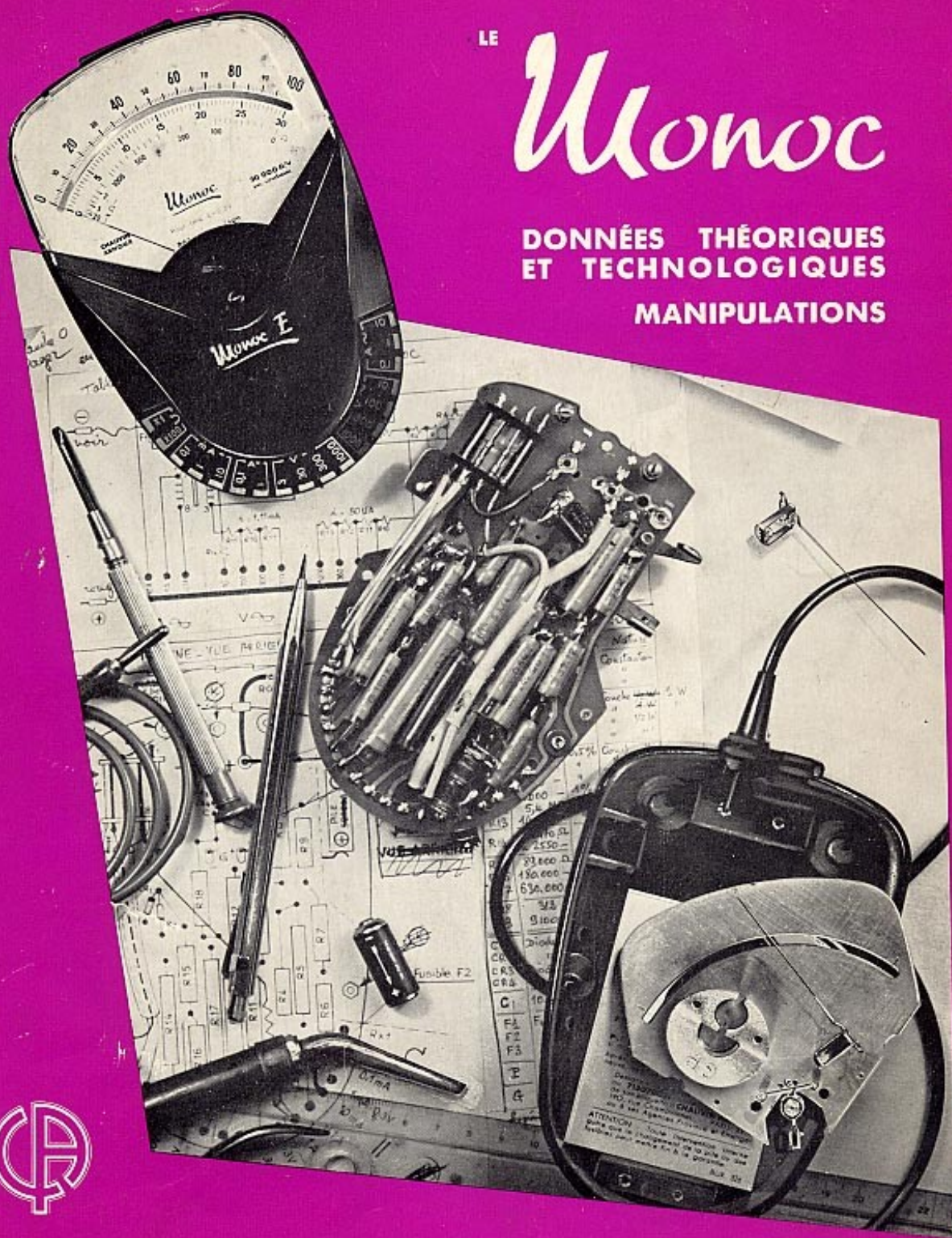


LE

Monoc

**DONNÉES THÉORIQUES
ET TECHNOLOGIQUES**

MANIPULATIONS



CHAUVIN ARNOUX 190, rue Champlonnet PARIS - MAR. 41-40 & 52-40 ISL.

NOTICE R 31

LE Monoc

DONNÉES THÉORIQUES ET TECHNOLOGIQUES MANIPULATIONS

Le **MONOC** est un **Contrôleur Multiple**, ou **Contrôleur Universel**, c'est-à-dire la réunion :

- d'un élément de mesure magnéto électrique ;
- d'une série de circuits de mesure.

Plusieurs dizaines de milliers de Monocs sont utilisés dans l'Industrie, en France et à l'Étranger, aussi bien par des Laboratoires de recherches, des Services Entretien d'usines, des Radio-Électriciens, que par des Laboratoires d'Enseignement et des Écoles pour lesquels ils constituent un précieux auxiliaire.

Les originalités de cet appareil, telles, entre autres, son échelle unique et proportionnelle utilisable en courants continu et alternatif, sa protection par fusibles, sa faible chute de tension pour les mesures d'intensités, nous ont valu un courrier abondant et d'un très grand intérêt.

Nous avons été conduits à penser qu'un recueil de données théoriques et technologiques, reprenant certains principes théoriques fondamentaux et les impératifs pratiques tels qu'ils se présentent aux Constructeurs, satisferait à l'intérêt que de nombreux utilisateurs du Monoc ont bien voulu nous manifester.

Puisse aussi ce texte, en reprenant ces données de base, rendre service aux Étudiants par les exemples d'applications qu'il décrit et par les détails pratiques qu'il précise.

Ce faisant, notre texte ne prétend aucunement constituer un cours de mesures électriques, mais vise à donner un aperçu des compromis choisis entre les données théoriques et les servitudes technologiques pour satisfaire au mieux les désirs exprimés par les Utilisateurs, et marquer une étape dans la fabrication des contrôleurs.

CHAPITRE I

ÉQUIPAGE MOBILE DE MESURE DU MONOC

L'équipage mobile d'un appareil de mesure est la partie mobile de l'élément de mesure, qui peut se déplacer sous l'influence de diverses actions :

- couple moteur résultant du phénomène physique mesuré ;
- couple antagoniste (ou de **rappel**) opposé au couple moteur précédent, afin de tendre vers un équilibre ;
- couple de frottement d'organes mobiles sur éléments fixes ;
- couples parasites de perturbation ou d'influences.

Tous ces couples interviennent dans l'étude de la position que va prendre et conserver l'équipage mobile pendant la durée d'une mesure : c'est ce que l'on appelle l'étude **statique**, qui va surtout nous intéresser ici, puisque le **Monoc** est un appareil indicateur à lecture directe. Rappelons toutefois que d'autres couples sont à considérer, en outre des précédents, lorsqu'on s'intéresse aux mesures en régimes transitoires, pratiquées le plus souvent avec des appareils enregistreurs rapides : il faut alors tenir compte des couples d'inertie et des couples de freinage.

Le **MONOC** est un galvanomètre du type **Magnéto-électrique**, dont l'élément de mesure comporte un aimant fixe, et un équipage à cadre mobile. Avant d'entrer dans les détails caractéristiques, il n'est peut être pas inutile de rappeler l'essentiel à propos de ce type de galvanomètre.

GALVANOMÈTRE MAGNÉTO ÉLECTRIQUE à cadre mobile

Le Galvanomètre à cadre mobile a été introduit par W. THOMSON (devenu LORD KELVIN) comme récepteur télégraphique transatlantique, en reprenant une idée très antérieure due à BAIN. Ce type d'appareil est souvent attribué à DEPREZ et d'ARSONVAL, car ils eurent le mérite de le mettre au point vers 1882 sous une forme vraiment pratique et industrielle ; les ateliers CHAUVIN & ARNOUX furent les premiers à le construire en série.

Le terme même de **GALVANOMÈTRE** implique la mesure de l'intensité d'un courant électrique. Cette mesure est possible grâce à la force qui apparaît lorsqu'un conducteur parcouru par un courant i à mesurer est placé dans un champ magnétique H .

Cette force est égale au produit vectoriel des vecteurs Intensité du courant et Champ magnétique ; comme tout produit vectoriel, cette force est un vecteur orienté perpendiculairement au plan défini par les deux vecteurs i et H , dans le sens indiqué par la figure 1.



Fig. 1. Règle des 3 doigts de la main droite.

*On utilise souvent la règle mnémotechnique des "3 doigts de la main droite" où le **pouce** matérialise la direction du courant i , l'**index** la direction du **champ** magnétique H , le **majeur** indiquant alors la direction de la **force** F .*

Sous sa forme la plus simple, l'appareil de mesure magnéto-électrique est le **Galvanomètre à corde** (figure 2). Un fil conducteur est modérément tendu entre deux points fixes O et O' , entre lesquels on applique une force électro motrice ayant la polarité indiquée. Une intensité i parcourt le fil. Celui-ci passe dans l'entrefer NS d'un aimant permanent, entrefer où règne un champ H perpendiculaire à l'intensité i . Une force F apparaît dans le sens indiqué et tend à déformer le fil tendu ; celui-ci pouvant être très fin, la déformation peut être sensible et un déplacement du fil est observable.

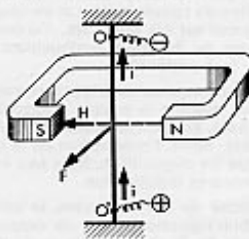


Fig. 2. Principe du galvanomètre à corde.

Deux points fondamentaux sont à souligner :

D'une part, si le sens de passage du courant est inversé, le sens du déplacement du fil est également inversé ; le Galvanomètre est un appareil **polarisé** c'est-à-dire que le sens de la déviation dépend du sens de passage du courant. Nous retrouverons ceci à propos des mesures en courants alternatifs, page 23 et suivantes.

D'autre part, la force créée est proportionnelle à la fois à la valeur du champ magnétique H et à la valeur de l'intensité i . Si l'on peut admettre que le champ H est une constante, la force, et donc la déformation qui en résulte, dépendent uniquement de l'intensité i ; nous retrouverons un cas analogue à propos du "champ radial", pages 6 et 7.

Un deuxième modèle d'appareil magnéto-électrique découle immédiatement du type précédent : c'est le galvanomètre **bifilaire** schématisé figure 3. Au lieu d'être tendu entre les points fixes O et O' , le fil conducteur est suspendu entre deux points fixes en formant une boucle au niveau de l'entrefer NS. Le sens du courant i est différent dans les deux brins de cette boucle ; comme l'indique la règle des trois doigts appliquée à la figure 3, le fil situé à droite est soumis à une force F et le fil situé à gauche est soumis à une force F' .

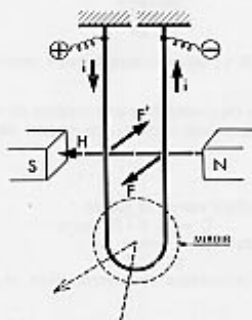


Fig. 3. Le galvanomètre bifilaire, avec son miroir de lecture.

Les forces F et F' constituent un **couple moteur** qui tend à faire tourner la boucle de fil. La valeur de ce couple est fonction à la fois de H et de i . Dès que la rotation commence, la boucle de fil tend à s'élever (et à élever le miroir m qu'elle supporte) : un couple antagoniste apparaît, dû à la pesanteur. Lorsque les valeurs numériques du couple moteur et du couple antagoniste sont égales, après une certaine rotation α , la boucle de fil s'immobilise ; le miroir m permet, par l'une des méthodes de POGGENDORF, de mesurer la rotation α . Celle-ci est, en première approximation, proportionnelle à l'intensité i et au champ H .

On conçoit qu'un tel galvanomètre bifilaire puisse être réalisé avec un fil très fin, très long, dont les deux brins seront très rapprochés et porteront un miroir m très léger. Le couple antagoniste dû à la pesanteur est alors très petit : une intensité, même très petite, provoque une rotation appréciable du miroir avant que l'équilibre du couple moteur et du couple antagoniste soit atteint ; l'appareil est très **sensible**, d'autant que différents artifices permettent de multiplier optiquement la rotation du miroir porté par la boucle (1).

On conçoit également qu'un tel appareil exige un positionnement rigoureux, puisque le couple antagoniste est dû à la pesanteur ; il ne peut, sans dispositions particulières, supporter chocs et vibrations ; enfin, l'observation de la position d'équilibre atteinte exige un dispositif optique peu compatible avec la pratique des mesures industrielles.

Pour s'affranchir de ces servitudes, la solution classique consiste à équilibrer rigoureusement, par rapport à un axe OO' , une **boucle** rigide de fil et à réaliser le couple antagoniste indispensable par un ou deux ressorts spiraux. La figure 4 schématise les éléments essentiels : entre les crapaudines O et O' qui matérialisent l'axe de rotation, l'ensemble conducteur rigide ayant la forme d'un cadre peut pivoter. Deux ressorts spiraux S et S' définissent la position de repos (ou de zéro) du cadre mobile en l'absence de tout courant dans le cadre ; dès qu'une rotation est créée, les spiraux fournissent un couple antagoniste qui augmente linéairement avec la rotation. Lorsque le couple antagoniste est égal et opposé au couple moteur dû à l'intensité dans le **cadre mobile**, l'équilibre est atteint ; si se traduit par l'immobilisation du cadre après une rotation α . Une aiguille indicatrice A , solidaire du cadre mobile et se déplaçant devant un cadran fixe C , permet d'apprécier la rotation α .

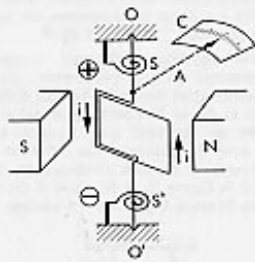


Fig. 4. Le galvanomètre à cadre mobile.

Chaque mesure de α constitue une mesure du couple moteur exercé sur le cadre mobile — donc une mesure de l'intensité qui le parcourt.

Le couple moteur est de la forme :

$$C = K_1 n i H \cos \alpha \quad (1)$$

et le couple résistant de la forme

$$C' = K_2 \alpha \quad (2)$$

avec K_1 et K_2 : constantes de construction, n le nombre de

(1) Cette multiplication optique d'une déviation angulaire est souvent utilisée dans les appareils très sensibles comme notre Zéromètre (notice L 7) et nos Spélimètres (notice M 6).

spires du cadre, i l'intensité, H la valeur du champ, supposé uniforme. L'équilibre est atteint pour $C = C'$, c'est-à-dire :

$$K_2 \alpha = K_1 n i H \cos \alpha \quad (3)$$

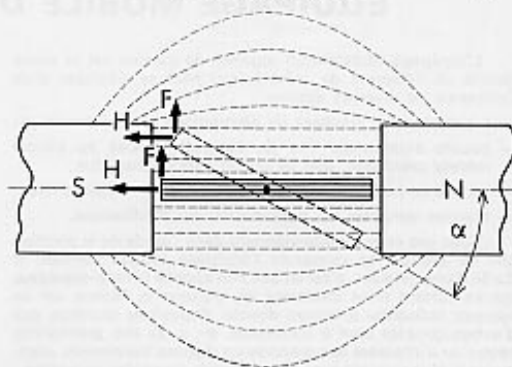


Fig. 5. Rotation d'un cadre mobile dans un champ H . Pour les rotations faibles, les lignes de force du champ H sont ici sensiblement parallèles.

La figure 5 schématise le galvanomètre à cadre mobile de la figure 4 vu de dessus : les pièces polaires N et S de l'aimant permanent engendrent le champ magnétique H dont les lignes de force sont indiquées par des tirets. Supposons que la position de repos (ou de zéro) du cadre mobile soit celle indiquée figure 5. Lorsqu'une faible valeur d'intensité i_1 parcourt le cadre, le couple moteur qui apparaît est relativement grand parce que, d'une part, $\cos \alpha$ est voisin de 1, et d'autre part la valeur du champ H est maximale dans cette région. La position d'équilibre est atteinte après une rotation α relativement importante. Mais cette rotation α amène le cadre mobile dans une zone où le terme $H \cos \alpha$ est moins grand. Si l'intensité est alors doublée et devient $2 i_1$, la valeur du couple moteur ne sera pas tout à fait doublée et la nouvelle position d'équilibre sera atteinte pour une rotation α_2 qui sera plus petite que 2 fois α_1 .



Fig. 6. Type de graduation, non linéaire, obtenue avec la disposition de la fig. 5.

Ainsi, le galvanomètre des figures 4 et 5 offre une échelle de lecture non linéaire, dilatée à son début et resserrée vers sa fin (figure 6). Cette échelle de lecture, pour la plupart, des mesures, peut présenter des inconvénients. Pour éliminer ceux-ci, il faut que le champ magnétique H reste **constant** et **parallèle** au plan du cadre mobile, dans tout l'espace balayé par le cadre mobile durant sa rotation ; l'aimant doit être, pour cela, complété par des pièces polaires et un noyau afin que le champ soit **radial**.

CHAMP RADIAL

La figure 7 indique schématiquement la disposition adoptée. Des pièces polaires en fer doux N et S constituent avec un **noyau cylindrique un entrefer** de longueur constante. Quelle que soit la rotation α du cadre mobile, le champ magnétique H a une valeur constante et est toujours dirigé parallèlement au plan du cadre mobile.

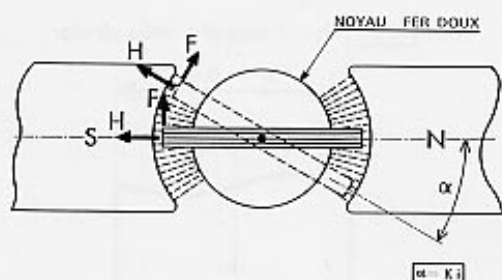


Fig. 7. Un galvanomètre à champ "radial", où la rotation α est proportionnelle au courant i .

Dans la formule (3) précédente, le terme $H \cos \alpha$ devient ainsi constant par construction. Pour un cadre mobile comportant n spires le couple moteur devient ainsi :

$$C = K i \quad (4)$$

K étant une constante qui englobe le coefficient K_1 , le nombre de spires n et la valeur du champ H constante grâce au dispositif de champ "radial".

Ainsi, la relation existant entre l'intensité i dans le cadre mobile et la valeur angulaire α de la déviation devient **linéaire** ce qui signifie que la déviation est directement proportionnelle à l'intensité. Le mot **linéaire** s'applique, bien entendu, à la loi de déviation, et non au mouvement, qui reste une rotation. Les divisions portées par le cadran sont équidistantes, ce qui facilite singulièrement les lectures et permet d'éviter bien des erreurs.

- **MANIPULATION.** Vérifiez que les échelles de lecture de votre Monoc sont pratiquement linéaires : on a bien $\alpha = K i$.

SENSIBILITÉ D'UN GALVANOMÈTRE

Elle est caractérisée par le coefficient K de la relation précédente.

Un galvanomètre est très **sensible** au courant, lorsque K est très grand, c'est-à-dire lorsqu'un courant i très faible provoque une rotation α très importante. Tel est le cas du **Monoc** dont le cadre mobile seul, parcouru par 36,5 microampères, (valeur moyenne, comme on le verra plus loin), dévie totalement : l'aiguille passe de la position **0** à la **déviati on totale** chiffrée 100, ce qui correspond à une rotation d'environ 90°.

A noter que les connexions de sortie du cadre mobile du Monoc ne sont pas normalement accessibles, car elles sont reliées à des circuits de compensation et de mesure dont nous verrons plus loin les fonctions. La plus grande sensibilité utilisable sur le Monoc comme **mesureur d'intensité**, est celle du calibre **0,1 mA**. La déviation totale, soit 90°, est atteinte lorsqu'une intensité égale à 100 microampères parcourt le Monoc dont le commutateur a été placé sur l'indication **0,1 mA**.

Pour apprécier une telle sensibilité, il est utile de faire le rapprochement suivant : Les galvanomètres de laboratoire, ultra-sensibles, coûteux, et souvent fragiles, sont toujours utilisés dans des conditions telles que les angles de rotation soient très petits. On apprécie alors leur sensibilité par la valeur de l'intensité nécessaire pour observer un déplacement de 1 mm du spot lumineux réfléchi sur leur miroir et recueilli sur une échelle de lecture placée à 1 mètre : cette intensité est couramment de l'ordre de 10^{-7} A. Si l'on fait le même calcul pour le Monoc, une rotation équivalente est provoquée par une

intensité de l'ordre de $3,10^{-6}$ A : on voit que malgré sa robustesse d'appareil **industriel** à pivots, le galvanomètre du Monoc réalise de très hautes performances de sensibilité. Ce résultat est obtenu en grande partie par le nombre de spires bobinées sur le cadre du Monoc : celui-ci comporte 1460 tours de fil de cuivre, de diamètre égal à 0,025 mm (cf. formule 3).

La résistance d'un tel cadre est en moyenne de 2000 ohms, et elle peut varier suivant le lot de fil, son diamètre initial et l'allongement résultant du bobinage. Etant donné le schéma, et les valeurs relatives des divers éléments, ces variations sont sans influence sur l'exactitude de l'ensemble, et se trouvent compensées par une variation correspondante du courant de déviation totale. **Dans la suite du texte**, on considérera toujours, pour simplifier, les valeurs moyennes, soit **2000 ohms** et **36,5 micro-ampères**.

Est-il possible de faire mieux ? Pour améliorer les performances d'un galvanomètre magnéto-électrique monté sur pivots, il est tentant d'augmenter le nombre de spires et de multiplier ainsi le couple moteur. Mais si l'on conserve le diamètre du fil, on augmente ainsi la masse de cuivre de l'enroulement, et nous en verrons l'inconvénient. La solution consisterait alors à utiliser du fil de cuivre de diamètre plus petit.

On se heurte alors à deux inconvénients : d'une part, la résistance du cadre mobile va devenir prohibitive, puisqu'il s'agit d'une très grande longueur l de fil de très petite section s et que la résistance R est de la forme $R = k \frac{l}{s}$. D'autre part,

il ne faut pas oublier que le fil doit être isolé pour éviter des courts-circuits entre spires. Or, l'épaisseur du vernis isolant diminue moins vite que le diamètre du cuivre. En réduisant ce diamètre et en augmentant le nombre de spires, à poids égal de cuivre, le cadre mobile devient plus encombrant ; on doit alors augmenter la longueur d'entrefer du circuit magnétique, qui est de l'ordre de 1,5 mm dans le Monoc. En augmentant la longueur d'entrefer, on réduit la valeur du champ H et donc la sensibilité de l'appareil... On trouve ici un exemple de compromis indispensable en pratique qui doit tenir compte d'exigences contradictoires.



Fig. 7 bis. Préparation du bobinage à grande vitesse d'un cadre mobile, en fil cuivre de 25 microns.

On doit préciser que le fil de cuivre de diamètre égal à 25 microns est déjà difficile à travailler (fig. 7 bis), et que la technologie ne permet pas actuellement d'obtenir couramment des fils de diamètre beaucoup plus petit, sensiblement réguliers et supportant l'opération de bobinage.

Il est bon de fixer les idées, quant à la puissance nécessaire pour provoquer la déviation totale de l'équipage mobile du Monoc considéré seul. Une intensité égale à 36,5 microampères traverse les 2.000 ohms du cadre mobile : la chute de tension correspond donc à 73 millivolts. La puissance nécessaire et suffisante pour provoquer la déviation totale est ainsi :

$$E \text{ (volts)} \times I \text{ (ampères)} = P \text{ (watts), soit :}$$

$$73 \cdot 10^{-3} \times 36,5 \cdot 10^{-6} = 2,6 \cdot 10^{-6} \text{ watts,}$$

ou 2,6 microwatts.

Toujours pour fixer les idées, on peut calculer que cette puissance devrait être maintenue en permanence et entièrement transformée en chaleur durant une vingtaine de jours pour échauffer 1 g d'eau de 1° C.

FIDÉLITÉ D'UN GALVANOMÈTRE

Un galvanomètre est fidèle lorsque, parcouru à différentes reprises par des intensités i_1, i_2, i_3, \dots bien définies, les déviations correspondantes $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$ se retrouvent avec précision. Il s'agit là de la première des qualités que doit présenter un appareil de mesure, quel qu'il soit. Dans ce but, tous les couples parasites doivent être strictement réduits, en particulier les couples de frottement solide d'organes mobiles sur des pièces fixes. Or, les seuls points de contact entre l'équipage mobile et l'ensemble de l'appareil sont :

- les pivots et crapaudines,
- les spiraux.

PIVOTS et CRAPAUDINES.

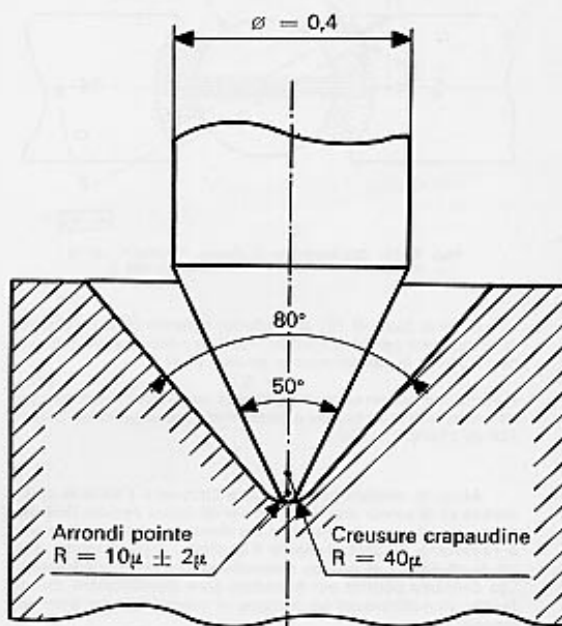
La figure 8 représente le détail d'un pivot et d'une crapaudine du Monoc. Le pivot est en acier spécial, très dur ; sa pointe conique est arrondie et parfaitement polie, avec un rayon égal à 10 microns. La crapaudine (saphir) offre une creusure parfaitement polie dont le rayon est quatre fois plus grand. D'après la théorie des déformations élastiques, on peut admettre que le cercle de contact pivot-crapaudine de la figure 8 correspond à un diamètre de l'ordre de 2 microns. La masse de l'équipage mobile du Monoc étant de 0,4 g, on voit que la pression moyenne est de l'ordre de 10^9 pascals (soit environ 100 kg/mm², ou bien 10.000 kg/cm²).

Cette valeur peut sembler énorme, mais elle se justifie. Le couple de frottement d'un pivot sur un saphir croît en même temps que le rayon de l'arrondi : il est donc souhaitable que ce rayon soit le plus petit possible. Bien entendu, à masse supportée égale, la pression augmente et l'on ne peut dépasser une valeur limite au-delà de laquelle le pivot serait déformé, et même détérioré.

D'autre part, le couple de frottement d'un pivot sur un saphir croît sensiblement comme la puissance 1,5 de la masse de l'équipage mobile supporté. KEINATH a même tenté de chiffrer par un facteur de qualité la fidélité d'un équipage mobile de mesure : c'est le rapport : Couple des spiraux / Puissance 1,5 de la masse supportée. Toutes choses égales d'ailleurs, les couples de frottement parasites seront d'autant plus faibles — et la fidélité d'autant meilleure — que la masse de l'équipage mobile sera plus petite. Veuillez vous reporter au paragraphe Sensibilité d'un Galvanomètre (page 7) : nous avons vu que la sensibilité augmentait avec la masse de cuivre du cadre... Ici encore, un compromis est obligatoire entre sensibilité et fidélité.

Dans la recherche d'un meilleur compromis, la masse de l'équipage mobile joue un rôle essentiel. Un équipage mobile **lourd** résiste mal aux accélérations brutales, c'est-à-dire aux chocs ainsi qu'aux vibrations. Pour concilier sensibilité et robustesse, un équipage mobile doit être **le plus léger possible** : celui du Monoc offre une masse de 400 mg. Bien entendu, dans cette masse totale, supportée par les pivots, le cuivre du cadre constitue la plus grande part : les 60 mètres de fil de

PIVOT : Pointe arrondie, polie glacée



CRAPAUDINE

Saphir synthétique, creusure polie glacée
Montage élastique sur ressort amagnétique

Fig. 8

Echelle 100/1 env.

cuivre (diamètre égal à 0,025 mm) formant le cadre du Monoc représentent les 2/3 de la masse de l'équipage mobile. Le reste est constitué par :

- l'isolant (non négligeable sur une surface de fil de l'ordre de 50 cm²),
- l'aiguille indicatrice et ses contrepoids,
- les pivots.

A souligner, dans un but d'allègement, la suppression totale de carcasse supportant le cadre mobile : le fil de cuivre est bobiné sur un mandrin spécial, puis imprégné et cuit de façon à former un bloc rigide indéformable, le mandrin qui a servi de support étant ensuite éliminé.

● **MANIPULATION.** Pour apprécier la fidélité du Monoc, la manipulation suivante est intéressante : On dispose en série un accumulateur 2 volts et une chaîne de résistances R1, R2, R3 qui peuvent être court-circuitées par des interrupteurs I1, I2, I3 (fig. 9). Le Monoc est utilisé sur son calibre 1 mA continu. Les valeurs ohmiques R1, R2, R3 peuvent être respectivement 100 kΩ, 10 kΩ, 1 kΩ. Pour éviter des erreurs dues à des contacts imparfaits, il est préférable que les connexions du circuit soient soudées. On réalise successivement, à plusieurs reprises et dans un ordre quelconque, les 8 combinaisons possibles de valeurs ohmiques du circuit en ouvrant et en fermant les trois interrupteurs ; on note chaque fois la déviation observée, appréciée aussi finement que possible grâce au miroir de correction de parallaxe, et en s'aidant au besoin d'une forte loupe.

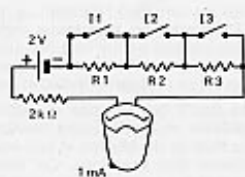


Fig. 9. Une vérification de la "fidélité".

On ne décèle pratiquement aucune différence dans chacune des huit valeurs d'intensité successivement indiquées.

Le même type d'essai, pratiqué sur un autre appareil plus ordinaire, ou ayant par exemple déjà supporté beaucoup de chocs, de vibrations, de surcharges, pourra faire apparaître une certaine "erreur de fidélité".

Deux remarques peuvent être faites à propos des pivots et crapaudines du Monoc. D'abord, ces crapaudines sont montées, comme l'indique la figure 10, sur ressort taré. Sans cette précaution, lorsqu'une accélération importante est imposée à l'appareil (lors d'un choc, par exemple), la pression exercée par le pivot sur la crapaudine correspondante pourrait dépasser la valeur maximale admissible. Grâce au montage sur ressort de la crapaudine, celle-ci s'efface pour amortir le choc, puis revient ensuite à sa position d'origine. Si le choc est très violent, des butées interviennent afin de limiter les mouvements longitudinaux du cadre et des pivots.

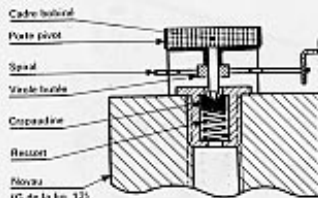


Fig. 10. Le montage élastique d'une crapaudine du MONOC. Vue en coupe.

Enfin, on sait qu'un pivotage est plus satisfaisant en position verticale que dans toute autre position : le pivot repose alors sur le saphir suivant un très petit cercle parfaitement centré sur l'axe théorique de rotation, ce qui correspond à un couple de frottement minimal. Au contraire, lorsque l'axe de l'équipage mobile est horizontal ou incliné, chaque pivot repose alors sur la crapaudine correspondante en dehors de son centre, et son mouvement de rotation est alors, en fait, un roulement. Dans ce dernier cas, le couple parasite peut être augmenté, et accessoirement une erreur d'équilibrage de l'équipage mobile peut modifier la mesure.

En conclusion, lorsque vous désirez obtenir du Monoc, comme de tout autre appareil du même genre, une fidélité maximale, veillez de préférence à ce que l'appareil soit posé horizontalement, afin que l'axe de l'équipage mobile soit vertical.

SPIRAUX

Nous avons vu que leur rôle était de fournir le couple antagoniste qui, s'opposant au couple moteur dû au courant, définit la position d'équilibre. Mais en outre, les deux spiraux du Monoc servent d'amorces de courant au cadre mobile. Il faut donc veiller à la fois à leurs caractéristiques mécaniques et à leurs caractéristiques électriques. Réalisés en bronze phosphoreux, avec les cotes indiquées figure 11, ces spiraux sont en leur centre sertis sur l'axe de l'équipage mobile (diamètre 0,4 mm),

parfaitement centrés et fixés à leur extrémité libre dans un encastrement extérieur qui constitue à la fois le point fixe définissant la position de zéro mécanique de l'équipage, et en même temps la borne électrique de branchement du cadre mobile. Les spiraux du Monoc présentent les caractéristiques suivantes :

Couple : $0,6 \cdot 10^{-6}$ m.N (soit environ 6 cm.mg) pour 90° de déviation.

Résistance à 20° C égale à $1,3 \Omega$ environ.

Coefficient de température du module d'élasticité : environ $-0,0004$ par degré C.

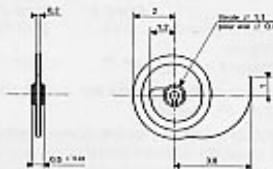


Fig. 11. Détail d'un des spiraux fournissant le couple antagoniste.

A remarquer que le point fixe du spiral supérieur est en réalité ajustable : c'est celui qui peut être légèrement déplacé en faisant tourner la vis située au centre du Monoc, pour amener exactement l'aiguille de l'équipage mobile sur le zéro de l'échelle, au repos.

Enfin, comme l'indique la fig. 12 les deux spiraux du Monoc sont montés en sens inverse l'un de l'autre afin de compenser automatiquement la dissymétrie éventuelle des couples ainsi que pour annuler l'effet de la température sur la position de repos (zéro mécanique).

AMORTISSEMENT DU MONOC

Nous avons vu que l'étude dynamique d'un Galvanomètre à lecture directe comme le Monoc était d'une importance pratique moindre que l'étude statique. Toutefois, il pourrait être gênant d'avoir à attendre plusieurs secondes entre l'instant où l'on applique la grandeur à mesurer et l'instant où la lecture précise d'une déviation permanente permet une mesure valable.

Lorsque le cadre mobile d'un galvanomètre se déplace au sein d'un champ H , que ce soit sous l'action d'un couple moteur de mesure, ou bien sous l'effet du couple de rappel des spiraux lorsque le couple moteur cesse d'être appliqué, le mouvement du cadre se trouve freiné par les courants induits dans le circuit constitué par le cadre et les résistances extérieures. Ce freinage est d'autant plus énergique que la résistance totale du circuit est plus petite ; en effet, à l.e.m. induite égale, l'intensité instantanée varie en raison inverse de la résistance du circuit. Sans détailler les classiques équations du galvanomètre, on peut rappeler que les galvanomètres très sensibles de Laboratoire ne comportent en général ni circuits de compensation, ni circuits d'amortissement. Après avoir été écarté de sa position d'équilibre, leur équipage tend à y revenir selon l'un des trois mouvements suivants :

1°) par des oscillations périodiques dont l'amplitude décroît selon une loi exponentielle : c'est le régime "oscillatoire", celui d'un cadre mobile en circuit ouvert ou fermé sur une résistance de très grande valeur ohmique ;

2°) par un déplacement très lent, qui demande théoriquement un temps infini pour que la position d'équilibre soit atteinte : c'est le régime "apériodique" d'un cadre mobile en court-circuit sur lui-même, c'est-à-dire fermé sur une résistance nulle ;

3) par un mouvement **intermédiaire** entre le régime oscillatoire et le régime périodique, et souvent appelé le régime **critique**. On démontre que, si le cadre mobile est fermé sur un circuit de résistance extérieure convenablement choisie (résistance " critique "), le temps perdu, entre le début du mouvement et l'immobilisation permettant la mesure, est minimal. C'est évidemment dans ce dernier cas que le cadre mobile est utilisé dans les meilleures conditions. Les galvanomètres de laboratoire sont en général construits pour être utilisés dans des circuits tels que le cadre mobile sera fermé sur une résistance voisine de la **résistance critique**.

Par exemple, les galvanomètres à miroir CHAUVIN ARNOUX, (ZEROMÈTRES-Notice 1,7) se font en deux types :

	type I	type II
Résistance du cadre mobile :	6 Ω	250 Ω
Résistance critique du circuit de mesure :	35 Ω	1.500 Ω

Chacun de ces galvanomètres est particulièrement apte à certains domaines de mesures.

Mais il est évident qu'un **contrôleur multiple** doit pouvoir être utilisé dans de bonnes conditions, sur n'importe quel calibre, quelle que soit la valeur ohmique du circuit mesuré. Dans ce but, la meilleure solution consiste à prévoir un circuit d'amortissement intérieur à l'appareil, ce qui évite toute sujétion relative à la résistance du **circuit extérieur**. C'est ce qui est réalisé dans le Monoc, et le schéma général de la page 2 montre qu'une même résistance globale **shunte** le cadre quel que soit le calibre utilisé. Grâce à cette disposition, l'influence de la résistance du circuit mesuré est pratiquement éliminée et l'amortissement réalisé par les circuits internes du Monoc est **sensiblement constant sur tous les calibres**.

L'amortissement du Monoc est réglé par construction, très légèrement inférieur à la valeur **critique**, afin de permettre une lecture rapide tout en conservant à l'équipage mobile une mobilité satisfaisante. Bien que l'on s'efforce d'éviter ainsi un régime oscillatoire, il est commode de considérer un tel amortissement comme s'il s'agissait d'un régime **pseudo-périodique** pouvant être caractérisé par une **période** : Le Monoc a une période de l'ordre de 0,8 seconde, autorisant des mesures valables quasi-instantanées.

On emploie parfois, en pratique, la notion de **Temps d'arrêt** (ou Temps de prise de point), temps nécessaire pour que l'équipage mobile se stabilise, à **moins de 1,5 %** de sa position finale. L'utilisateur peut ainsi juger de la rapidité avec laquelle l'équipage prendra une position permettant la lecture. Dans le cas du Monoc, ce temps est inférieur à 1 seconde.

Une autre notion pratique est le **Facteur balistique** ou **coefficient de dépassement** : c'est le rapport entre la première déviation de l'aiguille et la déviation permanente, lorsque le courant mesuré est appliqué brusquement à l'appareil. Ce facteur balistique, qui caractérise le dépassement, ou **lancée d'aiguille**, doit être le plus faible possible si l'on cherche à obtenir une lecture **rapide**. Dans le Monoc il ne dépasse jamais 1,03, et peut donc être négligé.

● **MANIPULATION.** Ces valeurs peuvent être vérifiées sur le Monoc en le reliant par exemple à une pile de 1,5 V sur son calibre 3 V.

Sans vouloir rentrer dans les applications des théories de l'information aux mesures galvanométriques, on peut rappeler que le seul fait de **mesurer un phénomène** prélève sur lui une certaine énergie. Cette énergie peut se présenter sous la forme d'une puissance relativement importante durant un temps très court : des équipages mobiles **oscillographiques** peuvent effectuer des mesures correctes en une très petite fraction de seconde, au prix d'une consommation instantanée importante. A l'opposé, les galvanomètres les plus sensibles ont des périodes pouvant dépasser 10 secondes. En résumé, période et sensibilité varient dans le même sens — et lorsqu'on souhaite calculer la plus grande sensibilité réalisable, la première valeur numérique à choisir est la **période**.

C'est ainsi qu'est constitué l'élément de mesure du Monoc, dont la figure 12 montre les principaux organes. L'ensemble de cet élément de mesure traduit une intensité par une déviation de son équipage mobile, avec une erreur maximale ne dépassant en aucun cas 1 % de la déviation totale (cf. page 13).

Nous avons décrit ces organes en détail pour situer les principaux problèmes technologiques résolus, et aussi parce que l'élément de mesure du Monoc et son équipage mobile ne peuvent être directement examinés. Cet élément de mesure, et son équipage mobile, sont en effet, dans le cas du Monoc, des ensembles miniatures, montés dans un compartiment fermé, au centre d'un appareil complexe, lui-même miniaturisé. Ils sont donc malaisément observables. CHAUVIN ARNOUX a néanmoins prévu, pour certaines démonstrations scolaires, une présentation séparée de l'élément de mesure **Monoc**, démonté en ses organes essentiels, et **figé** dans un bloc plastique transparent.

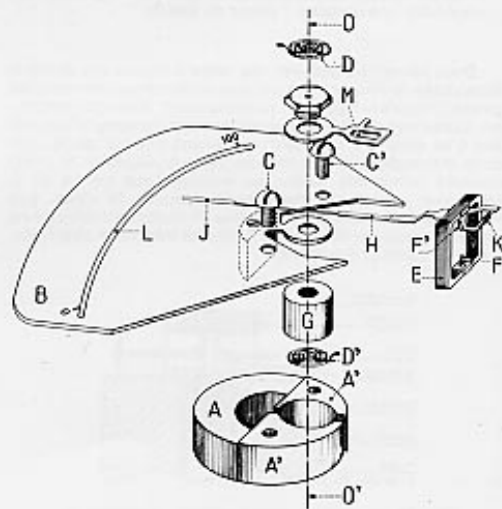


FIG. 12 - ÉLÉMENT DE MESURE DU MONOC

OO' : Axe de rotation. Bien entendu, le cadre mobile E représenté ici à droite entoure le noyau de fer doux G.

A : Aimant permanent (Ticonal).

A' : Pièces polaires en acier doux, obtenues par frittage (sans usinage), et soudées sur l'aimant. Un réglage magnétique de l'ensemble (A + A' + G) permet de réaliser une induction dans l'entrefer égale à 300 millitesla (ou 3000 gauss) environ, et d'obtenir ainsi la **déviatiion totale** pour le courant voulu, soit 36,5 microampères pour un cadre de résistance égale à 2000 ohms.

B : Cadran de lecture.

C, C' : Vis de fixation.

D, D' : Spiraux (cf. page 9).

E : Cadre mobile (cf. page 7).

F, F' : Pivots (cf. page 8).

G : Noyau cylindrique de fer doux (cf. champ radial, page 7) comportant suivant l'axe OO', les crapaudines correspondant aux pivots F et F'.

H : Aiguille solidaire du cadre mobile E.

J : Couteau d'extrémité de l'aiguille.

K : Contrepoids d'équilibrage de l'équipage mobile.

L : Miroir de correction de parallaxe.

M : Raquette de remise à zéro permettant de régler la position de zéro par le spiral supérieur D.

CHAPITRE II

LES CIRCUITS DU MONOC

Nous avons vu l'essentiel de l'élément de mesure et de son équipement mobile, nous allons étudier maintenant les circuits qui, associés à cet équipement, définissent les calibres, les conditions de lecture et les branchements du Monoc.

Ces circuits comportent :

- des résistances à couche de carbone (beaucoup plus stables que les classiques agglomérés) pour les valeurs ohmiques élevées;
- des éléments non linéaires, qui sont d'une part des éléments de protection de l'équipage mobile, d'autre part des redresseurs permettant les mesures en alternatif;
- un transformateur de mesure, des fusibles, etc.

● **MANIPULATION.** En retirant les trois écrous qui maintiennent la face arrière du boîtier du Monoc, ces différents éléments sont bien visibles sur la platine selon la disposition schématisée page 2. Les connexions reliant ces éléments sont réalisées par des circuits imprimés également visibles sur la platine.

Nous étudierons successivement les circuits mis en jeu dans chaque mesure effectuée avec le Monoc. Mais auparavant, il convient de rappeler les principes qui fixent le choix des solutions adoptées dans le Monoc - choix des calibres, des conditions de lecture, des conditions de branchement, etc.

Toute réalisation d'un appareil polyvalent (et par exemple d'un contrôleur multiple) est obligatoirement un compromis entre des exigences contradictoires. Dans une de ses célèbres boutades, HELMHOLTZ disait : Le piano-baignoire est soit un médiocre piano, soit une mauvaise baignoire — Lorsqu'il s'agit de réunir dans un même ensemble compact, robuste, économique, d'emploi simple, une série de nombreux circuits, permettant des mesures dans tous les domaines usuels, il est inévitable que certaines mesures soient favorisées par rapport à d'autres. Le choix de telle solution par le constructeur n'est pas arbitraire : ses ingénieurs sont, comme vous-même, des électro-techniciens, qui, jour après jour, étudient les mêmes problèmes pratiques de mesures et s'efforcent de les résoudre au mieux, en fonction des besoins des utilisateurs les plus divers, dont ils connaissent bien les techniques et les impératifs.

LES CALIBRES DU MONOC

Soit à couvrir le plus grand nombre possible des domaines usuels de mesure avec 18 calibres. Il faut pouvoir mesurer la tension d'une pile sèche (1,5 volts continu) ou bien son débit (depuis quelques microampères jusqu'à quelques centaines de milliampères). Il faut pouvoir mesurer des tensions continues en électronique, jusqu'à plusieurs centaines de volts, avec le minimum de consommation (voir page 18). Il faut mesurer des tensions alternatives, depuis quelques volts jusqu'à des centaines de volts; il faut contrôler des intensités alternatives parfois élevées (jusqu'à 10 ampères); il faut pouvoir mesurer des résistances grandes ou petites... Pour saisir la difficulté du choix indispensable, pouvons-nous vous suggérer de dresser vous-même la liste des 18 calibres qui vous sembleraient souhaitables pour couvrir vos besoins usuels? N'oubliez pas, ce faisant, les impératifs de simplicité de lecture et de branchement indispensables. Vous conclurez que le compromis qui vous est offert dans le Monoc est le meilleur actuellement réalisable. D'autant que des extensions simples (cf. page 31) permettent de multiplier les possibilités de mesure qu'offre le seul Monoc.

CONDITIONS DE LECTURE

Si des normes peuvent détailler complètement les conditions de précision d'un appareil (cf. page 12) il est un domaine très important où elles ne peuvent intervenir : c'est l'erreur humaine, aléatoire, de l'utilisateur qui emploie un excellent instrument, mais apprécie finement la position de l'aiguille sur une échelle de lecture... qui n'est pas la bonne! Cette erreur, très grave, est malheureusement la règle avec la plupart des appareils courants offrant de nombreux calibres de mesure.

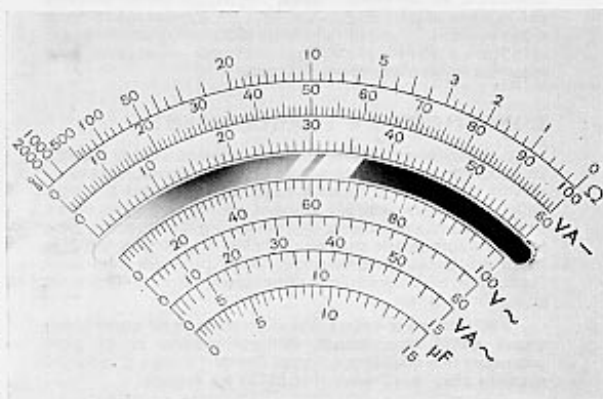


Fig. 13. Exemple d'un cadran trop complexe pour autoriser une lecture rapide et sûre.

La figure 13 reproduit, à titre d'exemple, le cadran d'un contrôleur où se trouvent juxtaposées de nombreuses échelles de lecture. Il est certain qu'avec un tel appareil, même les spécialistes de la mesure électrique commettent des erreurs de lecture, par exemple en lisant une tension alternative sur l'échelle "continu" ou réciproquement. Pour peu que l'aiguille se trouve alors vers le début de la graduation, l'erreur ainsi commise dépasse souvent 20%. Accessoirement, on peut remarquer que la longueur d'échelle utile diminue singulièrement vers le centre d'un tel cadran et que le rôle du miroir de correction de parallaxe devient illusoire lorsque la lecture doit s'effectuer loin de celui-ci.



Fig. 13 bis. Le cadran du MONOC, en vraie grandeur.

Regardez par contre le cadran de votre Monoc reproduit en grandeur réelle fig. 13 bis, ses divisions équidistantes, même au début de l'échelle, ses chiffres clairs et détaillés : il serait réellement difficile d'arriver à se tromper en effectuant

la lecture brute. Quant au coefficient qui doit multiplier celle-ci pour donner la mesure, c'est toujours une puissance de 10 — et donc un simple décalage de la virgule. Le Monoc ne pose jamais à l'utilisateur de ces petits problèmes irritants (et sources d'erreurs!) du type: j'emploie le calibre 7,5 volts; la déviation représente 63/150 de la déviation totale; quelle peut bien être la valeur de tension que je mesure? "

La pratique quotidienne vous permettra d'apprécier l'extraordinaire clarté du cadran de votre Monoc. Vous pourrez consacrer toute votre attention au problème qui vous préoccupe sans risquer des erreurs de lecture importantes et irréparables. N'oublions pas en effet qu'il s'agit ici d'un appareil indicateur à lecture directe: une erreur de lecture ne peut pas être corrigée a posteriori en se référant à un document comme dans le cas des appareils enregistreurs (cf. notice EN 13 enregistreur POLYGRAPHE). Nous retrouverons (page 13) diverses conséquences de ce fait **fondamental**: le Monoc permet toujours des lectures simples et précises. Un dernier point mérite enfin d'être souligné: l'unique échelle de lecture offre une longueur utile égale à 90 mm, fait exceptionnel pour un appareil dont la largeur totale n'atteint pas 100 mm.

CONDITIONS DE BRANCHEMENT

Les contrôleurs multiples usuels présentent, pour la plupart, un grand nombre de douilles et de bornes de liaison, dont telles doivent être reliées au circuit à mesurer, dans chaque cas, pour définir le **calibre utilisé**. Souvent, un, deux, parfois même trois commutateurs doivent être mis en jeu correctement pour permettre une simple mesure. De telles dispositions facilitent beaucoup la tâche du constructeur de l'appareil, mais pour l'utilisateur, elles introduisent des sources d'erreurs fréquentes et très importantes.

Vérifiez vous-même sur n'importe quel contrôleur usuel qu'un branchement volontairement erroné peut provoquer une déviation qui peut donner l'illusion d'une vraie mesure alors que l'erreur numérique est énorme.

L'élément psychologique est ici essentiel: je veux mesurer une intensité continue; l'aiguille dévie; j'apprécie la déviation sur l'échelle "intensité continue" — sans me rendre compte que le branchement réalisé met en jeu le circuit "ohms" précédemment utilisé... et ma "mesure" n'a **aucun rapport** avec la réalité!



Fig. 14. La platine du MONOC, vue avant. On reconnaît, en bas, le commutateur, et à droite, les contacts "Continu-Alternatif".

Le Monoc interdit toutes ces erreurs: il n'offre qu'une seule commande d'un unique commutateur à 18 positions (figure 14). Une seule manœuvre, d'un doigt, définit sans aucune ambiguïté à la fois le type de mesure: volts ou ampères, continu ou alternatif, ohms, et en même temps le calibre choisi. Réciproquement, telle déviation lue sur l'échelle 0 à 100, par exemple 72, s'interprète immédiatement: si la commande du commutateur est sur 1.000 volts continus, il s'agit de 720 volts; si la commande du commutateur est sur "1 ampère alternatif", il s'agit de 720 milliampères alternatif, etc.

Cette extraordinaire simplicité d'emploi du Monoc est due principalement à deux facteurs: l'unique échelle de lecture, valable pour tous les calibres, aussi bien en continu qu'en alternatif; et l'unique commutateur dont la position réalise seule les branchements internes nécessaires, qui seront détaillés plus loin.

Un dernier avantage du Monoc vient compléter cette simplicité: votre Monoc comporte deux cordons qui font corps avec l'appareil et permettent instantanément d'insérer l'appareil dans le circuit à mesurer. L'un de ces cordons est rouge, l'autre noir, afin d'indiquer sans confusion possible la polarité éventuelle (voir le schéma général page 2). Cette disposition élimine définitivement cette "chasse-au-dernier-fil-indispensable" pour terminer le montage, classique dans tous les Laboratoires! Mais, surtout, cette disposition élimine les erreurs souvent dues à des conducteurs occasionnels, qui, avec une section insuffisante et des contacts imparfaits sont encore des sources d'erreurs supplémentaires dans l'emploi des contrôleurs usuels.

C'est ainsi que la précision des mesures effectuées avec le Monoc prend tout son sens, et nous allons la détailler maintenant. Toutes les normes relatives à la classe de précision d'un instrument de mesure supposent implicitement qu'aucune erreur de branchement et qu'aucune erreur de lecture ne sont commises. Tel est bien le cas dans l'emploi du Monoc en raison de ses dispositions particulières.

CLASSE DE PRÉCISION

D'après la norme Française NF C 42-100 relative aux appareils de mesures électriques et à leurs accessoires, la précision d'un instrument est définie comme suit:

"En tout point de l'étendue de mesure, l'erreur sur les indications d'un appareil ne doit pas dépasser en valeur absolue le nombre qui définit la classe de précision de l'appareil, la limite ainsi fixée étant exprimée en pourcents du maximum".

Cette règle, à laquelle se réfèrent tous les appareils de mesures électriques, mérite d'être explicitée par quelques exemples.

Ainsi, un appareil de mesure de classe 1 utilisé sur son calibre 100 volts, donne une indication X comprise entre 0 et 100 volts. La valeur X peut être entachée d'une erreur au maximum égale à $\pm 1\%$ de 100 volts, c'est-à-dire ± 1 volts. Si la tension mesurée X est voisine de 100 volts, la déviation de l'aiguille est quasi-totale; la lecture directe étant, par exemple, X = 98 la mesure doit s'entendre comme suit:

$$97 \text{ volts} \leq x \leq 99 \text{ volts.}$$

L'erreur absolue est donc inférieure ou égale à ± 1 volt; l'erreur relative, la plus intéressante en pratique, est dans ce cas, inférieure ou égale à $\pm 1\%$ environ.

Si, dans les mêmes conditions, la tension X mesurée est de l'ordre de 20 volts, la lecture directe étant par exemple X = 21 volts; la mesure doit s'entendre comme suit:

$$20 \text{ volts} \leq x \leq 22 \text{ volts.}$$

L'erreur absolue reste inférieure ou égale à ± 1 volt; mais l'erreur relative peut atteindre ici 5%. Il faut retenir que, dans tous les appareils, la classe de précision fixe en réalité les limites d'une erreur absolue. Or, l'erreur relative est en pratique beaucoup plus intéressante que l'erreur absolue, mais, comme on vient de le voir, ses limites varient avec la valeur mesurée, pour un calibre donné. Le fait physique est regrettable, mais malheureusement inévitable.

Une conclusion pratique en découle : **La meilleure mesure s'obtient avec le calibre immédiatement supérieur à la valeur mesurée.**

Soit par exemple une tension continue de valeur V , dont la mesure donne 250 volts. En volts continus, le Monoc est de classe 1,5; c'est-à-dire que sur le calibre 300 volts continus une quelconque lecture doit s'entendre à $\pm 1,5\%$ de 300 volts. La lecture "250" doit être interprétée comme 250 volts $\pm 4,5$ volts. Imaginons maintenant que la mesure de la même tension V s'effectue sur le calibre 1000 volts continus. La classe de précision étant toujours 1,5, l'erreur absolue peut atteindre ± 15 volts. Dans le premier cas, la mesure était $245,5 \leq V \leq 254,5$ volts alors que dans le second cas la mesure de la même tension doit s'exprimer, en toute rigueur, par $235 \leq V \leq 265$ volts.

Ces considérations prennent toute leur importance dans le Monoc, précisément parce que cet appareil interdit en pratique les grossières erreurs de lecture. Il est évident que dans les contrôleurs usuels, une simple confusion entre deux échelles de lecture juxtaposées peut introduire une erreur énorme, dépassant de beaucoup les limites définies par la classe de précision.

GRANDEURS D'INFLUENCE

Les limites d'erreur fixées par la classe de précision s'entendent dans les conditions normales d'emploi; c'est-à-dire :

- pour la température ambiante nominale (ou en l'absence d'indications, pour 20° C);
- pour la position normale de l'appareil (axe de l'équipage mobile vertical dans le cas du Monoc — Voir page 9);
- en l'absence de champs perturbateurs extérieurs notables, en particulier de champs magnétiques (autres que le champ terrestre);
- dans les mesures de valeurs efficaces en courant alternatif, pour des courants (et des tensions) de forme pratiquement sinusoïdale et de fréquence nominale donnée, etc.

Tous ces facteurs extérieurs sont, en effet, susceptibles de modifier plus ou moins le résultat de mesure.

La solution idéale est celle que s'efforcent de réaliser les laboratoires de métrologie : les locaux sont climatisés; les appareils sont correctement positionnés, et éloignés d'éventuels champs perturbateurs; les formes des courants alternatifs et leurs fréquences sont contrôlées, etc.

Mais il est des cas où des mesures indispensables pour l'Industrie doivent être effectuées dans des conditions extérieures peu favorables. C'est alors qu'il faut pouvoir interpréter les mesures en tenant compte des perturbations éventuellement introduites par tel paramètre extérieur à la mesure, mais qui ne pouvait être éliminé. Pratiquement, les deux grandeurs d'influence les plus importantes dans le domaine des mesures électriques sont :

- la température dans tous les cas,
- la fréquence dans les mesures en courant alternatif.

Dans le Monoc, grâce aux circuits de compensation qui accompagnent l'équipage mobile, des résultats exceptionnels sont obtenus dans ces deux domaines. Le tableau (ci-après) résume les performances de précision du Monoc utilisé sur ses différents calibres.

On résume parfois un tel tableau en écrivant que la précision du Monoc est 1,5 % en courant continu et 2,5 % en alternatif.

Pourquoi cette différence? Parce qu'en Physique on n'a pas le droit de supposer que des erreurs d'origines différentes se compensent même partiellement; on suppose, au contraire, que toutes les causes d'erreurs interviennent pour fausser la mesure dans le même sens.

En courant continu, l'équipage mobile du Monoc est associé directement à des circuits de mesure simples, résistances et shunts (cf. pages 17 à 22). Les valeurs ohmiques de ces résistances peuvent, industriellement, être définies avec une excellente précision. En alternatif, c'est l'ensemble équipage mobile + résistances qui est associé à des éléments redresseurs (cf. page 26) et ceux-ci introduisent nécessairement, eux-mêmes, une approximation supplémentaire.

Il convient de souligner l'intérêt des excellentes compensations réalisées dans le Monoc. Par exemple, les mesures des valeurs efficaces de tensions ou d'intensités alternatives s'effectuent assez correctement sur beaucoup de contrôleurs usuels lorsque la fréquence est celle du réseau industriel (50 Hz c'est-à-dire 50 cycles par seconde); mais leurs performances s'effondrent rapidement si la fréquence est notablement plus élevée. Au contraire, le Monoc peut réaliser de bonnes mesures jusqu'à plusieurs dizaines de milliers de Hz, comme on le voit sur le tableau suivant. C'est dire qu'il est utilisable dans tout le domaine **Basse Fréquence**.

DOMAINE	CALIBRE	CLASSE DE PRÉCISION	INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE POUR ÉCART 10° C	INFLUENCE DE LA FRÉQUENCE (Limite Maxi)
Tensions continues	3 V 30 V 300 V 1000 V	1,5	Inférieure à 0,5 % par 10° C	
Intensités continues	0,1 mA 1 mA 10 mA 0,1 A 1 A	1,5	— 0,9 % par 10° C — 0,9 % par 10° C — 0,6 % par 10° C — 0,6 % par 10° C — 0,6 % par 10° C	
Tensions alternatives	10 V 100 V 300 V 1000 V	2,5	— 1,2 % par 10° C — 0,7 % par 10° C — 0,7 % par 10° C — 0,7 % par 10° C	— 3 % à 10 kHz — 1 % à 50 kHz + 1 % à 50 kHz + 1 % à 20 kHz
Intensités alternatives	0,1 A 1 A 10 A	2,5	— 1 % par 10° C — 1 % par 10° C — 1 % par 10° C	— 2 % à 50 kHz — 2 % à 50 kHz — 2 % à 50 kHz

De même, vis-à-vis des variations de température, les circuits de compensation du Monoc sont très efficaces. L'influence de la température ambiante est en effet inférieure à 1 % par 10° C sur tous les calibres lorsque la température ambiante varie entre - 10° C et + 50° C.

● **MANIPULATION.** Une manipulation simple permet de fixer les ordres de grandeur : il suffit de placer votre Monoc durant une nuit dans un réfrigérateur réglé à + 10° C, puis de le laisser revenir ensuite à la température ambiante (ce qui demande plusieurs heures). On observe alors, deux ou trois fois par heure, la déviation que provoque par exemple une pile usuelle " 1,5 volts " maintenue à la température du laboratoire et appliquée au calibre " 3 V = ". On constate que, lors de cette variation thermique importante, l'erreur supplémentaire introduite ne dépasse pas 1 %.

Nous ne pouvons entrer ici dans tous les détails technologiques qui permettent l'obtention de tels résultats : il faut en effet tenir compte des coefficients de température de chacun des éléments constitutifs, y compris les spiraux. Rappelons seulement qu'un microampèremètre non shunté, parcouru par un courant constant, accuse une déviation indépendante de la résistance du cadre mobile, tandis que le même appareil soumis à une différence de potentiel constante, retarde en général lorsque la température augmente, car la résistance du cadre augmente de 4 % par 10° C et l'intensité diminue en proportion.

LES PROTECTIONS DU MONOC

Lorsqu'on construit un appareil de mesure destiné à une utilisation unique, bien définie, on peut souvent faire abstraction du problème des surcharges éventuelles. Soit par exemple un voltmètre de tableau, qui mesurera en permanence la valeur efficace de la tension du réseau 120 volts. En prévoyant pour cet appareil le calibre 150 volts, il y a bien peu de chances pour que l'appareil soit soumis souvent et longtemps à des tensions dépassant la valeur du calibre. Au contraire, dans un contrôleur multiple comme le Monoc, des surcharges sont à craindre : il suffit que l'utilisateur commette une erreur de branchement pour que la tension du réseau industriel soit appliquée à un calibre de mesure tel que 10 volts alternatif ou même 0,1 mA continu.

Supposons qu'aucune protection automatique ne soit prévue. Lorsqu'on applique 120 volts aux bornes du Monoc dont le commutateur a été " oublié " sur la position 0,1 mA, la surcharge théorique correspond à 600 fois la valeur de l'intensité qui suffirait à provoquer la déviation totale de l'équipage mobile. Il est évident qu'aucun équipage ne peut supporter une surcharge de cet ordre : cela revient en effet à peser un homme sur une balance analytique de laboratoire dont la portée est strictement limitée à 100 g...

Théoriquement, de multiples solutions sont utilisables pour protéger automatiquement un appareil de mesure à calibres multiples. Bien entendu, chaque solution présente ses avantages particuliers — et ses inconvénients propres. — On peut citer :

- les fusibles, qui, en se volatilisant dès que l'intensité qui les parcourt dépasse une valeur choisie, interrompent le circuit;
- les résistances " non-linéaires ", que nous retrouvons à propos des redresseurs (page 24) et qui peuvent jouer le rôle d'un court-circuit protégeant un élément particulier lorsqu'elles sont montées en parallèle avec lui;
- des éléments électro-magnétiques de protection, qui peuvent être, soit des relais sensibles, soit des transformateurs saturables limitant l'intensité.

Ces éléments particuliers sont tous utiles, et nous allons voir comment ils sont associés pour protéger automatiquement le Monoc. Mais pour compléter l'énumération précédente, il faut ajouter deux remarques :

- L'une concerne le constructeur : celui-ci prévoit un **surdimensionnement général de toutes les pièces, dans la mesure où ceci ne réduit pas les performances de l'appareil**;
- L'autre concerne l'utilisateur : un **minimum d'attention est toujours nécessaire. Quels que soient les systèmes de protection automatique réunis, aucun instrument de prix abordable ne peut prétendre à l'invulnérabilité totale. Le Monoc a été étudié et réalisé pour pouvoir supporter momentanément les fausses manœuvres courantes et en particulier l'application du réseau usuel 120 volts sur n'importe quel calibre. Mais lorsque la surcharge est énorme, elle ne doit pas être prolongée. Ayez soin de couper immédiatement le courant lorsque l'aiguille subit une brutale " lancée " et vient buter au-delà de la déviation totale, ou bien lorsque l'aiguille accuse une violente vibration.**

Le Monoc est automatiquement protégé contre les surcharges par l'association de différents facteurs selon les éléments et les calibres les plus exposés.

1. PROTECTION DE L'ÉQUIPAGE MOBILE

L'équipage mobile du Monoc comporte un cadre dont la résistance est égale à 2000 ohms environ et qui dévie totalement lorsqu'il est parcouru par 36,5 microampères. La loi d'Ohm permet d'écrire que la déviation totale est obtenue lorsqu'une différence de potentiel égale à 0,073 volts est appliquée au cadre mobile; il va de soi qu'une d.d.p. plus grande provoque le passage d'une intensité plus grande qui surcharge l'équipage mobile. Pour limiter cette surcharge, le schéma général de la page 2 montre qu'en parallèle avec l'équipage mobile G, deux éléments non linéaires CR3-CR4 (redresseurs ou diodes) sont disposés avec leurs polarités respectives croisées. Considérons pour l'instant le montage de la figure 15 où un seul redresseur CR est monté en parallèle sur le cadre mobile G.

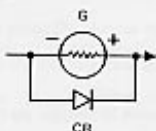


Fig. 15. Protection d'un équipage mobile contre les surcharges unidirectionnelles.

Ce redresseur a, par exemple les caractéristiques suivantes :

Tension	Intensité	Résistance correspondante
250 mV	0,1 μ A	2,5 M Ω
400 mV	1 μ A	0,4 M Ω
510 mV	10 μ A	50 k Ω
660 mV	100 μ A	6,6 k Ω
800 mV	1 mA	800 Ω
980 mV	10 mA	100 Ω

C'est dire qu'une d.d.p. de l'ordre de 73 millivolts, appliquée aux bornes de l'ensemble **équipage mobile et redresseur** provoque l'apparition dans l'équipage mobile de l'intensité nécessaire pour observer la déviation totale (36,5 microampères) tandis que dans le redresseur, l'intensité reste très inférieure à 0,1 microampères et est donc négligeable. Tout se passe, en somme, comme si le redresseur CR n'existait pas, tant que la d.d.p. aux bornes de l'équipage mobile est inférieure ou égale à la d.d.p. maximale en régime normal.

Mais imaginons qu'une surcharge considérable en intensité passe dans le circuit de la figure 15, par exemple 10 milliampères soit 300 fois environ, l'intensité nécessaire pour obtenir la déviation totale de l'équipage mobile seul. Un calcul simple montre qu'alors la plus grande partie du courant passe par le redresseur CR, car sa résistance est tombée à une valeur très faible, de l'ordre d'une centaine d'ohms. Quant à l'intensité

qui passe réellement dans l'équipage mobile, elle est de l'ordre de 0,5 mA; elle constitue certes une surcharge importante (13 fois l'intensité nominale, égale à 36,5 μ A) mais elle est encore supportable, étant donné la robustesse de l'équipage mobile.

La présence du redresseur CR en parallèle avec l'équipage mobile :

- ne modifie pas la mesure normale
- réduit de 300 fois à 13 fois une forte surcharge en intensité.

Ceci, bien entendu, dans le cas où la polarité du courant est telle que le redresseur CR laisse passer le courant. Si la polarité est croisée, le redresseur CR ne peut jouer aucun rôle de protection de l'équipage mobile. D'où la présence, dans le Monoc de deux diodes (redresseurs) CR3-CR4 montées toutes les deux en parallèle sur l'équipage mobile, avec leurs sens direct croisés comme sur la figure 16 et sur le schéma général. Ces deux diodes sont de caractéristiques identiques. Quelle que soit la polarité d'une surintensité continue, l'une de ces diodes dérivera sur elle-même la plus grande part de la surintensité. Et dans le cas éventuel d'une surintensité alternative, c'est alternativement la diode CR3 et la diode CR4 qui dériveront la plus grande part de la surcharge. Il s'agit là d'une protection statique, indéréglable, qui protège efficacement l'équipage mobile sans altérer aucunement ses performances et en particulier sa sensibilité.

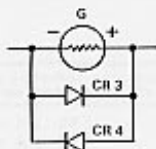


Fig. 16. Protection de l'équipage MONOC contre les surcharges bidirectionnelles.

Cette protection intervient instantanément, ce que ne permet aucun système thermique ou électro magnétique. Elle protège aussi bien l'équipage mobile lui-même que les éléments qui lui sont directement associés, les redresseurs de mesure CR1-CR2 (cf. page 2) en limitant la tension à leurs bornes dans toutes les surcharges, et automatiquement. Et cette protection intervient même pour des intensités relativement petites, qui ne pourraient faire fondre un fusible. En effet, d'après la loi de Joule : W (joules) = RI^2t . L'échauffement est fonction du carré de l'intensité mais les fils fusibles actuellement connus ne peuvent intervenir efficacement que pour des intensités au moins égales à une fraction notable de l'ampère comme on le verra plus loin. En outre, le fonctionnement d'un fusible n'est pas suffisamment rapide pour protéger efficacement des éléments à semi conducteurs tels que les redresseurs CR1-CR2.

2. PROTECTION DES AUTRES ÉLÉMENTS

Pour être d'un format commode, le Monoc est miniaturisé. Ceci conduit à l'emploi d'un équipage mobile de petites dimensions, et à des circuits de mesure dont chaque élément doit être peu encombrant. Or, les résistances de chaque circuit doivent être calculées, non seulement d'après leur valeur ohmique, mais aussi d'après la puissance à dissiper.

Que l'on nous permette ici une parenthèse. Dans beaucoup de problèmes, la valeur ohmique d'une résistance semble le seul élément à considérer. Mais en réalité, une résistance se définit par 2 grandeurs : sa valeur ohmique et la puissance qu'elle peut dissiper sans être détruite et sans varier exagérément. Cette dernière grandeur peut être, selon les cas, caractérisée par :

a) l'intensité maximale admissible : Par exemple les boîtes de résistances étalons CHAUVIN ARNOUX acceptent :

500 mA pour la boîte	10 Ω
150 mA	100 Ω
50 mA	1.000 Ω
15 mA	10.000 Ω
5 mA	100.000 Ω
1,5 mA	1 M Ω

b) la tension applicable aux bornes des résistances considérées, qui peut varier, dans l'exemple précédent, de 5 volts à 1500 volts.

c) La puissance maximale pouvant être dissipée, en watts. Ceci peut se résumer dans le tableau suivant, relatif aux boîtes de résistances étalons CHAUVIN ARNOUX :

Valeur ohmique	Intensité maximale	Tension maximale	Puissance dissipable
10 Ω	0,5 A	5 volts	2,5 watts
100 Ω	0,15 A	15 volts	2,25 watts
1.000 Ω	0,05 A	50 volts	2,5 watts
10.000 Ω	0,015 A	150 volts	2,25 watts
100.000 Ω	0,005 A	500 volts	2,5 watts
1 M Ω	0,0015 A	1500 volts	2,25 watts

Ce tableau montre bien que, pour ces boîtes de résistances d'encombrements identiques, la seule constante est la puissance dissipable exprimée en watts, quelle que soit la valeur ohmique.

Bien entendu, la puissance que peut dissiper une résistance est d'autant plus grande que la résistance est elle-même plus largement dimensionnée.

Pour des raisons évidentes d'encombrement, les résistances du Monoc sont pour la plupart du type 1/2 watt; certaines, toutefois, sont du type 1 watt ou même 2 watts. C'est un excellent exercice que de reconstituer, sur le schéma général page 2, les raisons qui ont conduit à utiliser telle valeur ohmique en 1/2 watt, et telle autre valeur en 2 watts. Il est utile également de regarder la taille des résistances bien visibles du Monoc en retirant le boîtier arrière : la résistance R 17 du schéma, de valeur ohmique égale de 630 k Ω , est beaucoup plus grosse que les autres résistances et par exemple que R 16.

On vérifie aisément que la puissance maximale dissipée dans R 16 est $P = \frac{E^2}{R} = \frac{(200)^2}{180 \times 10^3} = 0,22$ watts.

Étant du type "1 watt", la résistance R 16 ne risque donc pas d'échauffement notable.

Pour R 17, on aurait : $P = \frac{E^2}{R} = \frac{(700)^2}{630 \times 10^3} = 0,78$ watts.

Une résistance du type "1 watt" semblerait suffisante, mais elle chaufferait et lors d'une utilisation prolongée du calibre correspondant, le coefficient de température de R 17 modifierait sa valeur ohmique et fausserait la mesure. C'est pourquoi R 17 est du type "2 watts".

Ainsi, les circuits résistants du Monoc doivent eux aussi être protégés contre les surintensités. Ce résultat est obtenu par :

A) Un surdimensionnement des éléments les plus exposés. Par exemple la résistance R 10 du schéma général est du type 1/2 watt. Elle correspond au circuit de mesure 3 volts continu, et sur ce circuit la déviation totale de l'équipage mobile correspond normalement à une dissipation de l'ordre de 150 microwatts dans cette résistance : on voit que la marge de sécurité est considérable entre $150 \cdot 10^{-6}$ et $500 \cdot 10^{-3}$ watts.

B) Pour les circuits de mesures d'intensités continues, deux fusibles F 1 et F 2, interviennent dans les surcharges importantes (cf. schéma général page 2). Le fusible F2 fond à 0,7 A environ, c'est-à-dire pour une surcharge de l'ordre de 70 fois l'intensité normale de la mesure sur le calibre "10 mA". Le fusible F 1 fond à 3 A environ, c'est-à-dire

pour une surcharge de l'ordre de 30 fois l'intensité normale sur le calibre **0,1 A**, ou bien une surcharge de l'ordre de 3 fois l'intensité normale sur le calibre **1 A**.

C) Pour les circuits de mesure de résistances, un fusible F 3 identique au fusible F 2 protège le Monoc dans le cas — il faut tout prévoir! — où par exemple le réseau alternatif usuel 120 volts serait appliqué au calibre de mesure directe de valeurs ohmiques " $\Omega \times 1$ ", calibre qui est le plus exposé.

Bien entendu, les fusibles F 1, F 2, et F 3 sont aisément rechargeables par l'utilisateur lui-même, les fils calibrés de rechange correspondants étant en réserve dans le boîtier comme il est indiqué dans le Mode d'emploi du Monoc.

D) Reste enfin le cas des mesures d'intensités alternatives. Celles-ci sont mesurées, comme nous le verrons (page 27) à partir d'un transformateur de mesure incorporé dans le Monoc. Ce transformateur, en cas de surcharge, joue le rôle d'une inductance à fer saturable et ne délivre au second

aire qu'une surcharge raisonnable pour l'équipage mobile.

Il faut toutefois signaler que, dans le cas où la tension du réseau 120 V serait directement appliquée au Monoc sur le calibre "10 A", il s'agirait d'un court-circuit pratiquement franc de l'installation mesurée elle-même. Les fusibles du Monoc ne pouvant ici intervenir, ce sont les fusibles (ou le disjoncteur) de l'installation qui protégeraient l'unique spire correspondante du primaire du transformateur, le galvanomètre du Monoc et ses autres circuits restant protégés comme on l'a déjà vu (cf. page 14).

En fixant les ordres de grandeur par rapport à l'intensité maximale en régime normal I_n ou à la tension maximale U_n , le tableau ci-dessous résume les différents facteurs de protection automatique du Monoc contre les surcharges accidentelles, sans tenir compte de la protection statique du cadre mobile étudiée page 14 qui, bien entendu, complète la protection.

Calibre	Protection	Surcharge théorique résultant d'un branchement direct sur le réseau 120 V
0,1 mA = 1 mA = 10 mA = 0,1 A = 1 A =	Surdimensionné : Tient 1 seconde sous 220 V Surdimensionné : Tient 1 seconde sous 220 V Fusible F 2, fond à 70 In Fusible F 1, fond à 30 In Fusible F 1, fond à 3 In	60 mA soit 600 In 400 mA soit 400 In 3,7 A soit 370 In 38 A soit 380 In 270 A soit 270 In
3 V = 30 V = 300 V = 1000 V =	Surdimensionné ; tient 1 seconde sous 220 V Surdimensionné ; tient plusieurs secondes sous 220 V Calibre non exposé en pratique à des surcharges importantes Calibre non exposé en pratique à des surcharges importantes	120 V soit 40 Un 120 V soit 4 Un
0,1 A \approx 1 A \approx 10 A \approx	Saturation du transformateur + fusible F 1 (30 In) Saturation du transformateur + fusible F 1 (3 In) Considéré comme non exposé car protégé par fusibles généraux	24 A soit 240 In 480 A soit 480 In
10 V \approx 100 V \approx 300 V \approx 1000 V \approx	Surdimensionné : Tient 1 seconde sous 220 V Surdimensionné : Tient plusieurs secondes sous 220 V Calibre non exposé en pratique à des surcharges importantes Calibre non exposé en pratique à des surcharges importantes	120 V soit 12 Un 120 V soit 1,2 Un
$\Omega \times 100$ $\Omega \times 1$	Surdimensionné - Tient 1 seconde sous 220 V Fusible F 3, fond à 0,7 A	4,6 mA soit 90 In 460 mA soit 90 In

MESURES DES TENSIONS CONTINUES

Le Monoc offre les calibres directs suivants pour la mesure des forces électromotrices ou des différences de potentiel continues : 3 volts, 30 volts, 300 volts et 1.000 volts. Ces calibres sont complétés comme nous le verrons page 30 et page 32.

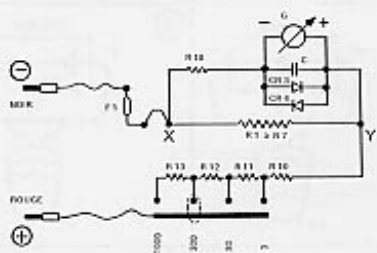


Fig. 17. Les circuits de mesure des tensions continues, extraits du schéma général.

Le circuit de mesure des tensions continues est représenté figure 17 en reprenant la même disposition que dans le schéma général de la page 2 ; pour plus de clarté, on a représenté les mêmes éléments de façon plus schématisée figure 17 bis. Dans ces deux figures, on retrouve l'équipage mobile G (2000Ω) monté en série avec la résistance R 18 (312 Ω) ; cet ensemble est disposé en parallèle sur la chaîne des résistances R 1 à R 7 qui totalise 6240 ohms. La déviation totale de l'équipage mobile s'obtient lorsqu'une intensité égale à 50 microampères traverse l'ensemble de ce circuit ; l'équipage mobile est fermé en permanence sur l'ensemble des résistances R 18 + (R 1 à R 7), et convenablement amorti de ce fait.

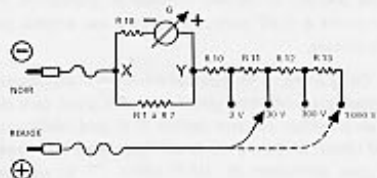


Fig. 17 bis. Les circuits de mesure des tensions continues, sous forme simplifiée.

La résistance équivalente que présente alors l'équipage mobile et ces résistances correspond au montage en **parallèle** de deux éléments :

- le cadre mobile + la résistance R 18, soit 2312 Ω
- la chaîne R 1 à R 7, soit 6240 Ω.

Selon la formule classique donnant la résistance équivalente R au montage en parallèle de deux résistances r_1 et r_2 ,

$$\text{on a : } \frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}$$

d'où l'on tire

$$R = \frac{r_1 \times r_2}{r_1 + r_2}$$

(se souvenir de la formule simplifiée **le produit sur la somme**.) Ici, la résistance équivalente a pour valeur 1680 Ω. C'est lorsque une intensité de 50 μA traverse cet ensemble que la déviation totale du Monoc est atteinte : on peut calculer qu'en effet le courant qui traverse le cadre mobile est alors égal à 36,5 μA.

Sur le calibre **3 volts** par exemple, l'ensemble précédent est connecté en série avec la résistance R 10 dont la valeur ohmique est égale à 58.500 ohms. La résistance totale du circuit vaut alors 60.180 ohms, pratiquement égale à 60.000 ohms. Dans ce circuit, une intensité égale à 50 microampères correspond bien à une chute de tension égale à 3 volts. Inversement, lorsqu'une différence de potentiel égale à 3 volts est appliquée aux bornes de ce circuit, une intensité de 50 μA circule dans R 10, se divise en 13,5 μA dans R 1 - R 7 et 36,5 μA dans l'équipage mobile provoquant la déviation totale du Monoc. Comme toutes les relations utilisées sont **linéaires**, une d.d.p. égale par exemple aux 2/3 de 3 volts c'est-à-dire à 2 volts, fait apparaître une intensité égale aux 2/3 de 50 microampères : la déviation du Monoc est égale aux 2/3 de la déviation totale. La lecture de la position d'équilibre atteinte s'effectue ici de préférence sur la graduation **0 à 30** où l'aiguille indique la chiffraison **20**, correspondant bien à 2 volts.

Les circuits des autres calibres de mesure **tensions continues** découlent des mêmes principes. Lorsque le Monoc est utilisé sur son calibre **30 volts continu**, le même circuit que pour le calibre précédent **3 V** est utilisé, en série avec la résistance R 11 dont la valeur ohmique est égale à 540.000 Ω. La résistance du Monoc sur le calibre "**30 V**" est ainsi égale à 600.000 Ω ou 0,6 MΩ. L'application à ce circuit d'une d.d.p. égale à 30 volts fait apparaître une intensité égale à 50 μA qui provoque comme précédemment la déviation totale.

De même, sur le calibre **300 V** — la résistance précédente offerte par le Monoc est complétée par la résistance R 12 dont la valeur est 5,4 MΩ ; la somme des résistances vaut alors 6 MΩ, et l'application d'une d.d.p. égale à 300 volts provoque encore la déviation totale.

Enfin, sur le calibre **1000 V** —, le circuit précédent est complété par la résistance R 13 dont la valeur est 14 MΩ. La somme des résistances vaut alors 20 MΩ ; l'application d'une d.d.p. égale à 1000 volts provoque bien la déviation totale.

On voit qu'il s'agit là de l'application la plus simple de la loi d'Ohm, que l'on retrouve d'ailleurs toujours. Mais différentes remarques importantes peuvent être faites.

CONSOMMATION DU MONOC EN VOLTMÈTRE CONTINU

C'est une règle absolue qu'une mesure de f.e.m. (ou de d.d.p. ; ou de tension) s'effectue en disposant l'appareil de mesure **en parallèle** avec l'élément de circuit intéressant : un voltmètre est monté en parallèle avec la source dont on veut connaître la tension aux bornes ; il est monté en parallèle avec la résistance dont on veut connaître la chute de tension qu'elle provoque etc.

Or, quel que soit le calibre utilisé du Monoc, nous avons vu que la déviation totale s'obtient, dans les mesures de tensions continues, lorsque le Monoc est parcouru par une intensité égale à 50 microampères. Il s'agit là d'une performance remarquable qui permet d'utiliser le Monoc pour mesurer valablement des tensions sur des sources **dont la résistance interne est importante**.

Imaginons en effet le cas suivant, très fréquent dans la pratique des mesures : on souhaite connaître la valeur d'une tension continue dans un montage électronique. Cette tension existe entre deux points d'une chaîne de résistances de valeurs ohmiques élevées. Lorsque l'appareil de mesure est relié à cette chaîne de résistance, il joue le rôle d'un shunt pour celle-ci. Si la résistance de l'appareil de mesure est **relativement petite**, ce shunt modifie **considérablement** la répartition des potentiels dans la chaîne de résistances mesurée, faussant ainsi la mesure. Le seul remède possible est d'effectuer la mesure **en modifiant le moins possible** le circuit mesuré, c'est-à-dire en lui demandant le minimum de courant afin de ne pas perturber sensiblement la répartition normale des potentiels. Pour obtenir ce résultat, il est indispensable que l'appareil de mesure soit **très résistant** c'est-à-dire qu'il ait une très faible consommation.

Cette conclusion est si importante en pratique que l'on juge souvent de la qualité d'un voltmètre continu en appréciant l'intensité nécessaire pour provoquer la déviation totale sur n'importe quel calibre. Il est d'usage (peut-être discutable) de chiffrer cette intensité en **ohms par volt**. Un voltmètre banal est souvent du type **1000 ohms par volt**. Ceci implique que sa déviation totale exige 1 milliampère, et un tel appareil ne peut permettre aucune mesure valable dans les circuits électroniques à courants faibles par exemple. Des appareils de meilleur qualité sont du type **10.000 ohms par volt** ; ceci implique que la déviation totale s'observe lorsque l'intensité qui les traverse atteint 100 microampères seulement. Le Monoc est un appareil **20.000 ohms par volt** permettant de bonnes mesures des tensions continues grâce à sa très faible consommation (50 μ A), elle-même due à la grande sensibilité de son équipement mobile.

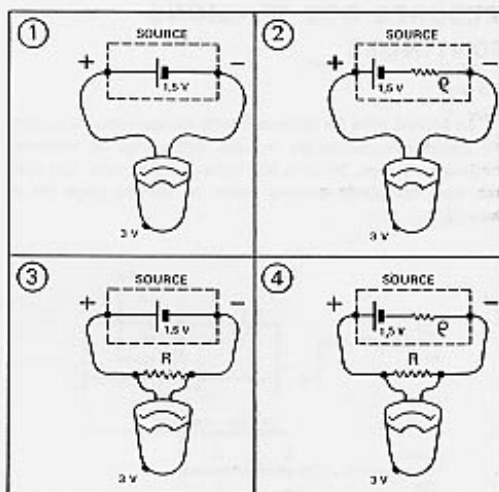


Fig. 18. Influence de la résistance interne d'un voltmètre. En 1 et 2 : voltmètre à forte résistance interne. En 3 et 4 : voltmètre à faible résistance interne.

● **MANIPULATION.** Une manipulation très simple permet de souligner l'importance de cette notion. La figure 18 montre : en 1) une pile 1,5 volts mesurée par le Monoc sur son calibre 3 V = ; on observe la moitié de la déviation totale soit la chiffraison 15 qui correspond bien à 1,5 volts. En 2), la pile est montée en série avec une résistance e égale à 1000 ohms, synthétisant une source ayant une résistance interne élevée ; le Monoc indique la chiffraison 14,8 qui correspond à 1,48 volts ; la mesure est encore pratiquement valable.

En 3) et 4), le Monoc est transformé momentanément en médiocre voltmètre usuel : il suffit pour cela de disposer, en parallèle sur son calibre 3 V, une résistance R de 1000 ohms ; la résistance de cet "appareil de mesure" est très peu différente de 1000 ohms (R en parallèle avec 60 k Ω) mais il s'agit, toujours sur le calibre 3 V, d'un **voltmètre continu 333 Ω /volt**. En 3), la mesure de la pile 1,5 volt seule donne une mesure correcte si cette pile a une résistance interne négligeable. Mais en 4) la pile est montée en série avec la résistance e comme dans l'essai 2). Et l'on constate que la mesure donne ici la lecture 7 qui s'interpréterait comme 0,7 volts.

Ainsi, l'emploi d'un appareil peu résistant dans les mesures de tensions continues doit toujours être évité, et cette manipulation montre bien l'avantage que constitue la grande sensibilité du Monoc.

PROTECTION DE CES CALIBRES

Du fait que le Monoc est très sensible, sur les calibres **volt continu**, on peut se demander s'il n'est pas fragile. Un exemple numérique fixe les idées. Supposons qu'aux bornes de l'équipage mobile **G**, une surcharge impose une surtension égale à 0,8 volts. L'intensité dans le cadre mobile (2000 Ω) est égale à 400 μ A, environ **dix fois** l'intensité provoquant la déviation totale de l'équipage mobile considéré isolément.

Mais dans le Monoc, le cadre mobile est shunté en permanence par les deux diodes de protection CR3-CR4 déjà étudiées (cf. page 14). Quelle que soit la polarité de la surtension imposée, l'une de ces diodes, dont la résistance directe, pour 0,8 volts, est d'environ 800 ohms, est traversée par une intensité égale à 1 mA. C'est donc une intensité totale égale à 1,4 mA qui traverse la résistance R 18 (312 Ω); la d.d.p. aux bornes de R 18 vaut 0,43 volts, et la d.d.p. entre les points X et Y de la figure 17 est égale à $0,8 + 0,43 = 1,25$ volts. Ceci permet de calculer l'intensité dans la chaîne de résistances (R1 à R7) shuntant l'ensemble précédent, et dont la résistance est égale à 6240 Ω : cette intensité représente 0,2 mA. L'intensité globale I qui doit traverser la résistance R 10 (58.500 Ω) a pour valeur (1,4 + 0,2) mA, soit 1,6 mA. La chute de tension aux bornes de R 10 représente alors environ 93 volts, et la chute de tension totale aux bornes du Monoc sur le calibre "3 V" est sensiblement égale à 95 volts.

Réciproquement, si l'on applique par erreur 95 volts aux bornes **3 V** du Monoc, le calcul précédent montre que la surcharge de l'équipage mobile n'est pas égale à 32 fois l'intensité nominale, mais seulement égale à **10 fois** cette intensité nominale. L'appareil subit certes une violente **lancée d'aiguille**, et il est de toute façon nécessaire d'**interrompre rapidement la mesure**, mais la protection **statique** du Monoc a **limité considérablement la surcharge**, et l'équipage n'est pas en danger.

Enfin, on voit sur le schéma général un élément supplémentaire disposé lui aussi en parallèle sur l'équipage mobile **G** : le condensateur **C**. Sa valeur est égale à 10.000 pF, soit $10^{-4} \times 10^{-12}$ farads, ou encore 10^{-8} farads. Son rôle est d'éliminer, dans les mesures en **continu**, l'effet des composantes alternatives éventuelles, partiellement redressées. On sait qu'un condensateur est, en courant parfaitement continu, l'équivalent d'une coupure sur un circuit. La présence de ce condensateur ne modifie donc pas les mesures effectuées. Mais si une certaine tension alternative est superposée à la tension continue que l'on veut mesurer, il convient d'en éliminer l'influence éventuelle : or, un condensateur est un élément **conducteur** en alternatif et peut même jouer le rôle d'un court-circuit si la fréquence de la tension alternative est suffisamment grande.

MESURES DES INTENSITÉS CONTINUES

Le Monoc offre les calibres directs suivants pour les mesures d'intensités continues : 0,1 mA (c'est-à-dire 100 microampères pour la déviation totale); 1 mA; 10 mA; 0,1 A (c'est-à-dire 100 mA); et enfin 1 A. Les circuits de mesure correspondants sont schématisés figure 19. On notera, en observant le schéma, l'existence d'une prise shunt supplémentaire entre R 4 et R 5. Elle correspond à un calibre intermédiaire de 5 mA utilisé uniquement dans le fonctionnement en ohmmètre (cf. page 22).

On voit qu'il s'agit d'un **shunt universel** dont nous n'avons pas à rappeler la théorie mais à préciser un exemple concret.

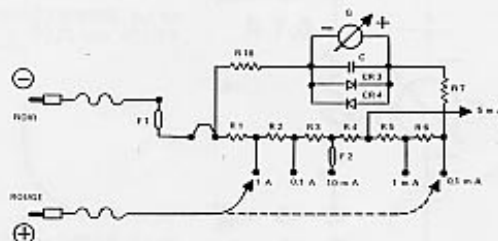
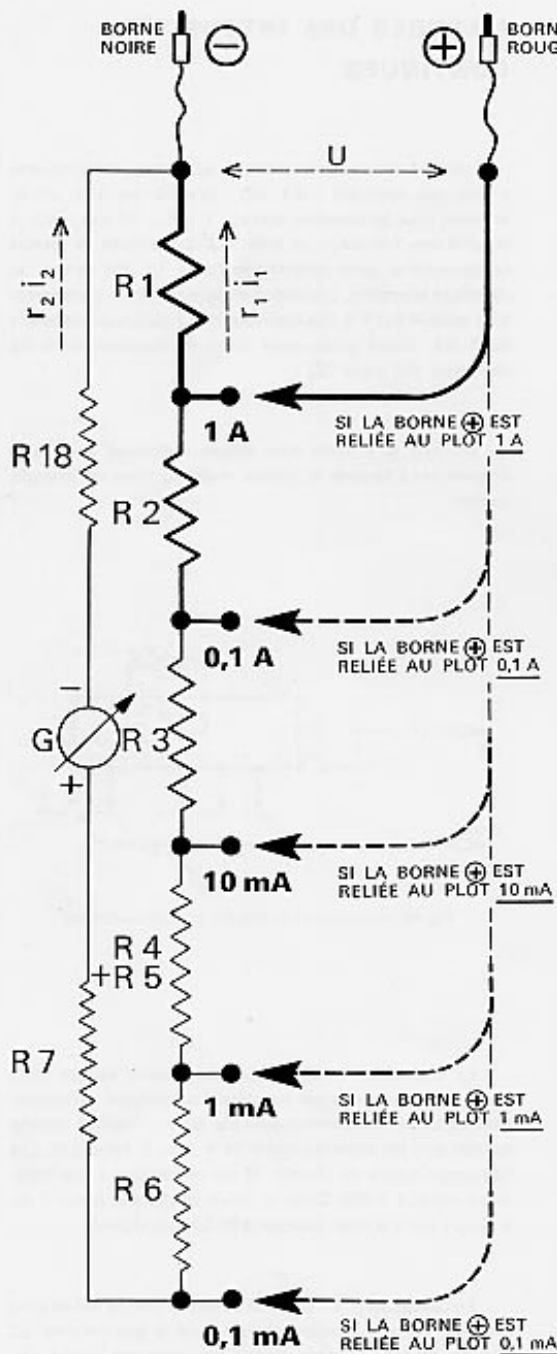


Fig. 19. Les circuits de mesure des intensités continues.

La disposition typographique du tableau suivant nous semble utile pour exposer les calculs numériques correspondant à chaque branchement possible. On y retrouve à gauche les éléments du schéma général de la page 2. Rappelons que l'équipage mobile du Monoc (**G** sur ce tableau) a une résistance égale à 2.000 Ohms et dévie totalement lorsqu'il est parcouru par une intensité égale à 36,5 microampères.

Le tableau page 20 donne le détail des valeurs numériques réalisées selon la position choisie pour le commutateur du Monoc dans les mesures d'intensités continues, c'est-à-dire lorsque la borne + est reliée à différents points du shunt universel.



On appelle ici

r_1 : la résistance qui shunte le circuit comportant l'équipage mobile **G**,

r_2 : la résistance de la chaîne comportant **G**

i_1 : l'intensité dans le shunt r_1

i_2 : l'intensité dans la chaîne r_2 comportant **G**, et toujours égale à 36,5 microampères pour la déviation totale

u : la chute de tension entre les 2 bornes + et - égale à $r_1 i_1$ et $r_2 i_2$.

Les valeurs ohmiques des deux chaînes de résistances sont :

$$r_1 = 0,312 \Omega$$

$$r_2 = 8551,7 \Omega$$

$$u = r_2 i_2 = 8551,7 \times 36,5 \cdot 10^{-6} = 312 \text{ mV.}$$

Intensité dans r_1 égale à 1 A

Intensité totale : 1,000036 A, c'est-à-dire pratiquement 1 A.

Les valeurs ohmiques des deux chaînes de résistances deviennent :

$$r_1 = 3,120 \Omega$$

$$r_2 = 8549 \Omega$$

$$u = r_2 i_2 = 8549 \times 36,5 \cdot 10^{-6} = 312 \text{ mV.}$$

Intensité dans r_1 égale à 100 mA.

Intensité totale : 100,036 mA, c'est-à-dire pratiquement 100 mA.

Les valeurs ohmiques des deux chaînes de résistances deviennent :

$$r_1 = 31,20 \Omega$$

$$r_2 = 8520,8 \Omega$$

$$u = r_2 i_2 = 8520,8 \times 36,5 \cdot 10^{-6} = 311,009 \text{ mV.}$$

Intensité dans r_1 égale à 9,96 mA.

Intensité totale : 9,96 + 0,036 = 10 mA.

Les valeurs ohmiques des deux chaînes de résistances deviennent :

$$r_1 = 312 \Omega$$

$$r_2 = 8240 \Omega$$

$$u = r_2 i_2 = 8240 \times 36,5 \cdot 10^{-6} = 300,76 \text{ mV.}$$

Intensité dans r_1 égale à 0,964 mA.

Intensité totale : 0,964 + 0,036 = 1 mA.

Les valeurs ohmiques des deux chaînes de résistances deviennent :

$$r_1 = 3120 \Omega$$

$$r_2 = 5432 \Omega$$

$$u = r_2 i_2 = 5432 \times 36,5 \cdot 10^{-6} = 198,27 \text{ mV.}$$

Intensité dans r_1 égale à 63,5 μ A.

Intensité totale : 63,5 + 36,5 = 100 μ A.

Dans le tableau précédent, et sur la figure 19, on a représenté les différentes liaisons possibles de la borne + sous la forme d'un cordon qui, par sa position sur le shunt universel, définit le calibre de mesure. Comme on voit sur le schéma général, la borne + du Monoc est toujours le cordon rouge, et c'est la position de l'unique commutateur qui réalise la liaison nécessaire.

Les calculs du tableau précédent permettent de mettre en évidence les valeurs numériques adoptées dans le Monoc; mais celles-ci sont en réalité calculées à partir du principe du shunt universel, avec $r_1 + r_2 = 8552 \text{ ohms}$ pour tous les calibres, et $i_2 = 36,5 \mu\text{A}$ pour la déviation totale de l'équipage. Chacun des shunts est alors défini par la relation :

$$36,5 \mu\text{A} = \frac{r_1}{8552} \times \text{calibre en } \mu\text{A}$$

Quelques remarques sont utiles à propos des mesures d'intensités continues.

Dans les mesures de tensions, l'on connaît souvent l'ordre de grandeur de la valeur qui doit être mesurée, et l'on peut choisir en conséquence le calibre qui doit être utilisé. Une pile du type 1,5 volts se contrôle évidemment sur le calibre 3 V continu; la tension de chauffage de filaments 6,3 volts se vérifie évidemment sur le calibre 10 V Alternatif, etc.

Au contraire, dans le domaine des mesures d'intensités, on ignore souvent l'ordre de grandeur de telle intensité avant de l'avoir mesurée. Il est prudent, en conséquence, de placer le commutateur du Monoc sur le calibre 1 A avant de brancher l'appareil en ampèremètre continu.

Si la déviation est nulle ou très petite, on fait passer le commutateur sur la position 0,1 A; si la déviation continue à être nulle, ou très petite, on passe sur la position 10 mA, et ainsi de suite jusqu'au calibre sur lequel la déviation permettra une mesure valable. Ainsi limite-t-on les risques de surcharge. Bien entendu les différents éléments correspondants du Monoc sont protégés comme nous allons le voir, mais il est toujours préférable d'éviter les occasions de surcharge, ne serait-ce que pour éviter d'avoir à remplacer l'un des fusibles.

PROTECTION DE SES CALIBRES

Le tableau des valeurs numériques qui accompagne le schéma général page 2 indique les valeurs ohmiques de chaque résistance constituant le shunt universel. Mais comme nous l'avons vu page 15, la puissance que doit pouvoir normalement dissiper chacune de ces résistances varie beaucoup, et par suite également sa nature et son dimensionnement.

Ainsi, les calculs précédents montrent que, sur le calibre "1 A", la résistance R 1 est parcourue par 1 A: elle doit pouvoir supporter normalement 312 milliwatts.

Sur le calibre "0,1 mA", la résistance R 6 est parcourue par 63,5 μA : elle doit pouvoir supporter normalement 12 micro-watts, etc.

Les différentes résistances du shunt universel diffèrent donc par leurs puissances: ainsi, la résistance R 1 est constituée par un fil de constantan dont le diamètre est égal à 0,6 mm. Une intensité de l'ordre de 1 A (et même supérieure) ne risque pas d'altérer ce fil: quant au choix du constantan, il est dicté par le fait suivant:

Lorsque 1 A traverse R 1, cette résistance chauffe progressivement. S'il s'agissait d'un métal ou d'un alliage quelconque, ayant un coefficient de température positif, la résistance de R 1 augmenterait en même temps que sa température: une erreur inadmissible fausserait progressivement les mesures sur le calibre 1 A. C'est pourquoi R 1 est en Constantan, alliage dont le coefficient de température est pratiquement nul. De même R 2 est en fil de constantan de diamètre égal à 0,25 mm; R 3 est en fil de constantan de diamètre égal à 0,1 mm. Les autres résistances R 4 - R 5 - R 6 ne nécessitent plus cette précaution: le tableau précédent montre qu'elles sont traversées

par des courants très faibles et que leur échauffement est pratiquement nul. C'est une des raisons pour lesquelles elles sont constituées par des résistances à couche, et non plus bobinées en fil.

Les surdimensionnements de la chaîne shunt protègent ces circuits du Monoc contre les échauffements anormaux. Reste le cas de l'erreur accidentelle. Le schéma général montre les deux fusibles F1 et F2 qui complètent la protection des circuits de mesure intensités continues:

1° Le fusible F1 est en permanence dans le circuit de mesure en amont du shunt universel. Réalisé en constantan de diamètre égal à 0,16 mm, il fond à 3 ampères, et protège alors, par coupure, les circuits de mesure 1 A ou 0,1 A.

2° Le fusible F2 n'est utilisé que dans le circuit de mesure 10 mA. Il s'agit d'un fil de constantan de diamètre égal à 0,06 mm, qui fond à 0,7 A et protège ainsi le circuit de mesure 10 mA.

Pour les autres calibres (1 mA et 0,1 mA) le surdimensionnement des éléments constitutifs est suffisant pour constituer une protection satisfaisante. Rappelons enfin que, dans tous les cas, quel que soit le calibre choisi, les deux éléments redresseurs de protection statique CR 3 - CRA de l'équipage mobile mettent celui-ci à l'abri des fortes surcharges (page 15)

CHUTE DE TENSION DU MONOC EN AMPÈREMÈTRE CONTINU

C'est une règle absolue qu'un ampèremètre doit être monté en série dans le circuit dont on veut mesurer l'intensité.

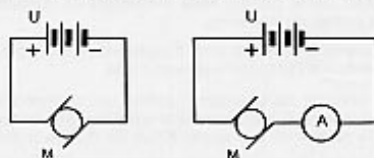


Fig. 20. Mesure de l'intensité dans un moteur M. La chute de tension dans l'ampèremètre A peut fausser notablement le résultat.

Comparons les deux circuits de la figure 20.

A gauche, une source de tension U alimente un moteur M. A droite, le montage est identique à ceci près que, voulant connaître l'intensité qui traverse le moteur M, on a monté en série un ampèremètre A. Le passage de l'intensité dans l'appareil de mesure fait apparaître à ses bornes une chute de tension u, et la tension appliquée aux bornes du moteur n'est plus égale à U, mais à (U - u). Il est évidemment nécessaire que u soit petit devant U pour que le phénomène mesuré ne soit pas modifié par la mesure elle-même. Or, certains contrôleurs multiples usuels provoquent une chute de tension atteignant 3 volts lors des mesures d'intensité, et ceci est très gênant quand la tension U de la source est limitée à quelques volts (piles ou accumulateurs). Au contraire, la chute de tension créée par le Monoc, utilisé en ampèremètre, est toujours petite. Nous avons calculé dans le tableau de la page 21 que, sur les calibres 1 A, 100 mA et 10 mA la déviation totale correspondait à 0,312 volts aux bornes du shunt universel, et que cette chute de tension devenait 300 mV sur le calibre 1 mA et 198 mV sur le calibre 0,1 mA. A noter toutefois qu'en série avec le shunt universel se trouve toujours le fusible F1, ainsi que les cordons, et que sur le calibre 10 mA se trouve en outre le fusible F2. Finalement, la valeur de la chute de tension aux bornes du Monoc atteint au maximum, pour la déviation totale, les valeurs suivantes:

sur le calibre 0,1 mA	0,200 volts
sur le calibre 1 mA	0,300 volts
sur le calibre 10 mA	0,325 volts
sur le calibre 0,1 A	0,340 volts
sur le calibre 1 A	0,450 volts

Nous retrouverons plus loin (pages 29 et 31) de très importantes conséquences de la correspondance 1 mA - 300 mV.

MESURES DE RÉSISTANCES

Les méthodes de mesure des résistances sont très diverses et peuvent être extrêmement précises. On sait que le principe du pont de Wheatstone permet aisément de mesurer une résistance avec **quatre chiffres significatifs** : par exemple le pont de Wheatstone CHAUVIN-ARNOUX autorise les mesures de toutes valeurs ohmiques comprises entre 0,001 ohm et 9,999 mégohms (notice L1). Le pont double de Thomson permet la mesure précise des très petites valeurs ohmiques, telles que les résistances de contact, jusqu'à 1 microhm (notice L1). Pour la mesure des valeurs ohmiques très élevées, telles que les résistances d'isolement, des **mégohmmètres** permettent de connaître les valeurs ohmiques jusqu'à plusieurs milliers de mégohms (notice OP 6) et même **plusieurs millions** de mégohms (notice OP 512).

Certains problèmes particuliers sont résolus pratiquement avec des appareils spéciaux : par exemple, les logomètres (ou **quotientmètres**) permettent une mesure rapide des résistances et des isollements dans les installations électriques (notice 17 bis A) ; le contrôle de la résistance des prises de terre s'effectue grâce à des appareils comme le Tellurophone (notice OP4/T1) ou le Contrôleur de Terres (notice OP 3) ; etc.

Chacun de ces appareils utilise la méthode de choix pour donner un résultat de mesure précis quant à la valeur ohmique intéressante. Mais, indépendamment des problèmes particuliers qui exigent l'emploi de ces appareils spécialisés, il est nécessaire de disposer d'un **moyen de contrôle direct, instantané**, de précision certes limitée, mais permettant de connaître sans délai des ordres de grandeur.

Ce moyen de contrôle, dont l'expérience journalière montre tout l'intérêt, est l'ohmmètre **direct** à pile.

Son principe est le suivant : soit un microampèremètre de résistance interne R monté en série avec une pile de tension U et avec la résistance X . La loi d'Ohm indique que l'intensité i dans le microampèremètre a pour valeur $i = \frac{U}{R + X}$ expression dans laquelle R est une constante de l'appareil. Si, d'autre part, la tension U est maintenue à une valeur constante, à chaque valeur possible de X correspondra une intensité i et donc une certaine déviation de l'équipage mobile. Une échelle de lecture **graduée directement en ohms** est ainsi réalisable. Il s'agit, bien entendu, d'une échelle **inversée** : à une très grande valeur ohmique X correspond une intensité très petite et donc une très petite déviation ; à une petite valeur de X correspond une intensité relativement grande et donc une déviation importante. Cette échelle ne peut, bien entendu, être linéaire puisque la relation précédente $i = \frac{U}{R + X}$ correspond à une loi d'allure **hyperbolique**.

Beaucoup de contrôleurs classiques comportent ainsi une pile sèche qui peut être montée en série avec le cadre mobile pour permettre des mesures directes de valeurs usuelles de résistances. Mais la pile sèche usuelle n'offre pas une tension constante au cours de son usure normale ; en conséquence, un rhéostat de **tarage** est indispensable. Avant chaque mesure d'une résistance, il convient alors de court-circuiter les cordons de l'appareil ($X = 0$ ohms) et, en agissant manuellement sur le rhéostat, d'amener l'aiguille indicatrice sur le trait **0 ohm** de l'échelle spéciale.

A noter que, lorsqu'il existe plusieurs calibres de mesure en ohms, un réglage manuel différent est en général nécessaire avant chaque mesure sur chaque calibre ; d'autre part, les contacts des rhéostats miniatures ne sont pas toujours irréprochables et peuvent s'altérer à la longue, introduisant des erreurs importantes en cours de mesure. Enfin, la présence d'un rhéostat ajustable modifie le terme R de la loi $i = \frac{U}{R + X}$ et peut fausser la mesure.

Pour éviter ces inconvénients, le Monoc comporte une pile spéciale **au mercure**, dont les éléments de base sont le Zinc (électrode positive) - la Potasse - l'Oxyde mercurique (électrode négative) et dont la tension reste remarquablement stable, et égale à 1,33 volts. Tout réglage préalable se trouve supprimé. En amenant le commutateur du Monoc sur le plot bleu portant l'indication **ohms x 1**, il suffit de relier les deux cordons du Monoc à une quelconque résistance pour lire directement, sur l'échelle **ohms**, sa valeur ohmique. Si la résistance à mesurer est relativement grande, il suffit de passer sur le plot bleu **ohms x 100** pour lire directement le nombre de centaines d'ohms. Les circuits de mesure du Monoc sont en effet ceux schématisés figure 21, et en se reportant au tableau des valeurs numériques des résistances, on peut retrouver l'intensité provoquant la déviation totale de l'équipage mobile (36,5 μ A) lorsqu'une intensité égale à 5 mA parcourt le circuit $\Omega \times 1$, ou bien lorsqu'une intensité égale à 50 μ A parcourt le circuit $\Omega \times 100$.

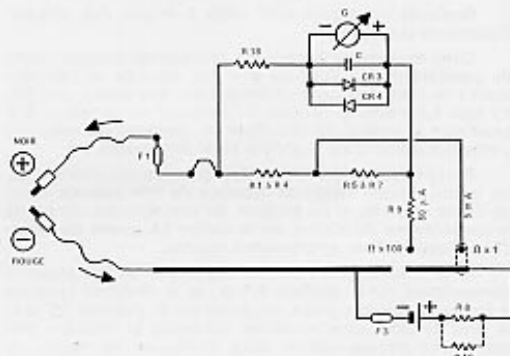


Fig. 21. Les circuits de mesure des résistances. Noter l'inversion des polarités des cordons, l'appareil fonctionnant alors comme une source.

On notera, sur la fig. 21 et sur le schéma général, une résistance R_{19} , placée en parallèle avec R_8 . Elle existe seulement sur certaines séries de Monoc, équipées avec des piles légèrement différentes (type B), dont la tension est de 1,315 volts, au lieu de 1,33.

En court-circuitant les cordons du Monoc, la valeur ohmique de la résistance extérieure **mesurée** est nulle : observez que l'aiguille du Monoc dévie totalement et indique très sensiblement le zéro de l'échelle inversée. Cette manœuvre est d'ailleurs utile pour contrôler la pile spéciale de l'appareil. Au bout d'un an ou plus, la tension de la pile peut diminuer : l'aiguille n'atteint plus tout à fait la déviation totale et donc la chiffraison **0**.

Il est souvent suffisant d'ouvrir le boîtier du Monoc en dévissant les trois écrous de la face AR, de sortir la pile de son logement et d'essayer soigneusement les contacts. Mais, surtout si le Monoc a été rangé après emploi en **laissant les cordons en court-circuit** et le commutateur sur l'un des plots **bleus**, la pile a pu débiter suffisamment pour être épuisée et doit être changée comme il est indiqué sur la notice R 28 - 1.

Une difficulté inévitable dans tous les ohmmètres directs est liée à l'échelle inversée. Il faut s'habituer à apprécier les lectures sur l'échelle des ohms en se souvenant que la chiffraison "**Zéro ohms**" est à l'**extrême droite** du cadran. L'inconvénient serait notable si l'on prétendait faire des mesures très précises de résistances ; mais nous avons vu que lorsqu'une grande précision était indispensable, les appareils de mesure spécialisés ne manquaient pas !

L'intérêt du Monoc en ohmmètre direct apparaît dans la pratique journalière. Telle résistance qui devrait être de l'ordre d'une centaine d'ohms est en réalité une **200 ohms**. Telle résistance qui devait être une **500 ohms** est certainement coupée ;

le Monoc ne dévie pas, indiquant une résistance infinie. Tel filament de lampe est coupé... Telle **résistance radio** est en réalité un condensateur. Tel élément redresseur permettra le passage du courant dans tel sens, où sa résistance est très petite alors qu'en croisant les cordons du Monoc la résistance est grande, etc. A ce sujet, il faut se souvenir, comme on le voit sur la figure 21, que c'est le cordon **noir** du Monoc qui correspond au + de la pile incorporée à l'appareil; car ici, le Monoc se comporte comme une source, et non comme un récepteur, et de ce fait ses polarités se trouvent inversées.

CALIBRES DE MESURE

Pratiquement, sur le calibre **ohms x 1**, le Monoc permet les mesures usuelles de résistances comprises entre quelques ohms et 20.000 ohms environ. La demi-déviante correspond à 250 ohms, et cette gamme de mesure est déjà étendue. Toutefois, elle ne suffirait pas à elle seule pour résoudre des problèmes fréquents. Telle résistance X d'un montage électronique doit être une 47 k Ω , sa valeur réelle est-elle correcte? On passe alors sur le calibre **ohms x 100**, la lecture s'effectue **toujours sur la même échelle ohms** et son résultat doit être **multiplié par 100** pour répondre à la question précédente.

PROTECTION DE CES CIRCUITS

Comme on le voit figure 21, un fusible F 3 protège les circuits de mesure **Ohmmètre direct** contre les surintensités démesurées que pourrait provoquer une erreur considérable: par exemple, mesurer la valeur ohmique d'une résistance qui est sous tension... L'erreur semble si énorme que cette précaution peut paraître superflue; en réalité, l'expérience montre que cette protection peut être utile. Le fusible F 3, analogue au fusible F 2, est un fil de constantan de diamètre égal à 0,04 mm qui fond à 0,7 A. Bien entendu, les protections statiques de l'équipage mobile ajoutent ici encore à la **sécurité** du Monoc.

• **Manipulation.** Placer le commutateur sur le plot $\Omega \times 100$.

Vérifier :

- Le **zéro mécanique** du Monoc : les deux cordons n'étant pas reliés, l'aiguille doit indiquer rigoureusement le **zéro** situé à gauche du cadran, c'est-à-dire le point **infini** de l'échelle en ohms.
- Le **zéro électrique** du Monoc en ohmmètre : les deux cordons étant en court-circuit, l'aiguille doit venir très sensiblement sur la **chiffraison zéro ohms** située à droite du cadran.

On prend alors les deux extrémités des cordons du Monoc entre pouces et index propres et secs; ce qui revient à mesurer la résistance du corps humain entre les deux mains.

La déviation, lue sur l'échelle **ohms**, est par exemple 5 k Ω qui doit ici s'interpréter comme 5.000 $\Omega \times 100$, soit 0,5 M Ω . Cette valeur varie avec la pression du contact exercé sur chaque borne. Si l'on mouille l'un des index, la lecture devient alors 2 à 3 k Ω , correspondant par exemple à 0,25 M Ω . Si l'on mouille les 2 index, la lecture devient 1 k Ω , correspondant à 0,1 M Ω . Entre un index humide et la langue, on peut mesurer 500 Ω , soit en réalité 50 k Ω . On peut souligner ainsi l'**extrême importance de l'état d'humidité de la peau** quant à la valeur ohmique de la résistance du corps humain. Ceci justifie les précautions **indispensables** dans les appareillages électriques pouvant être utilisés en atmosphère **humide**. De même, on peut souligner le danger que représente sur ce plan la moindre plaie, même s'il s'agit d'une petite excoriation : la plus grande part de la résistance ohmique siègeant au niveau de la couche cornée de l'épiderme, n'importe quelle plaie correspond à une résistance **R très réduite**. Pour une tension **U** appliquée, l'intensité **I** qui traverse l'organisme peut être relativement considérable si **R** est petit : or c'est l'intensité qui peut être dangereuse, selon la répartition des

lignes de courant dans l'organisme. (On admet qu'une intensité de l'ordre de 5 mA au niveau du cœur peut être mortelle).

Bien entendu, la manipulation précédente n'offre aucun danger parce qu'elle se fait **sous très basse tension** (1,33 V), mais pareille expérience **ne serait pas à renouveler sous une tension plus élevée, sous peine de danger grave**.

MESURES EN COURANT ALTERNATIF GÉNÉRALITÉS

Il existe de nombreux contrôleurs multiples permettant de mesurer directement des tensions et des intensités continues, ainsi que des tensions alternatives, mais pas d'intensités alternatives, ce qui simplifie considérablement le schéma de l'appareil, et réduit de beaucoup son prix. Or, il est certain que la mesure de la consommation d'un quelconque appareil branché sur le réseau usuel fait partie des mesures les plus fréquentes. Le Monoc permet, directement, de mesurer en alternatif **aussi bien des tensions jusqu'à 1000 Volts** que des intensités jusqu'à **10 ampères**.

Nous avons vu que l'équipage mobile du Monoc est **polarisé**. Sa déviation fournit la mesure d'une intensité dont le sens doit être correct; si l'on fait passer une intensité de sens inverse, l'équipage mobile tend à tourner en sens inverse et l'aiguille vient s'appuyer sur la butée qui existe en deçà du zéro.

Si l'on fait circuler dans un tel équipage une intensité dont le sens change périodiquement, il se trouve soumis à un couple moteur dont le sens change périodiquement. Lorsqu'une telle intensité **alternative** est de **fréquence suffisamment élevée** devant la période propre de l'équipage mobile (cf. page 10), celui-ci ne peut pas suivre les sollicitations successives dans un sens, puis dans l'autre, et se borne à **vibrer**.

• **Manipulation.** Par exemple, on peut réaliser le montage suivant :

Le Monoc sur son calibre **30 V continu** est monté en série avec une résistance **R** de l'ordre de 2.000 ohms et relié au réseau alternatif usuel 120 V 50 Hz; on voit l'aiguille du Monoc vibrer autour de sa position de zéro (ne pas prolonger exagérément ce régime en raison de la surcharge que l'on impose alors à l'appareil). En toute rigueur, cette expérience est une véritable **mesure**. On peut démontrer en effet qu'un cadre mobile indique par sa position la **valeur moyenne** de l'intensité qui le parcourt. Or, l'intensité alternative qui parcourt le Monoc dans la manipulation précédente est évidemment de **valeur moyenne nulle**, ce qu'indique bien l'appareil.

On sait que les valeurs intéressantes en alternatif sont les **valeurs efficaces**. Dans le cas, très général, d'une intensité alternative sinusoïdale dont l'amplitude maximale atteint I_m ,

on démontre que $I_{eff} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$. De même, pour une tension alternative sinusoïdale dont l'amplitude maximale atteint U_m , on a

$$U_{eff} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

En pratique, dans tous les cas, ce sont les **valeurs efficaces** de l'intensité et de la tension qui sont à considérer. Lorsque l'on parle du réseau alternatif usuel **120 volts**; il s'agit de 120 volts **efficaces**, et l'on peut montrer que, pour une telle tension sinusoïdale :

- La **valeur moyenne** de la différence de potentiel est **nulle**;
- La **valeur maximale instantanée** de la différence de potentiel atteint **170 volts**.

Les valeurs d'intensités ou de tensions alternatives que l'on peut directement mesurer avec le Monoc sont les valeurs **efficaces**, et le résultat est obtenu :

- Par l'emploi de redresseurs de mesure.
- Par les circuits spéciaux associés.
- Par l'étalonnage toujours effectué en alternatif sinusoïdal.

REDRESSEURS DE MESURE

Pour mesurer des grandeurs alternatives avec un équipement mobile sensible uniquement au courant continu, il est indispensable de **redresser** la tension (ou l'intensité) alternative. Après redressement, la valeur **moyenne** non nulle obtenue peut être appliquée au cadre mobile dont la déviation sera **proportionnelle** à cette valeur moyenne, **donc aussi à la valeur efficace** si aucune distorsion n'intervient dans le redressement lui-même.



Fig. 22. Représentation symbolique d'un élément redresseur (diode).

Un **redresseur** est un élément de circuit n'offrant pas la même résistance au passage du courant selon le sens de celui-ci. Sa représentation symbolique (fig. 22) indique par la flèche le sens dans lequel la **plus grande intensité** peut passer ; c'est le sens **direct**, dans lequel la résistance du redresseur est **petite**.

Au contraire, dans le sens **inverse** la résistance du redresseur est relativement grande. Si l'on applique une tension alternative sinusoïdale aux bornes d'un redresseur, durant une alternance l'intensité sera grande (dans le sens direct) ; durant l'alternance suivante, l'intensité sera très petite.

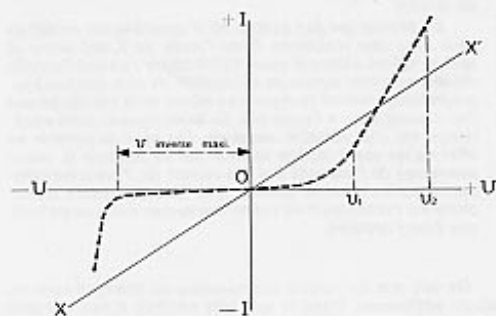


Fig. 23. Courbe caractéristique d'un redresseur (diode).

- Sur le graphique de la figure 23, les coordonnées sont :
- En abscisses les tensions appliquées aux bornes d'un élément de circuit.
 - En ordonnées les intensités correspondantes traversant cet élément.

Une résistance pure correspond sur ce graphique à une droite telle que X'X, qui traduit le rapport constant U/I caractéristique de la valeur ohmique de la résistance.

Un redresseur **parfait** serait représenté par les deux demi-axes O (-U) et O (+I) ; sa résistance serait en effet infinie pour la polarité **inverse** appliquée, et nulle pour la polarité **directe**.

La perfection n'étant pas de ce monde, les redresseurs réels tendent vers cette caractéristique idéale sans la rejoindre tout à fait. Lorsqu'une tension inverse leur est appliquée, l'intensité peut être extrêmement réduite et pratiquement négligeable jusqu'à une certaine valeur limite de la tension inverse ; pour cette valeur limite, un **claquage** peut se produire qui détruit le redresseur. Mais si l'on prend les précautions nécessaires pour limiter la tension inverse appliquée au redresseur, l'on peut conclure que dans le sens **inverse** le redresseur réel, lorsqu'il est bien choisi, peut être très proche du redresseur idéal.

Dans le sens **direct** il en est tout autrement. D'une part, la valeur ohmique de la résistance d'un redresseur dans le sens direct n'est jamais absolument nulle. D'autre part, cette résistance n'est pas indépendante de la valeur de la tension directe appliquée + U. La courbe caractéristique d'un redresseur réel a l'allure représentée très schématiquement sur la figure 23 en tirets. Pour des tensions directes de valeur + U appliquées, on voit que l'intensité correspondante est très petite lorsque U est petit, mais augmente beaucoup plus vite que U : le courant varie à peu près comme le carré de la tension jusqu'à une certaine valeur U_1 à partir de laquelle la variation devient presque linéaire. Enfin, au-delà d'une valeur limite U_2 de la tension directe appliquée, l'intensité deviendrait si grande que l'effet joule détruirait le redresseur par échauffement exagéré.

Ainsi, la caractéristique d'un redresseur réel est particulièrement intéressante dans **deux régions** :

- Lorsqu'une tension **inverse** de valeur limitée est appliquée, le courant est **pratiquement nul** ;
- Lorsqu'une tension **directe** de valeur comprise entre U_1 et U_2 est appliquée, le courant est presque **proportionnel à la tension**.

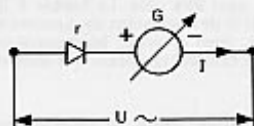


Fig. 24. Schéma d'un redressement à 1 alternance.

Disposons en série comme sur la figure 24 un élément redresseur r et un cadre mobile G. Le diagramme de la figure 25 montre, en fonction du temps t :

- La valeur de la tension alternative sinusoïdale U appliquée au montage (trait plein).
- La valeur I de l'intensité qui traverse le montage (tirets).

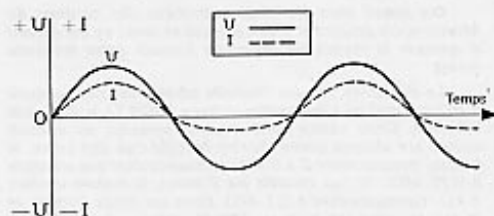


Fig. 25. Résultat d'un redressement à 1 alternance. Les alternances positives du courant I ont une amplitude bien plus grande que les alternances négatives.

On voit que l'intensité **moyenne** n'est plus nulle : le cadre mobile G va dévier, et pourrait être étalonné en **ampères efficaces**. Mais ce montage présente l'inconvénient d'une **asymétrie gênante** ; en réalité, durant chaque alternance directe de la tension, il existe une intensité directe qui lui est à peu près proportionnelle, et durant chaque alternance inverse de la tension, l'intensité est quasi nulle, mais non **redressée** à proprement parler.

En pratique, les montages redresseurs mettent en jeu 2 ou même 4 éléments redresseurs montés en pont. La figure 26 est le classique schéma des 4 redresseurs montés en pont et soumis à une différence de potentiel alternative U . Pour une alternance de la polarité indiquée par les flèches, le schéma montre le sens de passage du courant i correspondant à travers :

- Le redresseur $r1$
- l'appareil de mesure G placé dans la diagonale du pont
- le redresseur $r4$.

On vérifiera que pendant l'alternance de polarité inverse, un courant i' traversera

- le redresseur $r2$
- l'appareil de mesure G
- le redresseur $r3$.

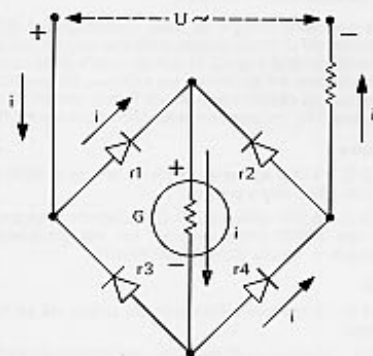


Fig. 26. Pont de redressement à 2 alternances.

Dans les deux cas, l'intensité dans l'appareil G est de même sens : c'est ce qu'explique le diagramme de la figure 27 où la tension U est représentée en fonction du temps par un trait plein, et les intensités i et i' par des pointillés. Les quatre redresseurs ayant tous la même courbe caractéristique, le montage est parfaitement symétrique.

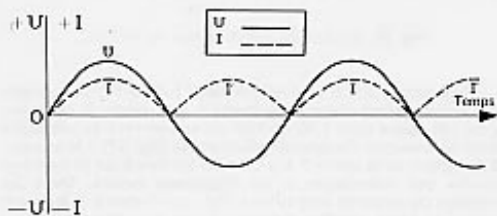


Fig. 27. Résultat du redressement à 2 alternances.

Mais pour diverses raisons, et notamment à cause du coefficient de température des éléments redresseurs, il n'est pas avantageux d'avoir, pour chaque polarité, deux éléments redresseurs distincts montés en série avec l'équipage mobile. Il est préférable d'avoir un pont comportant deux résistances R et R' égales et deux redresseurs $r1$ et $r2$ comme sur la figure 28. On vérifiera que le fonctionnement de ce montage bivalve est sensiblement équivalent à celui du pont : c'est ce montage qui a été choisi pour le Monoc et que l'on retrouve dans le schéma général de la page 2.

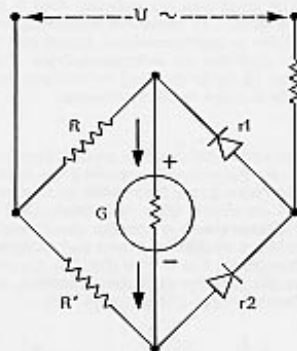


Fig. 28. Redressement à 2 alternances du MONOC, en montage bivalve.

● **Manipulation.** En disposant de deux Monocs identiques, l'un peut servir à mesurer l'autre. Il est intéressant d'ouvrir le boîtier de l'un des appareils, d'identifier les redresseurs CR1 et CR2 (cf page 2) et en utilisant le second Monoc en ohmmètre d'évaluer la résistance de ces deux redresseurs.

On trouvera par exemple, sur le calibre $\Omega \times 100$

- une résistance de l'ordre de 3.000Ω dans le sens direct ;
- une résistance de l'ordre de $2 M\Omega$ dans le sens inverse.

On notera que, dans cette expérience, les résultats de mesure sont purement qualitatifs, et ne constituent qu'une comparaison, car en réalité la résistance d'un redresseur ne peut être définie lorsqu'on ne connaît pas exactement la tension appliquée à ses bornes.

D'autre part, il convient de placer le commutateur du 1^{er} Monoc sur l'un des plots continu afin d'éviter le shuntage des redresseurs CR1 - CR2 par le reste du montage.

Les deux redresseurs de mesure du Monoc sont deux diodes germanium à pointe du type OA 85 ou équivalentes.

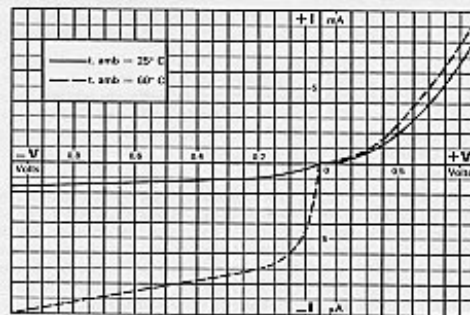


Fig. 29. Caractéristiques d'une diode Germanium à pointe.
Abscisses positives: 1 volt = 25 mm
Abscisses négatives: 1 volt = 50 mm
Ordonnées positives: 1 mA = 2,5 mm
Ordonnées négatives: 1 μ A = 2,5 mm

La figure 29 reproduit leurs courbes caractéristiques à $25^\circ C$ (trait plein) et à $60^\circ C$ (tirets). Pour bien mettre en évidence les particularités intéressantes de ces courbes, les coordonnées

de la ligne 29 ne sont pas les mêmes dans le sens direct et dans le sens inverse. Les intensités directes, au-dessus du zéro, sont chiffrées en milliampères, tandis que les intensités inverses sont chiffrées en microampères. De même, les tensions directes (à droite du zéro) ne sont pas représentées à la même échelle que les tensions inverses.

Compte tenu de ce qui précède, on peut établir que l'échelle de lecture d'un équipage mobile associé à des redresseurs n'est sensiblement linéaire que si l'ensemble du système redresseur est inséré dans un circuit très résistant. Ceci explique en particulier les distorsions d'échelles que présentent la plupart des contrôleurs multiples offrant des calibres de mesure de tensions alternatives très faibles (fig. 30). De telles échelles, très différentes des échelles de lecture continue, entraînent les possibilités d'erreurs déjà citées (page 11).

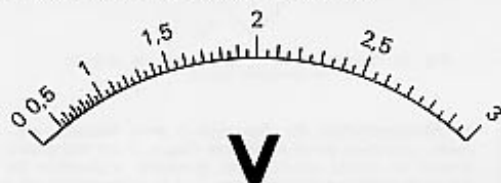


Fig. 30. Exemple d'échelle non linéaire, fortement resserrée à son origine. (A comparer à l'échelle MONOC, fig. 13 bis.)

La solution adoptée dans le Monoc réside d'abord dans l'emploi d'un transformateur, dont on verra plus loin les détails (pages 27-28) et qui, bien que coûteux, a été choisi parce qu'il permet de rendre linéaires les échelles de lecture en alternatif. Ce résultat s'obtient par l'élévation de la tension mesurée, afin d'opérer sur une tension forte avec une résistance très élevée vis-à-vis de celle des redresseurs, condition favorable comme on vient de le voir.

D'autre part, la solution Monoc est fondée sur les observations suivantes :

1) Les mesures des très faibles valeurs de tensions alternatives sont assez exceptionnelles pour justifier l'emploi d'appareils spéciaux. L'utilité d'un calibre de mesure 1,5 V alternatif sur un contrôleur ne se justifie pas, dans la pratique. On doit certes, contrôler quotidiennement les 6,3 volts d'une tension de chauffage de filament ; il est beaucoup moins fréquent d'avoir à mesurer avec précision 0,1 ou 0,2 volts alternatif.

Pour offrir le maximum de clarté dans toutes les mesures, qu'il s'agisse de continu ou d'alternatif, de tensions ou d'intensités, le Monoc possède une seule échelle de lecture interdisant toute erreur. Et comme cette échelle est linéaire, les lectures des faibles valeurs se trouvent favorisées par rapport à celles faites sur les appareils usuels dont l'échelle est resserrée au début.

2) En revanche, les valeurs numériques importantes doivent fréquemment être mesurées en alternatif. Telle prise de courant est-elle sous tension ? Tel demi-secondaire haute tension d'un transformateur fournit-il les 250 volts (ou les 600 volts) prévus ? La consommation de tel appareil réseau est-elle bien de l'ordre de 5 A, ou de 8 A ? Voici autant de questions qui se posent continuellement et auxquelles un contrôleur doit répondre sans exiger d'accessoires et de montages particuliers. On comprend ainsi les idées qui ont guidé les créateurs du Monoc en ce qui concerne les mesures en alternatif et le choix des calibres.

CIRCUITS DE MESURE " ALTERNATIFS " DU MONOC

Lorsqu'il est nécessaire de réduire une différence de potentiel continue, ou de fractionner une intensité continue, l'association de résistances en série ou en parallèle est la plus simple des

solutions. C'est celle des circuits de mesure continue du Monoc déjà étudiés. Comme nous l'avons vu, elle permet de réaliser des voltmètres continus très résistants (page 18) et des ampèremètres continus à faible chute de tension (cf page 21).

Dans les mesures en alternatif, deux faits particuliers interviennent :

1° On ne doit pas oublier la simplicité et la perfection du transformateur, qui est l'appareil industriel le plus parfait, comme le montre son rendement très proche de l'unité ; un transformateur permet d'adapter parfaitement à une utilisation donnée différentes alimentations.

2° La notion de consommation dans les mesures de tensions alternatives ne joue pratiquement pas. Il est indifférent qu'un voltmètre alternatif mesurant la tension du réseau consomme 100 microampères ou 10 milliampères : la mesure n'en est aucunement faussée.

C'est pourquoi, malgré sa taille étonnamment réduite, le Monoc comporte un transformateur de mesure que l'on retrouve sur le schéma général page 2, et qui est visible dans votre appareil lorsque la face AH du boîtier est enlevée. Ce transformateur comporte, sur un circuit magnétique fermé, constitué de tôles de haute qualité, les enroulements distincts suivants (fig. 31) :

Secondaire

- de 1 à 2 : 3.000 spires de fil de cuivre de diamètre égal à 0,06 mm (600 ohms environ) ;
- de 2 à 3 : 5.900 spires de fil de cuivre de diamètre égal à 0,06 mm (1.500 ohms environ, car cet enroulement est superposé à l'enroulement précédent).

Primaire

- de 4 à 5 : 1 spire de ruban plat, en cuivre, de section 8 x 0,3 mm ;
- de 6 à 7 : 10 spires de fil de cuivre de diamètre égal à 0,4 mm ;
- de 7 à 8 : 90 spires de fil de cuivre de diamètre égal à 0,14 mm.

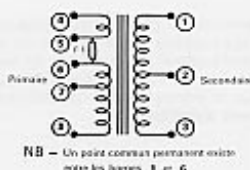


Fig. 31. Schéma du transformateur du MONOC.

Les bornes 5 et 6 sont reliées par le fusible F1. L'ensemble des enroulements allant de la borne 4 à la borne 8 constitue ainsi 101 spires dont 1,10 ou 100 spires serviront de primaire dans les mesures d'intensités alternatives (fig. 32) ; le secondaire allant de la borne 1 à la borne 3 est fermé sur le montage bivalve des redresseurs et de l'équipage mobile. Dans les mesures de tensions alternatives, les enroulements 1 à 3 sont utilisés en auto-transformateur comme nous le verrons.

Le circuit magnétique est constitué par un empilage de tôles à haute perméabilité et à faibles pertes (MUMETAL) afin de rendre possibles les performances de tenue en fréquence (v. page 13).

Un tel transformateur offre deux avantages essentiels. En premier lieu, la tension aux bornes de l'ensemble équipage mobile + redresseurs de mesure est toujours forte, et d'un ordre de grandeur suffisant pour que l'échelle de lecture en valeurs efficaces soit pratiquement linéaire. En second lieu, l'emploi d'un transformateur de mesure donne une protection automatique contre les surcharges dans les mesures en alternatif.

On sait en effet qu'un circuit magnétique permet de transférer une certaine énergie depuis un enroulement jusqu'à un autre enroulement, tant que cette énergie ne dépasse pas une limite liée à la saturation du circuit magnétique. Une surintensité dans l'enroulement 6 à 7 par exemple sature le transformateur et limite ainsi la surtension qui apparaît aux bornes du secondaire, protégeant ainsi l'équipage mobile et les circuits associés, en particulier les redresseurs de mesure CR 1 - CR 2.

Dans beaucoup de contrôleurs classiques, au contraire, ce sont de simples associations de résistances qui définissent les calibres alternatifs. Une surintensité met alors en danger non seulement l'équipage mobile, mais aussi les redresseurs de mesure qui sont fréquemment altérés ou même détruits.

Avec son transformateur de mesure, le Monoc constitue une solution technique de classe, très remarquable dans un appareil de coût et d'encombrement réduit.

A noter enfin une disposition particulière du Monoc. Nous avons vu que de nombreux contrôleurs exigeaient plusieurs interventions manuelles sur différentes bornes et différents commutateurs lorsque l'on passait, par exemple, d'une mesure en continu à une mesure en alternatif. Nous avons précisé que ceci était l'origine de bien des erreurs (cf page 12). Au contraire, l'unique commutateur du Monoc (figure 14) se charge de tout. Lorsque vous l'amenez, d'un doigt, sur n'importe lequel des plots de mesure alternatifs, une came spéciale montée sur l'axe du commutateur met automatiquement en service le montage bivalve des redresseurs de mesure, en fermant les deux interrupteurs visibles sur le schéma général de la page 2. L'unique commande manuelle que vous effectuez adapte immédiatement, et sans erreurs possibles, votre Monoc au type de mesure que vous souhaitez, en même temps qu'au calibre choisi.

MESURE DES INTENSITÉS ALTERNATIVES

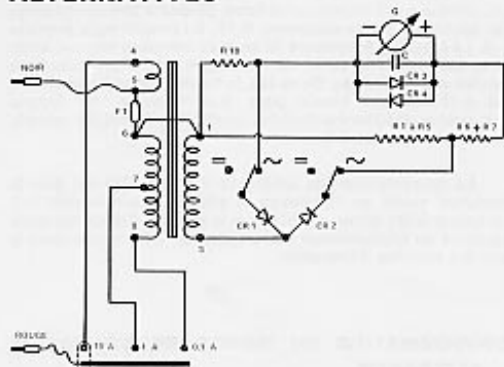


Fig. 32. Les circuits de mesure des intensités alternatives, extraits du schéma général.

Les calibres de mesure directs du Monoc sont 10 A, 1 A et 0,1 A. Lorsque l'unique commutateur du Monoc est placé sur l'un des plots correspondants, le montage de mesure est celui de la figure 32 qui respecte la disposition du schéma général page 2. La figure 33 fait mieux apparaître le principe du montage. En se reportant à la figure 31 et aux valeurs numériques indiquées plus haut, on voit que :

- 10 ampères dans l'enroulement 5 à 4,
- 1 ampère dans l'enroulement 5 à 7,
- 0,1 ampère dans l'enroulement 5 à 8,
- correspondent bien à un nombre d'ampères-tours primaires égal à 10. A souligner l'existence du fusible F 1 déjà décrit

(cf page 21) qui protège les calibres 1 A et 0,1 A : ceci pour le cas où l'on appliquerait par erreur une tension importante au Monoc utilisé en ampèremètre alternatif.

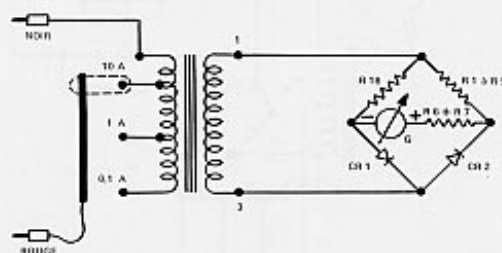


Fig. 33. Les circuits de mesure des intensités alternatives, sous forme simplifiée.

● **Manipulation.** La manipulation suivante est à ce titre intéressante : on relie une pile 1,5 V neuve au Monoc dont le commutateur est sur le plot 0,1 A alternatif : on observe une lancée d'aiguille lors de la fermeture du circuit, qui traduit le courant induit dans le secondaire lorsque l'intensité dans le primaire est passée de la valeur zéro à une valeur élevée. On observe ensuite une absence rigoureuse de déviation de l'équipage mobile pendant le temps où le circuit restant fermé, l'intensité continue dans le primaire reste de valeur constante. A l'instant où l'on coupe le circuit, on observe à nouveau une lancée d'aiguille, traduisant le courant induit dans le secondaire lorsque l'intensité dans le primaire passe de sa valeur précédente à la valeur zéro.

Cette manipulation est sans danger : mais on conçoit qu'une tension continue beaucoup plus élevée que 1,5 V surchargerait l'enroulement primaire sans qu'aucune déviation permanente du Monoc n'attire l'attention.

En pratique, les mesures d'intensités alternatives sont très importantes. Qu'il s'agisse d'appareillages de laboratoire, d'instruments électro-ménagers, etc... la première de toutes les mesures nécessaires est celle de la consommation. On connaît en effet par la plaque gravée de chaque instrument sa puissance nominale normale, par exemple 500 watts, et la tension normale d'alimentation, par exemple 120 volts. Il faut vérifier que l'intensité est bien de l'ordre de 4 A : une intensité nulle traduit une coupure ; une intensité supérieure à 4 A traduit un court-circuit au moins partiel, etc. Ici encore, il est préférable de connecter le Monoc sur son plus fort calibre 10 A avant de fermer le circuit ; si la déviation est nulle ou très petite, on passe alors sur le calibre 1 A, et ensuite, éventuellement, sur le calibre 0,1 A.

MESURE DES TENSIONS ALTERNATIVES

Le Monoc offre quatre calibres de mesure directs des tensions alternatives : 10 volts, 100 volts, 300 volts et 1000 volts. Lorsque le commutateur unique du Monoc est amené sur l'un des plots correspondants, le montage réalisé est celui schématisé figure 34, en reprenant la disposition des éléments du schéma général page 2. La figure 35 fait mieux apparaître le principe du montage :

- 1° Pour les calibres 1000, 300 et 100 volts, on voit qu'il s'agit d'une chaîne de résistances montées en série avec les enroulements 1-2 et 2-3 du secondaire du transformateur. En parallèle avec ces enroulements se trouve le montage bivalve des redresseurs et l'équipage mobile.

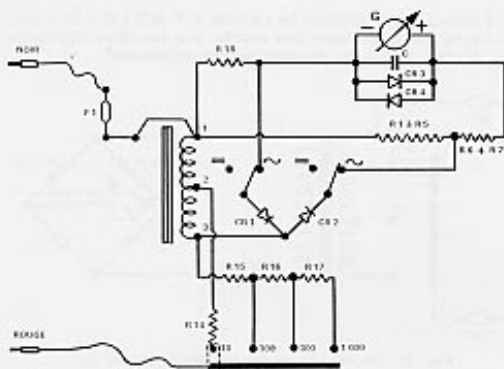


Fig. 34. Les circuits de mesure des tensions alternatives, extraits du schéma général.

Par exemple, sur le calibre **100 V**, les valeurs numériques des résistances peuvent être ainsi reconstituées :

$R1 \text{ à } R5 = 312 \text{ ohms}$; $R18 = 312 \text{ ohms}$;

$R6 + R7 + \text{cadre mobile} = 7928 \text{ ohms}$.

La déviation totale de l'équipage mobile est obtenue lorsqu'une intensité alternative égale à **1,11 mA** traverse l'ensemble du Monoc.

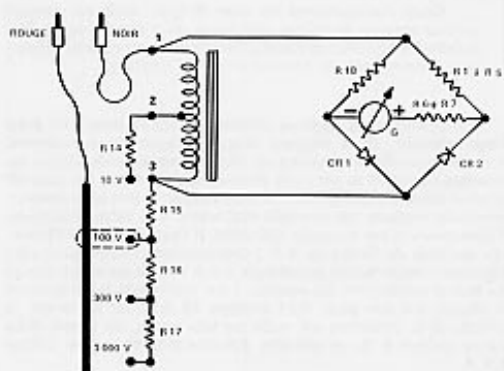


Fig. 35. Les circuits de mesure des tensions alternatives, sous forme simplifiée.

● **Manipulation.** La manipulation suivante peut être intéressante, car elle illustre bien une erreur à ne pas commettre. On monte en série (fig. 36) deux Monocs avec une batterie d'accumulateurs 12 volts, par exemple. Le premier Monoc, sur son calibre **1 mA continu** mesure très correctement l'intensité dans le circuit, égale à 130 microampères environ. Le second Monoc, sur son calibre **100 V alternatif** ne peut évidemment donner aucune mesure valable. Il dévie néanmoins et l'on observe par exemple une lecture égale à 5/100 de la déviation totale. L'étude détaillée du circuit schématisé figures 34 et 35 explique cette déviation : les enroulements 1 à 3 du transformateur parcourus par une intensité continue font apparaître à leurs bornes une

chute de tension **continue** qui est appliquée au montage bivalve; l'un des redresseurs est obligatoirement dans le sens **direct** et permet le passage d'une intensité continue dans l'équipage mobile. Cette manipulation est utile pour souligner qu'une mesure sur un calibre **alternatif** d'une grandeur continue peut entraîner de grossières erreurs.

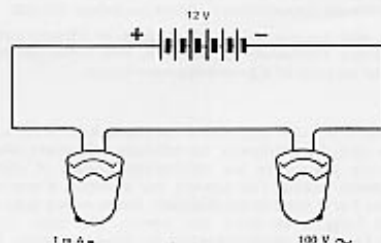


Fig. 36. Exemple d'utilisation anormale d'un contrôleur. On trouvera également, dans le chap. V, pages 34 à 36, quelques suggestions de manipulations comportant l'emploi, parfois anormal, des calibres de mesures de tensions alternatives.

2° Pour le calibre **10 volts**, le fonctionnement est un peu différent, et l'on voit sur la figure 35 que la tension mesurée est appliquée, par la résistance R14, à l'enroulement primaire 1-2. Le montage fonctionne ici en auto-transformateur et élève la tension mesurée avant de l'appliquer au circuit redresseur bivalve et à l'équipage. De ce fait, la tension reçue par ce circuit est suffisamment élevée pour que l'échelle de lecture soit rendue absolument linéaire, condition primordiale comme on l'a vu à la page 26.

La consommation du calibre 10 V est de 3,33 mA pour la déviation totale de l'équipage et comme l'enroulement 1-2 comporte 3000 spires, on voit que le nombre d'ampères-tours appliqué au transformateur est toujours de 10, comme dans le cas des mesures d'intensités.

CONSUMMATION DU MONOC EN VOLTMÈTRE ALTERNATIF

Nous avons déjà souligné que, dans les mesures de tensions alternatives, la consommation d'un appareil de mesure est pratiquement sans importance. C'est ce qui justifie le fait que :

Sur le calibre **10 volts alternatifs** le Monoc est un Voltmètre **300 ohms par volt**.

Sur les calibres **100, 300 et 1000 volts alternatifs** le Monoc est un voltmètre **900 ohms par volt**, alors qu'en voltmètre **continu** le Monoc est un appareil très sensible, **20.000 ohms par volt** (cf. page 18).

C'est, entre autres raisons, le choix de ces valeurs qui a permis de réaliser, dans le Monoc, l'échelle unique et linéaire.

CHAPITRE III

D'AUTRES POSSIBILITÉS DU MONOC

Dans tout ce qui précède, nous avons utilisé le Monoc seul sur ses calibres directs de mesure, et on a pu voir que les possibilités offertes correspondent à l'essentiel des besoins de la pratique journalière. Maintenant — et maintenant seulement — nous allons voir quels **services supplémentaires** le Monoc peut rendre :

- toujours seul, d'abord;
- avec quelques accessoires simples, ensuite.

MESURE D'UNE TRÈS FAIBLE TENSION CONTINUE

Dans les calculs détaillés reproduits page 21 nous avons vu que le Monoc, sur son calibre **1 milliampère continu**, présentait une chute de tension égale à 300 millivolts. Sa résistance est donc 300 ohms sur ce calibre. Il est équivalent de dire, dans ces conditions, que la déviation totale s'obtient lorsque 1 mA traverse l'appareil, ou bien lorsqu'on applique 0,3 volts aux bornes de l'appareil. De même, lorsque l'on observe une déviation, par exemple égale à la moitié de la déviation totale (50 sur l'échelle 0-100 et 15 sur l'échelle 0-30), on peut conclure à la fois que l'intensité est égale à 500 microampères, et que la tension aux bornes du Monoc est égale à 150 millivolts. Ainsi le Monoc seul, avec son **unique commutateur à 18 positions**, nous offre en réalité un... **dix neuvième** calibre de mesure directe qui peut être précieux; c'est le calibre **0,3 volts** qui s'obtient tout simplement en utilisant le plot **1 mA continu** et en effectuant la lecture sur l'échelle chiffrée 0-30. Comme l'échelle du Monoc est linéaire (cf page 11) et comme la classe de précision est égale à 1,5 sur les calibres continus, il est possible d'apprécier de petites déviations de l'équipage mobile et, dans les conditions ci-dessus, de mesurer valablement de très faibles tensions continues à partir de **quelques millivolts**. A noter toutefois que, dans cet emploi en millivoltmètre continu, le Monoc est un appareil **1000 ohms par volt** puisque la déviation totale exige 1 mA.

Nous aurions pu citer cette possibilité supplémentaire dans l'étude précédente des circuits de mesure d'intensités continues, page 13. Nous avons préféré attendre, pour l'évoquer, que les principes fondamentaux aient été logiquement développés : un voltmètre se branche en parallèle; un ampèremètre se branche en série. Une fois ces vérités premières exposées, on peut devant le schéma très simple de la figure 37 envisager le cas du Monoc connecté aux bornes d'une source de tension U, inférieure à 0,3 V. Le commutateur de l'appareil étant sur le plot **1 mA**, le Monoc est ici à la fois :

- un **millivoltmètre 300 mV** de résistance égale à 300 ohms, qui indique directement sur l'échelle 0-30 la tension aux bornes de la source U sur laquelle il est monté en parallèle,

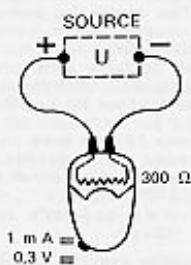


Fig. 37. Le MONOC utilisé en millivoltmètre.

- un **milliampèremètre 1 mA** de résistance égale à 300 ohms, qui indique directement sur l'échelle 0-100 l'intensité débitée par la source U dans la résistance de 300 ohms que constitue le Monoc monté en série.....

Le tableau de la page 21 peut même nous indiquer d'autres possibilités, introduisant alors, il est vrai, une interprétation un peu moins simple. Imaginons que nous souhaitions mesurer une f.e.m. E de l'ordre d'une centaine de millivolts, provenant d'une source de résistance interne r relativement grande. Il peut être intéressant d'utiliser le Monoc sur son calibre **0,1 mA** dont nous avons vu qu'il correspond à une chute de tension égale à 200 mV environ (valeur approximative, cette fois, alors que la valeur 300 mV relative au calibre 1 mA était une valeur **rigoureuse**). La lecture demandera une interprétation, puisque la déviation lue sur l'échelle 0 à 100 devra être **multipliée par 2** pour donner la f.e.m. E exprimée en millivolts. Mais le Monoc est ainsi un millivoltmètre 10.000 ohms/volt qui permet une mesure approchée, même pour des valeurs relativement élevées de r.

- **Manipulation.** *Toujours avec un unique Monoc, des mesures très intéressantes sont possibles. Soit par exemple une source de f.e.m. très limitée E (inconnue) et de résistance interne r également inconnue. On ne dispose que d'un unique Monoc sans aucun accessoire : est-il possible de mesurer valablement E et r ?*

D'après ce qui précède, nous relient la source au Monoc. Sur le calibre 1 mA, celui-ci nous indique par exemple 7,7/100 de la déviation totale, donc 77 microampères; nous savons que la résistance R de l'appareil, sur ce calibre, est égale à 300 ohms exactement. Nous passons ensuite sur le calibre 0,1 mA; la déviation devient 33/100 de la déviation totale, et nous savons que la résistance R' du Monoc vaut alors 2000 ohms environ.

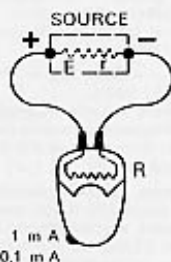


Fig. 38. Etude d'une source de f.e.m. faible.

D'après la figure 38, on peut écrire :

$$E = (R + r) \times 77 \cdot 10^{-4} = (R' + r) \times 33 \cdot 10^{-4}$$
 Connaissant $R = 300$ ohms et $R' = 2000$ ohms,
 on en tire les **ordres de grandeur** $r = 1000$ ohms
 $E = 100$ millivolts

Sur les deux calibres utilisés, le Monoc a servi non seulement à effectuer les mesures, mais a constitué une charge variable connue.

MESURE D'UNE TRÈS FAIBLE INTENSITÉ CONTINUE

Nous avons vu que le maximum de sensibilité des calibres directs du Monoc, en ampèremètre continu, était le calibre

0,1 mA, où la déviation totale correspond à 100 μ A et la chute de tension à 200 mV environ. Il est possible que l'on souhaite mesurer, par exemple dans un montage électronique, une intensité très faible, de l'ordre de quelques μ A dans un circuit alimenté sous plusieurs centaines de volts (c'est ainsi que l'on doit valablement contrôler les résistances de valeurs ohmiques très élevées, si importantes dans les circuits électroniques). On peut doubler la sensibilité du Monoc, en microampèremètre, en utilisant le calibre de tension 3 V continu. Nous avons vu en effet (page 17) que la déviation totale du Monoc est alors provoquée par 50 microampères seulement : à intensité égale dans le Monoc, la déviation sera doublée par rapport à celle du calibre 0,1 mA, au prix, il est vrai, d'une chute de tension plus grande aux bornes de l'appareil; mais cette chute de tension est négligeable dans le cas actuel: une tension écran de l'ordre de 300 volts est peu modifiée par la présence du Monoc sur son calibre 3 V continu.

MESURE DES CAPACITÉS USUELLES

Nous allons maintenant faire appel à un premier accessoire du Monoc; mais un accessoire qui existe partout: une prise de courant sur le réseau alternatif usuel.

Le Monoc offre, nous l'avons vu, des calibres de mesure directs d'intensités alternatives. Lorsqu'un condensateur de capacité C est monté en série avec une résistance R et que l'ensemble est soumis à une différence de potentiel alternative sinusoïdale de valeur efficace U, on démontre que l'intensité efficace qui traverse le montage a pour valeur:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{C^2 \omega^2}}}$$

En Europe, la fréquence est 50 Hz, et la pulsation a pour valeur: $\omega = 2 \pi f = 314$.

Si R^2 est petit devant $\frac{1}{C^2 \omega^2}$, la formule précédente devient $I = U C \omega$ dans laquelle ω est une constante (314) et U peut être connu: le Monoc est là, avec ses calibres **Volts alternatifs**, pour mesurer la valeur efficace de la tension du réseau. Supposons que celle-ci soit égale à 120 volts, il vient:

$$I = U_{\text{eff}} C \omega = 120 \times 314 \times C \\ I = 37.680 C$$

formule classique dans laquelle I s'exprime en ampères et C en farads. Les condensateurs usuels étant de l'ordre de quelques microfarads, la formule peut s'écrire:

$$I (\text{mA}) = 37,7 C (\mu\text{F})$$

En d'autres termes, un condensateur de 1 μ F alimenté par le réseau alternatif usuel 120 V, est traversé par 37,7 milliampères. Réciproquement, si votre Monoc indique sur son calibre 0,1 A alternatif les 37/100 de la déviation totale lorsqu'il est monté en série avec un condensateur et que l'ensemble est relié au secteur 120 V 50 Hz, c'est que le condensateur a une capacité égale à 1 μ F. La loi précédente étant linéaire, dès l'instant où un contrôleur comporte des circuits de mesure d'intensités alternatives, il est possible d'enrichir son cadran par une échelle de lecture **directement graduée en microfarads**: 1 μ F pour 37 mA, 2 μ F pour 74 mA, etc.

Certains contrôleurs multiples comportent une échelle supplémentaire de ce genre. Mais nous avons vu pour quelles raisons le Monoc possède une **échelle unique** (cf. page 11). Il n'en demeure pas moins que le Monoc autorise, lui aussi, ce type de mesure. Il est important de noter que, si le condensateur mesuré est défectueux et en court-circuit, l'appareil est alors soumis **directement à la tension du réseau** alors qu'il est sur un calibre **intensité alternative**: les systèmes de protection automatique doivent alors intervenir (cf. page 26). Mais il est préférable de **vérifier d'abord** que le condensateur n'est pas en court-circuit (mesure sur un calibre ohmmètre du Monoc) et **ensuite seulement** de mesurer la capacité de ce condensateur (mesure de l'intensité alternative sous 120 V).

MESURE DES CAPACITÉS ÉLECTROLYTIQUES

On sait que les condensateurs électrolytiques sont **polarisés** et ne doivent pas être soumis à des tensions inverses qui peuvent les détruire. D'autre part, ces condensateurs ont des capacités souvent très grandes: 500, 1000, voire même 5000 μ F. Il n'est donc pas possible d'appliquer la méthode précédente. Différentes méthodes sont utilisables, mais un seul Monoc peut être suffisant pour contrôler la capacité d'un condensateur électrolytique, sans autre accessoire qu'une montre indiquant les secondes.

On sait que la **constante de temps RC** d'un circuit comportant une résistance R (ohms) shuntant un condensateur C (farads) s'exprime en secondes et correspond au temps nécessaire pour que l'intensité de décharge du condensateur dans la résistance passe de la valeur i à la valeur i/e , e étant la base des logarithmes népériens (2,71828...).

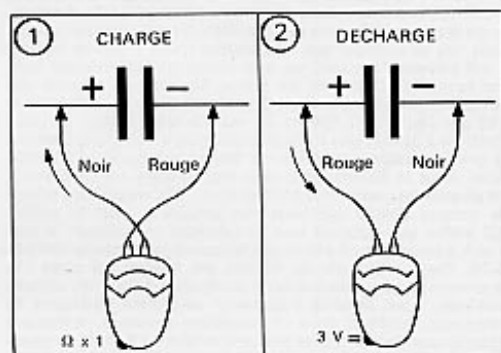


Fig. 38. Mesure d'une capacité électrolytique à l'aide du MONOC.

• **Manipulation.** Toujours en supposant que l'on dispose uniquement d'un seul Monoc, on peut opérer en deux temps (figure 38).

1° **Charge du condensateur de capacité inconnue C:** En respectant sa polarité et compte tenu du fait que le + de la pile du Monoc est relié au cordon noir, on relie le condensateur au Monoc utilisé sur son calibre $\Omega \times 1$. La pile du Monoc charge le condensateur, ce qui demande quelques secondes. La charge est correcte dès que l'aiguille du Monoc est revenue au zéro; si elle ne l'atteint pas, elle indique un courant de fuite notable du condensateur électrolytique.

2° On déconnecte le Monoc; on passe sur le calibre 3 V continu et l'on croise les connexions avant de brancher à nouveau le condensateur. On observe ainsi une déviation lisible du Monoc, qui correspond ici au courant de décharge dans une résistance R de 60.000 ohms. On déclenche le chronomètre, par exemple lorsque l'aiguille indique 38; il suffit d'attendre le temps nécessaire pour que l'indication soit devenue 38/e, soit très sensiblement 14; on arrête alors le chronomètre. Le temps mesuré, en secondes, correspond à la constante de temps du circuit RC dans lequel on connaît $R = 60.10^3$ ohms. Pour RC égal à 100 secondes par exemple, on a C, en farads, égal à $100/60.10^3 = 1,6.10^{-2}$ F ou 1600 μ F.

Une manipulation analogue, effectuée avec un appareil enregistreur (Polygraphe, notice EN 13) peut donner en outre le tracé complet de l'exponentielle de décharge.

ÉVALUATION D'UN COEFFICIENT DE SELF-INDUCTION L

Soit par exemple un enroulement de transformateur de puissance notable. L'impédance de cet enroulement, alimenté sous une fréquence f est de la forme : $Z = \sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}$ R étant la résistance ohmique de l'enroulement et ω la pulsation ($2\pi f$). Dans le cas général où R est très petit devant $L\omega$, la loi d'Ohm généralisée $U = Z I$ devient $U = L \omega I$. La valeur efficace U de la tension alternative du réseau 50 Hz est connue

et stable; l'intensité alternative que l'on peut mesurer à vide, le Monoc étant disposé en série avec l'enroulement, indique

$$I = \frac{U}{L\omega}$$

formule dans laquelle U et ω sont connus. On peut donc évaluer la valeur du coefficient de self L par la mesure de I effectuée sur l'un des calibres intensités alternatives du Monoc dans les conditions rappelées ci-dessus. Ceci permettra d'apprécier tout l'intérêt d'un calibre 10 A alternatif de mesure directe.

CHAPITRE IV QUELQUES ACCESSOIRES DU MONOC

Avec quelques accessoires judicieusement choisis, les possibilités de mesure qu'offre le même Monoc deviennent presque illimitées.

MESURES DE HAUTES TENSIONS CONTINUES

Jusqu'à 1.000 volts continus, le Monoc permet, sans aucun accessoire, toutes les mesures. Il n'est pas possible de dépasser sensiblement cette limite dans un appareil miniaturisé, en raison des précautions d'isolement indispensables lorsque l'on mesure des tensions plus élevées. C'est pourquoi des sondes séparées doivent être montées en série avec le Monoc pour la mesure des très hautes tensions. Chaque sonde contient une résistance de valeur ohmique ajustée afin que, le Monoc lui-même étant sur son calibre 3 V continu, la déviation totale s'obtienne, selon les montages de la fig. 40, pour 5000 volts continus (sonde rouge à bout noir) ou 30 000 volts continus (grande sonde).

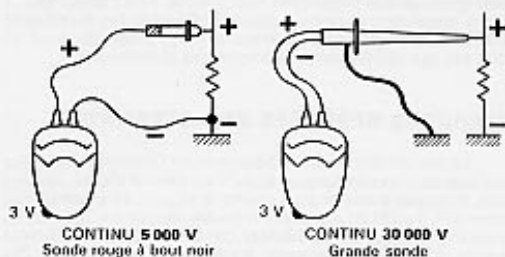


Fig. 40. Les sondes séparées pour la mesure des hautes tensions continues.

A gauche : 0 à 5000 V.
A droite : 0 à 30000 V.

La consommation du Monoc reste toujours ici égale à 50 μ A : Le Monoc conserve tous les avantages d'un voltmètre très résistant (20.000 Ω/V), (cf page 18).

MESURES DE HAUTES TENSIONS CONTINUES AVEC IMPULSIONS SUPERPOSÉES

Certains circuits, comme ceux des balayages lignes des téléviseurs, sont parcourus par des impulsions très brèves mais de grande amplitude, superposées à une haute tension continue. Ces impulsions constituent des surtensions responsables de bien des claquages dans certains contrôleurs classiques. Pour mesurer valablement les hautes tensions continues de tels circuits, il est nécessaire d'utiliser la sonde spéciale continu 1000 volts montée comme l'indique la figure 41.

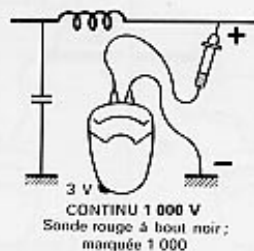


Fig. 41. Mesure d'une tension continue 0 à 1.000 V avec impulsions de grande amplitude.

MESURES DES HAUTES TENSIONS SUPERPOSÉES A DES OSCILLATIONS DE HAUTE FRÉQUENCE

Le problème est ici de ne pas perturber les oscillations HF dont beaucoup de circuits électroniques sont le siège, lorsque l'on mesure la tension continue superposée à ces oscillations. Pour cela, toutes les capacités réparties des éléments du Monoc y compris des cordons doivent être éliminées lors de la mesure. Celle-ci s'effectue par l'intermédiaire d'une sonde dynamique, qui offre elle-même les calibres de mesure 30-100-300 et 1000 V, le Monoc étant toujours sur son calibre 3 V— et sa résistance conservant la valeur de 20.000 ohms/V (fig. 42).

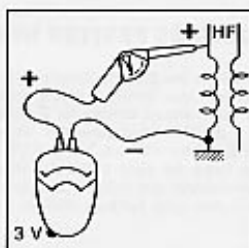


Fig. 42. Mesure des tensions continues sur montages électroniques haute fréquence.

MESURES DES FORTES INTENSITÉS CONTINUES

Nous avons vu que le Monoc, sur son calibre 1mA continu avait une chute de tension égale à 300 mV. Lorsque l'on doit

mesurer des intensités continues dépassant 1 ampère, il suffit de prévoir dans le circuit un **shunt 0,3 V** (type M), du calibre choisi (10 A, 30 A ou 100 A).

Ces shunts sont constitués par deux blocs de laiton massif et des lames résistantes en **manganèse**.

Cet alliage est choisi pour son très faible coefficient de température : l'échauffement éventuel du shunt parcouru par un "courant fort" ne modifie pas sa résistance. D'autre part, le couple laiton-manganèse ne présente qu'une f.e.m. thermo-électrique négligeable et ne fausse pas la mesure.

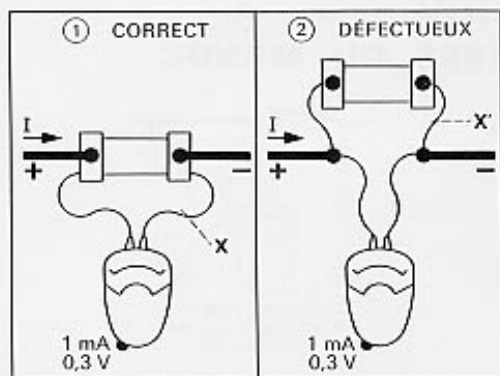


Fig. 43. Shunts séparés pour courants forts en continu. A gauche, le montage correct à respecter.

Comme l'indique la figure 43, le Monoc sur son calibre **1 mA** doit être relié aux douilles latérales du shunt. Il est très important de ne pas commettre d'inversion entre les connexions principales du shunt et les douilles latérales destinées au Monoc. Dans le montage correct représenté à gauche, fig. 43, une coupure accidentelle en X par exemple suspend momentanément la mesure, sans faire courir aucun danger au Monoc. Dans le mauvais montage à droite, une coupure ou un simple mauvais contact en X tendrait à faire passer 10 A, 30 A ou même 100 A dans le circuit **1 mA** du Monoc. Comme l'indique la figure 43 à gauche, le Monoc doit être utilisé ici comme un **millivoltmètre 0,3 V** mesurant la chute de tension aux bornes du shunt parcouru par l'intensité principale.

MESURES DE TRÈS PETITES RÉISTANCES

Nous avons décrit les caractéristiques du Monoc seul en ohmmètre direct et nous avons vu qu'il permettait tous les contrôles usuels des valeurs ohmiques à partir d'une dizaine d'ohms. Pour les problèmes particuliers exigeant la mesure des résistances de faibles valeurs, entre 0,05 et 10 ohms, un **Milliohmètre type M** peut être associé au Monoc : on peut alors lire directement sur celui-ci la valeur ohmique d'une résistance sur l'un des cinq calibres choisis : **0,1 Ω ; 0,3 Ω ; 1 Ω ; 3 Ω et 10 Ω**.

MESURE DES FORTES INTENSITÉS EN ALTERNATIF

On souhaite souvent contrôler des intensités alternatives importantes, et c'est pourquoi le Monoc offre un calibre de mesure directe **10 A**. Il peut arriver qu'une intensité plus grande soit à mesurer ; dans ce cas, il s'agit généralement de conducteurs de grande section malaisément démontables ; en outre, pour bien des applications industrielles, il est gênant de devoir

couper un circuit pour y insérer un ampèremètre. La solution rationnelle pour ces mesures est celle du **transformateur-pince**, qui est un transformateur de mesure dont le circuit magnétique peut être instantanément ouvert pour être engagé sur le conducteur parcouru par l'intensité à mesurer (figure 44). Cette pince-transformateur offrant le rapport de transformation **1000/1**, on obtient ainsi la possibilité de lire directement sur le Monoc :

- Les intensités alternatives jusqu'à **100 ampères** lorsque le Monoc est sur son calibre **0,1 A alternatif**.
- Les intensités alternatives jusqu'à **1000 ampères** lorsque le Monoc est sur son calibre **1 A alternatif**.

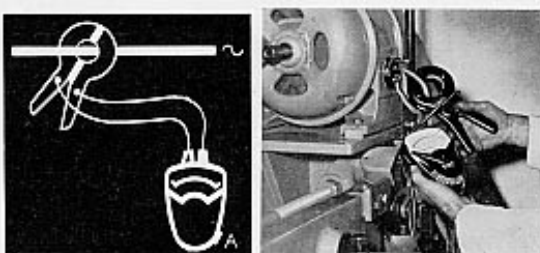


Fig. 44. Transformateur pince pour courants forts en alternatif. A droite : exemple d'emploi sur un moteur.

Noter qu'il est également possible, si le conducteur dans lequel circule l'intensité à mesurer est suffisamment souple, de lui faire constituer **plusieurs spires dans l'ouverture** de la pince-transformateur. On modifie ainsi à volonté le rapport de transformation pour définir le calibre permettant la meilleure mesure. Enfin, les intensités alternatives très importantes n'existant guère qu'aux fréquences industrielles, il faut savoir que la pince-transformateur est adaptée à la fréquence du réseau usuel **50 Hz** et autorise même les mesures jusqu'à **500 Hz**, mais ne doit pas être utilisée pour des fréquences plus élevées.

MESURES RÉPÉTÉES EN ALTERNATIF

Lorsqu'on doit contrôler fréquemment l'intensité alternative qui parcourt un conducteur, et qu'il est gênant d'avoir, chaque fois, à couper le circuit pour insérer le Monoc en ampèremètre alternatif, il suffit de compléter le fusible normal de l'installation existante par une **prise fusible** qui permet un raccordement rapide du Monoc **sans avoir à couper le circuit** (fig. 45).

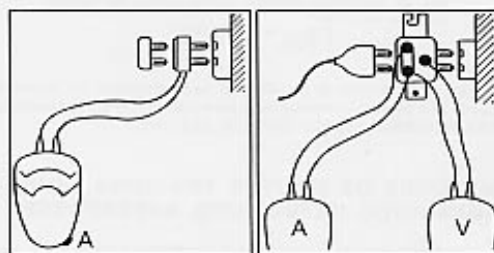


Fig. 45. Les raccords rapides utilisables avec le MONOC. A gauche : la "prise fusible". A droite : le "connecteur universel".

Dans le même esprit, le **connecteur universel** peut être intercalé dans un circuit pour brancher correctement un Monoc soit en ampèremètre, soit en voltmètre.

MESURES DE HAUTES TENSIONS EN ALTERNATIF

Une sonde spéciale rouge constituée d'une résistance de précision soigneusement isolée, peut être montée en série avec le Monoc sur son calibre **100 V alternatif**. On obtient alors la déviation totale de l'appareil pour **3000 V alternatif**. La résistance de l'appareil reste égale à **900 Ω /V**.

MESURES PRÉCISES DE CERTAINES VALEURS DE TENSIONS

On souhaite parfois un maximum de précision dans la mesure souvent répétée de valeurs numériques particulières, alors que le principe même d'un contrôleur miniature, à échelle de lecture unique, interdit de multiplier les calibres de mesures directes. Dans ce cas, on peut ajouter un calibre de mesure particulièrement favorable, à l'aide d'une sonde qui comporte une résistance ajustée pour permettre la mesure dans les meilleures conditions.

1) Si par exemple l'on désire mesurer avec une précision maximale une tension continue de l'ordre de 60 à 80 volts, la mesure doit s'effectuer sur le calibre immédiatement supérieur qui est ici 300 V (cf page 13). Le résultat de la lecture devra s'interpréter $\pm 4,5$ volts puisque la précision est celle de la classe 1,5. Dans le cas où cette précision ne semblerait pas suffisante, il suffit d'adapter au Monoc la sonde spéciale marquée 3-100 V et d'utiliser l'appareil sur son calibre **3 V continu**. Cette sonde comporte une résistance de valeur ohmique égale à 1.940.000 ohms : la résistance du Monoc ainsi complété devient égale à 2 mégohms et sa déviation totale correspond à 100 V. La mesure précédente doit alors s'interpréter $\pm 1,5$ volts ; le gain en précision peut être apprécié.

2) De même, pour certaines mesures de tensions alternatives, un calibre intermédiaire entre les calibres directs **300 V** et **1000 V** du Monoc peut être utile : on emploie alors une sonde spéciale marquée **100-600 V**. Celle-ci comporte une résistance de valeur ohmique égale à 540.000 Ω . Le Monoc utilisé sur son calibre **100 V alternatif** devient ainsi un voltmètre **600 V alternatif** ; la résistance interne restant égale à 900 Ω /V.

3) Enfin, il est possible de souhaiter une précision encore supérieure dans certains domaines particuliers de mesure : de **20 à 30 volts en continu**, de **100 à 130 volts en alternatif**. On peut alors associer au Monoc l'une des **loupes électriques** spécialement prévues dans ces deux domaines. La loupe "continu" permet d'effectuer les mesures de tensions continues entre 20 et 30 volts avec une erreur inférieure à ± 150 millivolts ; la classe de précision du Monoc devient ainsi **0,5** et offre les performances d'appareils beaucoup plus onéreux. De même, la loupe électrique "alternatif" permet au Monoc de mesurer des valeurs efficaces de tensions alternatives entre **100 et 130 volts** avec une erreur inférieure à ± 700 millivolts, atteignant pratiquement la classe **0,5** assez exceptionnelle pour un voltmètre alternatif de cette catégorie.

LE MONOC A D'AUTRES ACCESSOIRES ENCORE :

Tel qu'il est conçu, le Monoc peut être utilisé comme **Galvanomètre de sortie** sur de nombreux montages relevant des techniques les plus diverses, chacun de ceux-ci se trouvant grandement simplifié de ce fait. Et chaque possesseur d'un Monoc peut se constituer ainsi, un véritable laboratoire, portatif toujours à la page.

Citons, à titre d'exemple :

- La cellule photo-électrique, type M, à couche d'arrêt, pour toutes les mesures d'éclairement, de 0 à 1000 lux, et de 0 à 10.000 lux.
- Le Transistodiode, pour la vérification et le classement rapide des transistors et des diodes jusqu'à 200 mW, par la mesure de leurs paramètres principaux.
- Le Signal-Traceur, pour la recherche rapide des pannes sur tous récepteurs Radio ou Télévision (son), ainsi que pour la détection des transistors défectueux en circuit dans un montage d'électronique, sans avoir à les dessouder.
- L'Ohmmètre de boucle, destiné aux installateurs électriciens, pour la vérification des mesures de sécurité dans les installations Lumière et Force, en conformité avec les normes et règlements en vigueur.

CHAPITRE V

QUELQUES SUGGESTIONS DE MANIPULATIONS SIMPLES

Les tableaux suivants suggèrent quelques manipulations extrêmement simples qui ne constituent pas des emplois normaux du Monoc, mais qui illustrent les pages précédentes et vous permettront de mieux connaître votre appareil. Dans ces tableaux, le symbole ε signifie très petite déviation. Le symbole Δ signifie déviation totale. La colonne Observations renvoie à la page correspondante de cette notice technique.

1) UN MONOC RELIÉ A UNE PILE 1,5 VOLT NEUVE :

CALIBRE	LECTURE	MESURE	OBSERVATIONS
1000 V = 300 V = 30 V = 3 V =	ε 0,5/100 Δ 5/100 Δ 50,5/100 Δ	ε 1,5 V 1,5 V 1,51 V	Cf. page 13 Noter le coefficient de dépassement négligeable (page 10)
1000 V \curvearrowright 300 V \curvearrowright 100 V \curvearrowright 10 V \curvearrowright	0 0 — ε à la fermeture et à l'ouverture. — Lancée d'aiguille à la fermeture et à l'ouverture - Stabilisation vers 7/100 Δ		Cf. page 28
1 A = 0,1 A =	$> \Delta$ $> \Delta$	> 1 A $> 0,1$ A	Couper rapidement Couper rapidement Cf. pages 14 et 19
Éviter la mesure sur les calibres 10 mA - 1 mA - 0,1 mA			
0,1 A \curvearrowright 1 A \curvearrowright 10 A \curvearrowright	— Lancée d'aiguille à la fermeture et à l'ouverture, atteignant 7/100 Δ — Idem, mais amplitude plus faible — Idem, mais amplitude plus faible		Cf. page 27
$\Omega \times 100$ $\Omega \times 1$	$> \Delta$ $> \Delta$	Sans signification Sans signification	Cf. page 22

2) DEUX MONOCS MONTÉS EN SÉRIE, ET L'ENSEMBLE RELIÉ A UN ÉLÉMENT D'ACCUMULATEUR 2 VOLTS BIEN CHARGÉ

1 ^{er} MONOC			2 ^e MONOC sur son calibre 3V =		Observations
Calibre	Lecture	Mesure	Lecture	Mesure	
10 A \curvearrowright 1 A \curvearrowright 0,1 A \curvearrowright	0 0 0	0 0 0	70/100 Δ 70/100 Δ 70/100 Δ	2,1 V 2,1 V 2,1 V	Chute de tension négligeable dans le 1 ^{er} Monoc
10 V \curvearrowright 100 V \curvearrowright 300 V \curvearrowright 1000 V \curvearrowright	ε à la fermeture et à l'ouverture 0 0 0	0 0 0 0	67/100 Δ 27,5/100 Δ 12,5/100 Δ 4 /100 Δ	2,0 V 0,82 V 0,37 V 0,11 V	Chute de tension de plus en plus importante dans le 1 ^{er} Monoc
1000 V = 300 V = 30 V = 3 V =	0 (1- ε)/100 Δ 6/100 Δ 35/100 Δ	0 ε 1,8 V 1,05 V	ε (1- ε)/100 Δ 6/100 Δ 35/100 Δ	ε ε 6/100 \times 33 = 1,98 V 2 \times 1,05 V	Cf. page 17
1 A = 0,1 A = 10 mA = 1 mA = 0,1 mA =	0 0 ε 3/100 Δ 33,5/100 Δ	0 0 ε 30 μ A 33,5 μ A	70/100 Δ 70/100 Δ 70/100 Δ (70- ε)/100 Δ 67/100 Δ	2,1 V 2,1 V 2,1 V < 2,1 V 2 V	Cf. pages 17 et 19
$\Omega \times 100$ $\Omega \times 1$	80/100 Δ ε		80/100 Δ $> \Delta$		La pile du 1 ^{er} Monoc est en série avec l'accu. Cf. pages 22 et 23

3) AVEC 2 MONOCS

1 ^{er} MONOC en ohmmètre			mesurant le 2 ^e MONOC, sur son calibre :		
Calibre	Lecture (Ω)	Mesure	Calibre	Déviati on permanente	Observations
$\Omega \times 1$ $\Omega \times 1$ $\Omega \times 1$	0 0 6	court-circuit court-circuit 6 Ω	10 A 1 A 0,1 A	0 0 0	Lancée d'aiguille à la fermeture et à l'ouverture. cf page 27
$\Omega \times 1$ $\Omega \times 100$ $\Omega \times 1$ $\Omega \times 100$ $\Omega \times 1$ $\Omega \times 100$ $\Omega \times 1$ $\Omega \times 100$	3200 31 ∞ 900 ∞ 3000 ∞ 10.000	3200 Ω 3100 Ω — 90.000 Ω — 300.000 Ω — 1 M Ω	10 V » 100 V » 300 V » 1000 V »	4/100 Δ 0 0 0 0 0 0 0	Cf page 28
$\Omega \times 1$ $\Omega \times 100$ $\Omega \times 1$ $\Omega \times 100$ $\Omega \times 1$ $\Omega \times 100$ $\Omega \times 1$ $\Omega \times 100$	∞ c ∞ c 6000 c 600	— R très grande — R très grande — 600.000 Ω — 600.000 Ω	1000 V= » 300 V= » 30 V= » 3 V= »	0 0 0 c 4/100 Δ » 45/100 Δ 32,5/100 Δ	R vaut 20 M Ω et ne peut être directement mesuré - Cf. page 23 R vaut 6 M Ω et ne peut être directement mesuré - cf. page 23 Cf. pages 18 et 23
$\Omega \times 1$ $\Omega \times 100$ $\Omega \times 1$ $\Omega \times 100$ $\Omega \times 1$ $\Omega \times 100$ $\Omega \times 1$ $\Omega \times 100$	0 0 1 0 32 0 env. 300 < 10 2000 > 20	court-circuit court-circuit 1 Ω — 32 Ω 0 env. 300 Ω < 1000 Ω 2000 Ω > 2000 Ω	1 A= » 0,1 A= » 10 mA= » 1 mA= » 0,1 mA= »	c 0 5/100 Δ 0 44,5/100 Δ c > Δ 4,5/100 Δ Δ 46/100 Δ	Comparer la "mesure" en ohms et les valeurs exactes indiquées page 20. Cf. page 13 Cf. page 13

4) DEUX MONOCS ET UNE PILE 1,5 V

- 1^o Circuit ouvert : vérifier les zéros des 2 Monocs.
- 2^o A la fermeture du circuit
 - lancée d'aiguille dans le Monoc de gauche, qui revient ensuite au zéro (cf. page 27).
 - déviation permanente $> \Delta$ dans le Monoc de droite.
- 3^o A l'ouverture du circuit : même lancée d'aiguille dans le Monoc de gauche, puis retour au zéro des deux appareils.
- 4^o Des contacts répétés avec une fréquence suffisante au pôle négatif de la pile font apparaître une déviation permanente des deux appareils ; plus la fréquence augmente, plus la déviation du Monoc de gauche est importante.

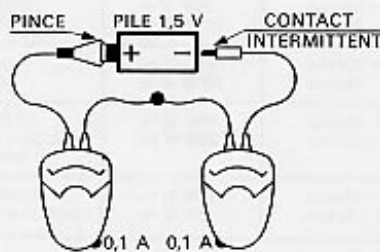


Fig. 46. Expérience des 2 MONOCS et de la pile.