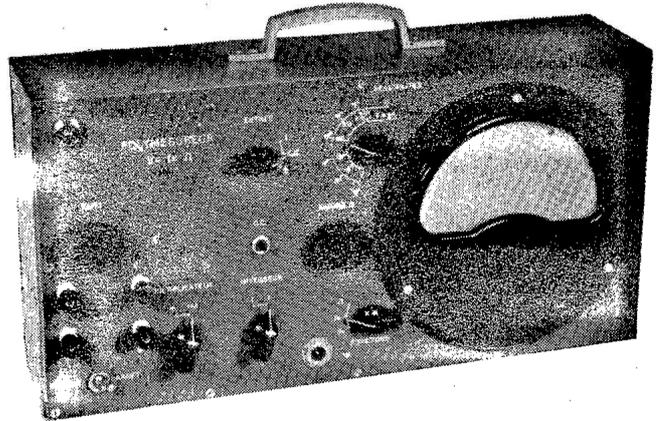


Un appareil de mesure unique au monde

# Consommation ZÉRO



## LE POLYMESUREUR UNIVERSEL ERIC

- Mesure tensions, intensités, résistances, capacités.
- Fonctionne en différentiateur et en intégrateur.
- Fournit des tensions stabilisées.
- Possède une mémoire électronique.

**Par le créateur du Polymesureur J. POUILLAIN**

La technique des voltmètres électroniques que l'on rencontre communément dans l'industrie n'a pas évolué sensiblement au cours de ces dernières années. On peut pourtant déplorer aujourd'hui, à juste titre, que les constructeurs ne se soient pas plus attachés à minimiser davantage l'influence néfaste de l'impédance d'entrée de leurs modèles, tant en continu qu'en alternatif, ni à développer la diversité des mesures permises par ceux-ci.

Les possibilités de l'appareil décrit ne se limitent pas aux fonctions désormais classiques (mesure des tensions et courants en continu et des résistances) : associé à des organes annexes le plus souvent très modestes (résistances, condensateurs, sources de tension continue), il en assume d'autres : différenciateur, intégrateur.

En bref, deux des particularités efficaces de ce nouvel instrument de laboratoire tiennent à sa mémoire et à sa résistance d'entrée pratiquement infinie : mises à profit judicieusement, elles procurent des moyens d'investigation insoupçonnés de prime abord. Nous pensons que la simple lecture de cet article corroborera cette affirmation et éveillera même l'attention des esprits blasés de nouveautés.

Comme on l'entrevoit déjà, cet appareil d'une conception originale se différencie nettement de ses congénères ; aussi convient-il, pour tirer la quintessence de ses ressources, de connaître au moins sommairement le mécanisme intrinsèque de son fonctionnement : tel sera le premier objet de notre exposé.

### MECANISME DU FONCTIONNEMENT DU POLYMESUREUR ELECTRONIQUE

A dessein nous nous écarterons le plus possible de la description détaillée des circuits inclus dans l'appareil pour nous consacrer surtout à l'examen des propriétés résultant de leur synthèse. Pour ce faire, nous adopterons le point de vue général propre à la théorie des multipôles. Plus particulièrement, nous définirons un tripôle actif irréversible de base (fig. 1) englobant la majeure partie des organes composant le Polymesureur.

Ce tripôle est irréversible en ce sens que toute variation de tension provoquée entre les bornes (1, 2) par un fait extérieur en engendre une autre entre les bornes (2, 3) mais que l'inverse laisse les bornes (1, 2) dans leur état primitif. En outre, il satisfait sensiblement aux hypothèses suivantes :

- a) Les bornes (1, 2, 3) sont au même potentiel lorsqu'elles sont en l'air ;
- b) La résistance vue des bornes (1, 2) est infinie ;
- c) Toute tension appliquée entre les bornes (1, 2) et comprise dans l'intervalle ( $- 20$  V,  $+ 20$  V) en engendre une autre entre

**TABEAU SYNOPTIQUE  
DES CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES  
FONDAMENTALES**

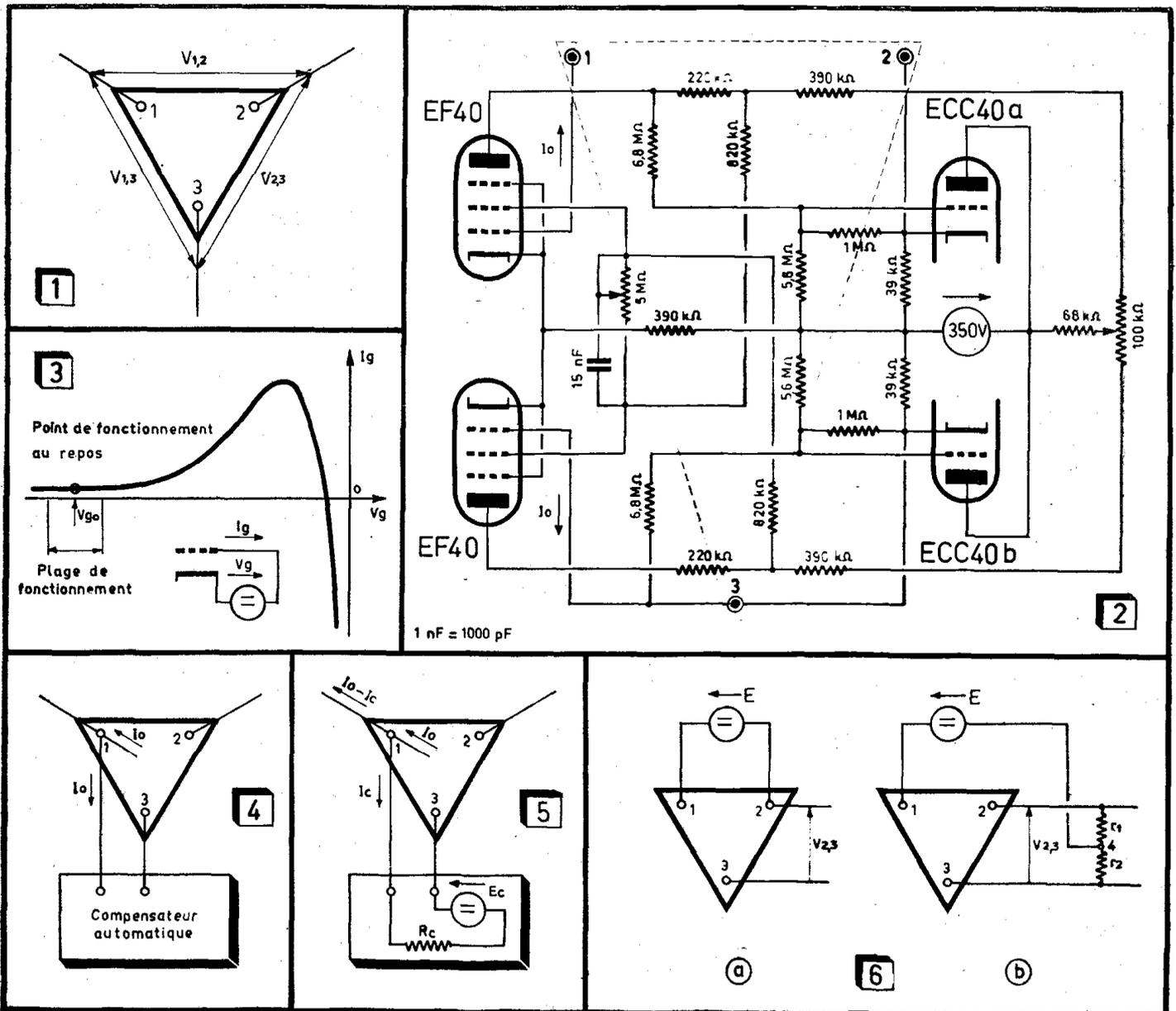
FONCTIONS	PLAGES DE MESURES	RÉSISTANCES D'ENTRÉE
V= (Tensions continues)	De 0 à 50 kV en 16 calibres : 0,5 V - 1 V - 2,5 V - 5 V - 10 V - 20 V - 50 V - 100 V - 250 V - 500 V - 1 kV - 2 kV - 5 kV - 10 kV - 25 kV - 50 kV.	$\infty$ (pratique- ment infinie)
I= (Courants continus)	De 0 à 2 mA en 8 calibres : 0,5 $\mu$ A - 1 $\mu$ A - 2,5 $\mu$ A - 5 $\mu$ A - 20 $\mu$ A - 100 $\mu$ A - 500 $\mu$ A - 2 mA.	0 (pratique- ment nulle)
$\Omega$ (Résistances).	De 0 à 5 000 M $\Omega$ en 6 calibres: 1 k $\Omega$ - 10 k $\Omega$ - 100 k $\Omega$ - 1 M $\Omega$ - 10 M $\Omega$ - 100 M $\Omega$ .	

les bornes (2, 3) de telle sorte que la tension entre les bornes (1, 3) demeure nulle et ce indépendamment de la charge connectée entre (2, 3).

L'adjonction à ce tripôle particulier d'organes extrinsèques appropriés lui confère des qualités éminemment propices à la métrologie ; l'agencement et la nature de ces organes dépendent évidemment du but visé. Avant d'aborder ce sujet par l'analyse des propriétés des principaux assemblages obtenus par le jeu des commutateurs de l'appareil, indiquons pour lever toute indétermination la constitution interne du tripôle (fig. 2), défini assez abstraitement jusqu'ici, et mettons en lumière certains points.

Bien que notre intention ne soit pas d'expliquer, même grossièrement, le rôle sans conteste assez complexe des organes contenus dans ce tripôle de base, énumérons, néanmoins, pour les techniciens avides de précisions, quelques-unes des précautions prises pour réduire l'importance du courant parasite  $I_0$  issu apparemment de chacune des grilles reliées respectivement aux bornes (1) et (3) (divers courants de fuites viennent se superposer au courant  $I_g$  imputable effectivement à chacune de ces grilles) :

a) Montage conçu spécialement pour faire fonctionner les EF 40 en régime réduit (sous-chauffage, faible courant cathodique) sans préjudices sur la stabilité, excellente au contraire ;



b) Ampoules des EF 40 opacifiées pour éviter l'effet photoélectrique :

c) Chauffage des supports de ces tubes pour éliminer toute condensation :

d) Tension  $V_{g0}$  des grilles de commande de ces tubes choisie judicieusement pour que le point de fonctionnement demeure dans la région de la caractéristique  $I_g = f(V_g)$  où le courant  $I_g$  est faible et pratiquement constant (fig. 3).

Malgré tous les soins dont on peut s'entourer dans cette voie, le courant  $I_0$  subsiste avec une intensité suffisante pour nuire dans certaines circonstances. Pour sortir heureusement de cette impasse, proposons une solution efficace : la compensation automatique.

SUMMARY

A NEW ELECTRONIC MULTIMETER

This new instrument, due to M. Poullain, and manufactured by the firm Lemouzy (Paris), affords all the facilities given by normal valve-voltmeters and many others besides. It can be used as a differentiator, integrator, voltage comparator, etc.

As a voltmeter, its input resistance is practically infinite, and for current measurement the internal resistance is zero. A current of 0.5 microampere produces a full-scale deflection.

This instrument is unique in the world-market, and is provided with accessories enabling alternating current measurements to be made with the same accuracy as that obtained with direct current.

Le rôle dévolu au compensateur automatique de la figure 4 consiste à dériver le courant  $I_0$  hors des bornes (1, 2) sans modifier la moindre des propriétés du tripôle. Expliquons succinctement comment il remplit cette mission.

Imaginons que ce compensateur renferme tout simplement un générateur de tension  $E_0$  en série avec une résistance  $R_0$  (fig. 5) ; sous cette forme, le courant  $I_c$  qu'il fournit s'écrit :

$$I_c = \frac{E_0}{R_0}$$

car la tension entre les bornes (1, 3) est nulle et indépendante de celle qui existe entre les bornes (1, 2). Si nous ajustons

ZUSAMMENFASSUNG

EIN ORIGINALES ELEKTRONISCHES VIELMESSGERÄT

Dieses neue Gerät, das von Ingenieur POUILLAIN entwickelt worden ist, und von den LEMOUZY werken (Paris) fabrikmässig hergestellt wird, besitzt alle Möglichkeiten der üblichen Röhrenvoltmeter und noch zahlreiche andere : Differenziator, Integrator und Spannungsvergleich u. s. w.

Seine Eingangswiderstand als Voltmeter ist praktisch unendlich. Als Stromstärkemesser ist sein Innenwiderstand gleich Null. Ein 0.5 mikroamp. starker Strom bewirkt den Vollausschlag des Messinstrumentes.

Dieser auf dem Weltmarkt einzig dastehender Apparat wird durch Zusatzgeräte vervollständigt, die die Messung von Wechselspannungen und Wechselströmen mit der selben Genauigkeit wie für Gleichstrom gestatten.

$E_0$  ou  $R_0$  de manière que  $I_0 = I_c$ , le courant  $I_0 - I_c$  sortant par la borne (1) s'annule et notre objectif est atteint. Cette disposition telle quelle donnerait cependant de piètres résultats. En effet,  $I_0$  dépend notablement de la tension du réseau alimentant l'appareil et l'équilibre se montrerait éphémère. Indubitablement, pour que ce dispositif fonctionne correc-

tement, il suffit que  $E_0$  et  $I_0$  suivent la même loi de variation. La chose se réalise pratiquement de différentes façons. Nous n'entrerons pas dans ces détails mais nous supposons implicitement par la suite que ce compensateur automatique fait partie intégrante du tripôle de base.

RESUMEN

UN INSTRUMENTO DE MEDICION UNIVERSAL ELECTRONICO

Este nuevo aparato ideado por el ingeniero Poullain y fabricado por la casa LEMOUZY (Paris) abarca todas las posibilidades de los voltímetros electrónicos corriente e otras varias : derivador, integrador, comparador de tensiones, etcetera.

Su resistencia de entrada, utilizándolo como voltímetro, es casi infinita. Para la medición de intensidades, su resistencia interna es pequeñísima. Corrientes de 0,5 microamperios ocasionan la desviación total de la aguja del instrumento de medición. A este aparato, único en el mercado mundial, se le pueden añadir accesorios para la medición de tensiones y corrientes alternas con tan buenos resultados como en corriente continua.

1° Fonction  $V=$ .

Dans cette fonction, les propriétés des deux assemblages typiques de la figure 6 sont mises en œuvre pour l'obtention des douze calibres mentionnés dans le tableau synoptique des caractéristiques électriques fondamentales.

En (a) nous avons l'assemblage mettant les bornes (1, 2) du tripôle de base en corrélation totale par l'intermédiaire d'une source de tension continue et, d'après les hypothèses énoncées plus haut :

$$\frac{V_{2,3}}{E} = -1$$

quelle que soit la charge connectée entre (2,3).

RESUMO

POLIMEDIDOR ELECTRONICO ORIGINAL

Este novo aparelho criado pelo engenheiro Poullain e realizado industrialmente pelos Estabelecimentos LEMOUZY (PARIS) possui todas as possibilidades dos voltímetros electrónicos usuais e ainda as possibilidades de numerosos outros tais como : diferenciador, integrador, comparador de tensões, etc., etc...

A sua resistência de entrada em voltímetro é praticamente infinita. Para a medida das intensidades a resistência interna é nula. Correntes de 0,5 microamperes produzem a deviação total do aparelho de medida.

Este aparelho, único no mercado mundial, é completado com acessórios que permitem a medida de tensões e correntes em alternada mesma maneira que em corrente continua.

En (b) nous avons l'assemblage mettant les bornes (1,2) du tripôle de base en corrélation partielle par l'intermédiaire d'une source de tension continue et, mathématiquement, on démontre que :

$$\frac{V_{2,3}}{E} = -\frac{r_1 + r_2}{r_2}$$

quelle que soit la charge connectée entre (2,3).

La figure 7 représente l'essentiel des circuits auxiliaires et de leurs commutations conçus à l'image de ces deux assemblages. Accompagnons-la de quelques commentaires :

Le commutateur dit multiplicateur permet de passer du montage à corrélation totale au montage à corrélation partielle instantanément, donc, au total, de doubler le nombre des calibres obtenus, sans cet artifice, sur le repère  $\times 1$ . Les trois premiers de ceux-ci (1 V - 5 V - 20 V) s'obtiennent tout simplement en connectant entre (2,3) un voltmètre à résistances classique les possédant ; les trois suivants (100 V - 500 V - 2 kV), en commutant entre la fiche coaxiale d'entrée et les bornes (1,2) trois réducteurs de tension à capacités. Les résistances  $r_1$  et  $r_2$  étant choisies égales, il s'ensuit que  $V_{1,4} = -0,5 V_{2,3}$  quand elles entrent en service, sur le repère  $\times 0,5$  du multiplicateur, ce qui justifie cette appellation (entendre calibre réel de fonctionnement = calibre en service  $\times 0,5$ ).

La manœuvre du bouton poussoir  $c - c$  établit successivement dans le sens de la pression deux courts-circuits destinés notamment à décharger éventuellement le ou les condensateurs en service :

a) Le court-circuit de la fiche coaxiale d'entrée à travers une résistance de protection de 200 k $\Omega$  ;

b) Le court-circuit des bornes (1,2) ou (1,4).

A quoi cette commande sert-elle ? Un peu de réflexion montre qu'avant de déplacer le commutateur « Calibres » entre les quatre dernières positions, on doit régulièrement annuler la tension injectée à l'entrée. En cas d'oubli, il suffit

d'appuyer sur le bouton poussoir pour rétablir l'exactitude des lectures.

*Nota.* — Une sonde spéciale dont l'image électrique est un condensateur de 15 pF environ permet la mesure des tensions continues comprises entre 2 kV et 50 kV. Ce condensateur et  $C_0$  forment en effet un réducteur de tension à capacités divisant par 10 000 la tension qu'on lui applique.

2° Fonction I=.

Les deux assemblages typiques de la figure 8 opèrent une conversion courant-tension. Les deux arcs de circonférence opposés symbolisent sur chacun de ces assemblages le générateur à intensité constante délivrant le courant à convertir en tension. De toute évidence, la totalité de ce courant circule dans la résistance  $R_0$  disposée entre les bornes (1,2) ou (1,4) et y crée une tension  $V_{1,2}$  ou  $V_{1,4}$  égale à  $R_0 I$ .

En (a) nous avons l'assemblage du type corrélation totale et d'après les hypothèses initiales :

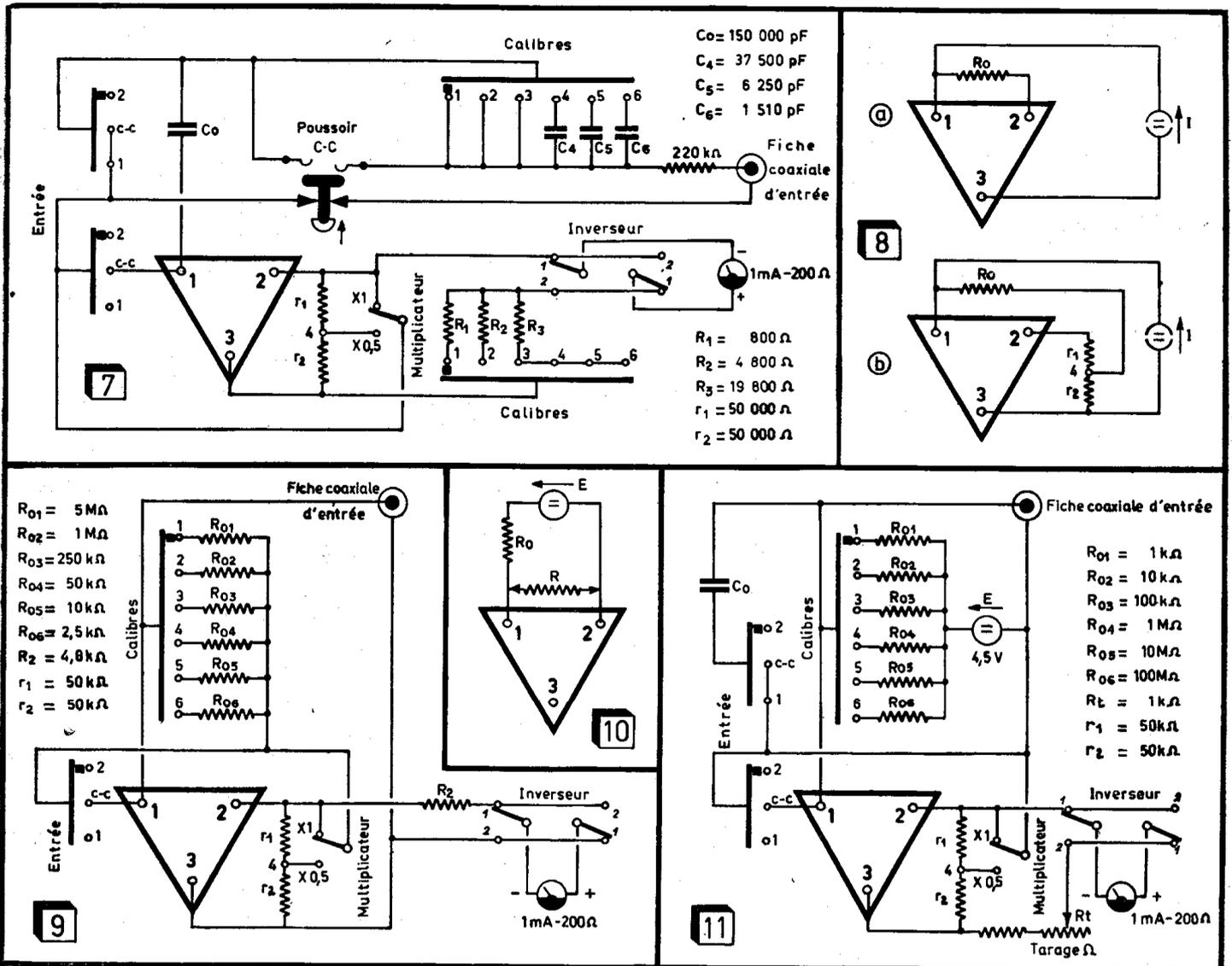
$$V_{1,3} = 0 \quad \text{et} \quad V_{2,3} = -R_0 I$$

quelle que soit la charge connectée entre (2,3).

En (b) nous avons l'assemblage du type corrélation partielle et, mathématiquement, on démontre que :

$$V_{1,3} = 0 \quad \text{et} \quad V_{2,3} = -R_0 I \left( \frac{r_1 + r_2}{r_2} + \frac{r_1}{R_0} \right)$$

quelle que soit la charge connectée entre (2,3).



Le Polymesureur exploite ces propriétés remarquables conformément au schéma de la figure 9. Ce dernier représente l'essentiel des circuits auxiliaires et de leurs commutations utilisés pour l'obtention des huit calibres mentionnés par ailleurs. Justifions ce chiffre :

En consultant la nomenclature attenante à ce schéma, dans laquelle se trouvent annexées les valeurs des éléments constitutifs du montage, il s'avère, en effet, que le terme  $r_1/R_0$  de la formule donnant  $V_{2,3}$  dans le cas où le multi-

plificateur agit ne peut guère être négligé devant  $\frac{r_1 + r_2}{r_2}$ , c'est-

à-dire 2, après la deuxième position du commutateur « Calibres » ( $r_1/R_0 = 0,05$ ). Rigoureusement, quel que soit d'ailleurs le calibre en service, pour déterminer le calibre réel de fonctionnement correspondant à la position  $\times 0,5$  du multiplicateur, il faut diviser le premier nommé par :

$$\frac{r_1 + r_2}{r_2} + \frac{r_1}{R_0}$$

et non pas le multiplier par 0,5.

### 3° Fonction $\Omega$ .

Dans cette fonction l'assemblage (a) de la figure 6 déjà utilisé en  $V=$  trouve encore ici sa place.

Le principe mis en jeu est fort simple : il consiste à appliquer une tension  $E$  entre les bornes (1,2) du tripôle à travers une résistance  $R_0$  de valeur connue puis à connecter la résistance à mesurer  $R$  entre ces mêmes bornes (fig. 10). Alors :

$$\frac{V_{1,2}}{E} = \frac{1}{1 + \frac{R_0}{R}}$$

La figure 11 représente les circuits primordiaux et leurs commutations réalisant les six calibres  $\Omega$  déjà énumérés.

Puisque dans toutes les positions du commutateur « Calibres » la loi liant les rapports  $V_{1,2}/E$  et  $R/R_0$  demeure la même, la même échelle graduée leur convient pour la lecture de  $R$  sur le galvanomètre. A condition, toutefois, d'amener par un tarage préalable et valable pour tous les calibres son aiguille sur le repère  $\infty$  situé à l'extrémité supérieure de la graduation. Cette opération s'exécute en ajustant correctement la résistance variable  $R_t$  avant de connecter  $R$ . (A Suivre.)

En présentant le Polymesureur ERIC à ses lecteurs, « TSF et TV » se doit de remercier la Société Lemouzy de l'avoir autorisé à publier l'étude de son créateur J. Poullain, qui a servi de base à la réalisation du Polymesureur mis au point dans les laboratoires Lemouzy.

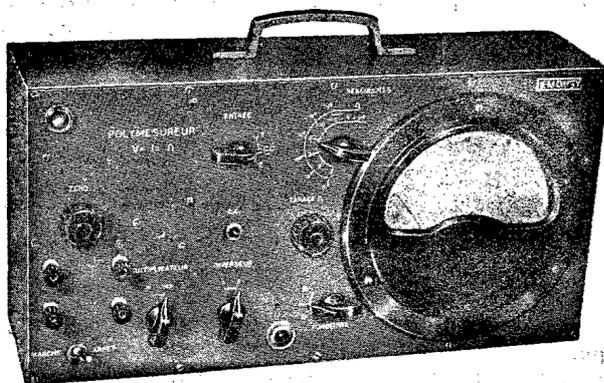
L'appareil et les dispositifs originaux qu'il comporte sont couverts par des brevets en France et à l'étranger.

# LE POLYMESUREUR UNIVERSEL ERIC

## à mémoire électronique

mesure :

- Tensions (depuis  $10^{-3}$  V)
- Intensités (depuis  $10^{-9}$  A)
- Résistances (jusqu'à  $10^{13} \Omega$ )
- Capacités (jusqu'à  $10^4 \mu F$ )



**Par le créateur du Polymesureur J. POUILLAIN**

(Suite)

**4° Fonction  $dv_{=}$ .**

Cette fonction s'obtient tout simplement à l'aide d'un condensateur inséré en série avec le réseau extérieur objet de la mesure (fig. 12). Le commutateur « Entrée » étant initialement sur la position  $c - c$  et le commutateur « Fonctions » sur la position  $V_{=}$  (cf. fig. 7), ce condensateur, désigné par  $C_B$  sur le schéma de la figure 12, se charge jusqu'à ce que la tension à ses bornes atteigne celle du générateur extérieur supposée alors égale à  $E_0$ . En plaçant ensuite le commutateur « Entrée » sur la position 2, on ne modifie évidemment pas la tension aux bornes de  $C_B$ ; mieux encore, si  $E$  varie, elle conserve toujours sa valeur initiale car aucun courant ne peut circuler dans le circuit  $E - R - C_B$ .

En conséquence, le condensateur  $C_B$  tient le rôle d'une batterie montée en opposition avec la source extérieure  $E$ , et toute variation de tension de celle-ci se trouve intégralement transmise entre les bornes (1,2) ou (1,4).

Cette méthode de mesure se montre fort précieuse quand il s'agit, par exemple, de connaître avec une très bonne précision les faibles variations relatives d'une tension. Ainsi, un écart de 100 V à 99 V, appréciable mais non mesurable sur le calibre 100 V, donne lieu, par la fonction  $dv_{=}$ , à la pleine déviation de l'aiguille du galvanomètre, sur le calibre 1 V alors utilisable.

Dans cette fonction, le maniement de l'appareil s'effectue normalement sur les trois premières positions du commutateur « Calibres » (multiplicateur en  $\times 1$  ou en  $\times 0,5$ ), ce qui limite à 20 V la valeur absolue maximum des accroissements algébriques de tension mesurables. Eventuellement, pour mesurer des variations plus importantes, il suffirait de choisir convenablement la valeur de  $C_B$ , puis de déplacer le commutateur « Entrée » de la position  $c - c$  à la position 1.

Par filiation, on parvient à une variante du montage précédent plus spécialement conçue pour mesurer la tension entre deux points portés à des potentiels voisins relativement élevés par rapport à celui d'un troisième. Cette variante réside tout entière dans l'adjonction, conformément à la figure 13, d'un condensateur  $C_M$  destiné à masquer les variations de capacité susceptibles de se produire à l'entrée lors

du passage de la tête de la sonde du Polymesureur entre les deux points à comparer.

**5° Fonction  $d^n v_{=}$ .**

Cette fonction généralise la précédente, elle se réalise en connectant plusieurs condensateurs entre différents points du réseau extérieur objet de la mesure et un point commun relié à la borne (1) du tripôle (fig. 14). Son but essentiel est de mesurer les écarts de proportionnalité des variations de plusieurs tensions interdépendantes.

Sur le schéma de la figure 14, les  $n$  sources de tension  $E_1, E_2, \dots, E_n$  en série respectivement avec les  $n$  résistances  $R_1, R_2, \dots, R_n$  représentent sous une forme condensée l'équivalence électrique de tout réseau extérieur regardé des  $n$  points où l'on connecte les  $n$  condensateurs  $C_{B1}, C_{B2}, \dots, C_{Bn}$ .

Si, quittant la position  $c - c$ , une fois les  $n$  condensateurs chargés, on passe sur la position 2, toute variation de tension  $\Delta E$  d'un générateur quelconque se trouve partiellement transmise entre les bornes (1,2) ou (1,4). Algébriquement, quand ce générateur se situe, par exemple, dans la branche  $k$  :

$$V_{1,2} \text{ (ou } V_{1,4}) = \Delta E_k \frac{C_{Bk}}{C_{B1} + C_{B2} + \dots + C_{Bk} + \dots + C_{Bn}}$$

ou, sous une forme plus condensée :

$$V_{1,2} \text{ (ou } V_{1,4}) = \Delta E_k \frac{C_{Bk}}{\sum_{i=1}^n C_{Bi}}$$

Si les tensions des  $n$  générateurs varient simultanément, il vient par récurrence :

$$V_{1,2} \text{ (ou } V_{1,4}) = \Delta E_1 \frac{C_{B1}}{\sum_{i=1}^n C_{Bi}} + \Delta E_2 \frac{C_{B2}}{\sum_{i=1}^n C_{Bi}} + \dots + \Delta E_n \frac{C_{Bn}}{\sum_{i=1}^n C_{Bi}}$$

ou :

$$V_{1,2} \text{ (ou } V_{1,4}) = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \Delta E_i C_{Bi}}{\sum_{i=1}^{i=n} C_{Bi}}$$

Dans le cas particulier où  $C_{B1} = C_{B2} = \dots = C_{Bn}$  :

$$V_{1,2} \text{ (ou } V_{1,4}) = \frac{\Delta E_1 + \Delta E_2 + \dots + \Delta E_n}{n}$$

ou :

$$V_{1,2} \text{ (ou } V_{1,4}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \Delta E_i$$

6° Fonction  $\int dq$ .

Bien que créée spécialement pour opérer la sommation des quantités d'électricité infinitésimales, cette fonction s'apparente dans sa disposition schématique à celle qui réalise la conversion courant-tension : la différence réside entièrement dans le remplacement d'une résistance par un condensateur, organe doué de mémoire.

La figure 15 dépouillée des commutations secondaires montre la structure de l'intégrateur qui naît de cette substitution. Expliquons brièvement son fonctionnement :

Fournies symboliquement ici par un générateur de courant  $i(t)$  dont l'intensité varie aléatoirement dans le temps, les quantités d'électricité à sommer appliquées entre les bornes (1,3) chargent et déchargent, si le sens du courant s'inverse, le condensateur  $C_0$ . Formellement, en se remémorant les hypothèses initiales, on s'aperçoit que :

a) Le générateur  $i(t)$  débite apparemment sur un court-circuit ;

b) La totalité du courant  $i(t)$  charge algébriquement  $C_0$ .

Mathématiquement, en désignant par  $Q_0$  la quantité d'électricité cédée par le générateur  $i(t)$  dans l'intervalle de temps  $(0, t_0)$ , il vient :

$$V_{1,2} \text{ (ou } V_{1,4})_{t=t_0} = \frac{Q_0}{C_0}, \quad \text{si } V_{1,2} \text{ (ou } V_{1,4})_{t=0} = 0.$$

Comme  $Q_0 = \int_0^{t_0} dq = \int_0^{t_0} i(t) dt,$

L'équation précédente s'écrit encore :

$$V_{1,2} \text{ (ou } V_{1,4})_{t=t_0} = \frac{1}{C_0} \int_0^{t_0} i(t) dt$$

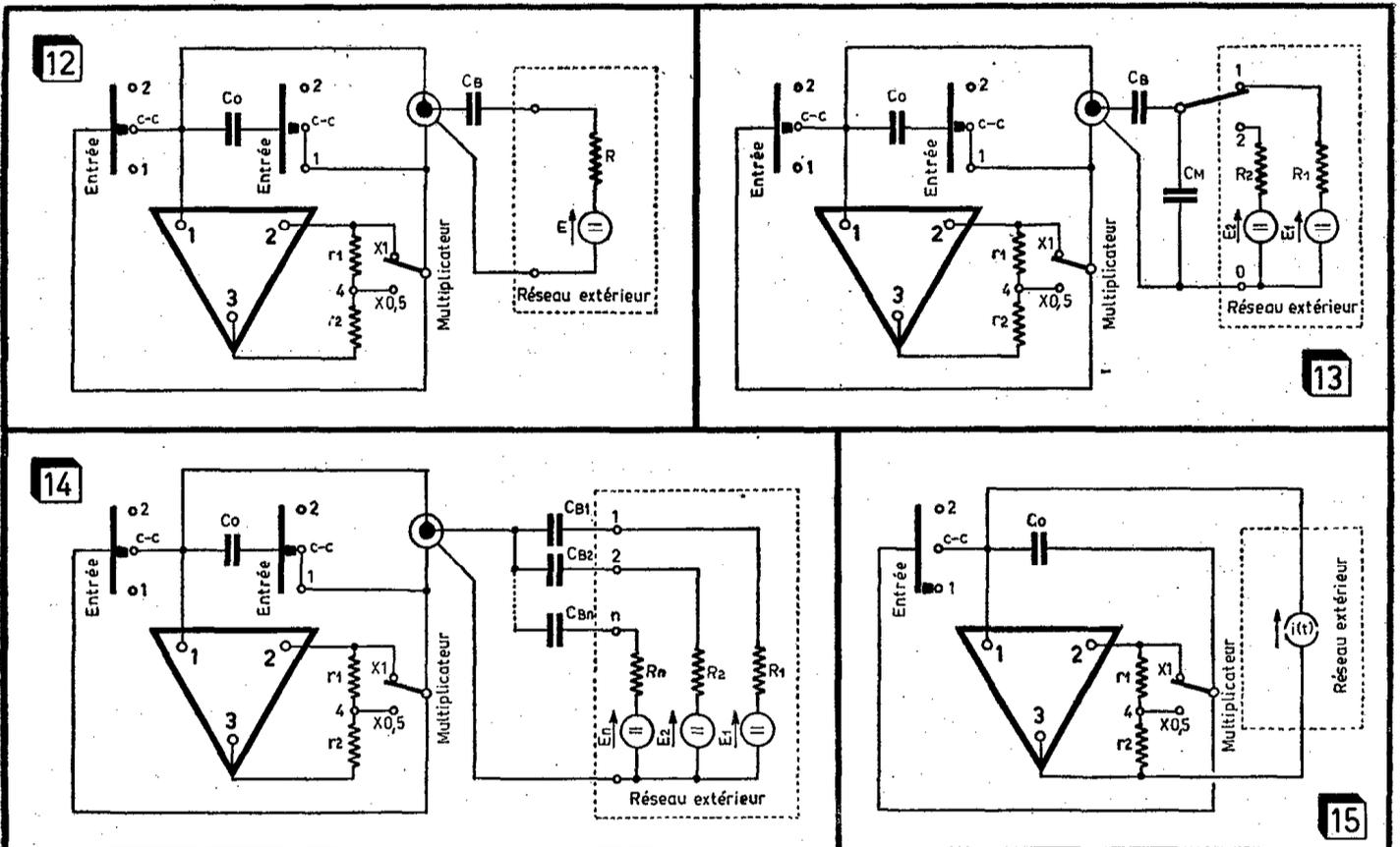
Si, à partir de l'époque  $t_0$ , le débit du générateur s'interrompt brusquement, le condensateur  $C_0$  conserve les charges qu'il a accumulées antérieurement. La tension qui existe dès lors entre ses armatures se retrouve entre les bornes (2,3) et se mesure aisément à cet endroit (sur la position  $\times 0,5$ , on doublerait cette dernière tension). Notons au passage que l'effacement de la mémoire s'obtient instantanément quand on déplace le commutateur « Entrée » de la position (1) à la position  $c - c$ .

En conclusion :

a) Un réseau maillé quelconque ne voit pas son état évolutif modifié par l'insertion dans une de ses branches de cet intégrateur ;

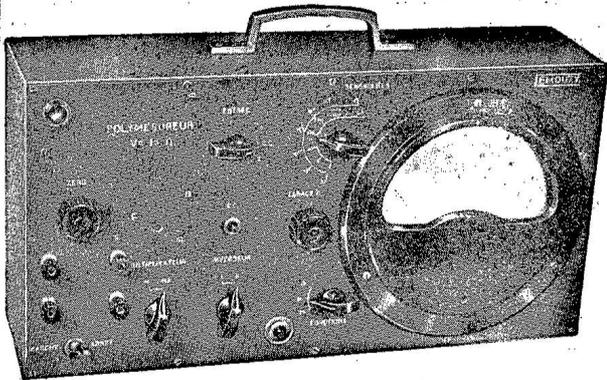
b) Le courant circulant dans cette branche est intégré par rapport au temps et le résultat de cette opération traduit en tension.

(A suivre.)



Un appareil de mesure unique au monde

# LE MULTIMESUREUR UNIVERSEL ERIC



Par J. POUILLAIN

(Suite)

Après cette rapide description des principales fonctions assumées par le Polymesureur, nous orienterons maintenant notre exposé vers les applications qu'elles autorisent. Sans insister sur le caractère forcément très incomplet que revêt toujours une entreprise de ce genre, précisons dès l'abord que nous nous appesantirons principalement sur quelques mesures simples offrant un intérêt général mais s'évadant néanmoins de par leurs principes des procédés métrologiques habituels. Nous passerons d'ailleurs sous silence toute application relative aux fonctions classiques  $V =$ ,  $I =$  et  $\Omega$ , la littérature

électrotechnique en abonde, et nous ne ferions donc que de stériles redites en traitant ce sujet, encore que le fait de disposer d'une résistance d'entrée quasi infinie en  $V =$  mérite une mention spéciale (mesures purement électrostatiques, mesures du pH, des d. d. p. de contact, des f. é. m. d'origines piézoélectrique, photoélectrique, thermoélectrique, etc...).

#### 1° Fonction $dv =$ .

Le but de cette fonction a déjà été signalé : la mesure précise des faibles variations relatives de tension. On saisit tout

\*\*\*\*

le profit qu'on peut tirer de cette connaissance quand on sait le rôle que jouent actuellement ces variations dans l'électronique. Parmi les applications les plus usuelles tombant immédiatement sous le sens, citons :

— La détermination précise du coefficient de régulation d'un dispositif stabilisateur de tension continue ou le relevé des caractéristiques de l'élément de référence qu'il contient (tube régulateur à gaz, thermistance, varistance...).

— La détermination de la résistance interne d'une source de tension continue ou le relevé de la caractéristique  $V = f(I)$  de cette source si la relation entre  $V$  et  $I$  n'est pas linéaire ou encore, par extension, la détermination de la résistance différentielle d'un élément électrique non linéaire en un point quelconque de sa caractéristique  $V = f(I)$ .

— La détermination des variations de la valeur ohmique d'une résistance en fonction de sa température.

— La détermination du gain d'un amplificateur de tension continue.

Plutôt que de poursuivre à ce rythme cette énumération vraiment fastidieuse, marquons une pause pour décrire en détail l'application déjà citée relative à la détermination de la résistance interne d'une source de tension continue.

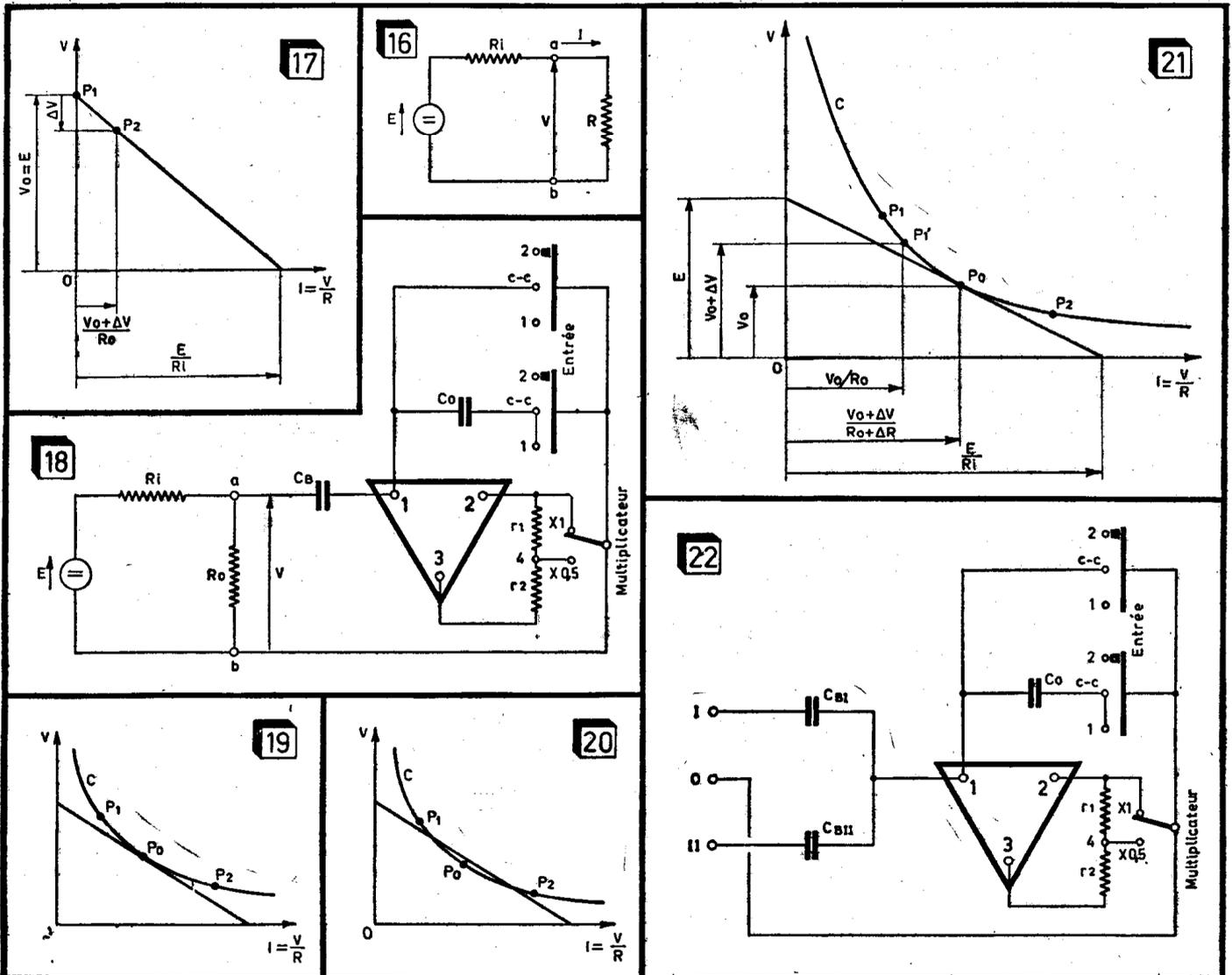
L'existence inévitable de cette résistance occasionne bien souvent une chute de tension ou des interactions indésirables ; aussi s'efforce-t-on généralement d'abaisser sa valeur. Ainsi, par exemple, une des qualités premières d'une alimentation

stabilisée de laboratoire consiste à fournir une tension à peu près indépendante du débit.

Dans tous les problèmes où la connaissance de la valeur exacte d'une telle résistance se pose avec acuité, l'emploi de la fonction  $dv =$  simplifie grandement les manipulations et, partant, réduit les risques d'erreur. Autre avantage indéniabable sur certains autres procédés de mesure similaires : elle affranchit l'opérateur de ses craintes quant aux fausses manœuvres parfois facheuses dans leurs conséquences.

Du point de vue théorique, toute source de tension continue peut être assimilée à un dipôle actif à structure réduite « série » ; entendons par là une association de deux éléments simples disposés en série : un générateur de f. é. m.  $E$  et une résistance  $R_i$ .

Si  $V$  et  $I$  désignent respectivement la tension et le courant aux bornes accessibles de la source et que la relation entre ces deux grandeurs demeure linéaire quand la résistance de charge  $R$  varie, les paramètres  $E$  et  $R_i$  du dipôle équivalent à structure réduite sont indépendants du courant débité (fig. 16). Deux mesures de tension effectuées entre les bornes ( $a, b$ ) avec deux résistances de charge de valeurs différentes suffisent alors pour situer dans le système d'axes ( $OI, OV$ ) deux points appartenant à la droite représentative de la fonction  $V = f(I)$ . Plus ces points sont distants, meilleure devient la précision du tracé (à condition de conserver les mêmes tolérances respectives sur  $V$  et  $R$ ). Remarque utile pour connaître immédiatement  $E$  et  $R_i$  cette droite coupe respectivement les axes  $OI$  et  $OV$  aux points  $E/R_i$  et  $E$ .



le profit qu'on peut tirer de cette connaissance quand on sait le rôle que jouent actuellement ces variations dans l'électronique. Parmi les applications les plus usuelles tombant immédiatement sous le sens, citons :

— La détermination précise du coefficient de régulation d'un dispositif stabilisateur de tension continue ou le relevé des caractéristiques de l'élément de référence qu'il contient (tube régulateur à gaz, thermistance, varistance...).

— La détermination de la résistance interne d'une source de tension continue ou le relevé de la caractéristique  $V = f(I)$  de cette source si la relation entre  $V$  et  $I$  n'est pas linéaire ou encore, par extension, la détermination de la résistance différentielle d'un élément électrique non linéaire en un point quelconque de sa caractéristique  $V = f(I)$ .

— La détermination des variations de la valeur ohmique d'une résistance en fonction de sa température.

— La détermination du gain d'un amplificateur de tension continue.

Plutôt que de poursuivre à ce rythme cette énumération vraiment fastidieuse, marquons une pause pour décrire en détail l'application déjà citée relative à la détermination de la résistance interne d'une source de tension continue.

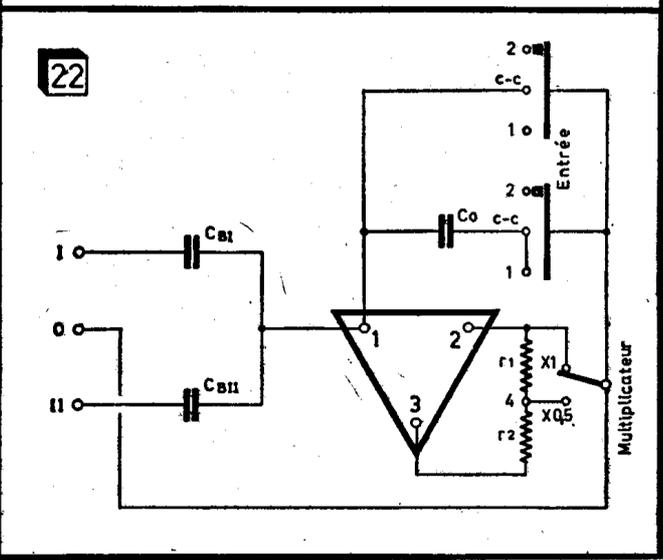
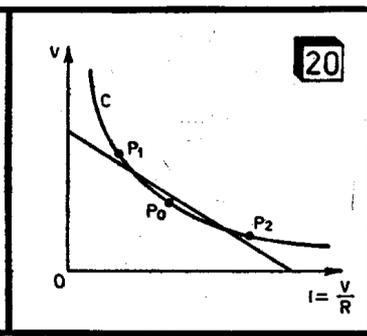
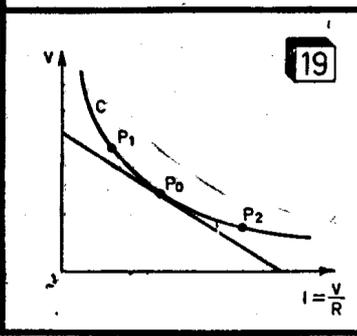
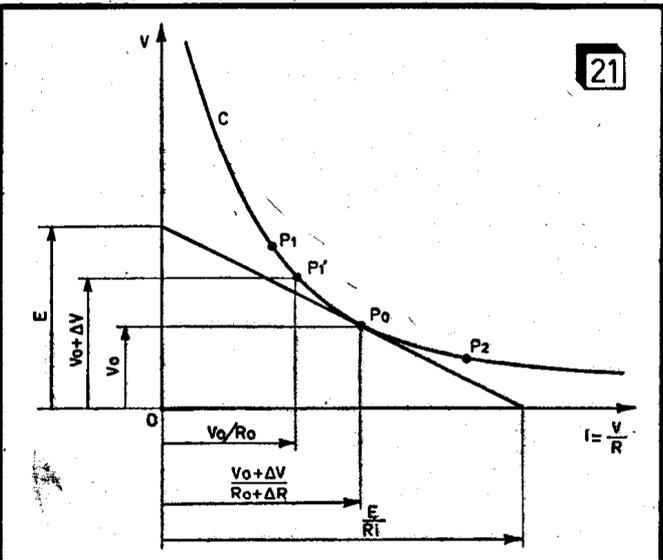
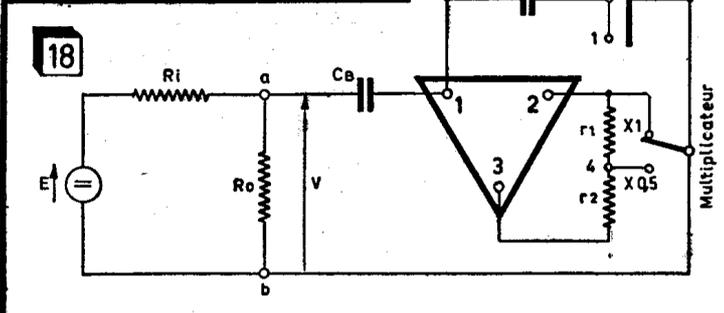
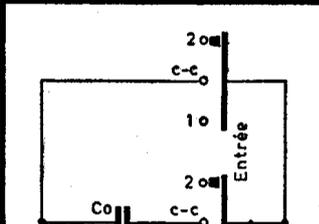
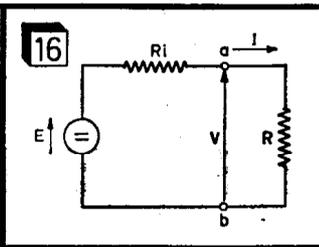
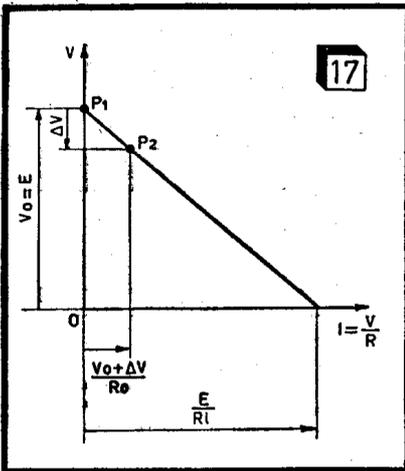
L'existence inévitable de cette résistance occasionne bien souvent une chute de tension ou des interactions indésirables ; aussi s'efforce-t-on généralement d'abaisser sa valeur. Ainsi, par exemple, une des qualités premières d'une alimentation

stabilisée de laboratoire consiste à fournir une tension à peu près indépendante du débit.

Dans tous les problèmes où la connaissance de la valeur exacte d'une telle résistance se pose avec acuité, l'emploi de la fonction  $dv =$  simplifie grandement les manipulations et, partant, réduit les risques d'erreur. Autre avantage indéniabable sur certains autres procédés de mesure similaires : elle affranchit l'opérateur de ses craintes quant aux fausses manœuvres parfois facheuses dans leurs conséquences.

Du point de vue théorique, toute source de tension continue peut être assimilée à un dipôle actif à structure réduite « série » ; entendons par là une association de deux éléments simples disposés en série : un générateur de f. é. m.  $E$  et une résistance  $R_i$ .

Si  $V$  et  $I$  désignent respectivement la tension et le courant aux bornes accessibles de la source et que la relation entre ces deux grandeurs demeure linéaire quand la résistance de charge  $R$  varie, les paramètres  $E$  et  $R_i$  du dipôle équivalent à structure réduite sont indépendants du courant débité (fig. 16). Deux mesures de tension effectuées entre les bornes ( $a, b$ ) avec deux résistances de charge de valeurs différentes suffisent alors pour situer dans le système d'axes ( $OI, OV$ ) deux points appartenant à la droite représentative de la fonction  $V = f(I)$ . Plus ces points sont distants, meilleure devient la précision du tracé (à condition de conserver les mêmes tolérances respectives sur  $V$  et  $R$ ). Remarque utile pour connaître immédiatement  $E$  et  $R_i$  cette droite coupe respectivement les axes  $OI$  et  $OV$  aux points  $E/R_i$  et  $E$ .





initialement quelconques, s'écartent simultanément en des sens opposés de leurs valeurs originelles dans un rapport approximativement constant.

Effectuons à partir de ces trois bornes le branchement destiné à mesurer les écarts de proportionnalité entre les deux variations de potentiel susdites (fig. 22). La formule générale relative à la fonction  $dv =$  s'adapte sans difficulté au cas présent et devient :

$$V_{1,2} \text{ (ou } V_{1,4}) = \frac{\Delta E_I C_{BI} + \Delta E_{II} C_{BII}}{C_{BI} + C_{BII}}$$

Si nous choisissons  $C_{BI}$  et  $C_{BII}$  de manière à vérifier :

$$\frac{C_{BI}}{C_{BII}} = - \frac{\Delta E_{II}}{\Delta E_I}$$

autour d'un état électrique de base, nous aurons plus généralement :

$$V_{1,2} \text{ (ou } V_{1,4}) = \frac{\Delta E_I C_{BI} + (\Delta E_{II} + \Delta\Delta E_{II}) C_{BII}}{C_{BI} + C_{BII}}$$

en désignant par  $\Delta\Delta E_{II}$  l'écart de proportionnalité de la variation de  $E_{II}$  par rapport à l'état électrique de base, ou puisque  $\Delta E_I C_{BI} + \Delta E_{II} C_{BII} = 0$  :

$$V_{1,2} \text{ (ou } V_{1,4}) = \Delta\Delta E_{II} \frac{C_{BII}}{C_{BI} + C_{BII}}$$

Le schéma de la figure 7 publié dans le numéro de mars montrait la capacité  $C_0$  en un endroit qui ne lui convenait point. Nous redonnons ci-contre le schéma rectifié. D'autre part, dans le schéma 2, une résistance de  $6,8 \text{ M}\Omega$  reliait la grille ECC40b à la plaque EF40 et non à la borne 3.

ou encore, en explicitant  $\Delta\Delta E_{II}$  :

$$\Delta\Delta E_{II} = V_{1,2} \text{ (ou } V_{1,4}) \frac{C_{BI} + C_{BII}}{C_{BII}}$$

A titre d'exemples, les figures 23 et 24 montrent trois dispositifs contenant chacun trois bornes jouissant des propriétés que nous considérons actuellement.

La figure 23 représente un montage inverseur de phase sur lequel on veut contrôler la parfaite symétrie dynamique, c'est-à-dire vérifier l'égalité :

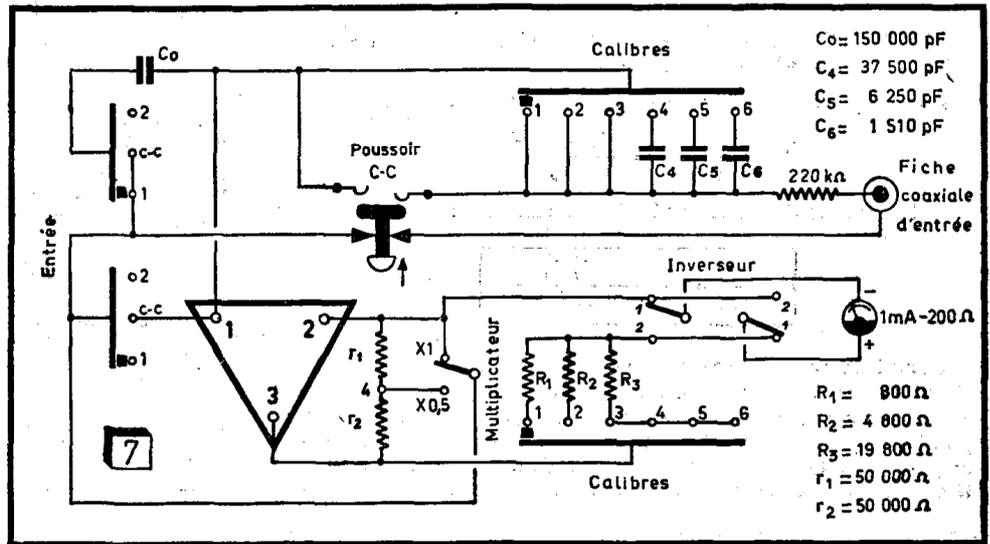
$$\Delta E_I = - \Delta E_{II}$$

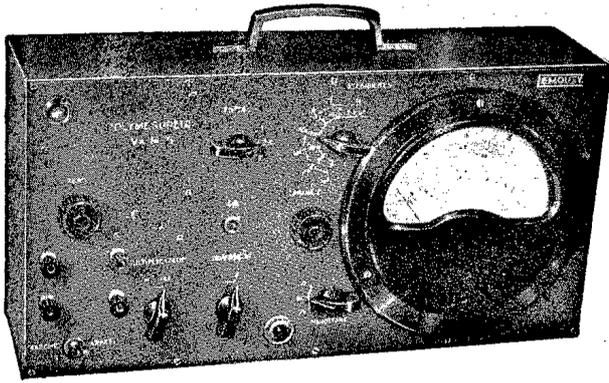
Pour cela, il faut choisir, bien entendu, deux condensateurs  $C_{BI}$  et  $C_{BII}$  identiques.

A noter la présence des deux résistances  $R_{pI}$  et  $R_{pII}$  dont la mission consiste à prévenir tout accrochage sans fausser les lectures.

Le schéma (a) de la figure 24 symbolise un amplificateur de tension continue dont on désire connaître la non-linéarité de transmission. Il importe alors de faire choix d'un rapport  $C_{BI}/C_{BII}$  rigoureusement égal au gain global de cet amplificateur, opération souvent malaisée. Aussi est-il plus commode d'adopter pour ce rapport une valeur inférieure à la valeur requise, quitte à placer à l'entrée du montage un affaiblisseur progressif (schéma (b) de la figure 24).

(A suivre).





Un appareil de mesure unique au monde

# Le Multimesureur Universel ERIC <sup>(1)</sup>

PAR J. POUILLAIN

(Suite et fin de la 1<sup>re</sup> partie)

### 3°. FONCTION $\int$ DQ.

#### a) Transfert d'une charge électrique.

D'après les considérations antérieures, il est flagrant qu'en connectant entre les bornes (1,3) du tripôle intégrateur de la figure 25 un condensateur C préalablement chargé, on le décharge totalement; la quantité d'électricité qu'il renferme s'achemine entièrement vers C<sub>0</sub>. Mathématiquement, en désignant par E la tension initiale aux bornes de C et par V<sub>1,2</sub> la tension apparaissant aux bornes de C<sub>0</sub> après ce transfert, il vient :

$$\frac{V_{1,2}}{E} = \frac{C}{C_0}$$

ou, puisque  $V_{1,2} = -V_{2,3}$  :

$$\frac{V_{2,3}}{E} = -\frac{C}{C_0}$$

Pratiquement, pour accomplir cette manipulation dans des conditions satisfaisantes, la faible tension perturbatrice résiduelle qui existe inévitablement entre les bornes (1,3) du tripôle, ne serait-ce que par l'imperfection du réglage manuel du zéro électrique, doit être négligeable devant E. Cette obligation rend délicat l'emploi d'une tension |E| inférieure à 0,5 V si l'on désire une bonne précision.

Comme applications immédiates de ce procédé, citons :

#### — La transfert d'une tension.

Si l'on adopte un rapport C/C<sub>0</sub> simple proportionné au besoin, afin de ne pas introduire dans l'interprétation de la lecture un coefficient correctif embarrassant, une tension inaccessible directement par la sonde du Polymesureur pour une raison quelconque pourra néanmoins être mesurée aisément et rigoureusement par l'intermédiaire du condensateur transporteur C.

On appréciera cette possibilité inhabituelle quand il s'agira d'accéder à une tension continue ou périodique située entre deux points dont aucun ne s'accommode d'une capacité parasite importante par rapport à la masse ou ne se trouve en deçà du potentiel admis par la borne d'entrée inactive des instruments usuels.

Bien entendu, pour connaître de la sorte la valeur maximum, efficace ou moyenne d'une tension périodique, il suffira d'interposer entre les deux points inaccessibles directement et le condensateur transporteur, un système redresseur convenable sans liaison électrique extérieure.

(1) Voir TSF et TV, nos 305, 306 et 307.

#### — La mesure d'une capacité.

Si on ignore la valeur de la capacité C du condensateur transporteur, mais si, par contre, on connaît la tension E qu'on lui applique avant de le mettre en communication avec le tripôle intégrateur, la tension qui apparaît aux bornes du condensateur étalon C<sub>0</sub> après la décharge et qui se retrouve inversée entre les bornes (2,3) permet de calculer la valeur de l'inconnue C :

$$C = -\frac{V_{2,3}}{E} C_0$$

Il ressort de cette relation qu'en choisissant judicieusement E et C<sub>0</sub>, on lit directement la valeur de C sur l'échelle linéaire du galvanomètre du Multimesureur.

Pour fixer *grosso modo* la limite supérieure des capacités mesurables par cette méthode, on se rappellera que |V<sub>2,3</sub>| ne peut excéder 20 V et que 0,5 V marque la valeur minimum de |E|. De là, en admettant que la capacité de l'étalon C<sub>0</sub> ne puisse raisonnablement dépasser 1 μF, on trouve :

$$C_{\max} = \frac{20}{0,5} 10^{-6} \text{ F} = 40 \mu\text{F}$$

Pour étendre commodément la gamme de mesure vers les capacités de valeurs plus élevées, on recourra avantageusement au montage indiqué par la figure 26, où les deux résistances connues r<sub>0</sub> et R<sub>0</sub> écoulent chacune une fraction donc déterminée de la charge inconnue du condensateur C. Algébriquement, la formule donnant C prend alors la forme :

$$C = -\frac{V_{2,3}}{E} \left(1 + \frac{R_0}{r_0}\right) C_0$$

#### — La mesure de la résistance de fuite d'un condensateur.

Après avoir appliqué une tension continue connue entre les armatures d'un condensateur pendant un certain temps, on le soustrait à toute action extérieure; il perd alors lentement sa charge. Connaissant le rapport E/V entre sa tension de départ et sa tension après un laps de temps t, on calcule sa résistance de fuite par la formule :

$$R_{\text{fuite}} = \frac{t}{C} \frac{1}{\log \frac{E}{V}}$$



qui s'écrit encore si  $E/V \approx 1$  :

$$R_{fuite} \approx \frac{t}{C} \frac{1}{1 - \frac{V}{E}}$$

A noter que le condensateur étalon  $C_0$  n'intervient ici que qualitativement. Deux transferts de tension suffisent pour déterminer le quotient  $E/V$  : le premier sera très bref et le second minuté.

Cette méthode de perte de charge telle qu'elle s'avère excessivement longue si la constante de temps  $CR_{fuite}$  atteint, comme cela arrive fréquemment avec de bons diélectriques, plusieurs heures, voire plusieurs jours. Pour abréger, s'il y a lieu, la durée de la mesure, on réalise la disposition indiquée par la figure 27, puis on procède de la façon suivante :

On commence par mettre le condensateur à examiner en communication avec la source de tension  $E$ . On l'abandonne ensuite à lui-même pendant un certain temps  $t$ . Finalement, on branche l'ensemble  $E$  et  $C$  entre les bornes (1,3) du tripôle intégrateur, ce qui provoque l'apparition d'une tension entre les bornes (2,3). On vérifiera sans peine que :

$$R_{fuite} \approx - \frac{E}{V_{2,3}} \frac{t}{C_0}$$

si le condensateur  $C$  n'a perdu qu'une faible fraction de sa charge initiale au bout du temps  $t$ .

De toute évidence, les deux dernières méthodes décrites conviennent même quand il s'agit de mesurer une résistance plus pondérable (par exemple une résistance métallique) de valeur élevée : il suffit de l'associer au condensateur transporteur et de la considérer, si possible, comme étant l'unique résistance de fuite. Cela oblige l'opérateur à minimiser l'influence de la vraie résistance de fuite, donc à utiliser un condensateur pourvu d'un excellent diélectrique.

— La mesure d'une tension très élevée.

La figure 28 indique le montage à effectuer pour mesurer une telle tension. Il comprend essentiellement une sphère métallique dont on connaît le rayon  $R$  et un réceptacle, sorte de cylindre de Faraday.

La sphère tient le rôle du condensateur transporteur. Lâchée de manière qu'au cours de sa chute elle heurte légèrement un corps métallique relié à la source de tension inconnue  $E$ , elle se charge à ce contact et la quantité d'électricité  $Q$  qu'elle reçoit alors s'écrit :

$$Q = CE.$$

$C$  représente la capacité de la sphère au moment du contact. Si celui-ci se produit par exemple dans un milieu homogène, à une distance  $H$  d'une surface plane parfaitement conductrice :

$$C (F) = \frac{1}{9.10^{11}} \frac{\epsilon R}{1 - \frac{R}{2H}}$$

( $\epsilon$  = constante diélectrique du milieu).

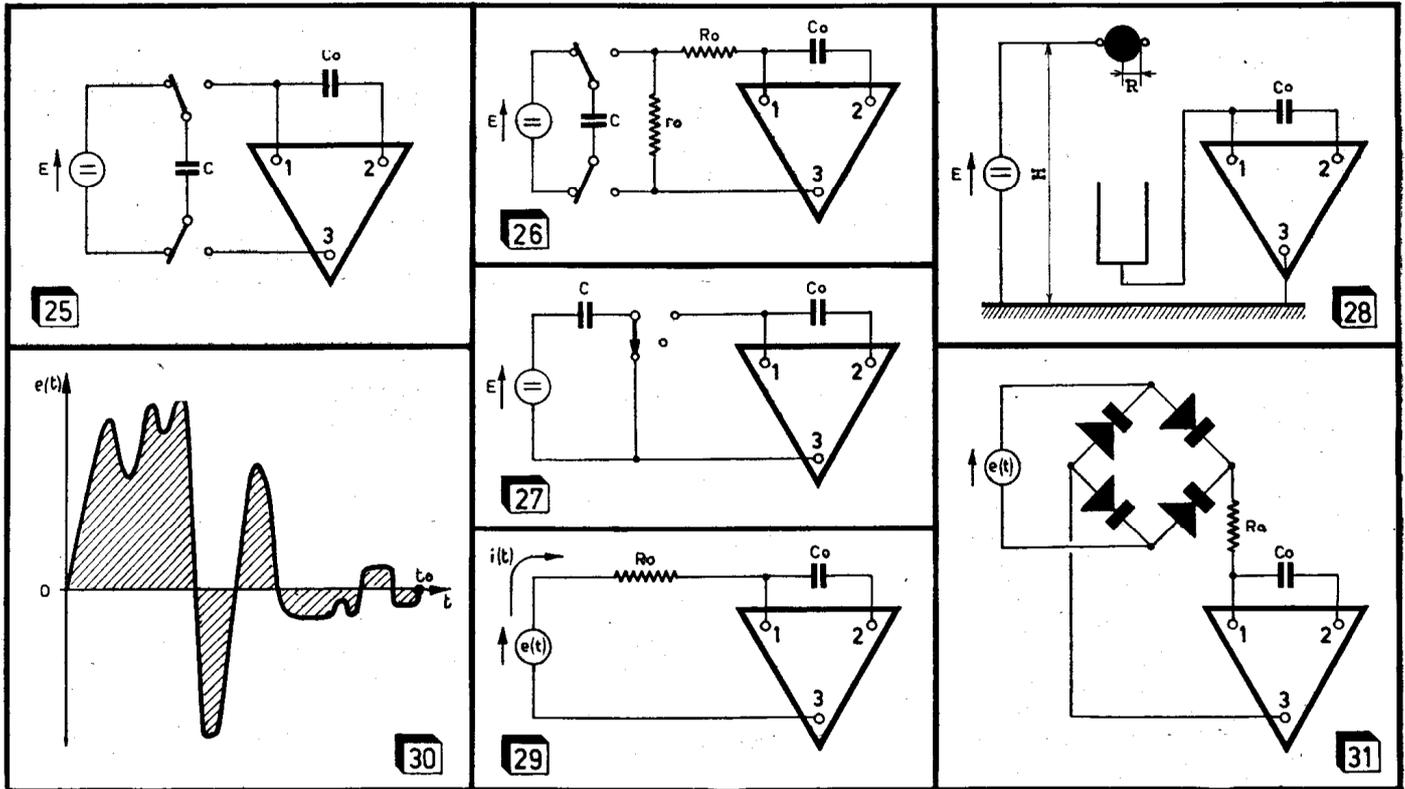
En fin de chute, le réceptacle recueille la charge de la sphère et la transmet entièrement au condensateur  $C_0$ , ce qui provoque l'apparition d'une tension entre les bornes (2,3) :

$$V_{2,3} = - \frac{C}{C_0} E.$$

Si le terme  $R/2H$  est négligeable devant l'unité :

$$V_{2,3} \approx - \frac{1}{9.10^{11}} \frac{\epsilon R}{C_0} E$$

Pratiquement, en éloignant la sphère raisonnablement de toutes les masses métalliques disséminées dans l'espace l'environnant à l'instant où elle se charge et en prévoyant son diamètre en proportion de l'ordre de grandeur de la tension à évaluer pour éviter les effluves, on pourra tenir pour valable la dernière relation et conséquemment s'en servir utilement.



b) *Intégration par rapport au temps.*

Pour intégrer un phénomène évolutif quelconque à l'aide du Multimeureur, il faut tout d'abord convertir la grandeur à mesurer en grandeur électrique sans la déformer.

Supposons que cette conversion fournisse une f.é.m.  $e(t)$ . Si nous appliquons celle-ci entre les bornes (1,3) du tripôle intégrateur à travers une résistance  $R_0$  connue, elle engendre un courant :

$$i(t) = \frac{e(t)}{R_0}$$

qui charge algébriquement le condensateur  $C_0$  (fig. 29). Or, nous savons que :

$$V_{1,2} = \frac{1}{C_0} \int_0^{t_0} i(t) dt$$

si  $V_{1,2}(t=0) = 0$ . En remplaçant  $i(t)$  par sa valeur, nous aurons donc :

$$V_{1,2} = \frac{1}{R_0 C_0} \int_0^{t_0} e(t) dt.$$

Nous en déduisons finalement que :

$$V_{1,2} = - \frac{1}{R_0 C_0} \int_0^{t_0} e(t) dt$$

L'intégration s'effectue donc au sens mathématique du terme.

Si la fonction  $e(t)$  affecte, par exemple, l'allure indiquée par la figure 30, l'intégrale définie  $\int_0^{t_0} e(t) dt$  déterminée à l'aide du Polymesureur s'interprète, comme on le sait, géométriquement : elle représente la somme algébrique des surfaces hachurées situées de part et d'autre de la ligne de référence (O, t). A noter que cette ligne peut à volonté être déplacée parallèlement à elle-même si l'on met en série avec la f.é.m.  $e(t)$  un générateur de tension continue réglable.

Si l'on désire connaître l'intégrale définie  $\int_0^{t_0} e(t) dt$ , c'est-à-dire la somme arithmétique des surfaces hachurées, il faut inverser l'orientation des surfaces positives ou négatives par rapport à la ligne de référence. Un montage redresseur en pont placé aux bornes de la f.é.m.  $e(t)$  s'acquitte honorablement de cette tâche (fig. 31).

## CONCLUSION

Dans cet exposé, nous n'avons fait qu'effleurer quelques-unes des multiples possibilités du Multimeureur. Néanmoins, partant des idées que nous avons émises, les techniciens avertis pourront à leur gré envisager des usages particuliers répondant à leurs besoins.

Signalons pour terminer que nous nous sommes volontairement abstenu de parler de la mesure des tensions alternatives car ce sujet fera l'objet d'un prochain article.

J. POUILLAIN.