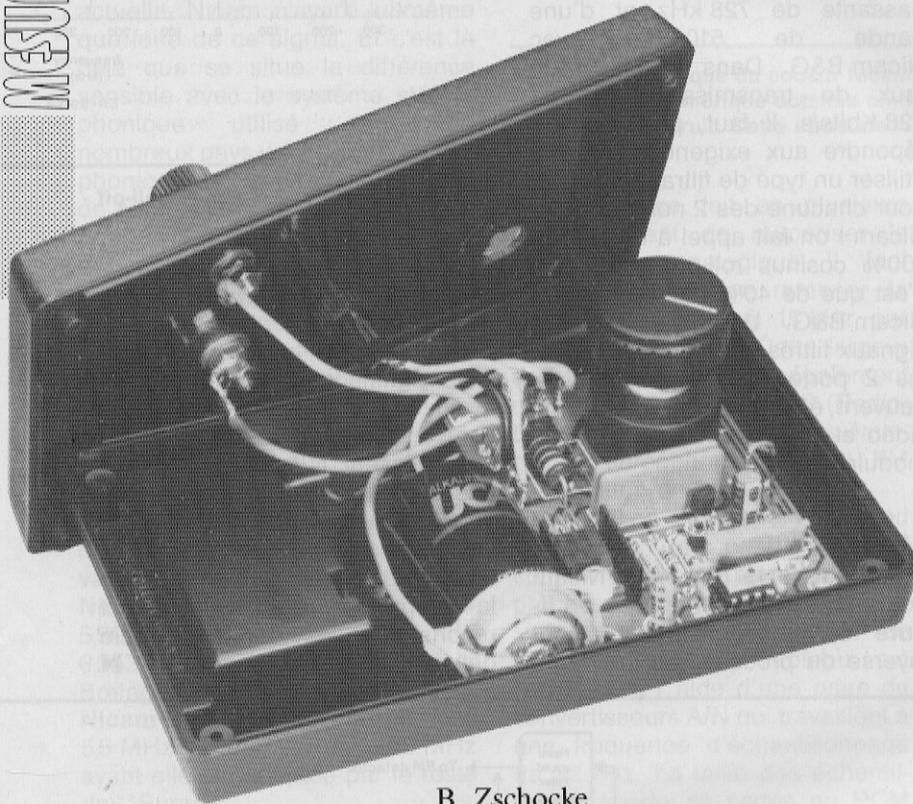


# module milli- $\Omega$ -mètre pour multimètre

mesure de résistances avec une résolution de  $100 \mu\Omega$



B. Zschocke

Le prix de bon nombre de multimètres numériques est devenu aujourd'hui si abordable qu'on les trouve, non seulement dans tous les laboratoires d'électronique professionnelle mais aussi sur la majorité des tables d'expérimentation des amateurs en la matière. La miniaturisation de l'électronique s'est de plus traduite par une multiplication des fonctions proposées, qui vont de la mesure de grandeurs «classiques» telles que courants, tensions et résistances, à celle de caractéristiques plus «exotiques» telles que capacités et fréquences. Et pourtant ce n'est pas sans raison qu'il existe une loi dite de Murphy qui dit, excusez la traduction quelque peu libre, «on a toujours tout à sa disposition sauf bien évidemment ce dont on a besoin à cet instant précis pour une application donnée».

#### Caractéristiques techniques :

- Peut être utilisé avec n'importe quel multimètre «de poing» standard ayant un calibre de 200 mV en courant continu
- Calibres de mesure : 0,2, 2 et 20  $\Omega$
- Résolution : 0,1, 1, 10 m $\Omega$
- Erreur de mesure : 0,1, 0,2, 0,5% (en fonction de la tolérance du multimètre)
- Technique de mesure : à 4 points.

Ce n'est pas seulement l'amateur voulant, à titre d'information, mesurer la résistance en courant continu des bobines qu'il vient juste d'implanter dans le filtre de sa dernière enceinte qui se rend compte un jour ou l'autre qu'il ne dispose pas d'un instrument de mesure adéquat.

La mesure de la résistance de shunts de très faible valeur destinés à être utilisés en association avec des galvanomètres à bobine mobile dans le but d'en étendre la plage d'utilisation, est un autre domaine d'applications potentiel. De même, la sélection des résistances d'émetteur d'un étage de puissance, composants dont la valeur est elle aussi de l'ordre de quelques dixièmes d'ohm, devient une opération quasi-impossible si l'on ne dispose pas d'un instrument doté d'un calibre de 1 ohm à résolution élevée.

Sachant cependant qu'il ne s'agit pas là d'un type de mesures courant, l'acquisition d'un instrument de mesure destiné spécifiquement à ce genre de mesures ne se justifie pas. Ceci explique que nous ayons trouvé intéressant de concevoir un **module milli- $\Omega$ -mètre** rustique utilisé en association avec un multimètre «de poing» standard à 3 chiffres  $\frac{1}{2}$  et qui le doterait ainsi de 3 calibres supplémentaires qui correspondraient à des débattements à pleine échelle de 20, 2 et 0,2  $\Omega$ .

La précision de l'ensemble dépend du multimètre numérique utilisé et de la tolérance des résistances de référence utilisées dans le **module adaptateur**.

La résolution maximale atteint, dans le cas d'un affichage sur 3 chiffres  $\frac{1}{2}$ , 100  $\mu\Omega$ .

La technique de mesure est extrêmement simple : il suffit de connecter la résistance de valeur inconnue à l'adaptateur et au multimètre (technique de la mesure à 4 points), ce dernier étant mis en calibre de tension 200 mV CC.

#### Le principe de base...

de ce montage est relativement simple à saisir si l'on s'aide du synoptique de la **figure 1**.

Dès connexion de la résistance inconnue  $R_x$  au circuit, l'amplificateur opérationnel IC1 établit, en association avec le FET de puissance T1, une tension de référence  $U_{R1}$  (rendue électriquement égale à  $U_1$ ) aux bornes de la résistance R1. En respect de la Loi d'Ohm il circule, à travers cette résistance et la résistance  $R_x$ , un courant de mesure d'une valeur égale à  $U_{R1}/R1$ .

Comme nous avons opté sur notre montage pour une tension de référence de 100 mV et pour des résistances de référence de 10, 1 et 0,1  $\Omega$ , cela se traduit par un courant de mesure de 10, 100 et 1 000 mA (1 A).

Le multimètre placé en calibre 200 mV CC est connecté en parallèle sur les bornes de mesure du **module adaptateur**. Si la résolution de l'instrument de mesure est de 0,1 mV, il est possible, au courant de mesure le plus élevé, de mesurer une résistance de:

$$0,1 \text{ mV} / 1 \text{ A} = 100 \mu\Omega.$$

Il faut dans ce cas-là accepter cependant un inconvénient mineur : l'affichage se fait en mV. Il faudra, en fonction des tensions et résistances de référence choisies, procéder à une petite opération de conversion qui se résume d'ailleurs à l'utilisation d'un facteur de multiplication de 0,001 (ou de 1 pour des valeurs en m $\Omega$ ), 0,01 ou 0,1.

Un exemple : un affichage de 167,8 mV en calibre 20  $\Omega$  correspond à une résistance  $R_x$  de 16,78  $\Omega$ .

### ... et les finesses

Le schéma du **module adaptateur** proprement dit représenté en figure 2 n'est en fait rien de plus qu'une version étoffée du synoptique de la figure 1. Les additions se limitent en fait aux résistances de définition des calibres et au circuit de génération de la tension de référence.

La pseudo-diode zener D1, une TL431C, fournit une tension stable tirée d'une pile compacte de 9 V. Le diviseur de tension constitué par les résistances R8, R9 et l'ajustable P1 sert à drainer une tension partielle qui servira de tension de référence pour l'amplificateur opérationnel. Si l'on se trouvait en présence d'un amplificateur opérationnel idéal la tension de curseur mesurée par rapport à la masse devrait être de 100 mV très exactement; en pratique nous aurons à définir une tension légèrement différente en fonction des caractéristiques de la tension de dérive (*offset*) de l'amplificateur opérationnel utilisé.

Le point de masse de l'ensemble du circuit se trouve au niveau de la cathode de la TL431C.

L'amplificateur opérationnel commande la conduction du FET T1 jusqu'à ce que, dans le cas de la prise d'une résistance de mesure aux bornes d'entrée (ou de la mise en court-circuit de ces dernières), la

chute de tension aux bornes de la résistance de référence choisie par le sélecteur S1, à savoir R1, R2 ou R3, corresponde à la tension de référence. Cette situation se traduit par la circulation, à travers la résistance dont on veut connaître la valeur,  $R_x$ , de courants de mesure de 1 A, 100 mA ou 10 mA.

Le réseau RC R6/C3 et le condensateur C2 donnent un gain important en tension continue à l'amplificateur opérationnel tout en limitant à une valeur faible son gain en alternatif, ce qui garantit une bonne stabilité de fonctionnement du circuit.

Ce n'est pas sans raison (et non pas uniquement pour vous créer des problèmes d'acquisition de composants comme le disent quelquefois certaines mauvaises langues) que nous avons opté pour un amplificateur opérationnel du type TLC2201. Ce composant se caractérise, outre par un domaine de commande (d'attaque) étendu allant jusqu'à 0,1 V en-dessous de  $U_b$ , la tension d'alimentation, aussi par une bonne stabilité de la tension de dérive en cas de variations de la température ou du niveau de la tension d'alimentation. Il présente de plus, de par ses entrées à FET, un courant d'entrée de repos très faible.

La plage d'attaque étendue disponible prend toute son impor-

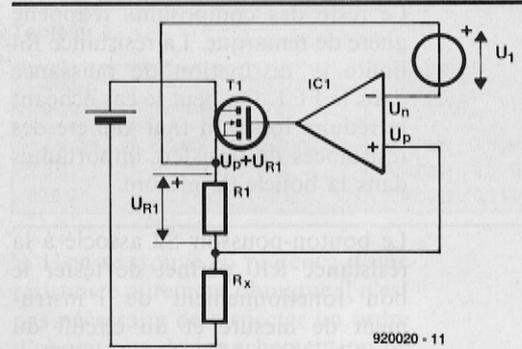


Figure 1. Le synoptique du module milli- $\Omega$ -mètre comporte principalement une source de courant constant réglée pouvant envoyer dans la résistance à mesurer un courant allant jusqu'à 1 A.

tance aux tensions d'alimentation faibles impliquées par l'utilisation d'une pile, car il faut pouvoir faire entrer le FET de puissance à un niveau de conduction suffisant.

Aux courants de mesure relativement élevés mis en oeuvre ici, la résistance de transfert du sélecteur de calibre n'est plus une caractéristique à négliger. C'est la raison pour laquelle l'entrée non inverseuse de l'amplificateur opérationnel (broche 3) n'est pas reliée, via la résistance R3, au point A du sélecteur de calibre S1a, mais, via une galette de commutation supérieure, directement à la résistance de mesure concernée.

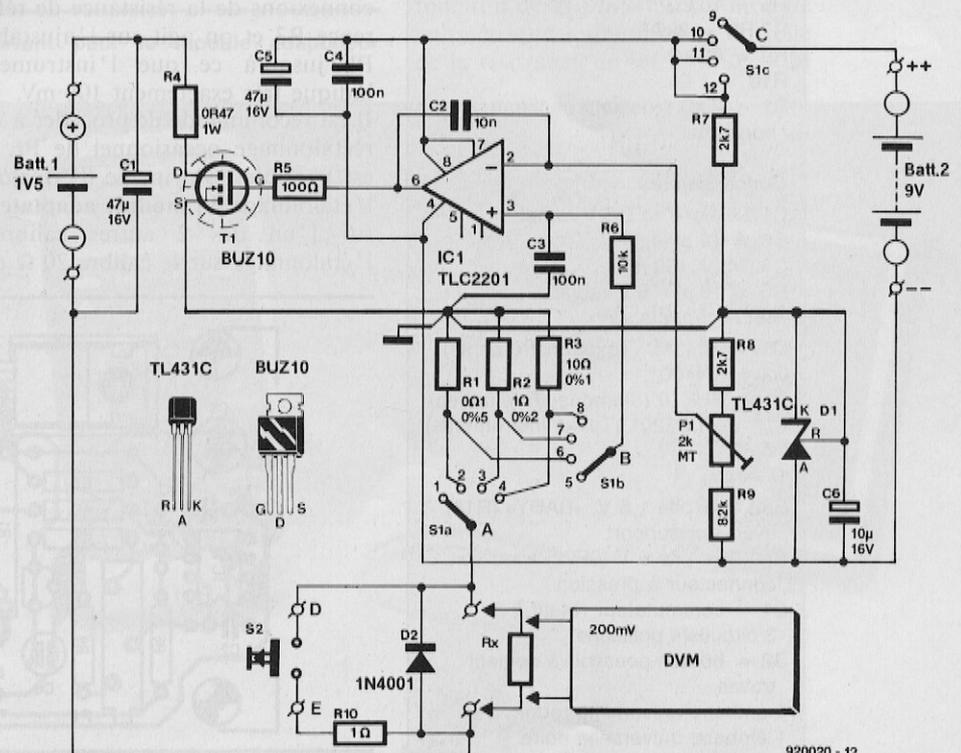


Figure 2. Comparée au synoptique de la figure précédente, l'électronique complète du module adaptateur s'est vue ajouter une source de tension de référence et un circuit de commutation de calibre.

Le reste des composants n'appelle guère de remarque. La résistance R4 limite la dissipation de puissance dans le FET. On peut le cas échéant la réduire lorsqu'il faut vaincre des résistances de transfert importantes dans la boucle de mesure.

Le bouton-poussoir S2 associé à la résistance R10 permet de tester le bon fonctionnement de l'instrument de mesure et du circuit du **module adaptateur** (test de pile).

La pile dénommée Batt.1 pourra être n'importe quelle pile des types Mono ou Baby, voire encore un accu CdNi de format Mignon, sachant que la résistance interne de ce type d'accu est suffisamment faible.

Batt.2 est elle une simple pile compacte de 9 V.

La diode D2 protège le circuit à l'encontre de tensions de self-induction rencontrées lors de la mesure d'inductances (selfs). Le circuit ne comporte cependant pas de protection contre des tensions parasites. Il faudra donc faire attention, si l'on veut à tout prix mesurer la résistance de l'enroulement d'un transforma-

teur secteur ou de ligne, à la tension élevée naissant, par self-induction, au primaire après la mesure ! Nous y reviendrons.

## Réalisation et étalonnage

Nos spécialistes du dessin de circuits imprimés vous proposent, comme à l'accoutumée, le dessin d'une platine simple face dont la **figure 3** représente la sérigraphie de l'implantation des composants.

La mise en place des composants ne devrait pas poser de problème. Il est recommandé, de par l'importance des courants de mesure mis en jeu, d'utiliser du fil de câblage souple d'une section suffisante, 0,75 mm<sup>2</sup> au minimum, et d'éviter l'utilisation de picots et autres dispositifs de connexion de ce genre. On soudera, de préférence, les câbles directement aux points prévus sur la platine, aux douilles banane et aux contacts du porte-pile. Les bornes auxquelles sera connectée R<sub>x</sub> pourront prendre la forme de douilles banane à trous ce qui facilitera la connexion en parallèle des sondes de mesure du multimètre.

Pour la procédure d'étalonnage on positionnera le **module adaptateur** sur son calibre le plus élevé (résistance de référence R3, sélecteur S1a en position 4) et l'on court-circuite les bornes de mesure. On branche ensuite un multimètre placé en calibre 200 mV directement aux connexions de la résistance de référence R3 et on agit sur l'ajustable P1 jusqu'à ce que l'instrument indique très exactement 100 mV.

Il est recommandé de procéder à un réétalonnage occasionnel de P1. Il est possible en principe d'effectuer l'étalonnage du **module adaptateur** sur l'un des 2 autres calibres; l'étalonnage sur le calibre 20 Ω est

cependant le plus précis puisque la résistance de mesure utilisée pour ce calibre présente, avec ses 0,1%, la tolérance la plus faible. On utilisera, pour procéder à l'étalonnage, des piles neuves.

Quelques remarques en vrac. Le BUZ10 entre en conduction pour des tensions grille/source de 2,1 à 4 V. Pour avoir un courant de drain de 1 A il faut une tension grille/source de 4,5 V au maximum. Ceci implique donc une tension minimale de 7 V pour Batt.2.

La tension minimale théorique pour Batt.1 répond à la formule suivante :

$$I_{\max} \cdot (R_4 + R_1 + R_{\max}) = 1 \cdot (0,47 + 0,1 + 0,2) = 0,77 \text{ V.}$$

En pratique, Batt.1 doit pouvoir fournir, compte tenu de la chute de tension aux bornes de T1 (U<sub>DS</sub>), des pertes dues aux câbles et autres pistes, 1 V au minimum.

Si l'on envisage d'utiliser des câbles de connexion d'une certaine longueur, pour ne pas dire d'une longueur certaine, entre le **module adaptateur** et la résistance à mesurer, ou que l'on ait à faire face à des résistances de transfert importantes, on aura intérêt à diminuer la valeur de R4 pour la faire passer, par exemple, à 0Ω22.

## Mode d'emploi

Pour déterminer la valeur d'une résistance inconnue on connecte et la résistance X et le multimètre aux douilles du **module adaptateur**. Il faut ensuite procéder à une conversion de la valeur de tension affichée par l'instrument selon les indications données dans le tableau 1 donné ci-contre :

### Liste des composants

#### Résistances :

- R1 = 0Ω1 0,5%
- R2 = 1 Ω 0,2%
- R3 = 10 Ω 0,1%
- R4 = 0Ω47 1W
- R5 = 100 Ω
- R6 = 10 kΩ
- R7, R8 = 2kΩ7
- R9 = 82 kΩ
- R10 = 1 Ω
- P1 = 2 kΩ ajustable multitour horizontal

#### Condensateurs :

- C1, C5 = 47 μF/16 V radial
- C2 = 10 nF
- C3, C4 = 100 nF
- C6 = 10 μF/16 V radial

#### Semi-conducteurs :

- D1 = TL431C (Texas Instruments)
- D2 = 1N4001
- T1 = BUZ10 (Siemens, Telefunken)
- IC1 = TLC2201 (Texas Instruments)

#### Divers :

- Batt.1 = pile 1,5 V, «BABY» (R14) avec son support
- Batt.2 = pile 9 V (6F22) avec son connecteur à pression
- S1 = commutateur rotatif, 3 circuits/4 positions
- S2 = bouton-poussoir à contact travail
- 1 embase universelle rouge
- 1 embase universelle noire
- 1 radiateur pour T1 (tel que Fischer FK231)
- coffret 145 x 90 x 30 mm, tel que PAC-TEC HP9VB par exemple

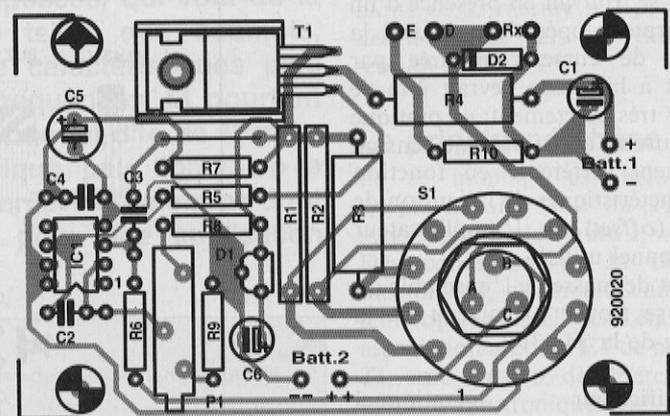


Figure 3. Représentation de la sérigraphie de l'implantation des composants de la platine dessinée à l'intention de cette réalisation. Comme il s'agit d'un simple face, il est relativement aisé de le fabriquer soi-même à l'aide du dessin «en miroir» représenté dans les pages «service».

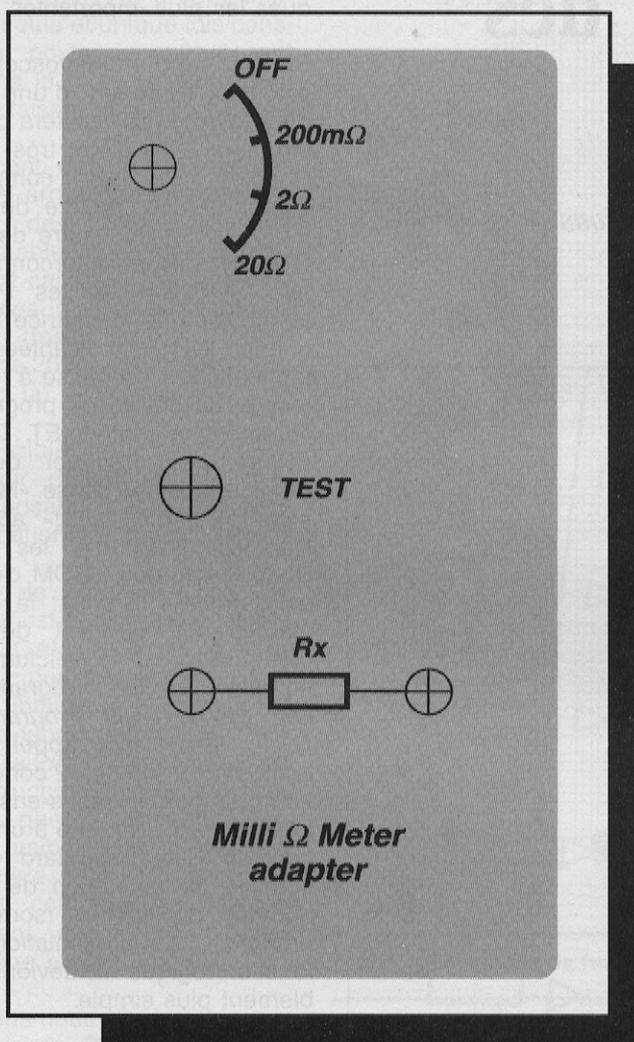


Figure 4. Exemple de dessin de face avant pour le module adaptateur milli-Ω-mètre.

La mesure d'inductances demande une certaine prudence. Sachant que la disparition du courant de mesure lors de la déconnexion d'une bobine des bornes de l'adaptateur peut se traduire par la naissance d'une tension de self-induction importante, on respectera le cheminement suivant : on commencera par connecter la self inconnue aux douilles du **module adaptateur** avant d'y brancher le multimètre. On applique ensuite le courant de mesure par action sur S1.

Une fois la mesure terminée, on respecte l'ordre inverse, à savoir mise hors-fonction du **module adaptateur**, déconnexion du multimètre suivie de celle de la bobine.

Dans le cas d'inductances importantes telles que transformateurs de puissance il faudra prendre la précaution, une fois la mesure terminée, de commencer par court-circuiter l'enroulement avant de le déconnecter du **module adaptateur** tout en le maintenant court-circuité.

Tableau 1.

Calibre (adaptateur)	Affichage (instrument)	Résistance ( $R_x$ )	Conversion
0,2 Ω	200 mV	200 mΩ	Affichage · 1 mΩ/mV
2,0 Ω	200 mV	2 Ω	Affichage · 0,01 Ω/mV
20,0 Ω	200 mV	20 Ω	Affichage · 0,1 Ω/mV

Si l'on se trouve en présence d'une résistance purement ohmique il n'est pas nécessaire de respecter un ordre d'opérations de branchement ou de débranchement quelconque.

### Extensions

Rien ne s'oppose bien évidemment à ce que l'on procède à l'adjonction de fonctions au **module adaptateur** décrit ici pour le transformer en un instrument de mesure complet. Il suffit, pour ce faire, de rien de plus que d'une alimentation propre et d'un module voltmétrique numérique, accessoire disponible dans tous les magasins d'électronique bien achalandés.

On peut alors connecter les entrées de référence du module directement entre le circuit-mère du commutateur S1b et la masse. Pris à cette position, le module mesure le rapport entre la résistance inconnue (à mesurer) et la résistance de référence, dans des limites indépendantes du courant de mesure, de sorte qu'il n'est pas nécessaire d'effectuer l'étalonnage du **module adaptateur**.

La précision de la mesure est alors fonction de la précision du module voltmétrique numérique et de celle de la résistance de référence. ■

