

8. LA MESURE DES TENSIONS ALTERNATIVES

CETTE catégorie de mesures est primordiale en électronique, car la plupart des signaux utilisés sur les montages a une caractéristique de tension variable dans le temps, souvent de façon périodique, ce qui fait assimiler ces signaux à des tensions alternatives.

La connaissance précise de la valeur efficace d'une tension alternative est une précieuse information qui permettra, en outre, d'apprécier :

- le gain d'un amplificateur,
- sa sensibilité,
- sa stabilité,
- le rapport signal/bruit,
- la valeur de la tension d'un oscillateur, etc.

Nous avons déjà eu l'occasion de traiter succinctement ce thème à propos de l'examen du banal multimètre monté en voltmètre ou ampèremètre alternatif (cf H.P. N° 1450, p. 148 et la suite). Nous rappelons que, malheureusement, la mesure des tensions et des courants alternatifs n'est guère facile avec ce type d'appareil dont la bande passante est souvent assez étroite et l'étalonnage non linéaire.

Nous proposons, cette fois, d'étendre le débat aux voltmètres et millivoltmètres à large bande couvrant, au moins, les besoins de l'expérimentation en audio-fréquences. Nous donnons la description de plusieurs appareils faciles à réaliser et à utiliser et stables dans leur fonctionnement.

QUEL EST LE PROBLÈME ?

L'appréciation de la valeur d'une tension alternative s'obtient en transformant, par redressement, cette quantité en un courant continu que l'on peut facilement mesurer au moyen d'un classique « galvanomètre » à cadre mobile dont la déviation est proportionnelle à ce courant.

C'est ce que l'on réalise sur les multimètres et l'on pourrait penser que cette mesure ne pose guère plus de problèmes en alternatif qu'en continu. En réalité ceci est loin d'être vrai comme on va le voir.

Le courant redressé par une ou plusieurs diodes a une allure ha-

chée dont on mesure la valeur moyenne sur le cadran de l'appareil. Pour les signaux sinusoïdaux, il existe un rapport constant entre la valeur moyenne et la valeur **efficace**, seule considérée :

$$\text{valeur eff.} = \text{valeur moy.} \times \frac{\pi}{2\sqrt{2}}$$

$$= \text{valeur moyenne} \times 1,11$$

Tenant compte de cette formule, il suffirait donc, dès lors, de calculer la valeur de la résistance série, en alternatif, pour obtenir une déviation correspondant à la valeur efficace.

Il existe plusieurs difficultés :

- si la valeur de la résistance série est faible (fortes sensibilités), la linéarité sera détruite par la fameuse courbure de la caractéristi-

que de la diode ou du pont de diodes et il convient de corriger cette non-linéarité par un étalonnage particulier aux gammes concernées,

— la mesure des tensions très faibles (moins du demi-volt) est impossible car même les diodes les plus sensibles (germanium) ne détectent plus rien en dessous de 0,2 V,

— si la résistance série a une valeur élevée, l'effet de la capacité de câblage intervient pour limiter la bande passante de mesure de l'appareil (surtout s'il a un nombre élevé de kilohms par volt).

La figure 1 représente le montage élémentaire le plus classique qui permet de mesurer une tension alternative par redressement mono-alternance. Ce montage est

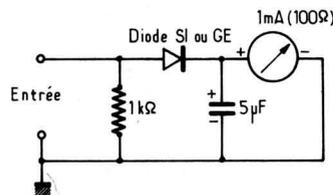


Fig. 1 - Montage élémentaire pour le redressement d'une tension alternative et sa mesure par un galvanomètre à cadre mobile.

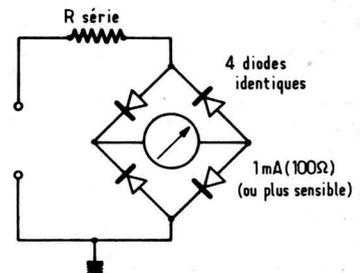
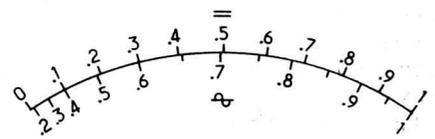


Fig. 2 - Le montage redresseur en pont est plus sensible, mais n'évite pas le tassement de l'échelle (1 volt sur l'exemplarité).



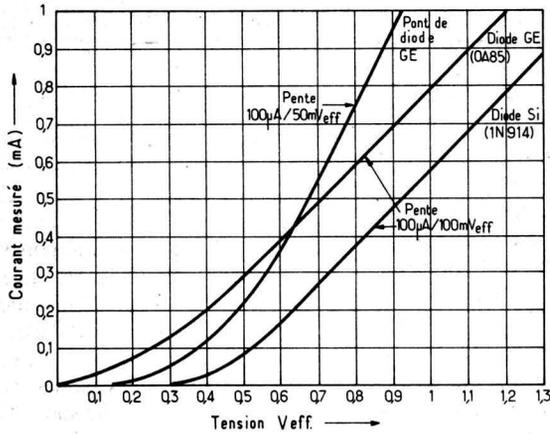


Fig. 3 - Caractéristique de redressement de quelques montages à diode.

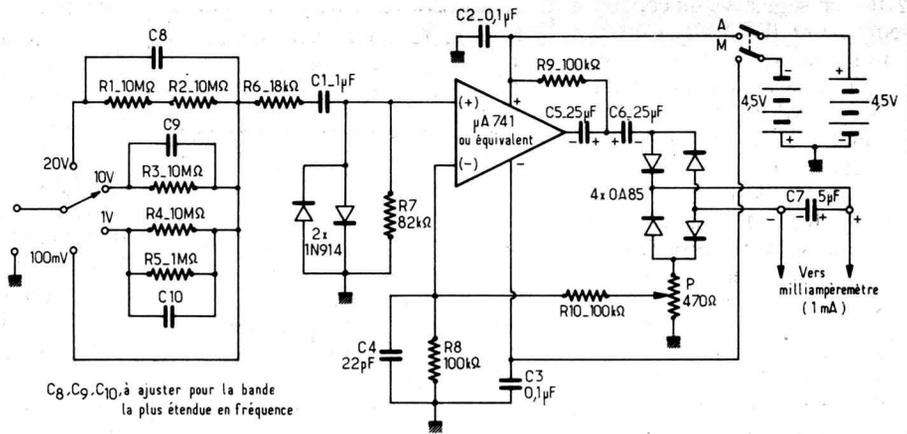


Fig. 4 - Millivoltmètre/voltmètre à circuit intégré (version µA 741) de 1 MΩ/volt.

encore utilisé en vidéo, en HF et VHF.

La figure 2 indique le branchement d'un redresseur à quatre diodes montées en pont comme on en rencontre encore fréquemment sur les multimètres dont l'échelle est déformée, sur les gammes les plus sensibles, comme le représente la figure.

Ces deux montages nous ont permis de tracer les courbes caractéristiques de la figure 3. On y observe notamment :

- que la caractéristique d'une diode germanium est plus sensible que celle d'une diode silicium,
- que les parties droites ont la même pente mais sont décalées de 200 millivolts environ,
- que la pente d'un pont de diodes germanium est double de celle d'une simple diode mais que son coude est plus prononcé.

Ceci confirme bien que l'on ne peut obtenir de caractéristique linéaire au-dessous de 0,5 V pour les diodes au germanium et 0,6 à 0,7 V pour les diodes au silicium.

SOLUTION A ADOPTER : L'AMPLIFICATEUR COMPLÉMENTAIRE

Puisque ce sont les faibles tensions qui sont les plus difficiles à mesurer, il suffit de les amplifier suffisamment pour se retrouver sur la partie linéaire de la caractéristique du redresseur à diodes, d'autant que l'utilisation d'une contre-réaction, savamment dosée, éliminera quasi-totalement la non-linéarité du système, en même temps qu'elle lui confèrera une excellente stabilité.

Un exemple d'application de ce principe est représenté sur la figure 4 : il s'agit d'un complément à un multimètre que l'on placera sur la position 1 mA.

L'amplificateur est constitué d'un circuit intégré linéaire du type µA 741 (ou équivalent) alimenté en + et en - par deux piles plates de 4,5 V.

Le signal est envoyé sur le curseur d'un commutateur à quatre positions respectivement : 100 mV, 1 V, 10 V, 20 V. La résistance d'entrée est de 1 MΩ/volt et la bande passante varie de quelques Hz à 50 kHz à - 1 dB sur la position 0,1 V.

La résistance R7 placée entre la masse et l'entrée (+) du circuit fixe le potentiel continu. Le condensateur C1 non polarisé de 1 µF isole l'entrée des tensions continues indésirables qui seraient superposées au signal à mesurer.

Avec 18 kΩ (R6) en série, on obtient une sensibilité maximale de 100 mV eff., ce qui convient aux besoins courants. Sur la position 1 volt, les résistances R4 de 10 MΩ et R5 de 1 MΩ montées en parallèle donnent une valeur équivalente de 900 kΩ environ, ce qui constitue un diviseur par 10 avec R6 et R7.

De la même façon, la position 10 V est obtenue par une division par 100 et la position 20 V par une division par 200.

Pour éviter que le circuit ne soit détruit par des tensions trop élevées, ce qui pourrait se produire par accident, on monte deux diodes silicium tête-bêche en parallèle sur l'entrée : ce dispositif classique est néanmoins très efficace : il

protège l'entrée 100 mV contre 250 V eff.

A la sortie de l'amplificateur différentiel, on trouve deux condensateurs C5 et C6 de 25 µF polarisés par R9 vers le + 4,5 V, un pont de diodes germanium OA85 (ou équivalent) et un potentiomètre de 270 Ω réuni à la masse.

Les bornes de sortie vers l'appareil de mesure, découplées par le condensateur R7, sont prises sur la diagonale du pont de diodes.

Lorsqu'une tension est appliquée à l'entrée, elle se trouve amplifiée et donne naissance à un courant dans le pont de sortie, d'où apparition d'une tension aux bornes de P proportionnelle à ce courant.

La tension de contre-réaction est envoyée par le diviseur R10/R8 vers l'entrée (-) du circuit. Cette boucle entraîne la suppression du coude des diodes puisque le taux de réaction négative est proportionnel à l'amplitude du courant de sortie, ce qui implique que le gain est d'autant plus important que la tension de sortie est plus faible.

Le déplacement du curseur de P permet le réglage du gain de l'amplificateur et apporte ainsi un moyen commode et précis pour la calibration de l'appareil.

Les corrections en fréquence sont de deux types :

- 1) Les condensateurs C8, C9, C10 en parallèle sur les résistances d'entrée seront déterminés en fonction du circuit, en utilisant un générateur BF pour linéariser au mieux la courbe de réponse en fréquence.

2) La stabilité du circuit intégré exige la présence du condensateur de 22 pF entre l'entrée (-) du circuit et la masse. Ceci entraîne une variation de la phase de la tension de réinjection qui évite les accrochages HF.

Enfin les tensions d'alimentation + et - seront découplées le plus près possible du circuit au moyen de condensateurs plaquettes de 0,1 µF.

Ce montage est extrêmement pratique et sa réalisation et sa mise au point ne présentent aucune difficulté et sont bien à la portée de l'amateur.

UN VOLTMÈTRE AMPLIFICATEUR À LARGE BANDE

Un autre exemple est donné sur la figure 5 qui utilise un circuit µA 702. Cet appareil comporte son propre milliampèremètre (1 mA, 100 Ω).

Pour offrir, sur toutes les gammes, une résistance élevée, un circuit à FET a été prévu sur l'entrée (+) du circuit intégré.

Les gammes sont les mêmes que pour l'appareil précédent mais la résistance d'entrée est ici uniformément de 11 MΩ.

Un circuit de protection à diodes est monté sur la porte du FET connecté en drain commun (basse impédance de sortie, gain très voisin de 1).

Le circuit de sortie est semblable au précédent. La résistance de CR (R9) est réunie directement au potentiomètre de réglage de gain de 100 Ω.

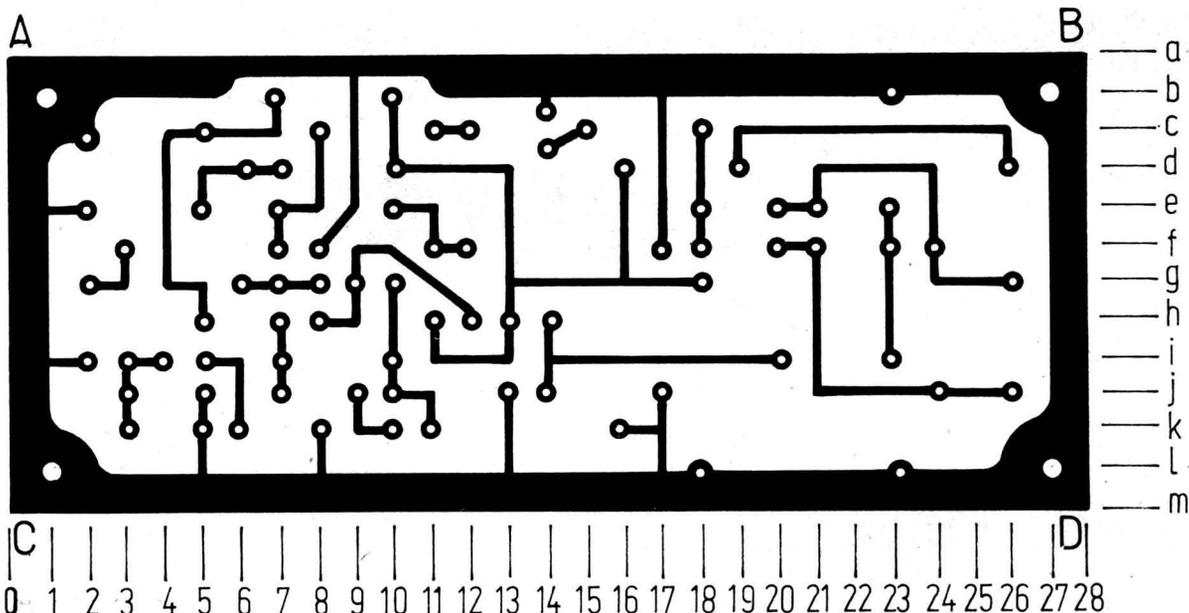


Fig. 7 b.

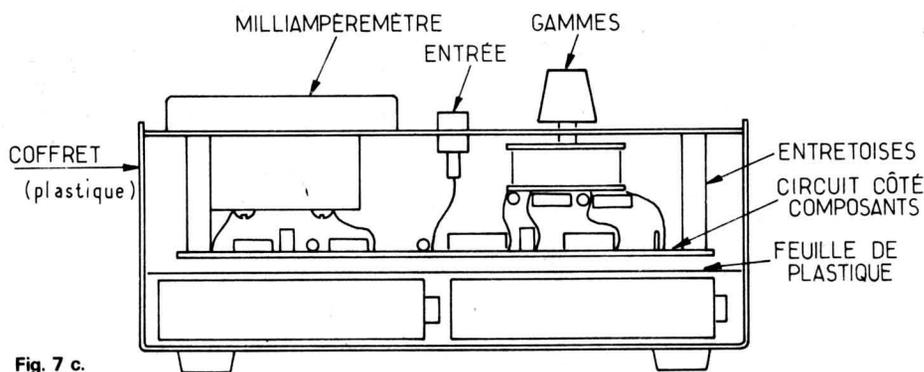


Fig. 7 c.

Pour les autres échelles, on suivra les indications suivantes :

- pour l'échelle 100 mV, ôter 20 dB
- pour l'échelle 10 mV, ôter 40 dB
- pour l'échelle 10 V, ajouter 20 dB
- pour l'échelle 20 V, ajouter 26 dB
- pour l'échelle 50 V, ajouter 34 dB

Ces graduations sont très utiles puisqu'elles permettent de mesurer le gain d'un amplificateur directement en dB.

Il est également possible de

transformer notre voltmètre électronique en wattmètre. Dans ce cas, il est nécessaire de définir une résistance de charge déterminée car :

$$W = \frac{U^2}{R}$$

W : puissance dissipée dans la charge R lorsqu'il y a une tension U aux bornes de cette charge.

Nous avons choisi 8 ohms, qui est la valeur la plus répandue, sachant que pour 4 ohms il conviendra de multiplier la lecture par 2, et que pour 16 ohms, il faudra la diviser par 2.

Le tableau de correspondance est le suivant :

TABLEAU B

(1 volt)	V :	0,126	0,2	0,28	0,4	0,63	0,9	1 V
	W :	1 mW	5 mW	10 mW	20 mW	50 mW	100 mW	125 mW
(10 V)	V :	1,26	2	2,8 V	4 V	6,3 V	9 V	10 V
	W :	200 mW	500 mW	1 W	2 W	5 W	10 W	12,5 W
50 V	V :	9 V	12,65 V	20 V	25,3 V	28,3 V		
	W :	10 W	20 W	50 W	80 W	100 W		

CALIBRATION

Si les résistances de l'atténuateur d'entrée sont suffisamment précises (de préférence 1 %), la calibration des appareils se fera sur la gamme 1 V en comparant la lecture à 50 Hz d'une tension alternative de 1 V eff., sur un multimètre précis avec celle que donne le voltmètre à calibrer. On réglerà la tension exactement sur 1 V, puis on ajustera le potentiomètre de taux de C.R. d'intensité pour obtenir la lecture désirée. Les autres gammes se trouveront automatiquement calibrées.

Si les résistances déjà citées ne sont pas suffisamment précises (5 ou 10 %), il convient de faire un étalonnage sur chaque gamme et de rédiger un tableau d'erreur correspondant. Il est néanmoins souhaitable d'éviter cette situation et l'on s'efforcera de trouver des résistances assez précises, au besoin en opérant un tri sur un lot à 5 % par exemple. (à suivre)

J.C.