

MESURES ET

ERREURS DE MESURES

CE numéro étant consacré aux mesures nous parlons dans cet article des mesures qui posent bien des problèmes à beaucoup de débutants.

Nous nous limiterons à celles pouvant être faites à l'aide d'un multimètre. Nous verrons qu'avant toute mesure, certaines précautions sont à prendre, et qu'il est avantageux de bien connaître l'appareil de mesure utilisé et d'avoir une idée des valeurs à mesurer. Nous verrons l'importance de la résistance interne des appareils (voltmètre et milliampèremètre) et nous montrerons comment tester les composants passifs (résistances, inductances, condensateurs et diodes) et actifs (transistors).

Nous reprendrons le mois prochain notre étude sur les amplificateurs BF de petite puissance.

L'appareillage de mesure

Les quatre appareils de base d'un laboratoire d'un électronicien sont : le multimètre, le générateur de fonctions, l'oscilloscope et le pont de mesure.

Le multimètre est vraiment l'appareil indispensable pour le contrôle des circuits électriques et électroniques. Il permet de mesurer les tensions, d'une fraction de volt à plusieurs centaines de volts, aussi bien en continu qu'en alternatif. Les intensités, du milliampère à l'ampère, peuvent également être mesu-

rées, de même que la valeur ohmique des résistances, de l'ohm au mégohm. On trouve maintenant des multimètres de très faible encombrement, dit « de poche » avec affichage numérique.

Si le multimètre est l'appareil utile pour connaître les valeurs électriques usuelles, l'oscilloscope apporte encore une aide précieuse à l'électronicien puisque grâce à lui, il est possible de se rendre compte de la forme des signaux. L'oscilloscope permet aussi de mesurer l'amplitude des tensions continues ou alternatives, de mesurer la durée, donc la période des si-

gnaux, et de faire des mesures de phase entre deux signaux. Certains oscilloscopes sont maintenant d'un prix abordable pour l'amateur. Un appareil de bande passante allant du continu à 5 MHz, et d'une sensibilité (en vertical) de 10 mV/cm suffit très largement pour les mesures usuelles en électronique.

Le générateur de fonctions est un appareil fournissant des signaux sinusoïdaux, carrés ou rectangulaires dont la période peut varier généralement d'une fraction de hertz à plusieurs mégahertz. Pour les manipulations courantes, on peut se contenter d'un générateur basse fréquence. Un tel appareil coûte beaucoup moins cher qu'un générateur de fonctions, mais sa gamme de fréquences ne va que de quelques hertz à 100 kHz. La forme de ses signaux est généralement soit sinusoïdale, soit carrée.

Le pont de mesure donne une excellente précision pour les mesures des composants passifs : résistances, inductances et condensateurs et cela à plusieurs fréquences.

C'est également un appareil très utile dans un laboratoire, même modeste.

Avant les mesures

Quel que soit l'appareil de mesure utilisé, il est nécessaire, avant de l'utiliser pour la première fois, de bien lire sa notice technique.

Il est aussi très important de connaître la nature de la grandeur à mesurer et d'avoir une idée de son amplitude. S'agit-il d'une tension rectangulaire ou sinusoïdale ? Sa grandeur est-elle de l'ordre du volt ou de la dizaine de volts ? Un deuxième point important est de bien choisir l'appareil, afin que celui-ci soit bien adapté à la mesure à effectuer. Par exemple, la mesure d'une tension dans un circuit comportant de nombreuses résistances de forte valeur, doit être faite avec un voltmètre de grande résistance interne. Enfin une bonne connaissance technique et une certaine expérience aident beaucoup pour interpréter correctement les résultats.

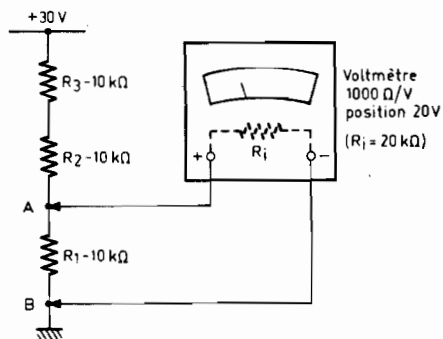


Fig. 1. — Le branchement du voltmètre modifie les caractéristiques du circuit.

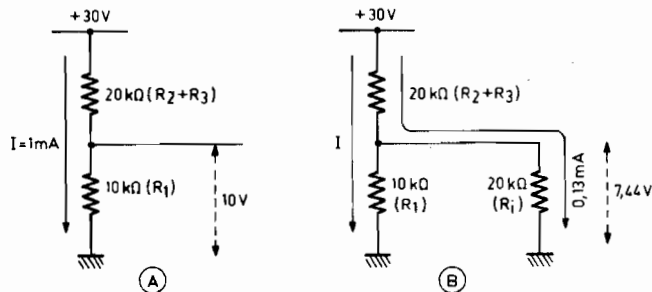


Fig. 2. — En (B), le fait de brancher le voltmètre augmente le courant dans R_2 et R_3 et diminue la tension aux bornes de R_1 .

L'appareil de mesure devra être traité avec les égards qui lui sont dus. Sur la table de laboratoire, il sera placé dans un emplacement dégagé, face à l'utilisateur, sans rien poser dessus pour ne pas obturer les grilles de ventilation.

Ensuite, les câbles de raccordements ne devront être ni trop longs, ni emmêlés, avec le moins de raccords possibles, en évitant si possible les pinces crocodiles qui ne « mordent » pas. En ce qui concerne les câbles, on utilisera la couleur noire pour la masse, le rouge pour une tension un peu plus élevée que les autres...

Avant de brancher l'appareil, bien faire attention à ce que la gamme de celui-ci corresponde bien à l'amplitude du signal à mesurer. On commencera par le calibre le plus élevé pour la mesure d'une tension ou d'un courant dont on a une vague idée de l'ordre de grandeur, afin d'éviter toute surcharge accidentelle des appareils à aiguille.

Enfin, faire attention de bien lire la bonne échelle.

Donc, pour résumer, il faut toujours bien réfléchir avant d'effectuer la mesure.

Mesure des tensions

Le multimètre ou le voltmètre doit être adapté au circuit où se trouve la tension à mesurer. Non seulement, comme nous l'avons dit, le calibre du voltmètre doit être supérieur à la valeur estimée

de la tension, mais il faut tenir compte aussi de la résistance interne du voltmètre. Si celle-ci est de $1\ 000\ \Omega$ par volt, la résistance interne sur la position 10 V est de 10 V multiplié par $1\ 000\ \Omega/V$ soit $10\ k\Omega$. Cette résistance interne de $10\ k\Omega$ vient se mettre en parallèle sur la résistance du circuit à mesurer. Un exemple permet de mieux comprendre ce qui se passe. Soit un ensemble de 3 résistances disposées en série aux bornes d'une tension de 30 V. La résistance totale est de $30\ k\Omega$, et la tension entre les points A et B est égale à

$$30\ V \times \frac{10\ k\Omega}{30\ k\Omega}$$

soit 10 V. En branchant le voltmètre de $1\ 000\ \Omega/V$, sur le calibre 20 V, aux bornes de la résistance R_1 , la résistance entre les points A et B (fig. 1) n'est plus $10\ k\Omega$,

mais $10\ k\Omega$ (R_1) en parallèle sur $20\ k\Omega$ (R_i), soit $6,6\ k\Omega$. La tension lue sur le voltmètre n'est plus 10 V, mais

$$30 \times \frac{6,6\ k\Omega}{26,6\ k\Omega}$$

c'est-à-dire 7,44 V.

Une meilleure précision est obtenue par l'utilisation d'un calibre supérieur, soit 50 V. La résistance interne du voltmètre devient $50\ k\Omega$, l'ensemble $10\ k\Omega - 50\ k\Omega$ en parallèle est égale à $8,33\ k\Omega$ et la tension lue à nouveau par le voltmètre est 8,82 V ce qui se rapproche de la valeur de 10 V. En revanche la lecture de 8,82 V sur le calibre 50 V manque de précision. Mieux vaut alors utiliser un multimètre plus performant. Une résistance interne de $100\ k\Omega/V$ est assez courante. La valeur lue sur la position 20 V (résistance interne du voltmètre de $2\ M\Omega$)

est alors 9,96 V. Avec un voltmètre électronique de résistance interne de $10\ M\Omega$ on lirait pratiquement 10 V.

Remarquons que ces difficultés de mesure proviennent du fait que le voltmètre consomme un certain courant. Ce courant supplémentaire en traversant les résistances R_2 et R_3 entraîne une chute de tension aux bornes de celles-ci, diminuant alors la tension aux bornes de R_1 . Dans l'exemple de la mesure de tension aux bornes de la résistance R_1 , avec un voltmètre de $1\ 000\ \Omega/V$ sur la position 30 V, ce courant supplémentaire est de l'ordre de 0,13 mA (fig. 2). En conclusion, il n'est pas nécessaire que la résistance interne du voltmètre soit élevée si il n'y a aucune résistance en série avec la résistance aux bornes de laquelle la mesure est effectuée (fig. 3).

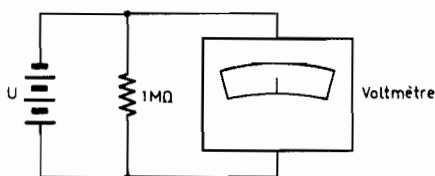


Fig. 3. — Aucune résistance n'apparaît entre la source et la $1\ M\Omega$. La résistance interne du voltmètre peut être faible.

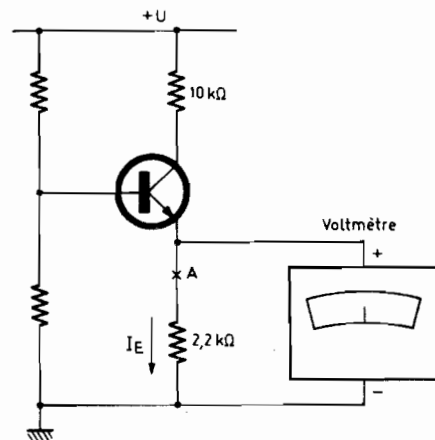


Fig. 4. — Mesure du courant I_E avec un voltmètre.

Mesure des courants

En insérant un multimètre commuté sur la position « milliampèremètre », il y a lieu d'être également prudent pour l'appréciation des mesures. L'ampèremètre a toujours une résistance interne, certes très faible, mais qui modifie quand même les caractéristiques du circuit, donc la valeur du courant dans ce circuit.

En électronique, pour la mesure des intensités continues, il est conseillé d'opérer par une mesure dite « indirecte » se terminant par un calcul simple, comme le montre l'exemple suivant. On souhaite connaître la valeur du courant émetteur I_E d'un transistor monté en émetteur commun (fig. 4). Il n'est pas nécessaire de couper le circuit pour y placer un milliampèremètre (au point A). Il suffit de brancher un voltmètre aux bornes de la résistance R_E de 2,2 k Ω pour mesurer la tension, puis d'appliquer la loi d'ohm. Si le voltmètre nous indique 3,4 V, le calcul nous donne

$$I_E = \frac{3,4 \text{ V}}{2,2 \text{ k}\Omega} \text{ soit } 1,54 \text{ mA}$$

Contrôle des résistances

Le contrôle des composants passifs est facile. Il existe d'ailleurs plusieurs possibilités. Prenons le cas d'une résistance. Une des techniques consiste à insérer la résistance dans un circuit comportant une pile, de me-

surer la tension aux bornes et le courant la traversant, puis d'appliquer la loi d'ohm. Deux montages sont réalisables, suivant que la résistance à mesurer est élevée ou faible (fig. 5).

Le montage « amont », avec le voltmètre branché côté source, est réservé pour les valeurs élevées de résistance. La tension mesurée par le voltmètre est pratiquement la tension aux bornes de R_x , la résistance interne du milliampèremètre étant négligeable par rapport à la valeur élevée de R_x .

Si cette résistance R_x est faible, le courant la traversant est relativement élevé surtout par rapport à celui passant par le voltmètre. On

utilise alors le montage « aval » avec le voltmètre branché loin de la source, après le milliampèremètre.

La technique la plus rapide pour la mesure d'une résistance consiste à employer l'ohmmètre du multimètre. Un ohmmètre peut se composer d'un voltmètre, d'une résistance et d'une pile. L'échelle de l'appareil est graduée directement en ohms, bien que le voltmètre fasse bien une mesure de tension.

Le schéma de principe est donné sur la figure 6. Nous avons représenté une pile de 1,5 V et un voltmètre sur le calibre 1,5 V. Si aucune résistance n'est branchée sur les bornes « R_x », l'aiguille de

l'appareil dévie au maximum, sur la position 1,5 V. Si une résistance de valeur inconnue est branchée en R_x , la lecture de l'appareil nous donne une tension plus ou moins grande suivant la valeur de R_x . Cette tension V_x est égale à :

$$1,5 \text{ V} \times \frac{R_x}{R_s + R_x}$$

Mettons que $R_s = 1500 \Omega$, par application de la formule nous voyons le rapport entre la valeur R_x et la tension V_x indiquée par le voltmètre.

Pour $R_x = 0$ (court-circuit des bornes R_x), la tension V_x est égale à 0. Pour $R_x = 150 \Omega$, $V_x = 136 \text{ mV}$. Si $R_x = 1500 \Omega$, $V_x = 0,75 \text{ V}$... Lorsqu'aucune résistance n'est branchée ($R_x = \infty$), la tension V_x est égale à la tension de la source. De cette manière il est possible d'étalonner le cadran du voltmètre (fig. 7).

En modifiant la valeur de R_s , l'étalonnage n'est plus le même. On remarque que le maximum de précision de lecture s'obtient pour des valeurs de résistances R_x proches de celle de R_s , d'où l'intérêt d'avoir une commutation avec le choix de plusieurs résistances R_x ayant un rapport de 10 entre elles afin d'avoir une seule échelle de lecture (fig. 8).

Avant toute mesure avec un ohmmètre, il est indispensable d'effectuer le tarage qui consiste à court-circuiter les bornes R_x et de régler le potentiomètre « tarage » afin que l'aiguille du galvanomètre soit bien sur le zéro de l'échelle. Ce potentiomètre de tarage est généralement

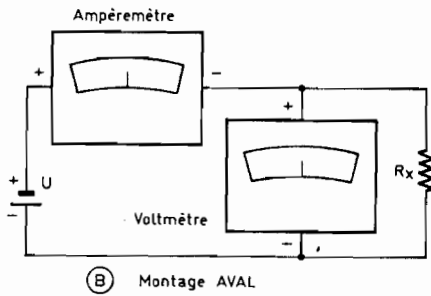
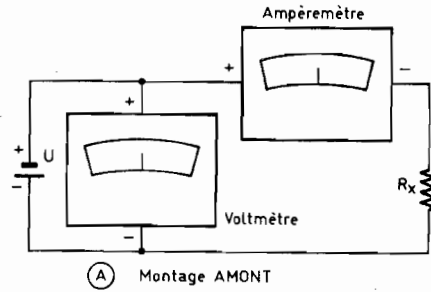


Fig. 5. — Le choix du montage dépend de la valeur de R_x .

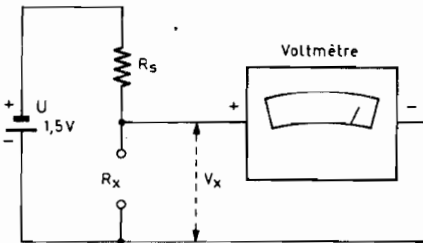


Fig. 6. — Schéma de principe de l'ohmmètre.

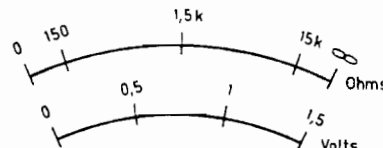


Fig. 7. — Le cadran du voltmètre est étalonné en ohms.

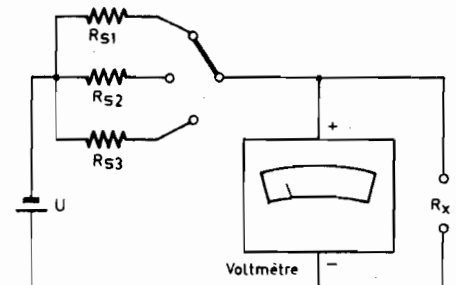


Fig. 8. — Principe de l'ohmmètre à plusieurs sensibilités.

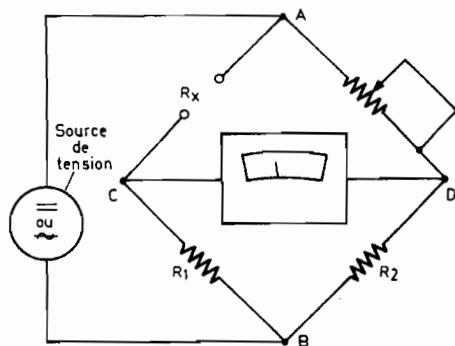


Fig. 9. — Schéma d'un pont de mesure de résistances.

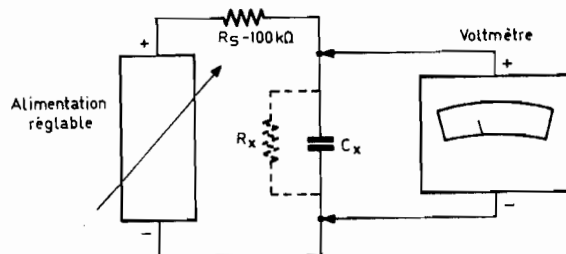


Fig. 10. — Contrôle de l'isolement d'un condensateur.

placé en série avec la résistance R_s .

La technique la plus précise pour la mesure des résistances est celle qui utilise un pont de résistances.

Ponts de mesure

Le schéma de base est donné sur la figure 9. Le pont reçoit une tension entre ses points A et B. Les résistances R_1 et R_2 sont égales de telle sorte que si la résistance R_x est égale à la résistance étalon R_s , la tension est la même sur les bornes C et D, et l'appareil de mesure branché entre celles-ci ne dévie pas. Dans ce cas on sait que R_x est égal à R_s . En pratique la résistance R_s est remplacée par un potentiomètre équipé d'un bouton-flèche indiquant une valeur de résistance sur un cadran étalonné. Une des résistances R_1 ou R_2 peut être remplacée par une résistance variable faisant office de tarage. La source peut

être soit continue soit alternative. On conçoit que si les résistances sont remplacées par des composants selfiques ou capacitifs étalonnés, ceci rend possible la mesure d'inductances et de condensateurs. La source alternative peut également être commutée pour plusieurs valeurs de fréquence.

Contrôle des condensateurs

Une autre mesure importante pour les condensateurs est celle de l'isolement. Ceci se fait aisément avec une alimentation stabilisée réglable, un voltmètre et une résistance de forte valeur. Soit par exemple un condensateur électrolytique C_x marqué « 25 μF , 25 V ». En partant de 0 V, on augmente progressivement la tension de l'alimentation jusqu'à 25 V. La tension aux bornes du condensateur n'augmente pas instantanément puisqu'il

faut tenir compte de la constante de temps ($R_s C_x$). Au bout de quelques secondes la tension aux bornes du condensateur doit avoir atteint une valeur proche de 25 V. Si la résistance d'isolement du condensateur est trop faible, la tension n'atteint pas cette valeur, l'ensemble R_s, R_x formant un diviseur de tension (fig. 10). L'ordre de grandeur de R_x peut ainsi être calculé.

Comme nous l'avons vu les capacités sont facilement mesurées au pont d'impédance. Pour les faibles valeurs, de l'ordre de quelques picofarads, on peut réaliser un montage avec un générateur HF, une inductance de valeur connue, un circuit de détection et un voltmètre (fig. 11). La valeur de L étant connue, on fait varier la fréquence du générateur afin d'obtenir la résonance qui sera indiquée par un maximum de tension aux bornes de la résistance de détection R_D . La valeur de C_x est dé-

duite par la formule bien connue :

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

avec F en hertz, L en henrys et C en farads. Pour des questions pratiques, on utilise de préférence la relation $F^2 \cdot C \cdot L = 159$, avec F en MHz, C en pF et L en μH , d'où l'on tire la valeur de la capacité du condensateur :

$$C = \frac{159}{F^2 \cdot L}$$

Si nous savons que L est égal à 135 μH et que le maximum de tension pour 500 kHz, la valeur de C est :

$$\frac{159}{(0,5)^2 \cdot 135} \text{ soit } 4,7 \text{ pF}$$

Cette méthode peut bien entendu être utilisée pour la mesure des inductances utilisées en haute fréquence, à la condition de connaître avec précision la valeur de C.

La formule pratique devient

$$L = \frac{159}{F^2 \cdot C}$$

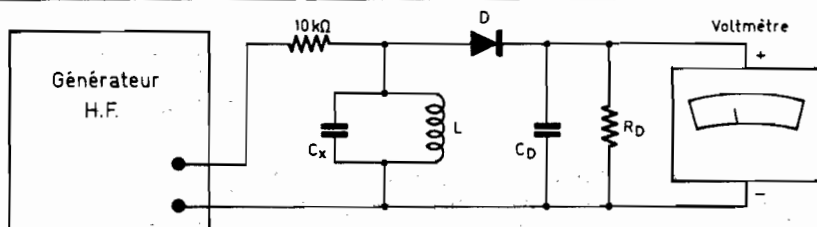


Fig. 11. — Montage pour la mesure des faibles valeurs de C_x ($C_D = 10 \text{ nF}$, $R_D = 1 \text{ M}\Omega$).

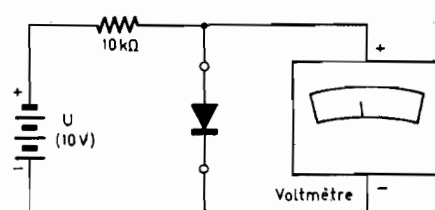


Fig. 12. — Mesure d'une diode branchée dans le sens direct.

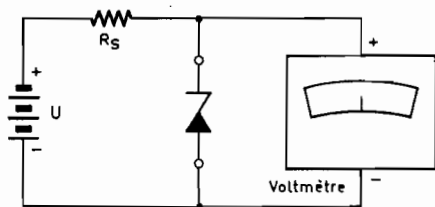


Fig. 13. — Mesure d'une diode branchée en inverse, également utilisable pour la mesure de la tension de référence d'une diode zener.

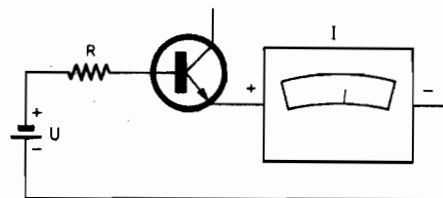


Fig. 14. — Contrôle de la jonction base-émetteur.

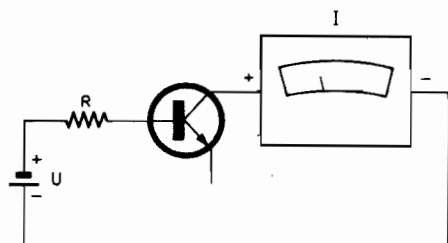


Fig. 15. — Contrôle de la jonction base-collecteur.

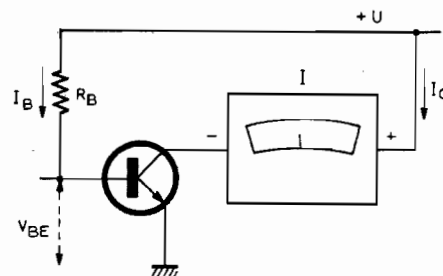


Fig. 16. — Le gain du transistor est donné par le rapport I_C/I_B .

Contrôle des diodes semiconductrices

Le contrôle des diodes se fait aussi facilement, avec une source de tension, la diode étant mise en série avec une résistance de protection. Prenons comme exemple une diode du type 1N4148 dont la valeur de la tension inverse max. est de 75 V et le courant direct max. est de 200 mA.

Le fonctionnement dans le sens direct est vérifié par le montage de la figure 12. La résistance de protection est calculée afin que le courant direct traversant la diode ne soit pas supérieur à la valeur limite permise par le constructeur. Il suffit en fait de laisser passer un courant direct de 1 mA dans ce type de diode, ce qui fait que la résistance de protection est de 10 k Ω environ pour une tension d'alimentation de 10 V. Le voltmètre doit nous indiquer une valeur proche de 0,6 V, la diode étant du type silicium. Cette tension serait de 0,2 V pour une diode au germanium.

Pour savoir si cette diode tient bien en inverse, il suffit

d'inverser la diode, sans oublier d'augmenter la résistance de protection. Le courant inverse d'une telle diode est de l'ordre de quelques microampères pour une tension inverse de 75 V. Aussi, si nous souhaitons tester la diode à une tension inverse assez élevée, il est vivement conseillé d'avoir en série une résistance de quelques M Ω . Le dernier schéma donné est utilisable pour le contrôle de la tension de référence des diodes Zener.

Comment contrôler un transistor ?

Deux contrôles peuvent être aisément effectués : l'état des jonctions et l'amplification du transistor.

Le meilleur moyen de s'exercer pour ces contrôles est de tester d'abord un transistor que nous savons en bon état. Pour ces manipulations nous utiliserons une ou deux piles de 4,5 V, quelques résistances et un multimètre.

Pour le contrôle de la jonction émetteur-base il suffit de mettre en série une pile de 4,5 V, le multimètre branché en milliampèremètre, la jonction émetteur-base et une résistance pour limiter le cou-

rant. Le branchement est indiqué sur la figure 14. Le transistor testé est un BC108A, donc un NPN dont le courant collecteur maximal est 100 mA. Puisque la jonction émetteur-base est plus fragile que la jonction collecteur-base, nous limiterons le courant direct à 40 mA. Le calcul de la résistance de protection est facile : la tension aux bornes de R est égale à la tension de la pile moins la chute dans la jonction. Le courant dans R est le courant limite que nous nous sommes fixé. Le rapport U/I donne une valeur proche de 100 Ω .

Le passage d'un courant dans le multimètre indique que la jonction est bonne, la borne + de la pile étant du côté de la base. En inversant le branchement de la pile, le courant doit être nul.

Le contrôle de la jonction collecteur-base se fait d'une façon identique (fig. 15). La constatation doit être la même que pour la première manipulation : le courant ne doit passer que dans un seul sens.

Il est toujours indispensable de faire deux tests, le deuxième étant l'inversion de la tension appliquée. Si dans les deux cas nous avons un courant, il y a court-circuit. Si

le courant est nul dans les deux cas la jonction est coupée.

Contrôle du gain

Le schéma utilisé est représenté figure 16. Comme le courant de base est toujours faible par rapport au courant collecteur, et que sa mesure est difficile nous ne branchons pas le multimètre dans le circuit de base. Ce courant I_B est déduit d'après la tension appliquée ($U - V_{BE}$) et la résistance inversée. Autrement dit, nous ferons varier I_B en changeant de résistance. Le multimètre, branché en milliampèremètre, est inséré dans le circuit collecteur. Pour faire passer un courant I_B de 0,1 mA, avec une tension U de 4,5 V, R_B est donné par la formule

$$\frac{4,5 - 0,7}{0,1} = 45 \text{ k}\Omega$$

soit une résistance normalisée de 47 k Ω . Nous lisons sur le multimètre un certain courant collecteur, soit par exemple 13 mA. Le gain du transistor est donc égal à

$$\frac{13 \text{ mA}}{0,1 \text{ mA}} \text{ soit } 130,$$

ce qui est normal pour un BC 108A.

J.-B.P.