

# LA MESURE DES RÉSISTANCES ET ISOLEMENTS DE HAUTE VALEUR

## HIGH RESISTANCE HIGH INSULATION MEASUREMENTS

par J. LEMOUZY

Il y a peu de temps, un isolement de 1 000 M $\Omega$  était considéré comme « l'infini ». Récemment, les meilleurs Mégohmmètres du marché mondial ne permettaient guère de mesurer au-delà d'un million de M $\Omega$  et encore, en utilisant des tensions très élevées. Maintenant, un isolement de 10 000 M $\Omega$  peut constituer en électronique un véritable court-circuit et pour pouvoir mesurer les isolants modernes : polythène, araldite, téflon, plexiglass, nylon, silicones, une sensibilité supérieure au milliard de M $\Omega$  (10<sup>15</sup>  $\Omega$ ) est indispensable.

Les courants de fuite de tels isolements étant de l'ordre du pico-ampère (10<sup>-12</sup> A) il est impossible d'opérer la mesure avec un simple galvanomètre et l'on a recours à des montages électroniques à haute sensibilité. Mais de telles mesures, pour éviter des erreurs grossières, ou même pour opérer des mesures comparatives valables, nécessitent des précautions de manipulation et certaines connaissances sur le comportement différent des résistances pures, des isolants et des isolements en fonction de la température, de la tension de mesure, de la durée de son application, et éventuellement de la capacité de l'isolement.

Ces connaissances, les électroniciens les possèdent en général, mais ce n'est pas toujours le cas des Techniciens d'autres branches, que le progrès amène à utiliser des appareils électroniques de mesure, d'essai ou de contrôle de fabrication. C'est plus spécialement à leur intention que nous nous proposons, dans un exposé sommaire et sans prétention technique, d'examiner ce sujet, avant de décrire les diverses méthodes de mesures et les possibilités d'un nouveau Mégohmmètre.

### Classification.

Etant donné le comportement différent des résistances selon leur grandeur et leur nature physique, nous les classerons en trois catégories :

- les résistances pures,
- les isolants,
- les isolements capacitifs.

### Résistances pures.

Nous entendons par résistances pures, les résistances bobinées, agglomérées ou à couche présentant une capacité négligeable.

Ces résistances possèdent : un coefficient de tension, de température et pour les valeurs élevées, un phénomène de polarisation.

De ces trois facteurs, le coefficient de tension est le plus important ; de son fait certains types de résistance peuvent varier de 10 à 300 % selon que la mesure est effectuée sous 5-10-50-250 ou 500 Volts. Cela explique « une » des raisons du manque de concordance dans les indications de plusieurs Mégohmmètres si les tensions de mesure sont sensiblement différentes et de l'intérêt d'opérer le contrôle à la tension d'utilisation.

*Not so long ago, 1 000 M $\Omega$  was regarded as an « infinite » resistance and, quite recently, the finest megohm-meter instruments available on the market still could not provide measurements beyond 1 million M $\Omega$  — an operation that entailed the application of very high test potentials. Now, with certain electronic applications, a 10 000 M $\Omega$  insulation is liable to behave as an actual short-circuit, and, to permit the measurement of modern insulating materials such as polythene, araldite, silicones, teflon, nylon, plexiglass etc... meter sensitivities must exceed 1 million M $\Omega$  (10<sup>15</sup>  $\Omega$ ).*

*With insulation materials of that nature, the leakage current is in the pico-A (10<sup>-12</sup> A) order and measurements cannot be obtained with conventional galvanometers — electronic circuits of very high sensitivity are the only solution. However, to avoid gross inaccuracies or even, to ensure acceptable comparative measurements, special operating precautions and an expert knowledge is required on the behaviour of pure resistances, of insulating and insulating materials relatively to temperature and even of insulation capacity.*

*Electronicians generally possess that knowledge. But such may not always be the case with those technicians in other fields, who are called to operate electronic measuring, test and monitoring instruments. Before launching into the description of the operation and possibilities of a new ultra-high resistance-measuring instrument, we propose to cover the subject of high-resistance measurements in a short and simple abstract designed to be of assistance to technicians not conversant with this particular technique.*

### Classification.

*In view of the specific behaviour of resistances according to individual dimensional and physical characteristics, the following classification will be adopted :*

- Pure resistances.
- Insulating materials.
- Capacitive insulation.

### Pure resistances.

*« Pure » resistances cover the range of wire-wound, composition or deposited-film resistors presenting negligible capacitance.*

*Such resistances are characterized by a voltage coefficient and a temperature coefficient. High resistance values present, in addition, a « polarization » phenomenon.*

*The voltage coefficient is the major factor. It is responsible for the fact that certain types of resistance may offer a variation range of 10 to 300 %, depending upon*

Le coefficient de température présente une importance moindre. Néanmoins, il peut entraîner des variations de valeur de 1 à 20 % si la température d'utilisation diffère de 10 à 30° de celle d'étalonnage.

#### Les isolants .

Nous entendons par isolants, les matières dites non conductrices : verre, porcelaine, caoutchouc, huile, nylon, plexiglass, polythène, résines vinyliques, etc...

#### Comportement des isolants .

Lors de la mesure de la résistance d'un isolant, on constate que la valeur augmente durant un certain temps avec la durée d'application de la tension de mesure.

Certains attribuent cette variation à une « constante de temps » du Mégohmmètre ; c'est inexact, notamment si la résistance ne présente pas de capacité notable et, même dans ce dernier cas, elle n'excéderait pas quelques minutes.

L'augmentation de valeur est due à un phénomène complexe, sorte de polarisation de l'isolant, dont la vitesse de variation et surtout la durée, sont d'autant plus élevées que meilleure est sa qualité. Le phénomène varie sensiblement selon une droite à coordonnées logarithmiques. Par exemple :

— une capacité de 0,1  $\mu$ F isolée au papier, soumise à une tension de 250 Volts passera de  $10^{10}\Omega$  à la mise sous tension à  $5.10^{10}$  après une minute et à  $8.10^{10}$  après une heure.

Tandis qu'une capacité au Polystyrol de même valeur accusera  $10^{11}\Omega$  à la mise sous tension,  $10^{12}$  après une minute et  $10^{14}$  après une heure et continuera encore à augmenter de valeur.

Autre exemple :

— l'isolement entre deux couches de fil émaillé (C = 1 000 pF. environ) accusera  $2.10^{11}\Omega$  à la mise sous tension et atteindra  $2,4 \cdot 10^{14}\Omega$  et après 28 heures de mise sous tension.

A noter que les isolants, tout comme les résistances pures, présentent un coefficient de tension et de température variables dont il y a lieu de tenir compte ; une stéatite chauffée présente vers 500° une brusque variation de sa courbe de résistance.

L'humidité a également une très grande influence sur certains isolants ; une pièce en stéatite mal siliconée voit fluctuer sa résistance depuis  $5.10^{10}$  à  $10^{12}\Omega$  selon l'état hygrométrique de l'atmosphère.

#### Isolements capacitifs .

Nous entendons par isolements, la résistance mesurée entre deux parties conductrices séparées par un isolant ou encore, une partie conductrice isolée du sol-condensateur, câble blindé, câble immergé, ligne, transformateur, etc...

La mesure « exacte » d'un isolement de cette nature nécessite, si on désire éviter de grossières erreurs, quelques précautions, car interviennent non seulement les coefficients de tension, de température et la polarisation, mais aussi la capacité, qui, avec les Mégohmmètres classiques, occasionne une constante de temps de mesure d'autant plus importante que la capacité et la résistance d'isolement sont plus élevées.

Il en résulte un blocage de l'aiguille, jusqu'à ce que la charge de la capacité soit atteinte et si la durée de ce blocage excède une minute, il devient impossible d'opérer la mesure dans le temps standard de la norme française, ou même d'opérer des mesures comparatives valables étant donné que pour deux isolements rigoureusement identiques, mais de capacité différente, le déblocage de l'aiguille ne pourra pas s'opérer dans le même temps et celui qui présente la capacité la plus élevée se polarisera davantage et accusera une résistance plus élevée.

test voltage (5-10-50-250 or 500 volts...). This characteristic partly accounts for discrepancies in certain Megohmmeter readings when test voltages are different — and stresses the necessity for strict test voltage checks.

Temperature coefficients have a lesser incidence on measurement accuracy. However, they may be responsible for variations in readings ranging from 1 to 20 % if test temperatures differ by 10 to 30 °C from the calibration figures.

#### Insulating materials .

This term covers all « non-conducting » materials : glass, porcelain, rubber, oil, nylon, plexiglass, polythene, vinyl resins, etc...

#### Behaviour of insulating materials .

When insulating materials are tested for resistance, it is observed that readings « creep up » for a period of time while the test voltage is applied.

The phenomenon is sometimes attributed to the « time-constant » of the Megohmmeter : the assumption is erroneous, in particular when the resistance does not offer marked capacitance — Even so, the variation would not exceed a few minutes.

The resistance rise is due to a complex phenomenon which could be described as a « polarization » effect of the material. Variation rate and duration increase with the quality of the material. The resistance-rise curve approximates a straight line with logarithmic coordinates. For instance :

— A paper capacitor of 0.1  $\mu$ fd tested at 250 volts gives  $10^{10}\Omega$  when the voltage is applied,  $5.10^{10}$  a minute later and  $8.10^{10}$  after an hour under tension.

A polystyrol capacitor of similar value gives  $10^{11}\Omega$  when voltage is first applied,  $10^{12}$  after one minute,  $10^{14}$  after an hour, the rise continuing beyond that period.

— The insulation across two layers of enameled wires (C = 1 000 picofd approximately) giving  $2.10^{11}\Omega$  when the test voltage is applied will reach  $2.4 \cdot 10^{14}\Omega$  after 28 hours under tension.

It must also be mentioned that insulating materials — like pure resistances — feature variable voltage and temperature coefficients which must be taken into account. Steatites, when heated, show a sharp variation of their resistance curve in the vicinity of the 500 °C point.

Moisture also has a serious effect on some insulating materials : Steatite parts with poor siliconing show resistances that may vary with ambient moisture from  $5.10^{10}$  to  $10^{12}\Omega$ .

#### Capacitive insulation .

Insulation can be described as the resistance measured across two conductor elements separated by an insulating material — or, again, insulated conductor and ground : capacitor, shielded cable, immersed cable, line, transformer, etc...

« Precision » measurements of capacitive insulation demands certain precautions if large errors are to be avoided, because, in addition to voltage and temperature coefficients and « polarization » effects, insulation capacity has to be accounted for. With conventional megohmmeters, insulation capacity introduces a time-constant in the measurement, that increases with the resistance and capacity value of the insulating media.

### Autres causes d'erreurs de mesure.

Les isollements capacitifs modernes (condensateurs ou câbles au polythène par exemple) pouvant conserver une charge plusieurs jours ou semaines (ce qui les fait se polariser davantage), il importe d'éviter d'opérer une nouvelle mesure sans avoir au préalable mis en court-circuit l'isollement pendant plusieurs heures pour faire disparaître la tension d'hystérésis et la polarisation. Sans cette précaution, la résistance d'isollement apparaîtrait considérablement plus élevée par rapport à un même isollement (« vierge ») mesuré dans le temps standard d'une minute.

Pour la même raison, il faut s'abstenir d'opérer des mesures successives sur des condensateurs ou câbles sans les avoir au préalable mis en court-circuit pendant un certain temps et surtout, ne jamais opérer ces mesures successives à tension « décroissante ».

### Mesure avec anneau de garde.

Pour connaître la résistance d'un isolant dans sa masse, il y a lieu d'éliminer les fuites de surface, en disposant sur le parcours du courant, un anneau dit de « garde » G relié à la masse (fig. 1).

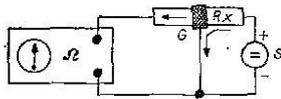


Fig. 1

### Difficulté de mesure d'isollements à grande capacité.

La mesure d'un isollement est d'autant plus difficile que sa résistance et sa capacité sont plus élevées. Cela tient au fait que la capacité de l'isollement transmet instantanément à la résistance de grille la moindre variation de tension de la source de mesure, ce qui occasionne une fluctuation plus ou moins importante de l'aiguille.

A titre d'exemple, pour un isollement de  $10^{12} \Omega$  présentant une capacité de  $1 \mu F$  une variation de tension de  $\pm 10$  mV d'une source de 500 Volts occasionne une fluctuation d'aiguille sur toute l'étendue du cadran, rendant impossible la lecture.

Pour diverses raisons, dont celle ci-dessus, les isollements supérieurs à  $10^{12} \Omega$  présentant une capacité dépassant le micro-Farad sont pratiquement impossibles à mesurer avec précision en direct et il faut avoir recours à la méthode de perte de charge.

### Quelques résistances d'isollements (mesurées sous 500 Volts sans anneau de garde en une minute).

N.B. — Les valeurs indiquées dans le tableau sont des ordres de grandeur, les échantillons mesurés n'ayant pas tous la même longueur, la même section, la même surface de prise de contact.

#### Condensateurs :

- au papier :  $0,1 \mu F$   $10^{10}$  à  $10^{11} \Omega$
- au mica :  $1\ 000$  pF.  $10^{11}$  à  $10^{12} \Omega$
- céramique :  $1\ 000$  pF.  $10^{10}$  à  $5 \cdot 10^{11} \Omega$
- au polystyrol :  $0,1 \mu F$   $10^{12}$  à  $10^{14} \Omega$

Stéatite vierge :  $5 \cdot 10^9$  à  $10^{11}$  — Siliconée  $10^{13}$

Résine vinylique :  $10^{10}$  à  $10^{11} \Omega$

Huiles :  $10^{11}$  à  $10^{13} \Omega$

Ebonite :  $10^{13}$  à  $10^{14} \Omega$

This time-constant causes a « freeze-up » of the instrument pointer — If the freeze-up period exceeds one minute, measurements within French standard test times are not possible. The phenomenon also prohibits reliable comparison tests since, for two insulations of identical value but of different capacity, pointer « freeze-up » times will be different and consequently, the insulation featuring the higher capacity will reach a higher degree of polarization and ultimately reads a higher relative resistance value.

### Other sources of measurement inaccuracies.

Modern capacitive insulating materials (e.g., capacitor or cable polythene dielectrics) can retain a charge for several days or even weeks (and consequently reach a higher degree of polarization). For that reason, fresh measurements should not be carried out without first shorting the circuit for several hours to get rid of hysteresis and polarization potentials. Failing this precaution, the insulation resistance readings will be considerably higher than would be the case with « virgin » insulation of identical value measured over the standard time of 1 minute.

For the same reason, successive capacitor or cable measurements should never be performed without first shorting the components for a period of time — and, most important of all : these tests will never be accomplished in order of decreasing voltages ;

### Leakage arrestors.

To eliminate surface leakage in « solid » insulation measurements, a grounded « leakage arrestor » ring should be placed across the path of the leakage current (fig. 1).

### Difficulties met in high-capacity insulation measurements.

Insulation measurements become more difficult as resistance and capacity increase. This is due to the fact that the insulation capacity instantly applies the slightest voltage variation across the grid resistance of the tester's tube, a variation that is expressed by a fluctuation of the meter's pointer.

For instance : with an insulation of  $10^{12} \Omega$  resistance and  $1 \mu fd$  capacity, a voltage variation of  $\pm 10$  mV over the 500 V. test source will cause full-scale pointer fluctuations that will prohibit meter reading.

The above reasons and some others make it practically impossible to obtain reliable direct measurements of insulation values exceeding  $10^{12} \Omega$  and microfarad capacity. The residual charge method must be resorted to.

### Typical insulation measurements at 500 v. DC, without leakage arrestors.

N.B. — Tabulated values are purely indicative — Measured samples did not necessarily feature identical length, section, contact surface or ambient moisture.

#### Capacitors :

- paper :  $0,1 \mu F$   $10^{10}$  to  $10^{11} \Omega$
- mica :  $1\ 000$  pF  $10^{11}$  to  $10^{12} \Omega$
- ceramic :  $1\ 000$  pF  $10^{10}$  to  $5 \cdot 10^{11} \Omega$
- polystyrol :  $0,1 \mu F$   $10^{12}$  to  $10^{14} \Omega$

Steatite untreated :  $5 \cdot 10^9$  to  $10^{11} \Omega$  silicon treated  $10^{13} \Omega$

Resin vinyl :  $10^{10}$  to  $10^{11} \Omega$

Oils :  $10^{11}$  to  $10^{13} \Omega$

Cartonack bétisé H.F. :  $10^{10}$  à  $10^{12} \Omega$   
 Mono-cristaux :  $10^{10}$  à  $5.10^{14} \Omega$   
 Cheveu :  $10^{12}$  à  $5.10^{13} \Omega$   
 Fil de laine :  $10^{12} \Omega$   
 Fil de nylon :  $10^{12}$  à  $10^{14} \Omega$   
 Rouleau de câble au Polythène :  $10^{14}$  à  $10^{15} \Omega$   
 Polythène, Plexiglass, Araldite, Téflon :  $10^{15}$  à  $10^{17} \Omega$   
 Stratifié siliconé :  $3.10^{14} \Omega$

Ebonite :  $10^{13}$  to  $10^{14} \Omega$   
 Bakelized cardboard :  $10^{10}$  to  $10^{12} \Omega$   
 Mono-crystals :  $10^{10}$  to  $5.10^{14} \Omega$   
 Hair :  $10^{12}$  to  $5.10^{13} \Omega$   
 Wool thread :  $10^{12} \Omega$   
 Nylon thread :  $10^{12}$  to  $10^{14} \Omega$   
 Polythene — plexiglass, araldite, teflon :  $10^{15}$  to  $10^{17} \Omega$   
 Reel of polythene cable :  $10^{14}$  to  $10^{15} \Omega$   
 Siliconed wafer :  $3.10^{14} \Omega$

**Principales méthodes de mesure.**

*Le Pont de Wheastone (fig. 2).* Ce montage est réservé en général aux mesures précises (0,1 %) de résistances de faible et moyenne valeur 0,1  $\Omega$  à 100 M $\Omega$  sous tension peu élevée.

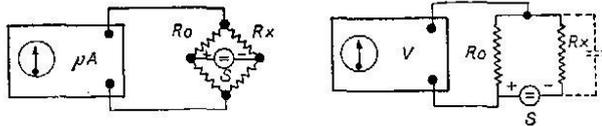


Fig. 2

Fig. 3

*Le Diviseur de tension (fig. 3).* C'est le montage classique de la plupart des Mégohmmètres. La meilleure précision (2 %) est obtenue au centre du cadran lorsque  $R_x$  est égal à  $R_0$ . Sa sensibilité est limitée par la résistance d'entrée du système électronique. Il présente l'inconvénient d'une constante de temps de mesure si  $R_x$  qui vient en parallèle sur  $R_0$  présente une capacité.

*La mesure du courant de fuite (fig. 4).* Consiste à mesurer au moyen d'un micro-ampèremètre sensible à spot, le courant de fuite d'un isolement soumis à une tension généralement élevée 500 V à 50 kilovolts. La précision est faible pour les hautes valeurs et si  $R_x$  est capacitive, il y a une constante de temps gênante.

*Mesure par constante de temps (fig. 5).* (Intégration du courant de fuite). Cette méthode permet des mesures relativement précises de résistances de haute valeur (1 à 2 %) sous condition d'utiliser une capacité d'intégration étalonnée d'isolement supérieur à la résistance à mesurer et que l'appareil de mesure électronique ait à son tour une résistance d'entrée supérieure à l'isolement de la capacité. La valeur de la résistance se déduit de la tension intégrée en un temps chronométré.

*Mesure de la perte de charge (fig. 6).* Cette méthode ne s'applique qu'aux isollements nettement capacitifs : câbles, condensateurs, par exemple et plus spécialement si leur isolement dépasse  $10^{12}$  et la capacité 1 micro-Farad. Elle consiste à charger sur une source de tension connue le câble ou le condensateur, puis après un temps chronométré (x) à mesurer avec un appareil électronique à consommation d'entrée pratiquement nulle, quelle est encore la tension aux bornes de la capacité ; on déduit l'isolement de la perte de charge intervenue.

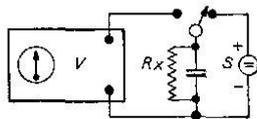


Fig. 6

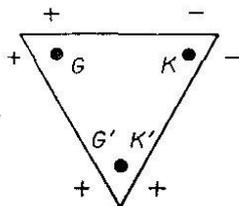


Fig. 7

**Principal methods of measurement.**

*Wheatstone Bridge (fig. 2).* Generally reserved for precision measurements (0,1 %) of low resistances in the average order of 0.1  $\Omega$  to 100 M $\Omega$  relatively low voltages.

*Potential dividers (fig. 3).* A classical circuit used in the majority of Megohmmeter designs. Highest accuracy (2 %) is obtained at mid-scale when  $R_x$  is equal to  $R_0$ . The sensibility is limited by the input resistance of the electronic system. One drawback is the time-constant present when  $R_x$  — which is in parallel with  $R_0$  — offers a capacity.

*Measurement of leakage current.* Consists in measuring, with a sensitive light-spot galvanometer, the leakage current of an insulation under a potential that is generally high (from 500 V to 50 KV). Accuracy is low for high leakage values and when  $R_x$  is capacitive, the time-constant complicates measurements.

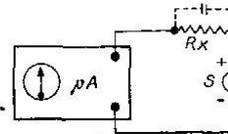


Fig. 4

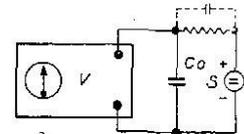


Fig. 5

*Time-constant method (fig. 5) — (leakage current integration).* A method that permits high resistance measurements of relatively good accuracy (1 to 2 %), as long as the integrating capacitor is calibrated and features higher insulation than the resistance under test, and as long as the input resistance of the electronic instrument is higher than the insulation resistance of the integrating capacity. The resistance value is worked out from the integrated voltage over a metered time-interval.

*Residual-charge method (fig. 6)* Only applicable to the measurement of insulations presenting markedly capacitive characteristics e.g., cables, capacitors and more specifically those with insulation resistances of more than  $10^{12}$  and 1  $\mu$  fd capacity. The method consists in changing the circuit (capacitor or cable) with a voltage source of known value and, after a preset time-interval (x) in measuring with an electronic instrument of negligible (practically zero) input consumption, the residual potential across the terminals of the capacitor circuit. The insulation value is derived from the residual-charge figure.

*Voltage conversion of leakage current method (fig. 8).* Where a calibrated resistance of high value  $R_0$  is traversed by the low leakage current of an insulation

**Conversion en tension du courant de fuite (fig. 8).**  
 Dans cette méthode on fait traverser une résistance étalonée de haute valeur  $R^0$  par le faible courant de fuite d'un isolement  $R_x$  et on mesure avec un montage électronique à consommation nulle, la tension développée à ses bornes. Mais, pour obtenir de cette méthode les nombreux avantages qu'elle comporte il est nécessaire d'utiliser un montage électronique spécial à deux entrées tel que celui décrit dans le n° 11 de « Laboratoires ».

Pour mémoire, nous rappellerons que ce montage est caractérisé par un circuit « Tripôle » dont les trois branches d'impédance différente sont rigoureusement équilibrées par des tensions en opposition (fig. 7).

La branche K.G. présente une résistance d'entrée de  $10^{14} \Omega$  et un courant grille de  $10^{-13}$  Ampère.

La branche G.G. constitue une seconde entrée, mais à résistance nulle.

La troisième branche K.K. constitue la sortie, sa résistance est également nulle. Le fonctionnement sommaire du système est le suivant : une tension appliquée entre K.G. fait apparaître une tension égale mais de polarité opposée entre K.K'. d'où tension et résistance nulles entre G.G'.

En combinant les deux entrées, on obtient le schéma de principe de la figure 8. On remarquera de suite que  $R_x$  ne vient pas en parallèle sur  $R^0$  comme dans les montages classiques à diviseur de tension (fig. 9). De telle sorte que si  $R_x$  présente une capacité ; elle n'introduit pas avec le montage de la figure 8 de constante de temps de mesure, ce qui est primordial pour la mesure d'isollements capacitifs.

D'autres particularités contribuent à la précision des mesures : les résistances de référence sont 1 000 fois plus faibles que l'isolement à mesurer et la tension à leurs bornes ne dépasse pas quelques volts. D'aucun se demanderont comment peut être obtenu l'isolement d'entrée de  $10^{17} \Omega$  théoriquement nécessaire pour mesurer  $10^{15} \Omega$  ? D'une façon très simple : la seconde entrée G.G où est appliqué l'isolement à mesurer ayant une résistance « électriquement » nulle, il n'y a pas de problème spécial d'isolement de  $R_x$ .

### L'Iso-R-mètre et ses possibilités

Nous nous proposons de décrire maintenant un nouveau mégohmmètre à constante de temps nulle pour la mesure des résistances, des isolants et des isollements par quatre méthodes.

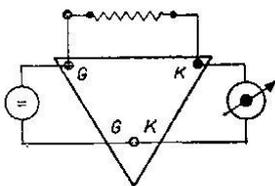


Fig. 10

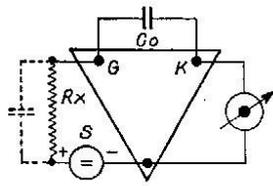


Fig. 11

- 1 — En direct par la conversion en tension du courant de fuite (fig. 8).
- 2 — Par la mesure du courant de fuite (fig. 10).
- 3 — Par constante de temps (Intégration, fig. 11).
- 4 — Par perte de charge (fig. 12) (méthode différentielle).

Cet instrument peut également mesurer les tensions jusqu'à 20 Volts (fig. 13).

**En Mégohmmètre (fig. 8).**

L'appareil comporte les calibres suivants :  $10^6$  ;  $10^7$  ;  $10^8$  ;  $10^9$  ;  $10^{10}$  ;  $10^{11}$  ;  $10^{12}$  ;  $10^{13} \Omega$  au centre d'une échelle de 140. On lit la moitié de ces valeurs à l'extré-

$R_x$ . The PD set up across the terminals is measured with a zero-consumption electronic instrument. However, in order to derive all the advantages offered by the method, use must be made of a special dual-input electronic circuit of the type described in issue n° 11 of « laboratories ».

To refresh reader's memory : the device is characterized by a 3-pole circuit in which the 3 legs of different impedance value are accurately balanced by opposing voltages (fig. 7).

Leg K.G. offers an input resistance of  $10^{14} \Omega$  and a grid current of  $10^{-13}$  A.

Leg G.G. provides a second input circuit — with zero resistance.

Leg K.K. is the output circuit — its resistance is also zero.

Basic operation is as follows : any potential applied across K.G. sets up an equal potential of opposite polarity across K.K'. Consequently the value of both potential and resistance across G.G' is nought.

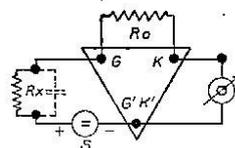


Fig. 8

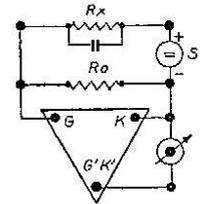


Fig. 9

Combining the two inputs will provide the basic diagram of fig. 8. It will be readily observed that  $R_x$  is not in parallel with  $R^0$ , as in conventional potential divider practice (fig. 9), so that if  $R_x$  is capacitive, no time constant is introduced in the circuit (fig. 8) an essential factor in capacitive insulation measurements.

Further features add to the precision of the method : the value of the comparison resistances are 1 000 times lower than that of the insulation to be tested. The PDv across their terminals does not exceed a few volts. To the possible query : how is the  $10^{17} \Omega$  input resistance (theoretically required for the measurement of  $10^{15} \Omega$ ) obtained — the answer is : Input n° 2 G.G'. (« test » input) has zero « electric » resistance and by way of consequence, there is no  $R_x$  insulation problem.

### The « Iso-R-Meter » — range of applications

The following is a description of a new zero-time-constant megohmmeter designed to provide 4 different methods of resistance, insulation and insulator measurements.

- 1 — Direct reading : for voltage conversion of leakage currents (fig. 8).
- 2 — Leakage current method (fig. 10).
- 3 — Time-constant integrating method (fig. 11).
- 4 — Loss-of-charge (differential) method (fig. 12).
- 5 — Voltmeter operation — for voltage measurements up to 20 V (fig. 13).

Megohmmeter operation (fig. 8).

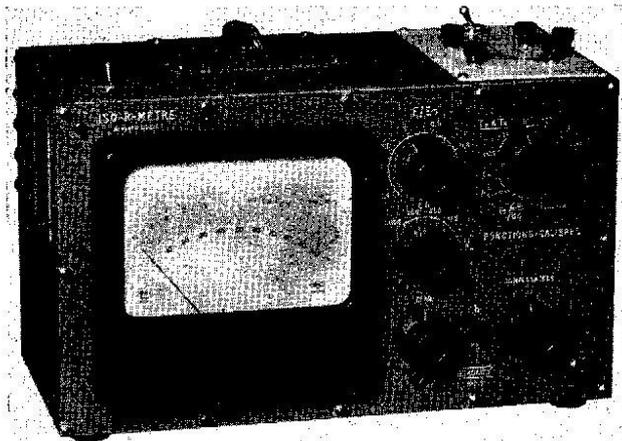
The following resistance ranges are provided :  $10^6$  ;  $10^7$  ;  $10^8$  ;  $10^9$  ;  $10^{10}$  ;  $10^{11}$  ;  $10^{12}$  ;  $10^{13} \Omega$  (mid-point of 140 mm scale). Zero deflection corresponds to half the mid-point

mité gauche, 30 fois ces valeurs en fin d'échelle. Un multiplicateur  $2 \times 4 \times 8$  permet d'obtenir les sensibilités suivantes :

- $10^{12} \Omega$  avec seulement 12 Volts de tension appliquée.
- 1,2  $10^{15} \Omega$  avec 500 Volts.
- 2,4  $10^{15} \Omega$  avec 1 000 Volts.

La tension de mesure est obtenue par une pile à prises incorporée : 12-25-50-100-250-500 Volts. On peut également utiliser une source extérieure jusqu'à 1 000 Volts. L'appareil est protégé contre les claquages ou fausses manœuvres jusqu'à cette dernière tension.

La précision est de 1,5 à 2 % au centre de l'échelle jusqu'à  $10^{11} \Omega$  ; 2 à 3 % jusqu'à  $10^{13} \Omega$  ; 3 à 5 % au-dessus. Tension de sortie au centre de l'échelle : 1 à 10 Volts sous 0,5 milliampères selon la position du multiplicateur.



Iso-R-Mètre

*En Micro-Ampèremètre* (fig. 10) (sur circuits à résistance élevée seulement). Sensibilité maxima  $2.10^{-13}$  Ampère (R d'entrée nulle). Pleine déviation  $10^{-11}$  Ampère sur échelle linéaire de 140. Calibres  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$ ,  $10^{-8}$ ,  $10^{-9}$ ,  $10^{-10}$ ,  $10^{-11}$  Ampère, pleine déviation.

Tension de sortie 2,5 Volts 1 milliampère.

*Par constante de temps* (fig. 11) (R d'entrée nulle).

Par intégration du courant de fuite de Rx dans une capacité à haut isolement ( $10^{14} \Omega$ ) du courant de fuite d'un isolement soumis à une tension quelconque 100 Volts à 50 kilovolts.

*Par perte de charge* (fig. 12).

Cette mesure habituellement longue, si on doit attendre que la décharge du condensateur soit nettement lisible sur le calibre 500 d'un voltmètre, devient aisée avec l'Iso-R-Mètre en réalisant le montage différentiel de la figure 12. Cette méthode consiste à charger l'isolement Rx condensateur ou câble en opposition avec une source stable S, puis à utiliser l'appareil sur le calibre 2,5 Volts pour mesurer seulement la différence de charge entre le condensateur et la source, ce qui réduit de 200 fois le délai de mesure.

*Mesure de tensions* (fig. 13)

Les bornes du « tripôle » étant accessibles l'appareil permet de mesurer les tensions avec les calibres suivants : 2,5-5-10-20 Volts ; avec une résistance d'entrée de  $10^{14} \Omega$  et un courant grille ramené à  $10^{-13}$  A par le compensateur de l'appareil.

reading and at the end of the scale, 30 times these values. A  $2 \times 4 \times 8$  multiplier provides the following sensitivities :

- $10^{12} \Omega$  — with only 12 V.
- 1.2  $10^{15} \Omega$  — with 500 V.
- 2.4  $10^{15} \Omega$  — with 1 000 V.

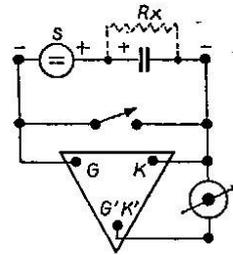


Fig. 12

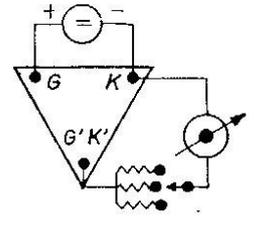


Fig. 13

Test volts are supplied by built-in multi-tap cell : 12-25-50-100-250-500 volts. The instrument can also be operated with an external DC source of 1 000 volts. The instrument is fully protected against damage due to component breakdown or mishandling, up to 1 000 volts.

Accuracy is 1.5 to 2 % at mid-scale, up to  $10^{11} \Omega$  2 to 3 % up to  $10^{13} \Omega$  and 3 to 5 % above. Output voltage for midscale readings : 1 to 10 volts with 0.5 mA, depending on multiplier setting.

Micro-ampere-meter (fig. 10).

(exclusively on high-resistance circuits).

Max. sensitivity range :  $2.10^{-13}$  A. (input R : 0). Full-scale deflection :  $10^{-11}$  A on 140 mm linear scale. Ranges :  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$ ,  $10^{-8}$ ,  $10^{-9}$ ,  $10^{-10}$ ,  $10^{-11}$  f.s.d. Output : 2,5 v/1mA.

Time-constant method (input R = 0) (fig. 11).

Measures the resistance of an insulation Rx under an applied voltage of 100 volts to 50 kV by integration of its leakage current in a high-insulation ( $10^{14} \Omega$ ) capacity.

Loss-of-Charge (fig. 12).

Normally a lengthy process when the method entails waiting for the capacity to reach a discharge value low enough to provide voltmeter readings on the 500 range. Becomes an easy operation with Iso-R-Meter method utilizing the differential circuit of fig. 12. Method consists in charging Rx (capacitor or cable) in opposite polarity with a stable source S — The instrument is set to its 2.5 volts range to simply measure the charge difference between the capacitor (or cable) and the source. The method speeds up test times by 200.

Voltage measurements (fig. 13).

The « 3-pole » terminals being easily accessible, the instrument provides the following ranges of voltage measurements : 2.5-5-10-20 volts. Input resistance is  $10^{14} \Omega$  and grid current is kept down to  $10^{-13}$  A by the balance adjustments provided on the instrument.

The Iso-R-Meter is equipped with (selected) conventional tubes : EF 86, 6 A T 7, EZ 80 and operates

L'Iso-R-Mètre est équipé de tubes classiques (sélectionnés) EF 86 ; 6 A T 7 ; EZ 80 directement alimentés par le courant du secteur 115 à 240 Volts. La haute tension est stabilisée par deux tubes au néon. Il peut opérer des mesures avec anneau de garde et aussi avec un pôle de l'isolement à la masse (capacité vis-à-vis du secteur 0,5 pF).

Telles sont les performances et les diverses possibilités de l'Iso-R-Mètre (appareil de conception et de fabrication françaises) qui l'ont fait adopter par les principaux laboratoires officiels et privés des branches les plus diverses où se posait le problème de mesure soit de résistances de très haute valeur, d'isollements capacitifs élevés ou encore très faibles intensités de courant de fuite.

*directly on 115/220 volts AC-line supplies. The HT voltage is stabilised by 2 neon tubes. It also permits measurements with a leakage-arrestor and with one side of the insulator tied to ground (capacity relatively to AC-line supply, 0.5 pf).*

*This concludes a brief survey of the performances and capabilities of the Iso-R-Meter, an instrument of 100 % French design and construction. The performances of this versatile precision instrument are now proving invaluable to all leading research laboratories with a high-resistance problem on the hands (very high resistance — high insulation capacity or low leakage current).*