

Pratique de la Mesure

LE CONTRÔLEUR UNIVERSEL: MESURE DES RÉSISTANCES

Les articles des mois précédents nous ont montré que le contrôleur universel permettait la mesure des intensités continues, ce qui est bien normal, puisque l'appareil est construit autour d'un galvanomètre sensible justement à ces intensités. Puis l'ajout de quelques résistances le transformait en voltmètre continu. Par ailleurs, en incorporant un dispositif redresseur, il fut possible de mesurer également les mêmes grandeurs en courant alternatif sinusoïdal.

Mais ce n'est pas tout, et le moindre des contrôleurs universels ajoute à cela une fonction importante : c'est la mesure des résistances. Voyons tout d'abord le principe de cette mesure. Voir figure 1. Bien sûr, vous savez que la résistance d'un conducteur est l'opposition qu'il présente au passage du courant électrique. Un très bon conducteur a une résistance très faible. Au contraire, un très mauvais conducteur a une très grande résistance. Les isolants ont une résistance pratiquement infinie. L'unité de résistance est l'ohm, de symbole Ω , les multiples étant le kilo-ohm ($k\Omega$) et le mégohm ($M\Omega$). Les sous-multiples sont le milliohm ($m\Omega$) et le microhm ou microhm ($\mu\Omega$), toutes ces unités suivant

tout simplement le système décimal. L'appareil qui mesure les résistances est appelé ohmmètre, et cela nous ramène à la figure 1, qui nous montre que cet appareil est bien simple ! En effet, il suffit de réunir un galvanomètre sensible G, une résistance R, un générateur de courant continu de fem E, le tout en série... et le tour est joué ! La résistance à mesurer, R_x , est connectée entre les bornes A et B et referme le circuit.

Les éléments du montage sont calculés pour que, A et B étant courts-circuités, ce qui correspond à une résistance mesurée nulle, le galvanomètre dévie exactement en fin d'échelle. Conséquence immédiate, le zéro de la graduation d'un ohmmètre est en fin d'échelle, contrairement

à celui de toutes les autres fonctions. On peut remarquer que, dans ces conditions, le galvanomètre G et la résistance R (dans la valeur de laquelle nous comptons la résistance interne de G) forment un voltmètre qui mesure la fem E. C'est un voltmètre de calibre E. On doit donc avoir $R = E/I_m$, I_m étant l'intensité de fin d'échelle de G.

On devine tout de suite que, puisque R dépend de E, laquelle dépend de l'état de la pile, un ajustage de R (dans une première approche) est nécessaire. Cet ajustage, indiqué sur la figure est appelé tarage. Il permet d'amener l'aiguille du galvanomètre exactement en fin d'échelle, A et B étant courts-circuités. Ce tarage est indispensable avant toute mesure. Bran-

chons maintenant une résistance à mesurer non nulle entre A et B. L'intensité dans le circuit diminue, puisque la résistance globale s'accroît de R_x . La nouvelle intensité I, inférieure à I_m , est donnée par la formule :

$$I = \frac{E}{R + R_x}$$

(La résistance interne du générateur est négligée, pour simplifier le problème. Elle est en effet faible à côté de R.)

Cette formule nous montre que I est une fonction de R_x , mais la fonction en question n'est pas une fonction linéaire ou affine, c'est une fonction hyperbolique (ou homographique) de forme générale

$$Y = \frac{ax + b}{a'x + b'}$$

ou plus simplement, dans notre cas

$$Y = \frac{b}{a'x + b'}$$

Une telle fonction se représente graphiquement, non par une droite, ce qui nous conduirait à une graduation linéaire, mais par une branche incomplète d'hyperbole équilatère.

Essayons d'obtenir cette représentation, dans le cas

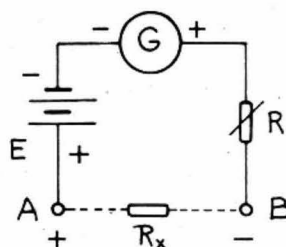


Fig. 1. - Principe de l'ohmmètre.

de tracé est rigoureusement identique au précédent. Exemple :

si $R_x + 10 R$, alors

$$I = \frac{1}{1 + 10} I_m$$

$$= \frac{1}{11} I_m = 0,09 I_m$$

La conception du schéma de l'ohmmètre de la figure 1 souffre d'un très gros défaut. En effet, le point milieu de la graduation (donc toute la graduation) dépend de R , valeur critique de R_x , nous venons de le voir. Mais nous avons supposé que R était ajustable pour le tarage, ce qui est parfaitement catastrophique puisque, à chaque position de tarage (pour avoir $I = I_m$ lorsque $R_x = 0$), on a une valeur différente du point milieu. Il apparaît donc indispensable de modifier le schéma pour avoir R fixe. Ce n'est pas difficile puisque, en définitive, le problème est de modifier la sensibilité du voltmètre réalisé avec R et G . Puisqu'il est impossible de modifier R , alors modifications la sensibilité de G , et cela s'obtient facilement par la mise en place d'un shunt réglable, en parallèle sur G . C'est ce que nous montre la figure 4. A noter que ce shunt modifie également la résistance équivalente de G , mais, celle-ci étant très faible à côté de R , la résistance interne du voltmètre peut être considérée comme constante, comme nous le voulions. Cette fois, le point milieu de la graduation correspond encore à R , mais, R restant constant, la graduation entière reste exacte, pour toute valeur du tarage permettant d'amener l'aiguille en fin d'échelle avec $r_x = 0$. Evidemment, quand cela n'est plus possible, la pile de fem E étant épuisée, les lectures sont fausses.

La figure 4, avec les élé-

ments dont nous venons de parler, constitue le calibre de base de l'ohmmètre. Cela n'est pas suffisant, car l'échelon des valeurs de résistances à mesurer est très grand. Il faut donc d'autres calibres.

— Pour mesurer des résistances plus faibles, c'est simple. Il suffit de réduire R , c'est-à-dire la résistance interne du voltmètre. On obtient ce résultat en plaçant une résistance additionnelle R' en parallèle sur le voltmètre (voir fig. 4). Ainsi, si nous voulons mesurer des résistances 10 fois plus faibles, il faut rendre R 10 fois plus faible, ce qui sera obtenu en connectant $R' = 1/9 R$. Et ainsi de suite...

Pour mesurer des résistances plus élevées, c'est plus difficile, car il faut augmenter R , mais alors on n'arrive plus à faire le tarage en fin d'échelle, le courant de court-circuit étant trop faible. Comme il est impossible cette fois de modifier G pour en augmenter la sensibilité, il faut bien se résoudre à augmenter E . Par exemple, si $E = 3 V$, en calibre de base, il faut $E = 30 V$ pour mesurer des résistances 10 fois plus élevées. 3 V sont faciles à obtenir avec des piles, ce n'est pas le cas des 30 V ! Il faut donc avoir recours... au secteur ! On va donc redresser la tension alternative de ce dernier et utiliser la tension

résultante pour alimenter un ou deux calibres supplémentaires. On parviendra de cette manière à mesurer des résistances de plusieurs dizaines de mégohms.

Quelques remarques encore :

Le débit de la pile de l'ohmmètre est de plus en plus grand au fur et à mesure où l'on descend les calibres. Ainsi le Centrad type 819, dans le calibre le plus bas ($\Omega \times 1$) de point milieu 50Ω , consomme environ 65 mA en fin d'échelle. La consommation est 10 fois plus faible de calibre en calibre. Elle est ainsi de 6,5 mA en calibre « $\Omega \times 10$ ».

Polarité de l'ohmmètre

L'ohmmètre que nous venons d'étudier est inclus dans le contrôleur complet. Il utilise le même galvanomètre que voltmètre et ampèremètre. Ainsi, la figure 5 nous montre la transformation du voltmètre en ohmmètre, simplement par la mise en circuit du générateur de courant E . Il faut alors remarquer qu'en voltmètre la borne commune à tous les calibres est la borne négative. C'est à cette borne que seront connectés les négatifs des tensions mesurées. Par contre, par la force des choses, cette borne se

trouve être le pôle positif du générateur interne de l'ohmmètre. Vue de l'extérieur, cette borne est donc positive. Cette remarque peut sembler sans intérêt, puisque les résistances à mesurer ne sont pas polarisées. Ce serait exact si toutes les résistances étaient des « résistances passives » c'est-à-dire des conducteurs ordinaires. Or, il arrive que l'on mesure des résistances de jonctions de semi-conducteurs et, dans ce cas, la connaissance de la polarité des fils de l'ohmmètre est primordiale. On se souviendra donc que dans ce cas, le commun est positif, contrairement à ce qui se passe dans les autres fonctions continues.

Utilisation pratique de l'ohmmètre

a) MESURE DES RESISTANCES

C'est évidemment la vocation même de l'ohmmètre et il s'agit d'une mesure sans difficulté particulière. Les seules précautions à prendre sont :

- Un tarage correct de l'appareil. Se rappeler que le tarage doit être fait pour chaque calibre utilisé, car il diffère généralement d'une gamme à l'autre, surtout si la pile commence à vieillir.
- Déconnecter la résis-

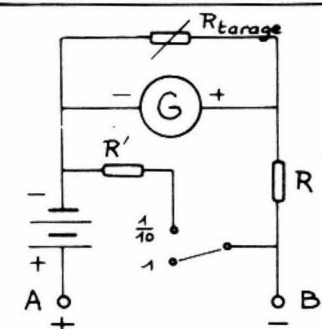


Fig. 4. — Schéma réel de l'ohmmètre.

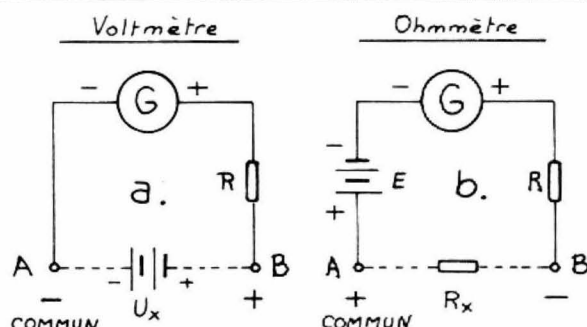


Fig. 5. — Polarités comparées du voltmètre et de l'ohmmètre.

tance sous mesure du circuit dans lequel elle se trouve. Pour le moins, déconnecter l'un des deux pôles de la résistance. En effet, dans un circuit électronique à semi-conducteurs (les appareils à tubes sont plutôt rares), toute résistance est shuntée par un réseau complexe d'autres résistances et de résistances de jonctions des semi-conducteurs tel que la mesure dans ces conditions est toujours fautive (trop faible évidemment !). D'ailleurs, on peut le constater en inversant les fils de l'ohmmètre, les deux sens de mesure donnant des résultats différents, le plus fort étant le meilleur, mais pas forcément la valeur exacte ! Bien sûr, ce n'est pas agréable de devoir dessouder un composant, mais c'est souvent nécessaire, à moins que les semi-conducteurs ne soient montés sur supports, ce qui permet de les éliminer facilement. Si l'étude du schéma montre alors qu'aucune autre résistance passive ne vient en shunt direct ou indirect sur la résistance mesurée, on peut faire la mesure sans intervenir avec le fer à souder ! Ces conditions étant remplies, choisir le calibre donnant une déviation égale au moins à un tiers de l'échelle pour une lecture précise. Ne pas oublier la vérification du tarage, juste avant la mesure.

— Evidemment, éviter de faire une mesure de résistance dans un appareil sous tension ! Cette remarque peut sembler ridicule en théorie, mais elle l'est beaucoup moins en pratique ! Dans le feu de l'action, on fait parfois des manœuvres de ce genre ! Les contrôleurs universels comportent souvent un fusible rapide dans le commun de l'ohmmètre pour éviter la

destruction de l'appareil, cet incident étant beaucoup plus fréquent qu'on ne pourrait l'imaginer !

— Dans le même ordre d'idée, ne jamais laisser le contrôleur en fonction ohmmètre. Cela peut avoir deux conséquences, d'importances différentes :

- Si les fils viennent à se toucher accidentellement, l'appareil dévie en fin d'échelle, ce qui n'est pas grave en soi... sauf si cet état dure quelques heures, auquel cas vous retrouverez probablement votre appareil, pile complètement vidée et à changer !

- Si vous reprenez votre contrôleur le lendemain, jour funeste de distraction, vous pouvez fort bien, sans hésiter un seul instant, vous en servir pour mesurer une tension, oubliant complètement qu'il est toujours ohmmètre ! Espérons alors que le fusible sautera avant le galvanomètre ! Heureusement, d'ailleurs, que les contrôleurs possèdent des protections diverses contre les maladroites de ce genre. Ainsi, outre le fusible, existent souvent des diodes en parallèle sur le cadre mobile et qui commencent à conduire lorsque la tension apparaissant aux bornes de ce cadre est supérieure au maximum admis. Le courant excessif est ainsi dérivé par les diodes et la catastrophe évitée ! Expérience à ne pas tenter trop souvent tout de même !

b) FONCTION « SONNETTE »

Cette fonction modeste, mais ô combien utile, permet de dépister les liaisons coupées ou, au contraire, celles qui sont en court-circuit intempêtif ! La gamme à choisir est celle des plus faibles résistances. Bien que cela puisse paraître superflu, faire tout

de même un tarage précis qui permettra éventuellement de trouver des liaisons douteuses à la conduction médiocre. Une liaison coupée donne une déviation nulle (résistance infinie) et un court-circuit donne une déviation maximale (résistance nulle). Un mauvais contact donnera une déviation aléatoire.

Vous pourrez vérifier ainsi les fils et câbles entre modules d'un montage électronique, les pistes des circuits imprimés qui présentent parfois des résidus de cuivre très fins faisant des courts-circuits ou, au contraire, des microcoupures invisibles, même à la loupe. On ne devrait faire confiance à aucune plaque imprimée, avant montage, cela permettrait d'éliminer des pannes diaboliques qui font chercher des heures ! On ne le fait pas souvent et c'est une erreur !

L'ohmmètre est également utilisé pour vérifier la continuité des enroulements des divers bobinages agrémentant nos réalisations. S'il s'agit de bobinages BF ou d'alimentation, les résistances normales sont moyennes ou faibles, jamais nulles. S'il s'agit de bobinages HF, les résistances sont faibles, voire quasi nulles s'il s'agit de montages à fréquence élevée. On trouve en effet des enroulements ne comportant que quelques spires de fil à fort diamètre.

Dans les deux cas, on vérifiera d'une part la continuité d'un fil, d'une piste ou d'un enroulement, mais aussi l'absence de court-circuit entre fils voisins, pistes voisines ou enroulements consécutifs.

Vérifier enfin l'absence de contact entre les enroulements eux-mêmes et les parties métalliques du bâti ou du support.

c) VERIFICATION DES ISOLEMENTS

Les tests précédents ont été faits en utilisant la gamme basse de l'ohmmètre. Par contre, ce même appareil peut comporter une gamme pour résistances très élevées et peut alors apprécier, sinon mesurer, une centaine de mégohms ! Une telle gamme est utile pour la vérification des isollements.

Ainsi, dans le cas de la vérification d'un circuit imprimé, la détection d'une absence de court-circuit faite en gamme basse ne suffit pas, car si le circuit est défectueux ou sale, des fuites, indétectables dans le premier cas, pourront être trouvées en utilisant la gamme haute. Elles le seront d'ailleurs d'autant mieux que l'ohmmètre utilise alors un générateur à tension élevée et que la fuite est une résistance non linéaire. Cette résistance est d'autant plus faible que la tension appliquée est plus forte.

Attention : éviter de faire des essais d'isolement sur des circuits comportant des semi-conducteurs, transistors bipolaires, effet de champ, circuits intégrés, car la tension élevée de l'ohmmètre peut provoquer des claquages irréversibles.

d) VERIFICATION DES JONCTIONS

L'ohmmètre permet un test facile des diodes et transistors courants. En effet, la pile de l'ohmmètre a une FEM suffisante pour dépasser les tensions de seuil (0,6 V dans le cas du silicium et 0,1 V dans celui du germanium) ; les jonctions des semi-conducteurs seront donc passantes dans un sens et bloquées dans l'autre. C'est pour cette application qu'il faut bien se rappeler la polarité

de l'ohmmètre. Se reporter au paragraphe concerné.

Si l'anode d'une diode (voir fig. 6) est reliée au commun de l'ohmmètre (+), on doit lire une résistance de quelques dizaines d'ohms (20 Ω environ) en gamme basse. Au contraire, on trouve une résistance infinie dans l'autre sens. A noter que la valeur trouvée dans le sens passant est sans signification particulière, car, en changeant de calibre, on obtient un résultat différent. Ainsi, telle diode qui mesure 20 Ω en calibre 1, mesure 150 Ω en calibre 10 et 500 Ω en calibre 100. Ce comportement est d'ailleurs normal puisque la conduction de la diode n'est pas linéaire, comme nous l'avons vu lors de l'étude du redressement du courant alternatif. La seule conclusion à tirer est donc que le courant passe bien dans un sens et pas dans l'autre. Autant dire que le test des diodes avec un multimètre numérique relève plus du folklore que de la mesure.

Bien entendu, l'essai double précédent, s'il préjuge de la qualité de la diode, ne peut pas l'attester. Une diode qui se révèle bonne à l'ohmmètre peut être une « passoire » lorsqu'elle est soumise à une tension inverse nettement plus élevée. C'est le cas

des diodes d'une alimentation par exemple. Par contre, si le test ohmmètre est mauvais, inutile d'insister !

e) CAS DES TRANSISTORS

Le transistor, ohmiquement parlant, peut être considéré comme deux diodes en série, montées en opposition. Ce seront deux diodes à cathode commune, dans le cas du transistor PNP, et deux diodes à anode commune, dans le cas du NPN. Dans les deux cas, les cathodes ou anodes communes correspondent à la base du transistor. Le test d'un transistor à l'ohmmètre est donc parfaitement possible :

PNP. — Ohmmètre en gamme la plus basse, commun (+) sur la base, toucher successivement le collecteur, puis l'émetteur, avec le non-commun. Rien ne doit passer dans les deux cas, les diodes étant dans le sens du blocage.

— Non-commun (-) sur la base. Toucher le collecteur, puis l'émetteur et constater dans les deux cas le passage du courant.

— Commun sur le collecteur, toucher l'émetteur avec le non-commun : pas de passage. Inverser. Pas de passage non plus.

Dans ces conditions, le transistor est présumé bon pour le service. En pratique, ces essais sont valables dans 95 % des cas.

NPN. — Mêmes essais en inversant les polarités de l'ohmmètre. Le passage des jonctions doit donc s'obtenir en reliant le commun à la base et en touchant les deux autres électrodes. Pas de passage dans tous les autres cas.

Un transistor défectueux montre souvent une jonction claquée (pas de passage) ou en court-circuit (passage dans les deux sens), parfois deux jonctions défectueuses. Les transistors au germanium peuvent présenter une légère fuite collecteur-émetteur sans que cela soit un signe de défaut. Cette fuite est d'ailleurs plus forte lorsque l'ohmmètre polarise ces deux électrodes à l'envers.

La méthode de vérification que nous venons d'exposer permet aussi de trouver le brochage d'un transistor inconnu. Voici comment il faut s'y prendre : on reliera le commun à l'une quelconque des trois électrodes. Toucher successivement les deux autres avec le non-commun. Si le passage se fait dans les deux cas, vous avez trouvé la **base** en un essai et vous savez que ce

transistor, supposé bon, est du type NPN (puisque le transistor conduit lorsque sa base est reliée au pôle positif de l'ohmmètre).

Bien sûr, comme au Loto, on ne gagne pas souvent en un essai ! Heureusement, ici, il n'y a pas 14 millions de configurations mais... 6 seulement ! En effet, chacune des trois électrodes peut être reliée à l'un des deux fils de l'ohmmètre et 3 fois 2 font 6 ! Donc, au bout de 6 essais au maximum, vous aurez trouvé la configuration qui donne deux passages de courant. Dans cette configuration, l'électrode ayant servi de pôle commun est la base. Si le commun y est relié, le transistor est NPN, si c'est le non-commun, c'est un PNP.

Nous conseillons aux débutants, ou aux lecteurs n'ayant jamais fait ce type de recherche, de la faire avec un transistor ou plusieurs transistors connus, sans tricher, pour vérifier le bien-fondé des lignes précédentes ! Cela leur sera utile lors des recherches de pannes ou de type de transistors.

Mais, me direz-vous, où sont collecteur et émetteur ? Ce sont évidemment les deux autres électrodes, mais l'ohmmètre ne peut plus rien pour vous et nous pourrions en rester là, puis-

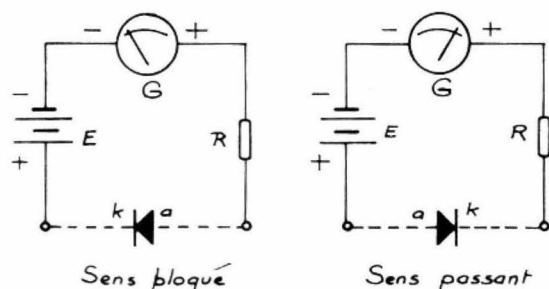


Fig. 6. — Essai d'une diode.

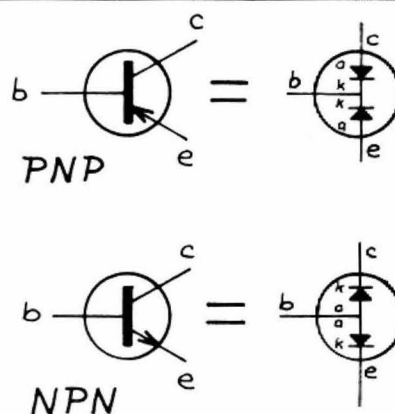


Fig. 7. — Le transistor est assimilable à deux diodes en série.

que cet appareil est le sujet de ces lignes. Toutefois, pour ne pas vous laisser dans une incertitude traumatisante, nous allons vous dire comment distinguer nos deux inconnus !

Pour ce diagnostic, il faut réaliser le montage de la figure 8, sur une boîte à connexions rapides par exemple. Rappelons que nous avons trouvé la base et que nous connaissons aussi le type, PNP ou NPN, du transistor en question. Nous savons donc quelle polarité appliquer sur les lignes d'alimentation (voir la figure). La tension entre ces lignes peut être de 4,5 à 12 V, selon l'ampoule choisie. Ne pas dépasser une intensité au filament de 100 mA, sauf test de gros

transistors. La base du transistor est reliée à la résistance R et les deux autres électrodes sont branchées au hasard. Noter la luminosité de l'ampoule. Inverser les deux inconnus. Voir à nouveau la luminosité. Le collecteur est l'électrode qui, reliée à l'ampoule, donne la plus forte luminosité.

La différence de luminosité entre les deux branchements doit être très nette. Au besoin, augmenter la valeur de R. A noter que, de plus, on peut avoir une idée du gain en courant du transistor puisque

$$\beta = \frac{I_c}{I_b}$$

On a :

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

et... on peut mesurer I_c . Il reste à faire le calcul !

f) Les diodes OPTO

Les diodes LED ne sont que... des diodes, lumineuses certes, mais diodes tout de même ! On peut donc parfaitement les vérifier à l'ohmmètre. Ces diodes requièrent en général une vingtaine de milliampères pour une brillance normale et c'est justement ce que l'ohmmètre donne, à peu près, en gamme basse.

On se reportera donc au paragraphe sur les diodes en général, en observant de plus la luminosité dans le sens passant. Cet essai est souvent nécessaire pour trouver la polarité des diodes LED afin de les souder dans le bon sens. Souvent, l'anode à relier au positif de l'alimentation est le plus long des deux fils de sortie, mais ce n'est pas toujours vrai et, de plus, cela ne se voit plus quand ces fils ont été raccourcis !

Les afficheurs à 7 segments ne sont que des montages intégrant des diodes LED. Ils en contiennent souvent 8, y compris le point décimal.

Il y a deux types d'afficheurs LED, comme le montre la figure 9. Les afficheurs à anode commune, dans lesquels toutes les anodes sont réunies et aboutissent à un point de sortie commun, alors que les cathodes ont des sorties individuelles, et les afficheurs à cathode commune dans lesquels ce sont les cathodes qui sont réunies alors que les anodes sont séparées. La figure 9 montre très bien les deux dispositions, tout en donnant la disposition des segments d'un afficheur quelconque, vu de face.

Pour tester les afficheurs, il suffit de tester chacune des diodes LED, à

son tour. Pour les modèles à anode commune, ce sera le commun de l'ohmmètre qui rejoindra l'anode commune, le non-commun touchant les sorties de segments. Dans le cas des cathodes communes, c'est l'inverse. A chaque contact, le segment correspondant doit s'allumer.

Cet essai se fait, afficheur en main, mais il se fait aussi et plus souvent encore lorsque les afficheurs sont soudés sur le CI, de manière à constater les bonnes liaisons en même temps que l'absence d'intervention donnant, on s'en doute des résultats affichés des plus curieux !

g) DIODES ZENER (fig. 10)

Vues par un ohmmètre, les diodes Zener sont des diodes absolument normales, conduisant lorsque l'anode est reliée au commun (+) et ne conduisant pas quand la cathode (repérée, comme pour les autres diodes par le trait de peinture) y est connectée. L'effet Zener ne peut, par contre, se mettre en évidence que dans le montage réel. Il faut se rappeler que, pour faire apparaître cet effet, la Zener doit être montée à l'envers, c'est-à-dire la cathode vers le positif. Elle est donc montée dans le sens non passant. Toutefois, si la tension inverse ainsi appliquée dépasse la tension « de Zener » de la diode, celle-ci passe en régime de pseudo-claquage, avec, à ses bornes, cette fameuse tension de Zener. Une résistance série limite l'intensité à une valeur « de croisière », faute de quoi le pseudo-claquage se transforme en véritable claquage avec destruction définitive de la jonction (voir fig. 11).

F. THOBOIS

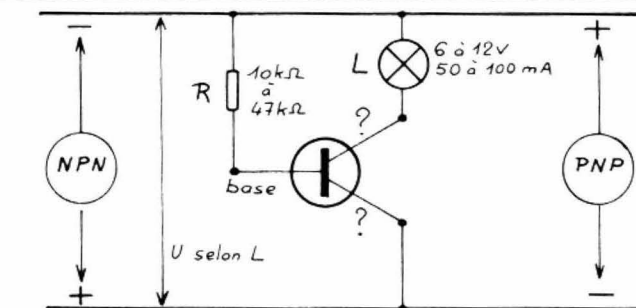


Fig. 8. - Recherche du collecteur et de l'émetteur.

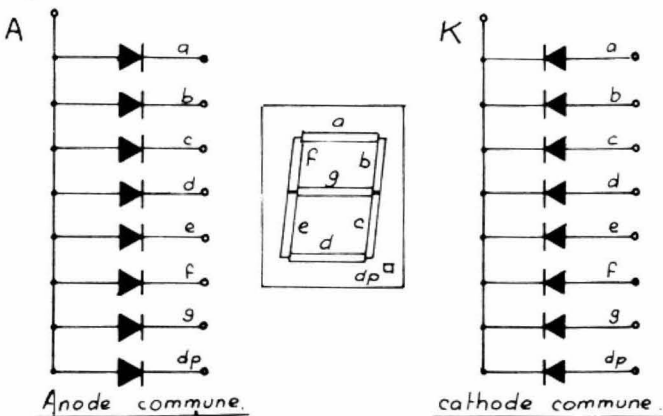


Fig. 9. - Afficheurs 7 segments.

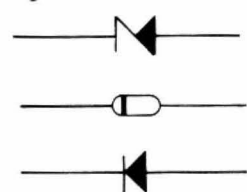


Fig. 10. - Diode et diode Zener.

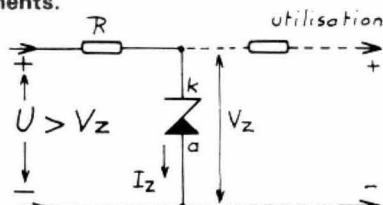


Fig. 11. - Montage d'une Zener.

général. Nous pouvons y parvenir en exprimant R_x en fonction de R , en posant $R_x = \alpha R$

Dans ces conditions on a :

$$I = \frac{E}{R + R_x} = \frac{E}{R + \alpha R}$$

$$= \frac{E}{(1 + \alpha)R} = \frac{1}{1 + \alpha} \times \frac{E}{R}$$

Mais, comme $E/R = I_m$

(voir plus haut), on obtient

$$I = \frac{1}{1 + \alpha} \times I_m$$

Cet artifice de calcul nous permet de faire une représentation graphique dans le cas général, sans choisir les valeurs précises des paramètres R et E .

C'est ce que nous avons fait dans la figure 2, en

adoptant des graduations linéaires sur les deux axes.

Nous voyons que R_x est exprimée en fonction de R et que l'intensité résultante I est exprimée en fonction de l'intensité I_m . Nous ne donnerons qu'un exemple de calcul :

Soit $R_x = 2 R$,

$$I = \frac{1}{1 + 2} I_m$$

$$= \frac{1}{3} I_m \approx 0,333 I_m$$

Notons tout de même la valeur remarquable de $R_x = R$ donnant $I = 0,5 I_m$.

Ce qui nous amène à la constatation importante que, lorsque R_x vaut R , la déviation du galvanomètre est exactement moitié de la déviation de fin d'échelle I_m . Cette valeur de R_x est la valeur critique de l'échelle de l'ohmmètre.

La représentation graphique de la figure 2 se fait ainsi point par point et l'on peut constater que l'on obtient bien un morceau de branche d'hyperbole. Evidemment, les graduations qui en résultent sur l'échelle de l'ohmmètre ne sont pas linéaires. Les lectures sont très bonnes en fin d'échelle, jusqu'à la demi-déviaton, car les écarts sont grands, mais ils se resserrent de plus en plus, pour être inutilisables en début de déviation (au-delà de 5 à 10 R).

Pour mieux discerner l'allure du phénomène, nous avons tracé une seconde représentation graphique de la même fonction, mais en adoptant une graduation logarithmique pour l'axe des abscisses. En effet, nous ne pouvons couvrir qu'une très faible variation de R_x dans le mode de la figure 2. Dans la figure 3, nous avons une graduation logarithmique sur cet axe. Nous pouvons ainsi couvrir sans difficulté de $0,001 R$ à $1\ 000 R$ (de $\log 0,001 = -3$ à $\log 1\ 000 = +3$).

Bien entendu, le graphique prend une forme tout à fait différente, mais qui nous permet de bien voir l'importance du point critique $R_x = R$, puisque ce point correspond à un centre de symétrie de la courbe obtenue. Le mode

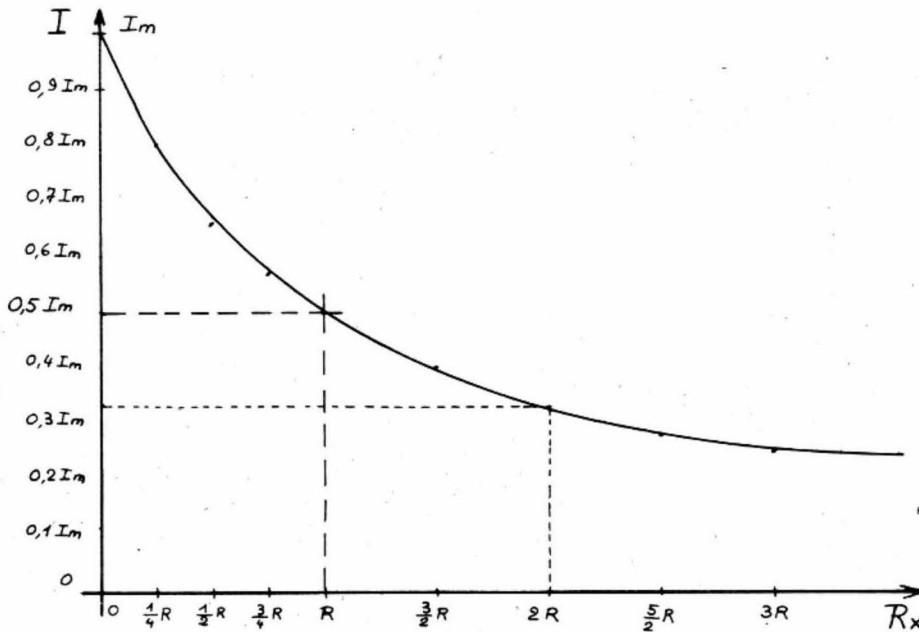


Fig. 2. - Intensité en fonction de R_x (abscisses linéaires).

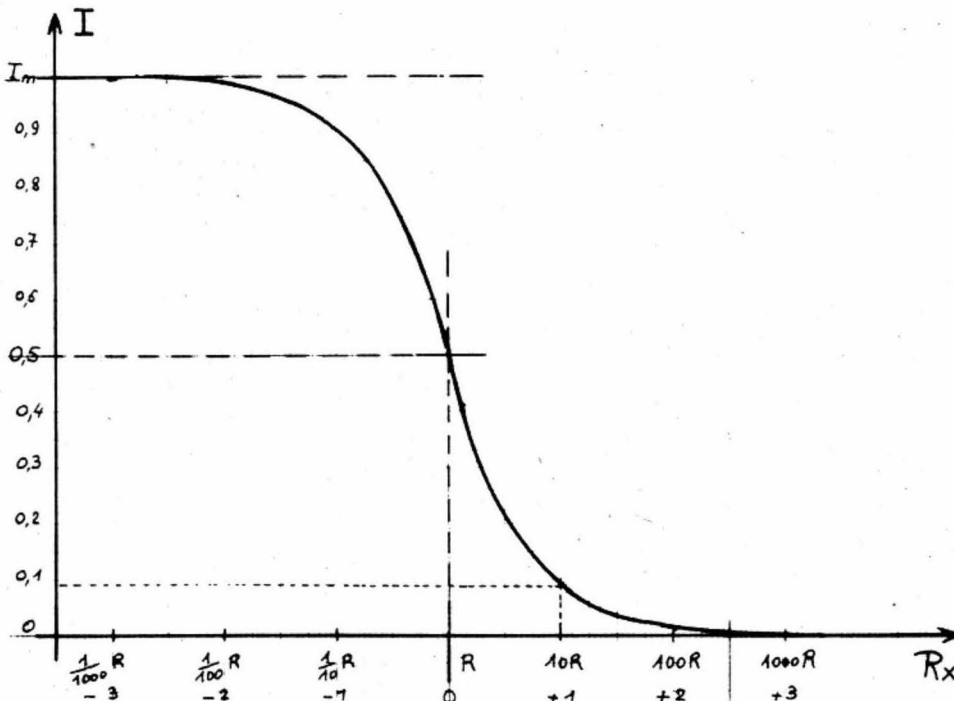


Fig. 3. - Même représentation, mais avec abscisses logarithmiques.