

COMMENT FONCTIONNENT LES MULTIMÈTRES A AFFICHAGE NUMÉRIQUE

DE nos jours, les ingénieurs et les techniciens de laboratoire se trouvent souvent dans l'obligation de se familiariser avec des instruments de mesure toujours nouveaux. En particulier, au cours des deux ou trois dernières années, on a pu assister à la pénétration des multimètres à affichage numérique dans les laboratoires et dans les ateliers.

Il ne fait pas de doute que l'emploi de tels appareils et de tous les autres instruments de mesure à indication numérique s'étendra encore dans l'avenir. Aussi, le praticien a-t-il intérêt à se familiariser dès maintenant avec les nouveaux procédés de mesure qui peuvent lui être très profitables et faciliter son travail.

COMMODITE, PRECISION

Tandis que le volt ohmmètre et le voltmètre électronique satisfont la plupart des besoins des techniciens d'atelier et des expérimentateurs privés, les mesures électroniques industrielles demandent fréquemment la commodité et la précision offertes par les instruments digitaux. Les voltmètres à affichage numérique ou voltmètres « digitaux » donnent la lecture des mesures sous la forme de chiffres séparés, c'est-à-dire l'affichage numérique remplace l'indication classique des galvanomètres à aiguille.

Lorsque l'utilisateur a besoin de faire de nombreuses mesures ou des mesures permanentes, incontestablement le multimètre numérique a une supériorité écrasante.

Aussi, l'utilisation de ces instruments modernes intéressera-t-elle également les revendeurs dans leur service de dépannage et d'installation. Un multimètre numérique augmente la commodité des manipulations, la précision des mesures et rehausse la qualité d'une station-service.

LES CARACTERISTIQUES PRINCIPALES

Certes, les limites de fonctionnement des instruments digitaux, sont pratiquement les mêmes que pour les instruments « analogiques » du type correspondant ; mais les instruments à affichage numérique offrent plusieurs avantages en comparaison des instruments à aiguille. La lecture numérique directe sur un voltmètre digital réduit l'erreur de lecture, élimine le parallaxe et augmente la

vitesse de lecture. Ici, l'affichage optique automatique du résultat de la mesure, de l'unité, du domaine de mesure et de la polarité a lieu à l'aide de tubes afficheurs.

Il est plus aisé de lire un résultat affiché sur des tubes Nixie que de le lire sur un cadran, même de grandes dimensions. L'affichage numérique est plus simple et il est lisible à une distance plus grande qu'une échelle avec une aiguille. D'autre part, l'exactitude de l'indication et la sécurité contre les surcharges sont en général plus grandes que dans le cas des instruments à aiguille.

De cette manière, l'utilisateur peut consacrer toute son attention au circuit en cours d'examen.

Dans tous les multimètres digitaux, en plus des gammes de tensions continue, on trouve les gammes de mesure des tensions alternatives, des courants continus et des résistances. En ce qui concerne les appareils prévus pour l'utilisation industrielle, on dispose en outre d'enregistrement permanent des mesures par le moyen d'imprimantes, de perforateurs de carte, d'équipement à ruban magnétique, etc. Ayant saisi les données

On peut les classer « grosso modo » selon les procédés de mesure parmi lesquels les plus importants sont les suivants : le tarage sur zéro, l'approximation progressive, la conversion tension-temps, la conversion tension-fréquence, l'intégration double (« dual slope »).

L'exactitude, la vitesse de mesure, la réduction des perturbations et les moyens mis en œuvre dépendent du procédé de mesure.

L'exactitude est indiquée en pour cent de la valeur finale de la gamme de mesure \pm (plus/moins) un chiffre de la dernière position. Etant donné que le temps, la température et les variations de la tension d'alimentation influencent l'exactitude, on devrait les trouver indiquées sur les notices des fabricants.

La vitesse de mesure est la durée la plus longue qui s'écoule depuis le début de la mesure jusqu'à l'indication (affichage). Elle est augmentée à l'aide de filtres et devrait être égale pour toutes les mesures lorsqu'on utilise le voltmètre pour le traitement de l'information (par exemple, avec branchement d'une imprimante).

La réduction des perturbations dépend du procédé de mesure et peut être améliorée en branchant un filtre avant l'appareil.

LE FONCTIONNEMENT DES PRINCIPAUX MULTIMETRES NUMERIQUES

Voici maintenant une description succincte des instruments les plus répandus, concernant les principes de fonctionnement, les avantages particuliers, les sources d'erreur.

Il y a deux types fondamentaux d'instruments numériques : l'électromécanique et l'électronique « pur ». Notre exposé se limitera à ce dernier type.

Le cœur d'un voltmètre numérique est le circuit qui convertit la tension à la forme numérique. Ceci est connu du nom de conversion analogique-numérique.

LES PROCÉDES DE TARAGE SUR ZÉRO ET D'APPROXIMATION PROGRESSIVE

Ces deux procédés sont tous les deux complexes et n'offrent pas une très bonne réduction des perturbations. Ils sont surtout employés pour le traitement de l'information et en combinaison avec les procédés d'intégration (dont il sera question plus loin) lorsqu'il

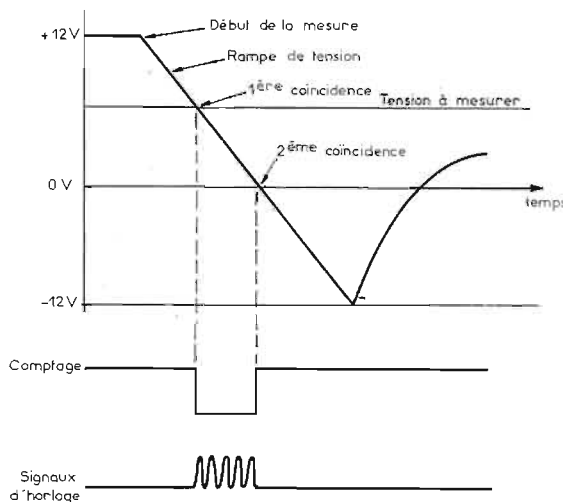


Fig. 1

Les appareils sont équipés d'un changement automatique de gammes et de polarité, qui réduit le temps d'entraînement de l'opérateur, l'erreur de mesure, et prévient la détérioration éventuelle de l'instrument par effet de surcharge (dépassement de la gamme) ou de la polarité inversée.

L'utilisation de ces instruments où la sélection de la gamme et de la polarité est automatique, et simple : il suffit de mettre au contact le point de mesure puis

sous forme numérique, on peut procéder à un traitement ultérieur de l'information sans perte de précision.

LA TERMINOLOGIE

Les multimètres à affichage numérique sont de types très divers. Lorsqu'on a à faire un choix et à apprécier un instrument, il est extrêmement utile de connaître les types de base et leur mode de fonctionnement.

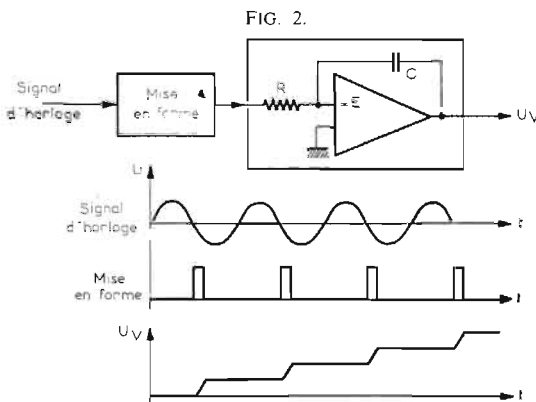


FIG. 2.

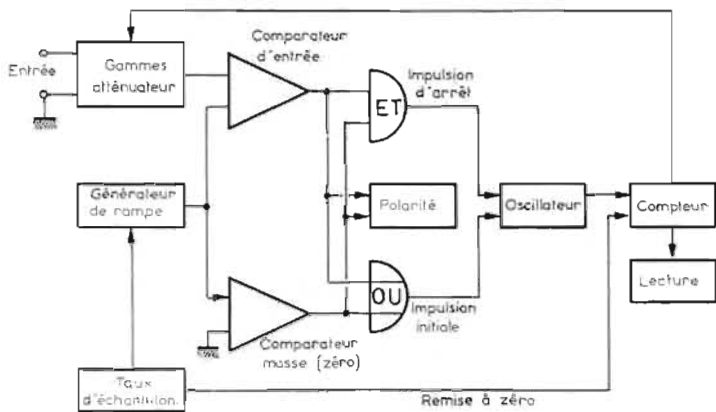


FIG. 3.

s'agit d'effectuer des mesures très précises.

Aussi sont-ils d'un intérêt limité pour le praticien dont l'activité se déroule dans l'atelier de service après-vente et de dépannage.

LA CONVERSION TENSION-TEMPS

Ce système est largement utilisé dans les instruments numériques de prix réduit. L'instrument équipé d'un circuit à rampe (c'est-à-dire produisant une tension à accroissement linéaire ou dent de scie) mesure la longueur de temps que demande une rampe linéaire de tension pour devenir égale à la tension d'entrée inconnue, après être partie d'un niveau connu. Cette période de temps est mesurée avec un compteur électronique d'intervalles de temps et affichée sur des tubes indicateurs disposés en ligne. Les avantages de ce type d'instrument sont le prix faible et la simplicité. Cependant, il nécessite un filtre de bruit à l'entrée s'il existe un bruit superposé au signal.

La figure 1 représente le diagramme temporaire de la conversion d'une tension à un intervalle de temps. Au début d'un cycle de mesure, une tension en rampe apparaît. La rampe est continuellement comparée avec la tension en train d'être mesurée. A l'instant où les tensions deviennent égales, un circuit de coïncidence engendre une impulsion qui ouvre une porte. La rampe continue jusqu'à ce qu'un deuxième circuit comparateur détecte que la rampe a atteint 0 V. A ce moment, l'impulsion de sortie du comparateur ferme la porte.

La durée du temps entre l'ouverture et la fermeture de la porte est rigoureusement proportionnelle à la tension d'entrée. La porte permet le passage des impulsions d'horloge vers les circuits totalisateurs et le nombre des impulsions comptées pendant l'intervalle de fonctionnement de la porte constitue la mesure de la tension.

Le choix de la pente de la rampe et de la cadence du signal d'horloge rend possible la lecture

du circuit totalisateur et son enregistrement directement en millivolts (par exemple, une pente de 300 V/s et une cadence d'horloge de 300 kHz).

Au cas où l'entrée serait une tension négative, la coïncidence avec elle aurait lieu après la coïncidence au zéro. Des circuits appropriés inclus dans l'appareil détectent celle des coïncidences qui a lieu en premier et commutent l'indicateur de polarité en conformité.

L'avantage principal de la conversion tension-temps, comme technique de voltmètre numérique, est sa simplicité. En outre, les tensions d'entrée affectées de lentes variations ne perturbent pas le fonctionnement du voltmètre, comme ceci a souvent lieu avec les voltmètres à tarage sur zéro.

La figure 2 représente le schéma-bloc le plus usuel d'un voltmètre

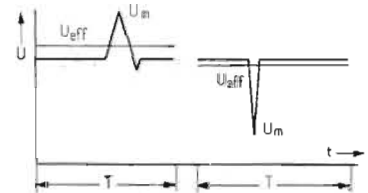


FIG. 4.

numérique du type rampe. Ici, une rampe de tension est engendrée et elle est comparée avec la tension inconnue et avec la tension zéro. La coïncidence avec l'une quelconque des tensions déclenche l'oscillateur et le compteur électronique enregistre les cycles. La coïncidence avec le second comparateur arrête l'oscillateur. Le temps écoulé est proportionnel à la durée exigée par la rampe pour passer de la tension connue à 0 V, ou vice versa. L'ordre dans lequel les impulsions arrivent des deux comparateurs indique la polarité de la tension inconnue.

La lecture accumulée dans le compteur peut être utilisée pour commander le circuit de commutation de gamme.

Il convient de noter que des impulsions perturbatrices peuvent prématurément terminer la mesure et occasionner des erreurs de mesure.

D'autres erreurs entrant dans le résultat des mesures peuvent être provoquées par le caractère non linéaire de la tension de comparaison, par l'imprécision du seuil de mise en fonctionnement des comparateurs, par l'imprécision dans la fréquence des signaux d'horloge et dans la vitesse d'accroissement de la tension.

On peut éviter ces erreurs en remplaçant le générateur de dents de scie (rampe) en figure 2 par un générateur de tension en escalier (Fig. 3) qui rattache avec précision la vitesse d'accroissement de la tension de comparaison à la fréquence des impulsions d'horloge. Les impulsions sont ramenées, dans un circuit de mise en forme, à des créneaux ayant une amplitude et une longueur définies, puis transformées dans l'intégrateur en une tension en escalier.

La conception de ce type de voltmètre s'adapte bien à la réalisation artisanale d'un voltmètre à affichage numérique utilisant des circuits intégrés. La complexité relativement réduite fait que ce type de voltmètre digital est intéressant pour des applications dans lesquelles l'affichage demandé n'est

impulsions ayant des polarités différentes s'annulent partiellement (Fig. 4). Lorsque la fréquence augmente, il reste un résidu toujours plus petit de la tension alternative qui ne s'élimine pas par l'intégration (Fig. 5). Le temps de mesure T est souvent choisi de façon à supprimer la fréquence du secteur. Lorsque $T = 100$ ms, tous les multiples de 10 Hz, (donc même 50 et 60 Hz), sont également supprimés.

Dans le système d'intégration tension-fréquence, la tension de mesure U_m est convertie en une fréquence f dont les périodes sont comptées pendant le temps de mesure T (Fig. 6). Pour la conversion U/f ($U =$ tension, $f =$ fréquence), on emploie un intégrateur équipé d'un déclencheur (trigger) et d'un circuit de remise à zéro (Fig. 7). Le signal d'horloge ouvre la porte pour les impulsions de sortie pendant le temps de mesure. La tension de mesure est appliquée à l'entrée. De ce fait, on a à la sortie la tension U_A . Lorsque U_A atteint un certain niveau (proche de zéro), l'intégrateur est remis à zéro à travers un générateur d'impul-

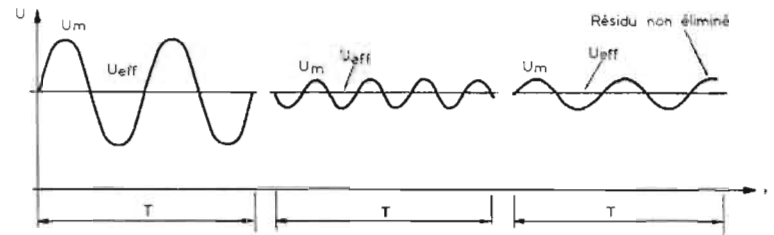


FIG. 5.

que de quatre chiffres. Par exemple, diverses sociétés européennes et américaines produisent des appareils n'affichant que deux ou trois chiffres, destinés à être incorporés dans un indicateur numérique de tableau.

sions et on applique au compteur une impulsion par l'intermédiaire de la porte. La fréquence de répétition de ce processus dépend de la pente U_m/RC et, par-là, directement de la tension de mesure U_m (Fig. 8).

LE PROCÉDE D'INTEGRATION

Certains appareils utilisent le procédé d'intégration. Dans ce système, la tension de mesure est intégrée dans l'intervalle de la durée T du temps de mesure, c'est-à-dire que l'appareil indique la valeur efficace pendant le temps T.

Le système est conçu de telle façon que la réduction des perturbations affectant les impulsions devient d'autant meilleure que la durée de l'impulsion perturbatrice est plus petite par rapport à la durée de mesure. Des

LA CONVERSION TENSION-FREQUENCE

Ce qui vient d'être dit est illustré dans le convertisseur tension-fréquence de la figure 9.

Cet instrument mesure la vraie moyenne de la tension d'entrée sur une durée fixe de codage au lieu de mesurer la tension à la fin du temps de codage comme le font les appareils du type rampe. Le schéma-bloc de la figure 9 illustre la conversion d'une tension à une fréquence. Les circuits constituent un système de contrôle par contre-réaction pilotant la cadence de la production des impulsions de façon à rendre la tension moyenne

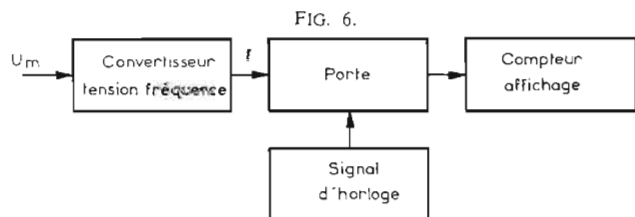


FIG. 6.

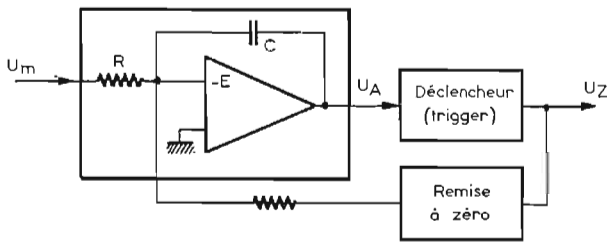


FIG. 7.

d'un train d'impulsions rectangulaires égale à la tension d'entrée continue.

Une tension positive à l'entrée donne, à la sortie d'un intégrateur, une rampe de sens négatif. La rampe continue jusqu'à atteindre le niveau de tension qui déclenche le détecteur de niveau lequel, à son tour, déclenche un générateur d'impulsions. Ce dernier produit

dont l'amplitude n'est qu'une fraction de volt ; la précision de la conversion analogique - numérique est déterminée non seulement par les caractéristiques de la rampe mais également par l'aire (géométrique) des impulsions de contre-réaction.

Le principal avantage de ce type de conversion analogique numérique est que l'entrée est « intégrée »

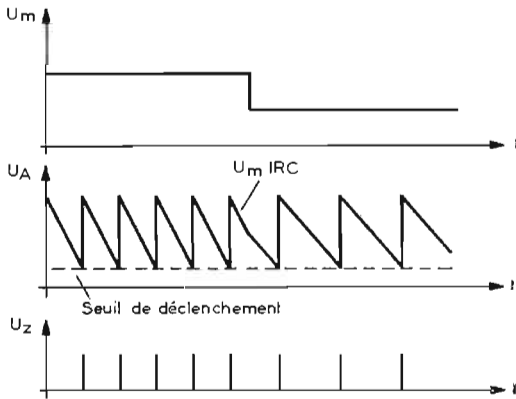


FIG. 8.

une impulsion rectangulaire ayant une largeur et une amplitude rigoureusement contrôlées, juste suffisante pour prélever assez de charge sur le condensateur C pour ramener l'entrée de l'intégrateur au niveau initial. Ensuite tout le cycle se répète.

La pente de la rampe est proportionnelle à la tension d'entrée. Plus la tension est élevée à l'entrée plus la pente résultante est raide, déterminant ainsi une durée de temps plus courte de la rampe ; par conséquent, la cadence de répétition des impulsions est plus élevée. Du fait que la cadence de répétition des impulsions est proportionnelle à la tension d'entrée, les impulsions peuvent être comptées pendant un intervalle de temps connu pour obtenir une mesure numérique de la tension d'entrée. Dans ce type de voltmètre digital, une rampe de tension est engendrée

sur un intervalle d'échantillonnage et que la lecture représente la vraie moyenne de la tension d'entrée.

La fréquence de répétition des impulsions « suit de près » une tension d'entrée à variation lente d'une façon si serrée que les changements dans la tension d'entrée sont réfléchis avec précision comme des changements dans la cadence des répétitions des impulsions. Il s'ensuit que le nombre des impulsions comptées pendant un

intervalle d'échantillonnage représente la fréquence moyenne, et, par conséquent, la tension moyenne. Ceci est important lorsque, pendant la mesure, on rencontre des signaux accompagnés de bruit. Dans le dispositif, le bruit est éliminé automatiquement par compensation pendant la mesure sans exiger des filtres d'entrée toujours susceptibles de ralentir le temps de réponse de l'instrument. En outre, l'instrument réalise une réjection infinie du ronflement de la ligne d'alimentation. Cette dernière est la source principale du bruit affectant le signal lorsque l'intervalle de mesure est un multiple entier de la période de la tension de ronflement.

L'INTEGRATION DOUBLE

Dans ce système, la tension de mesure est intégrée pendant une durée fixe, puis l'intégrateur déchargé avec une tension connue. Le rapport du temps de charge à celui de décharge correspond au rapport des valeurs efficaces de la « tension de mesure » à la « tension de référence ».

Au début de la mesure, la commande règle le compteur sur zéro et applique la tension de mesure U_m à l'entrée de l'intégrateur (Fig. 10). En même temps, la porte s'ouvre et les impulsions d'horloge arrivent sur l'entrée du compteur. La tension de sortie de l'intégrateur U_A augmente avec U_m/RC (Fig. 11), jusqu'à ce que le

compteur, revienne de nouveau à zéro.

En même temps, l'entrée de l'intégrateur est commutée à la tension de référence. L'intégrateur est déchargé avec U_{ref}/RC jusqu'à ce que le déclencheur (trigger) ferme la porte, au passage à zéro de U_A pour les impulsions. Comme il a été mentionné, le résultat du comptage N est proportionnel au rapport des ten-

sions U_m/U_{ref} . En appliquant une tension extérieure comme tension de référence U_{ref} , on peut mesurer des rapports de tension. Par le fait qu'on utilise le même réseau pour la charge et pour la décharge de l'intégrateur, les erreurs de dérive et d'offset s'éliminent dans une grande mesure. La réalisation artisanale de ce type d'appareil est prometteuse parce que les sources d'erreur les plus importantes se compensent automatiquement. Ainsi, par exemple, on n'a pas absolument besoin d'un générateur d'impulsions stabilisé par quartz.

LES MULTIMESUREURS

Un voltmètre à affichage numérique constitue l'élément de base pour un appareil universel de mesure. L'information à mesurer peut être continue ou alternative, se présenter sous la forme d'une tension ou d'un courant ou bien il peut s'agir d'une mesure de résistances. Les modèles les plus récents se caractérisent par un automatisme quasi-intégral. Cela signifie qu'il n'est plus besoin de rechercher le meilleur calibre, la mesure s'affichant d'elle-même avec le plus grand nombre de chiffres significatifs. Certains appareils présentent l'énorme avantage de réaliser les mesures par simple échange d'un tiroir de fonction qui permet par exemple le fonctionnement comme voltmètre continu, compteur 1 MHz, ohmmètre,

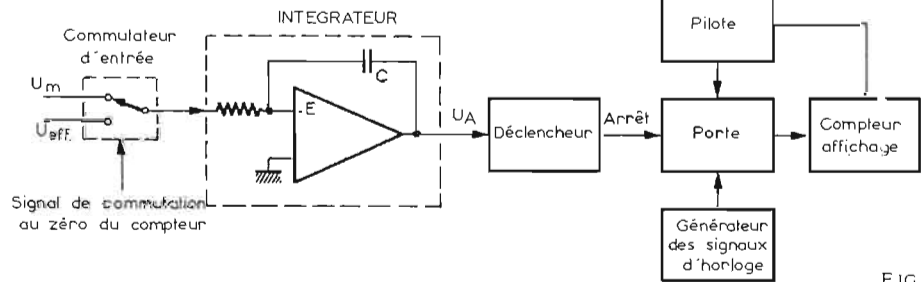


FIG. 10.

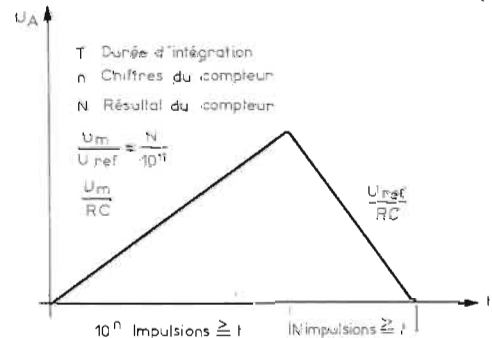


FIG. 11.

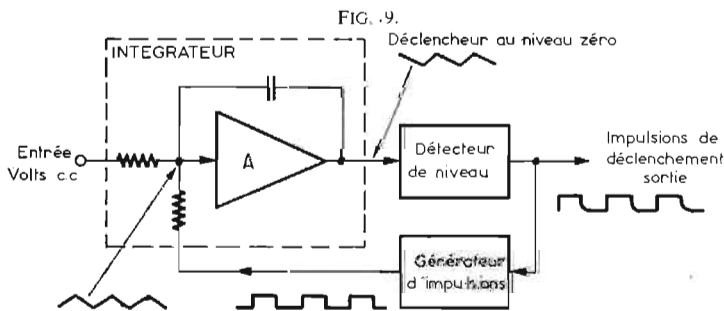


FIG. 9.

compteur, revienne de nouveau à zéro.

En même temps, l'entrée de l'intégrateur est commutée à la tension de référence. L'intégrateur est déchargé avec U_{ref}/RC jusqu'à ce que le déclencheur (trigger) ferme la porte, au passage à zéro de U_A pour les impulsions. Comme il a été mentionné, le résultat du comptage N est proportionnel au rapport des ten-

capacimètre, compteur d'impulsion. Certains modèles utilisés dans l'industrie, dans les laboratoires sont des « acquéreurs de données » réunissant dans un coffret le commutateur programmeur, un voltmètre numérique et l'imprimante.

François ABRAHAM.

Bibliographie : Electronics World, Funkschau.