appareil de marque connue, avec la garantie du constructeur, à l'exclusion de tout matériel de second choix, de récupération, de surplus etc.
- de bien étudier la documentation d'une offre qui devra répondre aux spécifications établies.

### PROTECTION DE L'APPAREIL

Les multimètres sont des appa-

reils relativement fragiles sous plusieurs aspects :

- la fragilité électrique du galvanomètre qui peut avoir comme conséquence la destruction de l'enroulement du cadre mobile (exemple typique : mesure d'une tension en position « intensités »). Ce grave accident peut être évité en disposant un fusible en série dans le circuit d'intensité pour protéger le shunt, mais également 2 diodes montées tête-bêche aux bornes du galvanomètre.

- La fragilité mécanique du galvanomètre. Sous l'effet d'un choc, l'équipage mobile du cadre peut être endommagé. Un grand progrès a été fait dans ce sens par l'utilisation de suspensions anti-chocs, notamment à fils ou rubans tendus. (On donnera la préférence à ce type d'appareils.)

- La fragilité mécanique de l'ensemble du coffret. Bien que les matières plastiques nouvelles soient pratiquement incassables, il est recommandé, si l'on tient à conserver intact ce fidèle compagnon des tables de laboratoire, de l'équiper d'une housse en épais caoutchouc, et de l'éloigner des

lieux (table de travaux mécaniques) où il risque de prendre un mauvais coup.

Un multimètre, enfin, doit être l'objet de soins attentifs. Il est conseillé de le retourner chez le constructeur à la moindre anomalie (ne pas tenter soi-même une intervention de dépannage), ou, en tous cas, tous les 3 ou 4 ans pour une vérification d'étalonnage.

### LES MULTIMÈTRES PLUS ÉVOLUÉS : INTRODUCTION DE L'ÉLECTRONIQUE

La plupart des défauts imputables aux multimètres à circuits passifs :

- résistance d'entrée insuffisante,
  - sensibilité trop faible pour certaines applications,
  - sensibilité aux surcharges électriques,
  - bande passante réduite,
  - manque de précision en alternatif, etc.
- sont réduits par l'utilisation de circuits électroniques amplificateurs

employant des circuits intégrés associés à des transistors à effet de champ.

Ces appareils sont alimentés par des piles dont la durée de fonctionnement atteint plusieurs centaines d'heures.

Pour un prix de 2 à 4 fois celui d'un contrôleur conventionnel, on obtiendra une résistance d'entrée de 10 MΩ en continu, on peut apprécier le millivolt, le nanoampère et le millier de megohms avec une bande passante en alternatif atteignant facilement le mégahertz, tout ceci avec un mépris de la surcharge assez étonnant (sauf en mesure d'intensité).

### LA TECHNIQUE DIGITALE : POUR L'INSTANT UN LUXE

Si les multimètres électroniques ont marqués un net progrès dès l'apparition de circuits intégrés linéaires, la précision et la lisibilité ont fait des pas de géant après l'introduction des techniques digitales.

Les voltmètres digitaux ont in-

trouit un luxe dans la mesure qui est sans précédent. Ces appareils, initialement réservés aux laboratoires professionnels les mieux équipés, commencent à se répandre à des prix plus praticables mais encore élevés (4 à 10 fois le prix du multimètre passif).

Avec les avantages des circuits électroniques s'ajoutent ceux de la technique digitale : changement automatique de gamme et de polarité pour certains modèles, très grande précision (au moins 1 % en valeur absolue pour les plus courants, annulation complète de l'erreur d'appréciation).

L'introduction des circuits en technique MOS et d'éléments d'affichage à diodes électroluminescentes ou à cristaux liquides devrait faire progresser d'un pas décisif une technologie de l'appareil de mesure qui datait du début du siècle... Il n'est pour s'en convaincre que de considérer les progrès fantastiques réalisés dans le domaine de la calculatrice de poche par exemple.

(à suivre)

Jean CERF

## ANNEXE 1

Influence du multimètre sur la mesure des tensions.

Lorsqu'une source de f.e.m.e; a une résistance interne  $r_s$  élevée, ce qui est un cas fréquent, il est difficile de mesurer avec une précision suffisante la valeur de  $e$  en utilisant un multimètre dont la résistance série  $R$  est inférieure à  $10 r_s$ .

Considérons la figure A1. En négligeant la résistance du galvanomètre, l'application de la loi d'ohm donne

$$V = e - r_s i = Ri$$

on en tire

$$i = \frac{e}{R + r_s} = V/R$$

$$\text{d'où } V = e \frac{R}{R + r_s}$$

Prenons un exemple :

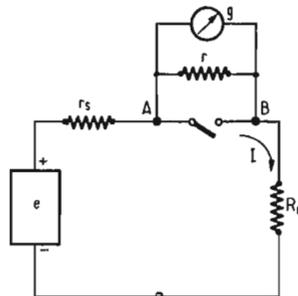
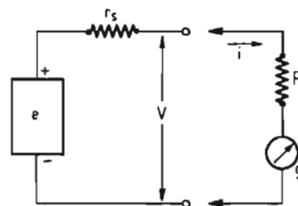
Résistance interne du multimètre = 20 000.

Sensibilité = 10 V (soit  $R = 200 \text{ k}\Omega$ ).

Tension mesurée : 6 V.

Résistance de source :

$r_s = 100 \text{ k}\Omega$ ;



l'application de la formule donne :

$$V = \frac{200}{200 + 100} = 4 \text{ V}$$

soit une erreur de - 33 %.

Si on avait utilisé la gamme supérieure (30 V, par exemple), l'erreur de mesure n'aurait été que de - 15 %, ce qui rendait la mesure plus précise malgré l'augmentation de l'erreur d'appréciation, puisque 6 V ne représentent que le cinquième de la déviation totale. En toute rigueur, il faudrait ajouter également l'erreur systématique qui a triplé sur 30 V.

Dans tous les cas, si l'on connaît la résistance interne de la source dont on désire connaître la tension, il est possible d'en tenir compte pour trouver la vraie valeur en appliquant la formule :

$$e = V \left( 1 + \frac{r_s}{R} \right)$$

## ANNEXE 2

Influence de l'insertion d'un ampèremètre sur le courant d'un circuit où l'on fait la mesure.

Lorsque le circuit de la figure A2 ne comporte pas de mesureur d'intensité, les points A et B sont réunis et la charge  $R_c$  est alimentée directement par la source de f.e.m.e. et de résistance interne  $r_s$ .

On peut écrire

$$I = \frac{e}{r_s + R_c}$$

Dans le cas où le multimètre est utilisé, on aura :

$$i_{\text{mesuré}} = \frac{e}{r_s + R_c + r}$$

d'où :

$$I_{\text{mes}} = I \frac{r_s + R_c}{r_s + R_c + r}$$

Cette formule permet d'apprécier l'erreur commise dans un cas concret :

$$e = 6 \text{ V}, r_s = 0, R = 8 \Omega, \text{shunt} : 1 \text{ A} (r = 0,05 \Omega).$$

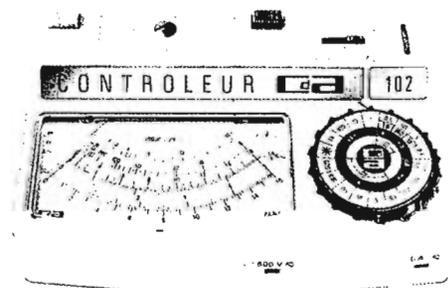
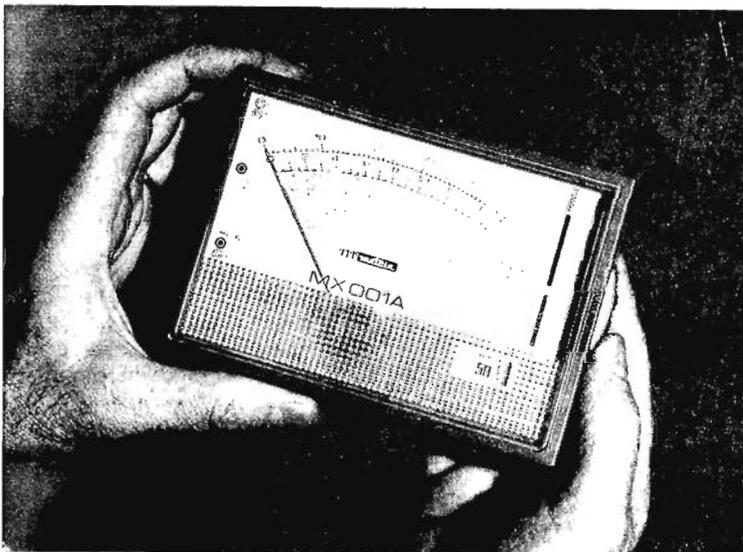
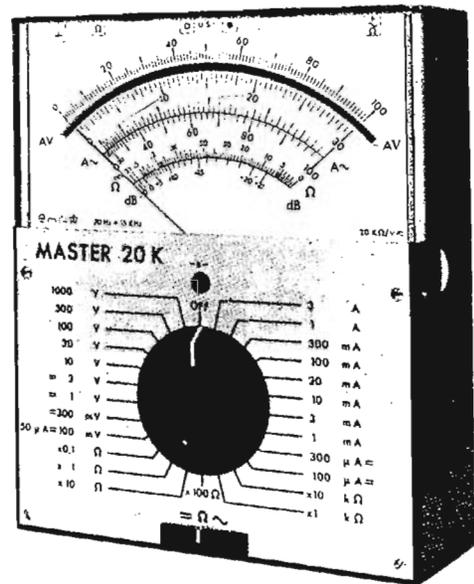
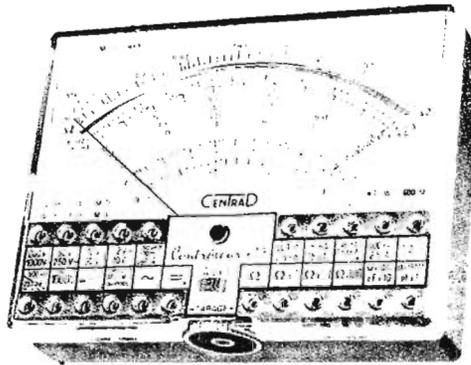
On obtient  $I_{\text{mesure}} = 0,745 \text{ A}$  pour  $I = 0,75 \text{ A}$ .

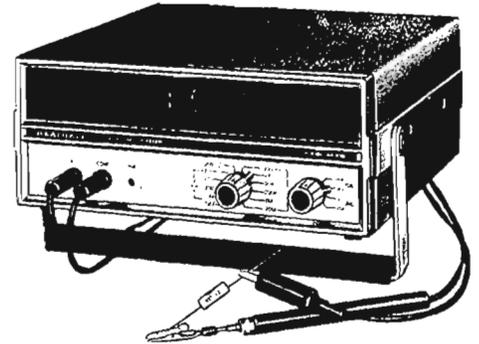
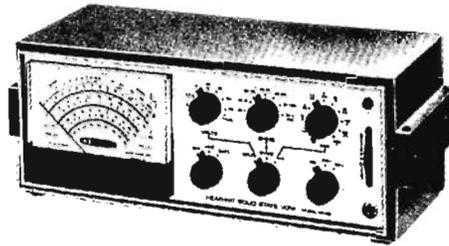
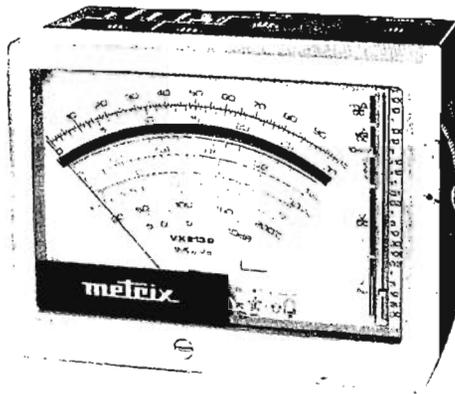
soit une erreur de  $-0,5 \%$  tout à fait négligeable. Par contre, si

$e = 0,5 \text{ V}, r_s = 30 \Omega, R_c = 470 \Omega, \text{shunt} : 1 \text{ mA} (r = 50 \Omega)$ , on aura  $I_{\text{mesure}} = 0,910 \text{ mA}$  pour  $I = 1 \text{ mA}$  et on commet une erreur de  $-9 \%$  dont on devra tenir compte.

En règle générale, chaque fois que la résistance de charge d'un circuit est faible (inférieure à  $10 \Omega$ ), il y a lieu de corriger le résultat mesure au moyen de la formule :

$$I_{\text{reel}} = I_{\text{mesuré}} \times \frac{r_s + R_c + r}{r_s + R_c}$$

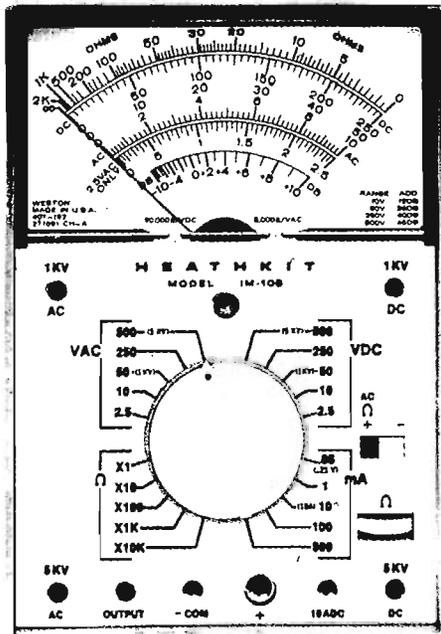




### CARACTÉRISTIQUES DE QUELQUES APPAREILS COMMERCIAUX

#### GAMMES

Référ.	Résist. d'en. cont/alt.	Continu	Alternatif	Ohms	Remarques	Prix
VOC 20	20 k $\Omega$ /V 5 k $\Omega$ /V	$\pm 1,5 \%$ 100 mV - 1 000 V 50 $\mu$ A - 1 A	$\pm 2,5 \%$ 2,5 V - 1 000 V 100 mA - 5 A	1 $\Omega$ - 10 M $\Omega$ (100 M $\Omega$ )	dB, C, F	A
VOC 40	40 k $\Omega$ /V 5 k $\Omega$ /V	$\pm 1,5 \%$ 100 mV - 1 000 V 25 $\mu$ A - 1 A	$\pm 2,5 \%$ 2,5 V - 1 000 V 100 mA - 5 A	1 $\Omega$ - 10 M $\Omega$ (100 M $\Omega$ )	dB, C, F	B
METRIX 462 C	20 k $\Omega$ /V 20 k $\Omega$ /V	$\pm 1,5 \%$ 1,5 V - 1 000 V 100 $\mu$ A - 5 A	$\pm 2,5 \%$ 3 V - 1 000 V 1 mA - 5 A	5 $\Omega$ - 10 M $\Omega$	dB (1,5 V sur échelle 100 $\mu$ A)	D
METRIX MX 001	20 k $\Omega$ /V 6 320 $\Omega$ /V	$\pm 3 \%$ 100 mV - 1 600 V 50 $\mu$ A - 5 A	$\pm 5 \%$ 5 V - 1 600 V 160 $\mu$ A - 1,6 A	2 $\Omega$ - 5 M $\Omega$	Série à grande diffusion	B
METRIX 202 B	40 k $\Omega$ /V 1 000 $\Omega$ /V	$\pm 1,5 \%$ 50 mV - 1 000 V 25 $\mu$ A - 5 A	$\pm 2,5 \%$ 15 V - 1 000 V 50 mA - 5 A	10 $\Omega$ - 2 M $\Omega$ (sans tarage)	dB, très bonne tenue en fré- quence	E
CdA 102	20 k $\Omega$ /V 20 k $\Omega$ /V	50 mV - 1 600 V 50 $\mu$ A - 5 A	1,6 V - 1 600 V 16 mA - 5 A	1 $\Omega$ - 2 M $\Omega$ (20 M $\Omega$ )	grande diffusion	B
CdA 20	20 k $\Omega$ /V 2 k $\Omega$ /V	1,5 - 1 000 V 100 $\mu$ A - 5 A	5 V - 500 V	10 $\Omega$ - 1 M $\Omega$	pas d'intensité en alternatif repérage de gamme	B
CdA 21	20 k $\Omega$ /V 2 k $\Omega$ /V	1,5 V - 1 000 V 100 $\mu$ A - 5 A	5 V - 500 V 50 mA - 5 A	10 $\Omega$ - 1 M $\Omega$	2 dB bonne tenue en fré- qu. repérage de gamme	C
CdA 25	20 k $\Omega$ /V 20 k $\Omega$ /V	$\pm 1,5 \%$ 50 mV - 1 500 V 50 $\mu$ A - 5 A	$\pm 2,5 \%$ 1,5 V - 1 500 V 50 mA - 5 A	1 $\Omega$ - 1 M $\Omega$	dB	D
CdA 50	50 k $\Omega$ /V 5 K $\Omega$ /V	$\pm 1,5 \%$ 0,1 V - 600 V 20 $\mu$ A - 6 A	$\pm 2,5 \%$ 6 V - 600 V 60 mA - 6 A	1 $\Omega$ - 5 M $\Omega$	dB	E



## AUTRES RÉFÉRENCES

### MULTIMÈTRES CLASSIQUES

Centrad	819	20 k $\Omega$ /V	prix C
«	517 A	20 k $\Omega$ /V	prix C
MASTER	20 K	20 k $\Omega$ /V	prix D
Chinaglia	Cortina	20 k $\Omega$ /V	prix D
«	Major	40 k $\Omega$ /V	prix E
«	Super	50 k $\Omega$ /V	prix :E
«	Rekord	50 k $\Omega$ /V	prix C
«	Minor	20 k $\Omega$ /V	prix B
EUROTEST	TS 210	20 k $\Omega$ /V	prix B
HEATHKIT	IM 105	20 k $\Omega$ /V	prix E (Kit)

### VOLTMÈTRES ELECTRONIQUES

METRIX VX 213 B  
 VX 313 C  
 CdA 10 M  
 VOC'TRONIC  
 Chinaglia DINO  
 HEATHKIT IM 25 et IM 104

### CODE DES PRIX (TTC)

A = de 100 à 150 F  
 B = de 150 à 200 F  
 C = de 200 à 250 F  
 D = de 250 à 300 F  
 E  $\geq$  300 F

### VOLTMÈTRES NUMÉRIQUES

HEATHKIT IM 1202 (en Kit)  
 HEATHKIT IM 102 (en Kit)

## Une Révolution dans les Micros à Condensateur

# PEARL

Utilisés dans le monde entier, ces microphones à condensateur suédois sont les seuls à être « accessibles » aux particuliers soucieux d'enregistrements de qualité « studio » aussi bien en extérieur qu'en intérieur.

9 Modèles de Micros  
 Dynamiques  
 Types  
 Omnidirectionnel  
 et Cardioïde  
 Casques  
 Dynamiques HiFi



8 Modèles de Micros  
 à Condensateurs  
 avec leurs  
 variantes  
 et leurs  
 accessoires

Importateur France - TRADELEC - 229, rue Vercingétorix - 75014 Paris - Tél. 533.00.40

Documentation sur simple demande...



depuis 5 ANS chez

# SMET Électronique

110, avenue des Chartreux  
 MARSEILLE 4<sup>e</sup>  
 49-13-56

## KENWOOD

La Haute Fidélité Intégrale avec la plus grande gamme de matériel  
 Hi-Fi le meilleur rapport qualité/prix

Une comparaison s'impose chez le seul revendeur du SUD se flat-  
 tant de ne faire que de la Hi-Fi

présent à Promo-Loisirs