

Les multimètres numériques

par E. CATIER

Grande précision, haute sécurité, facilité d'emploi : telles sont les qualités reconnues au multimètre numérique classique. En un seul instrument, il réunit à lui seul trois appareils : voltmètre, ampèremètre, ohmmètre ; des adaptateurs le transforment en thermomètre, fréquencesmètre, capacimètre, sonomètre, luxmètre, luminancemètre... en haut de gamme, il se mue en station totale contrôlée par un microprocesseur. Comment fonctionne-t-il ? A quoi sert-il ? Comment l'utilise-t-on ? Voici des éléments de réponse.



L'objet de nos réflexions : un instrument de mesure qui devient « intelligent ». (Cliché Schlumberger.)

Pour les techniciens, l'année 1927 est à marquer d'une pierre blanche. C'est en effet cette année-là que la société *Chauvin-Arnoux* déposait le nom de « contrôleur universel » donné à cet instrument réunissant sous un boîtier unique trois appareils différents (le voltmètre, l'ampèremètre, l'ohmmètre), et réalisant cinq

fonctions : la mesure des tensions électriques continues, celle des tensions alternatives, des courants continus, des courants alternatifs, et des résistances.

Voici quelques dizaines d'années, on a commencé à lui intégrer d'autres fonctions comme celle de la mesure des caractéristiques de

semiconducteurs ; et maintenant, on l'autorise à recevoir des modules adaptateurs qui par simple enfichage le transforment en un contrôleur spécialisé, pour la mesure de températures, de sons, d'éclairage et d'intensité lumineuse. De multimètre à l'origine, le contrôleur universel se mue en multi-multimètre disposant d'une seule entrée pour réaliser toutes les fonctions souhaitées.

Cette conception modulaire des multimètres a amené les constructeurs à étendre l'utilisation de tous les autres appareils de mesures (de l'oscilloscope à l'enregistreur) vers les domaines où ils n'avaient guère accès jusque-là, grâce justement à ces mêmes modules adaptateurs.

Le multimètre à l'ère des microprocesseurs

Cette versatilité, les multimètres l'ont acquise avec les microprocesseurs.

Jusqu'à ce moment-là, on n'utilisait que des instruments analogiques.

Par contre, un microprocesseur est (le plus souvent) un micro-ordinateur qui ne sait traiter que des informations numériques ; celles-ci sont codées par une succession de nombres binaires « 0 » ou « 1 » (les bits, contraction de « Binary digITS »). Pour être traitée par un microprocesseur, la mesure analogique doit alors être convertie en informations numériques. C'est le rôle du convertisseur analogique-numérique.

Le résultat du traitement de l'information par le microprocesseur peut à son tour être retranscrit en données analogiques (grâce à un convertisseur numérique-analogique) pour être appliqué ensuite sur un appareil d'affichage analogique (galvanomètre, enregistreur), ou bien conserver sa forme numérique et être affiché sur des écrans binaires ou des machines à dessiner numériques.

Comment réalise-t-on la conversion analogique-numérique

Dans un multimètre numérique, le signal à mesurer est d'abord transformé en une tension analogique qui est ensuite convertie en une valeur numérique composée d'une succession codée de bits. Ces derniers peuvent ensuite être comptés, et le résultat du comptage est affiché :

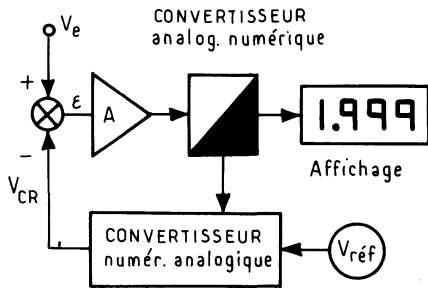


Fig. 1. - Méthode de zéro : la différence entre la tension d'entrée (analogique) V_e et la tension de contre-réaction V_{cr} est amplifiée, mise sous forme numérique et affichée. Une contre-réaction V_{cr} est obtenue en comparant la valeur numérique ainsi obtenue à une tension de référence V_{ref} . Le tout constitue un asservissement qui tend vers un état d'équilibre.

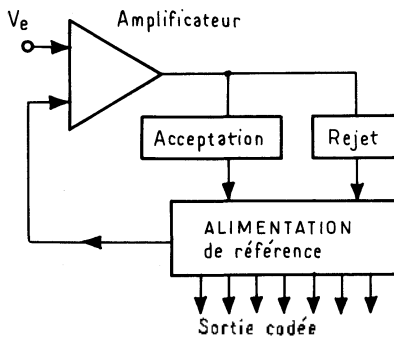


Fig. 2. - Circuit d'approximation successive.

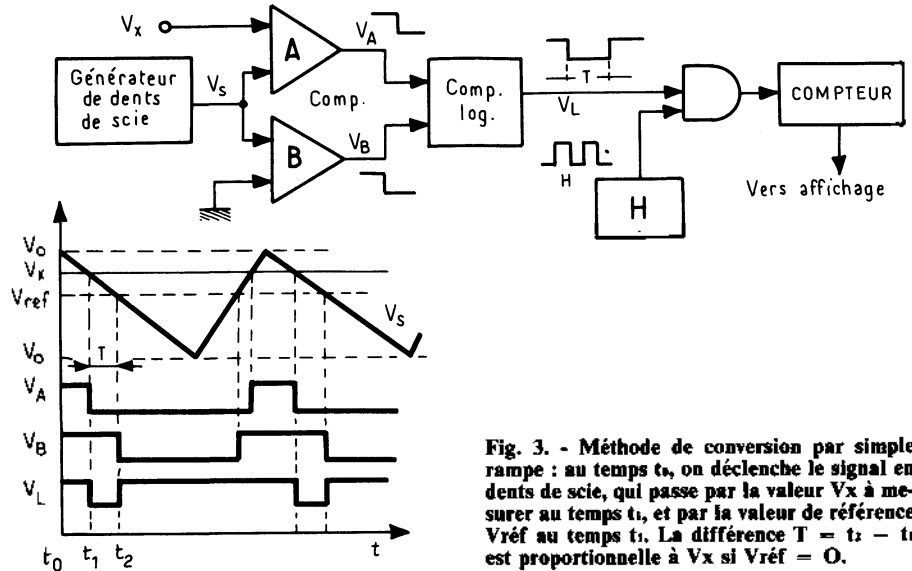


Fig. 3. - Méthode de conversion par simple rampe : au temps t_0 , on déclenche le signal en dents de scie, qui passe par la valeur V_x à mesurer au temps t_1 , et par la valeur de référence V_{ref} au temps t_2 . La différence $T = t_2 - t_1$ est proportionnelle à V_x si $V_{ref} = 0$.

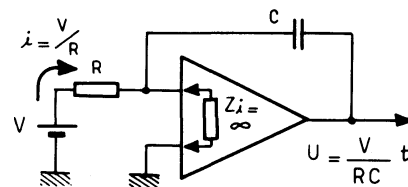


Fig. 4. - Générateur de rampe.

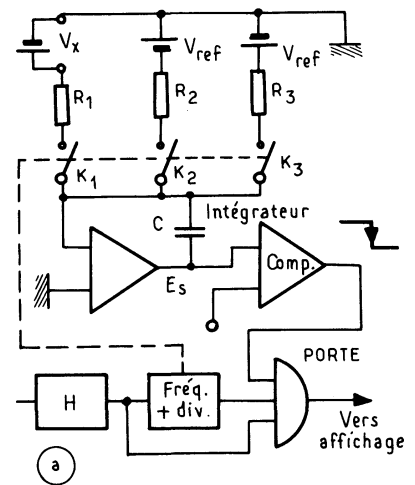


Fig. 5. - Intégration à double rampe : à l'instant t_0 , l'interrupteur K_1 est fermé ; le condensateur C se charge linéairement à travers le circuit R_1C pendant un temps fixe T (donné par le séquenceur). A l'instant t_1 , K_1 s'ouvre, K_2 ou K_3 se ferme de manière que la tension de référence V_{ref} appliquée au système sort de signe inverse à celui de V_x ; au même instant t_1 , le séquenceur ouvre la porte de comptage des impulsions d'horloge. Le courant de charge du condensateur s'inverse, et décroît linéairement jusqu'au temps t_2 où le comparateur bloque le comptage : c'est l'instant précis où la tension aux bornes du condensateur est nulle.

c'est là une valeur représentative du signal analogique de départ.

Une autre méthode très précise, néanmoins sensible au bruit, consiste à poursuivre en permanence les variations de la tension d'entrée, en comparant en permanence celle-ci à une tension interne servant de référence, jusqu'à obtention d'un équilibre (fig. 1). C'est donc une méthode de zéro, dite encore « méthode potentiométrique », ou « à servo-balance ». Malheureusement, son temps de conversion n'est pas constant : il dépend de la différence entre les diverses tensions que l'on compare ; il varie entre quelques millisecondes pour des différences de l'ordre du millivolt, à 0,5 s lorsque les écarts sont de plusieurs volts.

En conversion très rapide, on emploie plutôt la méthode dite des approximations successives (fig. 2).

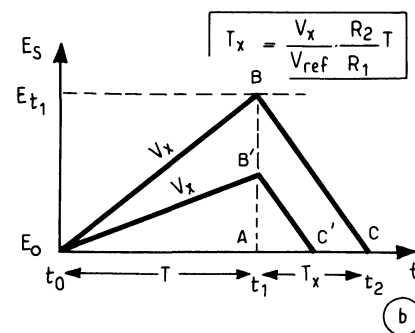
On parvient ainsi à convertir un signal analogique en un mot de 12 bits en deux microsecondes seulement.

Tenez bien la rampe...

D'autres méthodes effectuent une conversion de la tension analogique en des signaux d'horloge représentatifs du temps. La plus simple d'entre elles, dite « à simple rampe » est aujourd'hui dépassée.

En pratique, on ne parvient pas à réaliser un système simple rampe ayant un bon coefficient de température et une stabilité importante ; la précision maximale possible est de 0,05 % ce qui situe les convertisseurs analogiques-numériques simple rampe (fig. 4) dans le bas de gamme de ceux que l'on utilise.

On préfère utiliser la méthode de conversion par intégration à double rampe (fig. 5) : on charge pendant un temps fixe T un condensateur sur lequel est appliquée la tension à mesurer ; puis, après ce laps de temps, on laisse le condensateur se décharger, et l'on mesure la durée de cette décharge : elle est proportionnelle à la tension inconnue ; le coefficient



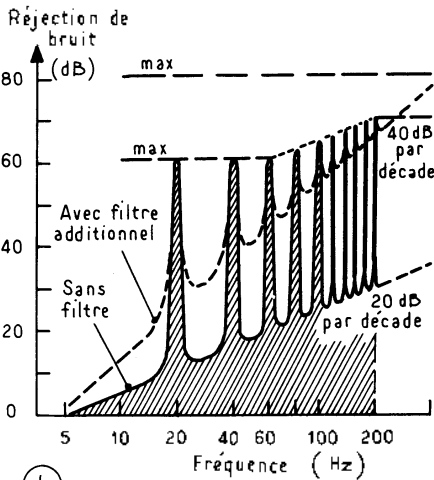
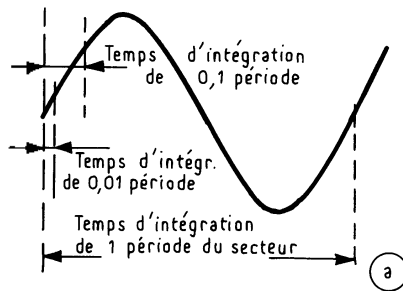
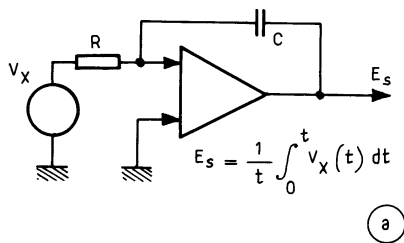


Fig. 6. - Réjection de bruit par le système double rampe : c'est un intégrateur en (a) par principe. Or l'intégrale d'une fonction sinusoïdale sur une période est nulle : on a donc intérêt à choisir un temps d'intégration T tel que les tensions alternatives parasites aient une période égale ou multiple de T ; comme les tensions parasites ont des fréquences multiples de celle du secteur (50 Hz en Europe), le temps T est choisi sous-multiple de la période du secteur : 20 ms par exemple. D'une manière plus générale, la réjection du bruit varie avec la fréquence comme indiqué en (b), certains matériels offrant la possibilité d'un filtrage additionnel à large bande.
(source : Racal-Dana)

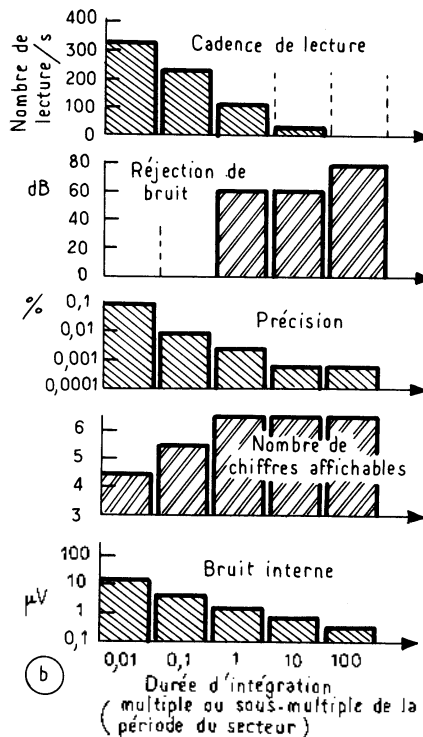


Fig. 7. - Le choix de la durée d'intégration, en (a), influence la précision et la vitesse de la mesure, en (b) : lorsqu'on veut atteindre une grande cadence de lecture, il faut adapter un filtre d'entrée selon la réjection de bruit désirée. Pour une grande précision, une bonne stabilité, une haute répétitivité, on choisit un temps d'intégration long, en (c).
(source : Hewlett-Packard)

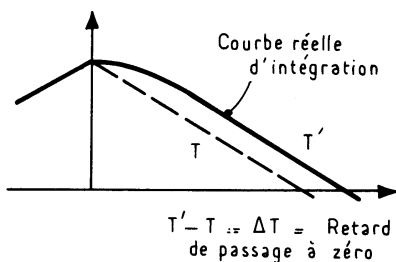


Fig. 8. - Chez Racal-Dana on pallie le problème posé par la détection de retour à zéro, en retardant le moment où la seconde rampe revient au zéro.

de proportionnalité dépend de la tension de référence (qui doit bien sûr être très stable) et du rapport de deux résistances : à la limite, celles-ci n'ont pas besoin d'être chacune extrêmement précises ; il suffit que leurs variations, en fonction des grandeurs d'influence, soient identiques.

Cette méthode pose évidemment des problèmes : la détection précise du retour de la rampe à zéro est difficile ; l'intégrateur doit être très linéaire, et son temps de réponse doit être très court, en particulier au moment du changement de rampe.

Elle présente par contre un avantage fondamental : la réjection quasi

totale des bruits (fig. 6) qui ont en général des fréquences multiples de celle du secteur ; il suffit de choisir pour temps d'intégration un sous-multiple de la période du secteur.

La sélection du temps d'intégration conditionne la rapidité de la mesure et sa précision. La cadence de lecture est augmentée en réduisant le temps d'intégration, tandis que la précision est améliorée en augmentant ce temps : un compromis est toujours à faire (fig. 7 et 8).

Diverses améliorations ont été apportées à la méthode, en particulier pour pallier la difficulté de détection du retour à zéro de la seconde rampe. Ce sont des méthodes à multiples rampes dans lesquelles on recherche en plusieurs étapes le passage au zéro d'une rampe de pente plus ou moins grande selon la précision souhaitée (fig. 9).

Chez *Enertec-Schlumberger*, on préfère la technique de modulation en largeur d'impulsions, qui consiste à « forcer » la génération des rampes par un signal carré ayant une fréquence bien stable, entre 300 Hz et 200 kHz selon les applications : ainsi, dans le cas d'une fréquence de « forçage » de 300 Hz, l'instrument exécute 300 mini-mesures par seconde ; s'il advient qu'un signal transitoire apparaisse, il en résultera des mini-mesures erronées, et la possibilité de déclencher une action (annonce de surcharge, changement de gamme) instantanément (fig. 10).

Dans le cas d'un système double rampe, une telle action est impossible à réaliser : si un transitoire survient au cours de la charge du condensateur, le résultat est incorrect ; le seul moyen pour y remédier est d'utiliser une détection de niveau analogique à l'entrée.

Le LSI analogique, un jour ?

De nouveaux genres de convertisseurs analogiques-numériques ont été développés initialement pour la numérisation d'images vidéo, et de signaux de radars militaires. Ce sont des circuits intégrés capables d'effectuer 1 à 100 millions de conversions par seconde, et délivrant des signaux sur 4 à 16 bits.

Aujourd'hui, le marché de ces convertisseurs « éclairs » se diversifie : ils trouvent un emploi dans les jouets électroniques et dans les lecteurs de codes à barres (caisses enregistreuse des supermarchés).

Les applications industrielles démarrent seulement : les voici maintenant dans des enregistreurs numériques, c'est-à-dire dans des multimètres capables de saisir et traiter des informations transitoires, donc fugitives et présentes seulement l'espace d'un très court instant. Et c'est là que le LSI analogique excelle grâce à sa grande vitesse de fonctionnement.

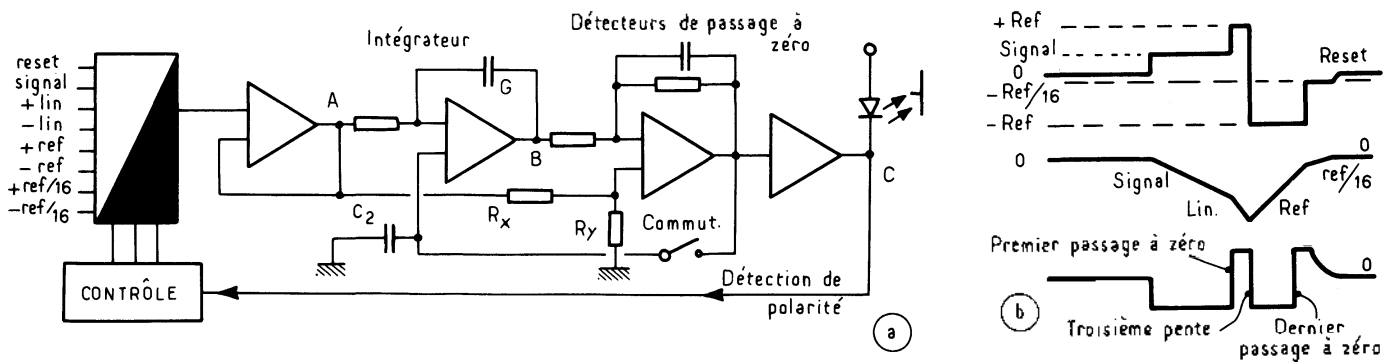


Fig. 9. - Dans la méthode à triple pente mise en œuvre par Datron, on charge le condensateur d'intégration dans un premier temps ; pendant une très courte période, on poursuit cette charge en appliquant une tension Lin de même polarité que le signal : ceci permet en particulier de donner une charge au condensateur en cas de signal nul. On démarre alors la période de décharge en deux temps : une tension de référence Vref de polarité inverse au signal décharge le condensateur jusqu'au moment où le premier détecteur de passage de rampe à zéro se déclenche ; on joue alors avec une seconde tension de référence, égale au seizième de la tension Vref jusqu'au moment où le second détecteur signale le second passage à zéro de la tension sur le condensateur. On effectue, en somme, d'abord une mesure grossière, puis une mesure fine de la tension recherchée.

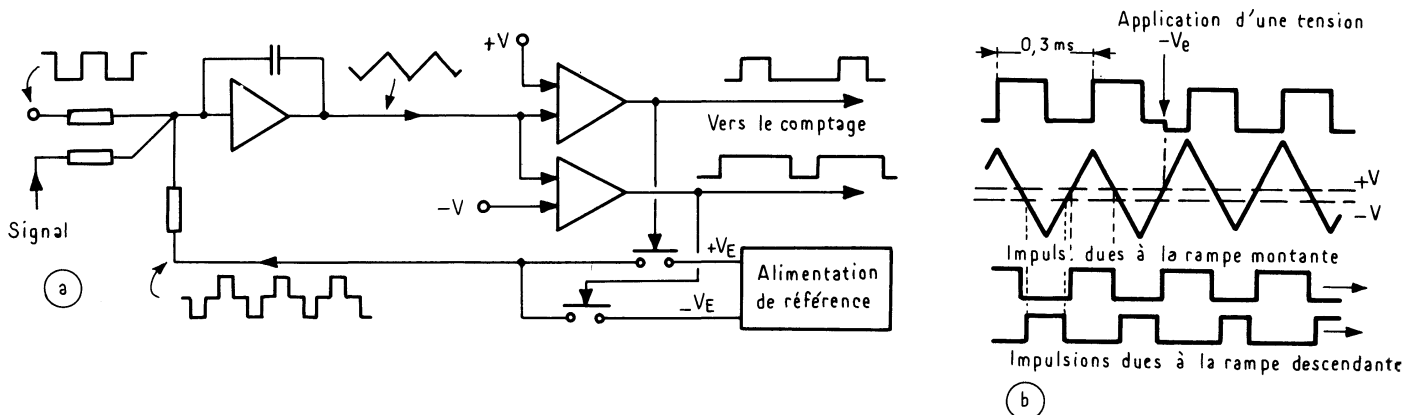


Fig. 10. - Modulation en largeur d'impulsions : on force en (a) la génération de rampe par un signal de fréquence fixe (variable selon les applications de 300 Hz à 200 kHz) et de forme carrée. La rampe est appliquée à deux comparateurs qui basculent lorsque la rampe franchit le niveau de référence de chacun d'entre eux : on obtient donc 2 trains d'impulsions en (b) qui permettent un contrôle des résultats fournis par le compteur de signaux d'horloge. Un déséquilibre apparaît entre les largeurs de ces deux trains d'impulsions si un signal est appliqué à l'entrée de l'instrument.

Les performances d'un multimètre numérique

Différents paramètres influent sur les performances d'un multimètre. Et en premier lieu, le nombre de « points » ; c'est en fait le plus grand nombre qui peut être affiché par l'appareil de mesure. Cette notion ne tient compte ni de l'unité de mesure choisie, ni de la position d'une éventuelle virgule. Le zéro est toujours considéré comme un point de mesure : aussi un multimètre à 10 000 points de mesure peut-il afficher tous les nombres jusqu'à 9 999.

On trouve sur le marché des appareils allant de 2 000 points à plusieurs millions de points.

A ce propos, les Anglo-Saxons préfèrent annoncer le nombre de chiffres (ou « digits ») affichables. On

dira qu'un multimètre 10 000 points est un appareil « 4 digits », tandis qu'un multimètre 2 000 points (affichage maximal : 1 999) est dénommé « 3 1/2 digits », car le chiffre des milliers ne peut pas prendre toutes les valeurs entre 0 et 9. Les appareils du marché atteignent 7 1/2 digits.

Dès lors, un appareil 3 000 points est aussi un « 3 1/2 digits » : la terminologie anglo-saxonne, bien que couramment utilisée, est donc imprécise.

La précision de l'appareil exprime l'écart, en valeur relative, entre la mesure effectuée par l'instrument, et la véritable valeur de la grandeur à mesurer. Elle est toujours définie dans des conditions d'environnement bien spécifiées par le constructeur (entre 19 et 21 °C, pour une alimentation secteur de 220 V à 5 % près, avec une humidité relative

inférieure à 80 %...), et s'exprime par la somme de deux termes : l'un est fonction de la valeur lue, l'autre de l'étendue de mesure (qui s'exprime en pour cent ou en nombre de digits).

Ainsi trouve-t-on des appareils dont la précision va de plus de 0,1 % à moins de 0,002 %.

La précision affichée par les constructeurs évolue avec la durée d'utilisation, et les conditions ambiantes. L'utilisateur ne fait bien souvent guère attention à ce paramètre, prenant pour argent comptant l'information qui est affichée ; certains appareils sont néanmoins suffisamment sophistiqués pour indiquer l'erreur avec laquelle la mesure est réalisée.

La résolution est la plus petite variation de la valeur à mesurer qui

Tableau I. - Caractéristiques typiques d'un appareil 20 000 points, employé comme voltmètre continu.

Température de référence : 23 °C

Gamme	Résolution	Précision (temps d'établissement : 0,5 s)		Coefficient de température/°C	
		sur 24 h ± 1 °C ± (% lect. + digits)	sur 1 an ± 5 °C ± (% lect. + digits)	± (% lect. + digits)	
19,999 mV	1 µV	0,02	4	0,0025	2
199,99 mV	10 µV	0,01	1	0,0025	0,2
1,9999 V	100 µV	0,01	1	0,0025	—
19,999 V	1 mV	0,02	1	0,003	0,2
199,99 V	10 mV	0,02	1	0,003	—
1000 V	100 mV	0,02	1	0,003	—

Résistance d'entrée : 10,1 MΩ ± 0,2 %.

Protection aux surcharges : en automatique : 1000 V = + ~ crête (max. : 400 V eff.).

Sur gammes 2 V, 200 mV, 20 mV : 400 V = + ~ eff. (permanent). Sur gammes 1 kV, 200 V, 20 V : 1000 V = + ~ crête (permanent).

puisse être détectée par l'instrument.

Un appareil ayant une étendue d'échelle de 10 000 points peut avoir une résolution maximale de 10⁻² % de l'étendue de mesure. Avec 20 millions de points, on atteint une résolution de 10⁻⁹ % de l'étendue de mesure, de sorte que l'on pourra mesurer une tension continue entre 100 mV et 1 000 V avec une résolution de 10 nV ; la précision sera, pour cet appareil de haut de gamme, égale à 0,0002 % et 10 digits (cf. tableau I).

La sensibilité est la plus petite valeur de grandeur qui puisse être mesurée par l'appareil : elle peut être différente de la résolution, si l'appareil possède par exemple une zone « morte » autour du zéro.

Vu de ses bornes d'entrée, un voltmètre numérique (fig. 11) est assimilable à un générateur de courant « i » (appelé « courant de réinjection ») shunté par une impédance Zi (« impédance d'entrée ») : le courant de réinjection est responsable d'un décalage de zéro (fonction de l'impédance d'entrée de la source à mesurer) ; l'impédance d'entrée donne pour sa part une erreur d'échelle.

Les erreurs de stabilité sont exprimées en fonction du temps, les conditions d'environnement étant maintenues à leur valeur nominale. L'erreur de stabilité du zéro se manifeste par une modification de l'information de sortie pendant un intervalle de temps spécifié, le circuit d'entrée étant connecté à un réseau passif spécifié. On considère également une erreur de stabilité de fin d'échelle, le signal d'entrée étant alors maintenu constant et égal à la valeur de fin d'échelle.

Le temps de réponse enfin, est le temps nécessaire aux circuits d'en-

trée de l'instrument soumis à un échelon égal à l'étendue de mesure, pour que la valeur affichée se trouve dans la zone de précision spécifiée. On parle d'un temps de réponse à 1 %, à 0,1 %, etc.

C'est un multimètre !

Certes, au cœur de l'instrument, se trouvent le convertisseur analogique-numérique et les compteurs associés ; mais il comporte d'autres organes tout aussi importants.

Et d'abord, voici l'afficheur numérique qui est à segments de diodes

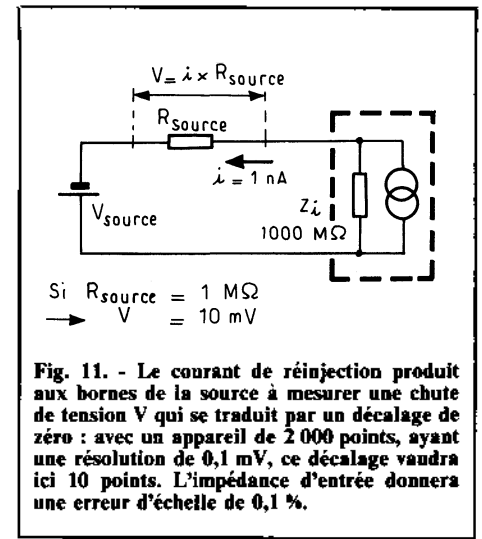
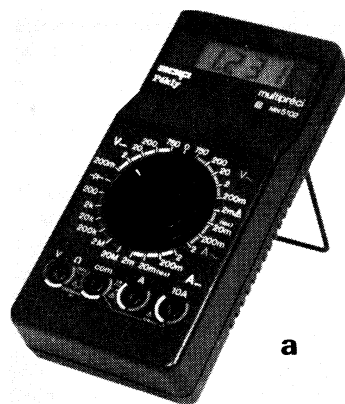


Fig. 11. - Le courant de réinjection produit aux bornes de la source à mesurer une chute de tension V qui se traduit par un décalage de zéro : avec un appareil de 2 000 points, ayant une résolution de 0,1 mV, ce décalage vaudra ici 10 points. L'impédance d'entrée donnera une erreur d'échelle de 0,1 %.

électroluminescentes ou de cristaux liquides (appareils portatifs à alimentation autonome). Ce sont des composants compacts, de haute fiabilité, fonctionnant même dans des environnements difficiles (vibrations, chocs, accélérations, chocs thermiques, pression ambiante réduite), à faible temps de réponse (150 à 200 ms pour les afficheurs à diodes électroluminescentes, 400 ms pour ceux à cristaux liquides).

Divers dispositifs sont parfois prévus pour améliorer la visibilité : lumière arrière pour éclairage du fond, potentiomètre de réglage de contraste.

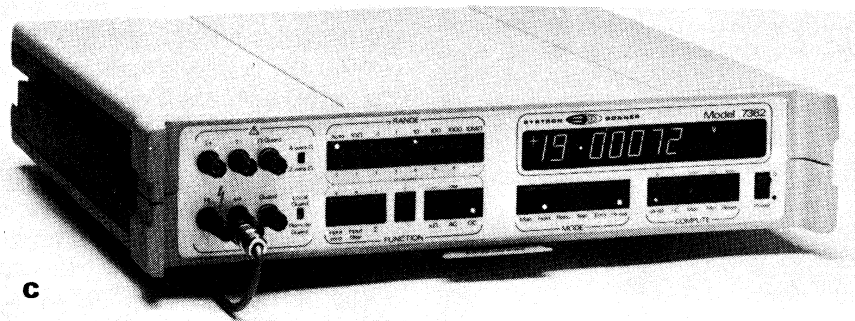
Quelques multimètres du marché : 2 000 points pour celui de poche en (a), 20 000 points pour celui de table, en (b), et 200 000 points pour le multimètre de laboratoire, en (c).



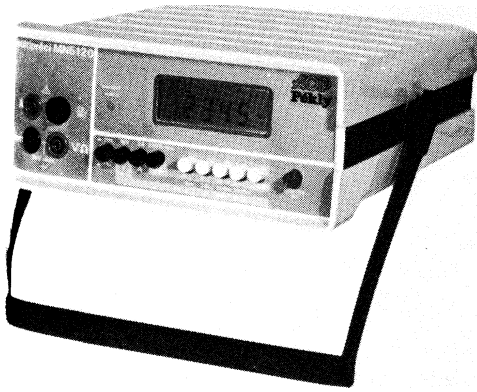
a



b



c



Multimètre numérique : un système de mesure qui se tourne vers la micro-informatique. (Cliché AOIP.)ZL

Certains appareils de haut de gamme (7 1/2 digits) offrent à l'utilisateur la possibilité d'afficher le nombre de digits souhaités — en faisant varier bien sûr simultanément le temps d'intégration, la résolution, et la sensibilité.

Dans les vumètres et les bargraphes, on emploie des diodes électroluminescentes pour afficher des informations numériques sur des cadrans ressemblant par leur apparence à ceux des appareils analogiques. Ils permettent de réaliser des affichages trichromes (rouge - vert - jaune... le bleu est encore hors de prix !) alimentés par des signaux en basse tension (0 à 5 V), de fré-

quence comprise entre 10 Hz et 100 kHz.

Finalement, le multimètre se présente sous de multiples aspects : appareil de tableau, de bureau, ou encore en format de poche, éventuellement en présentation « calepin ». Il est alimenté sur secteur ou sur batteries (autonomie : jusqu'à 12 000 heures !).

Sur la face avant, se présentent un certain nombre de touches qui permettent à l'utilisateur de choisir la fonction qu'il souhaite voir remplir par son appareil. Certaines fonctions sont inhérentes au multimètre ; d'autres lui ont été ajoutées grâce à des adaptateurs spécialisés ; enfin de nouvelles fonctions sont disponibles depuis la venue des microprocesseurs.

De par sa nature, le convertisseur analogique-numérique offre la possibilité de mesurer une tension continue. Un commutateur de calibre, purement résistif, permet de sélectionner le rapport d'un diviseur de tension, afin d'assurer à l'entrée du convertisseur analogique-numérique une tension toujours comprise, par exemple, entre $-0,2\text{ V}$ et $+0,2\text{ V}$. Des sondes servent à la mesure de hautes tensions : elles sont constituées elles aussi, de deux résistances internes formant avec l'impédance d'entrée de l'appareil un diviseur potentiométrique de grand rapport.

Lorsqu'on a affaire à une tension sinusoïdale, on s'empresse à la redresser au moyen d'un pont redresseur à diodes (fig. 13), ce qui permet

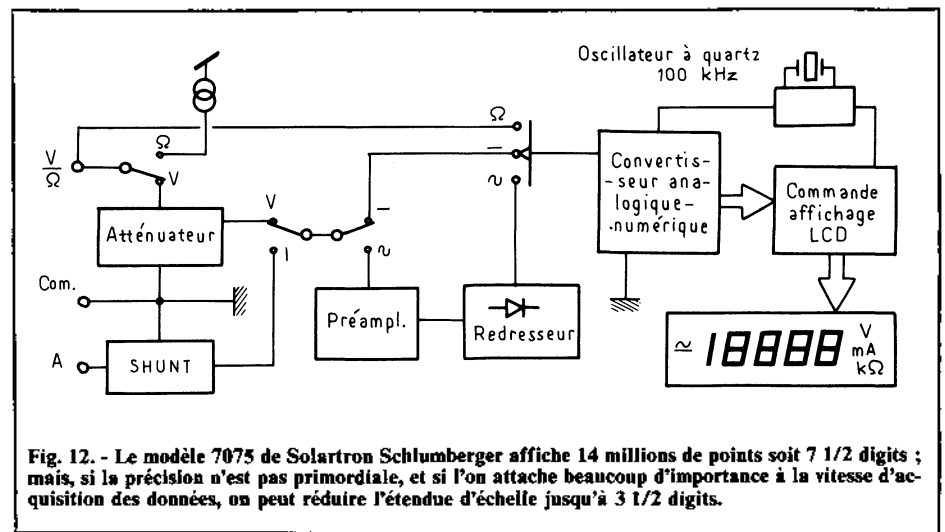


Fig. 12. - Le modèle 7075 de Solartron Schlumberger affiche 14 millions de points soit 7 1/2 digits ; mais, si la précision n'est pas primordiale, et si l'on attache beaucoup d'importance à la vitesse d'acquisition des données, on peut réduire l'étendue d'échelle jusqu'à 3 1/2 digits.

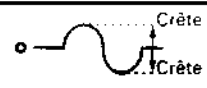
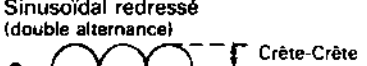
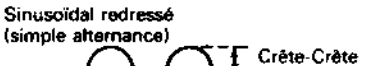
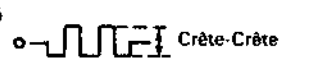
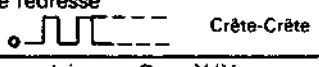
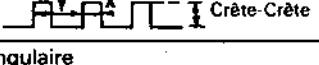
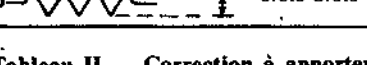
Signal d'entrée	Coefficient multiplicateur pour obtenir la valeur exacte			
	Crête - Crête	Demi-crête	Valeur efficace	Moyenne
Sinusoidal 	2,828	1,414	1,000	0,900
Sinusoidal redressé (double alternance) 	1,414	1,414	1,000	0,90
Sinusoidal redressé (simple alternance) 	2,828	2,828	1,414	0,900
Carré 	1,800	0,900	0,900	0,900
Carré redressé 	1,800	1,800	1,272	0,900
Rectangulaire $D = X/Y$ 	0,9D	0,9D	0,45D	0,9D
Triangulaire 	3,600	1,800	1,038	0,900

Tableau II. - Correction à apporter à la mesure lorsqu'une tension alternative n'est pas sinusoïdale.

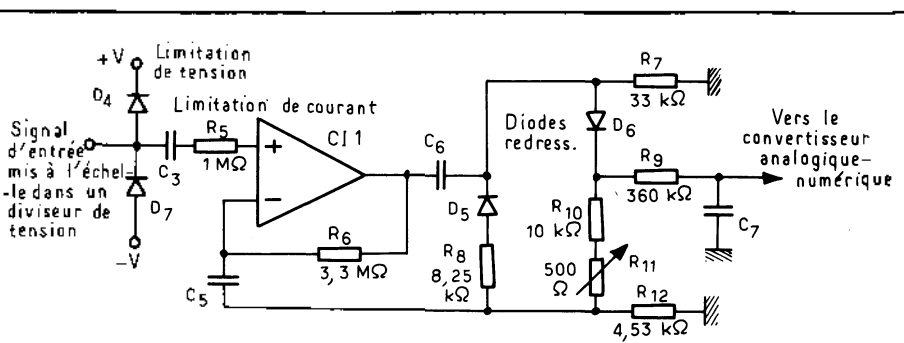


Fig. 13. - Pont redresseur typique employé pour la mesure de tensions alternatives. (source : Dynascan Corp.)

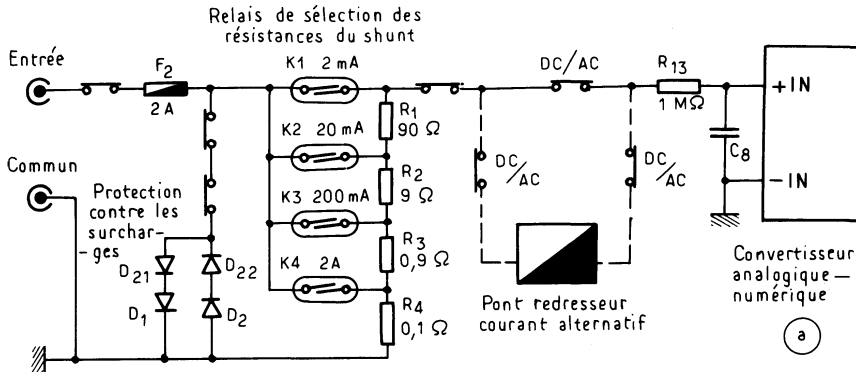


Fig. 14. - Circuit de mesure de courant alternatif ou continu : sa précision dépend de celle des résistances de shunt. On emploie des transformateurs pinces, pour mesurer des intensités alternatives sans avoir à ouvrir le circuit électrique.

ensuite d'appliquer le signal obtenu sur le convertisseur analogique-numérique, via le même pont diviseur de tension qu'en continu. On obtient ainsi la mesure de la valeur efficace de la tension sinusoïdale. Des formules simples permettent d'en déduire l'amplitude crête-crête du signal, ou sa valeur moyenne.

D'autres formules, toutes aussi simples l'une que l'autre, fournissent la correction à apporter à la mesure quand la forme du signal d'entrée n'est plus sinusoïdale, mais reste périodique (cf. tableau II).

La mesure de courant est effectuée au moyen d'un shunt (fig. 14) : on détermine en fait la tension qui se développe à ses bornes lorsque le courant le traverse. Un fusible et des diodes assurent la protection de ce shunt.

La mesure de résistance s'obtient en exploitant la fonction « quotient-mètre » du convertisseur analogique-numérique (fig. 15). Le test de diodes (et des transistors, a fortiori) est basé sur le même principe : on fait passer un courant dans la jonction ; suivant qu'elle se trouve dans le sens passant ou bloqué, la ten-

sion mesurée à ses bornes variera de la valeur de la chute de tension (quelques centaines de millivolts) dans le sens passant à la tension, dans le sens bloqué, équivalente à un circuit ouvert ; cette tension sature le convertisseur : le sens bloqué est donc facilement identifiable.

De même, le test de condensateur est effectuée sur la gamme ohmmètre : il permet, en observant la charge du condensateur, de savoir si celui-ci présente, ou non, un défaut (une fuite anormale par exemple).

Ce sont là les mesures conventionnelles fournies par les multimètres numériques. Il y en a d'autres.

Les possibilités sont en effet étendues grâce à des adaptateurs enfilables qui transforment les multimètres en « multi-multimètres ».

Chez Chauvin-Arnoux, on trouve ainsi divers adaptateurs : l'adaptateur-pince permet d'effectuer des mesures de courants continus par pince jusqu'à 1 000 A, en exploitant l'effet Hall. Avec l'adaptateur luxmètre contenant une cellule au sélénium de grande sensibilité, on peut trouver divers accessoires pour me-

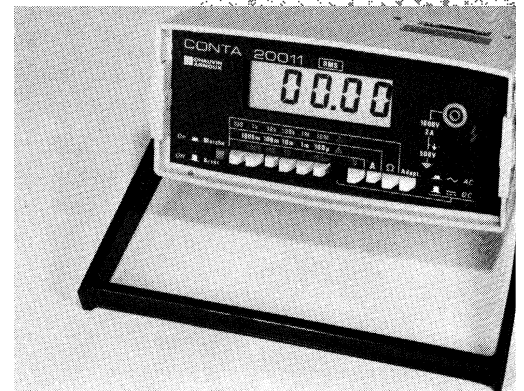
surer des luminances (diaphragmes tubulaire, à fente fine, tronconique) ; l'adaptateur fréquencesmètre sert à la mesure de fréquences industrielles entre 200 Hz et 20 kHz ; l'adaptateur thermomètre permet d'utiliser des capteurs à résistance de platine pour la mesure des températures entre -220 °C et 850 °C. Il y a aussi des adaptateurs pour la mesure des niveaux sonores, pour la génération de courants et tensions continus, etc.

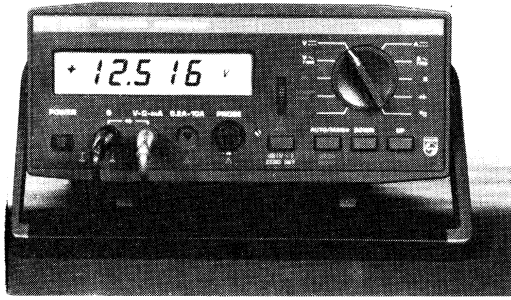
L'intégration d'un microprocesseur dans le multimètre lui ouvre de nouvelles possibilités, telles que le changement de gamme automatique, les mesures relatives (on les compare à une mesure précédente stockée en mémoire), et celles exprimées en décibels, le comptage de fréquences, l'affichage de messages alphanumériques (avertissements et alarmes, assistance à l'emploi de l'appareil), choix du mode d'affichage des nombres (avec ou sans exposant), ce qui est fort pratique pour la mesure des impédances. En somme, l'affichage devient intelligent.

L'appareil, lui-même, acquiert une intelligence : une fonction de test automatique informe l'utilisateur de l'état de fonctionnement de l'appareil ; une vérification très complète des circuits analogiques et numériques, ainsi que de l'affichage, est effectuée. En fin de test, un message apparaît, indiquant le bon état du multimètre, ou le cas échéant, la nature des défauts décelés.

Le microprocesseur confère au multimètre la fonction de calculs. Celle-ci peut servir en pré-traitement, sous la forme d'un filtre numérique

Le multimètre évolutif : il peut recevoir des fonctions supplémentaires par adaptateur embrochable. (Cliché Chauvin-Arnoux.)



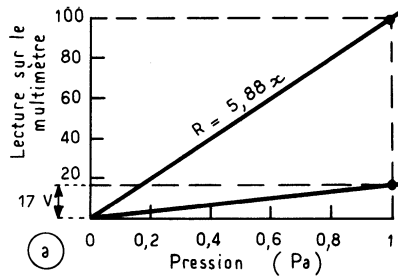


a

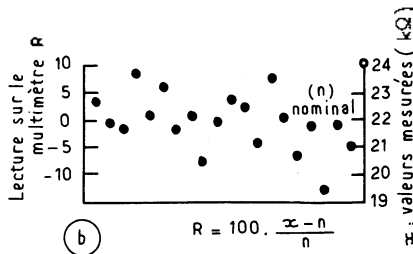


b

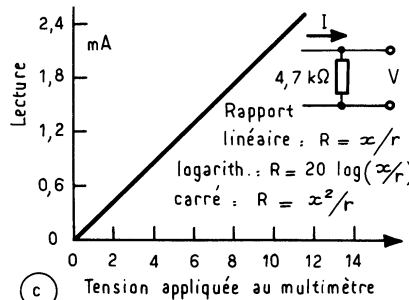
Des appareils à microprocesseur : le PM 2521 de Philips en (a), et le modèle B & K 2845 de Dynascan Corp. en (b).



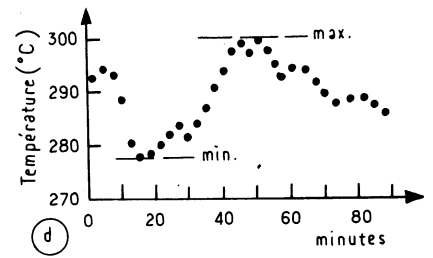
(a)



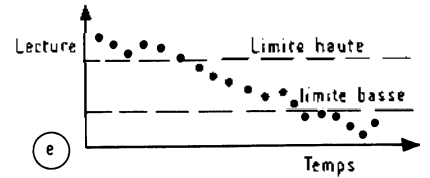
(b)



(c)

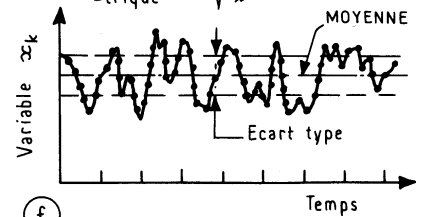


(d)



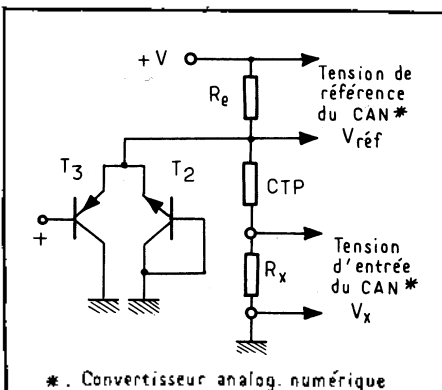
(e)

chaque mesure $R = x_k$
 moyenne arithm. $R = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k x_k = \bar{x}$
 Ecart type $R = \sqrt{\sigma^2} = \sigma$
 Variance $R = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k (x_k - \bar{x})^2 = \sigma^2$
 moyenne géométrique $R = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{k=1}^k x_k^2}$



(f)

Fig. 16. - Les fonctions de calculs des multimètres « intelligents » : la mise à l'échelle en (a) ; pourcentage de déviation en (b) ; rapports en (c), qui peuvent être linéaires (mesure d'un courant traversant une résistance), logarithmiques (gain d'un amplificateur, perte d'insertion d'un filtre, caractéristique d'une ligne de transmission, bruit, etc.), polynomiaux (calcul d'une puissance) ; recherche en (d) des limites maximale et minimale d'un échantillon de valeurs ; indication de dépassement de limite haute ou de limite basse en contrôle qualité, en e) ; calculs statistiques en (f).



*. Convertisseur analog. numérique

Fig. 15. - Mesure de résistance : le convertisseur affiche un nombre de points n égal à $1000 V_x/V_{ref}$, c'est-à-dire $1000 R_x/R_e$. Une résistance à coefficient de température positif assure la protection de l'appareil.

non linéaire qui en exécutant un algorithme sophistiqué sur plusieurs échantillons mesurés, va stabiliser le dernier (ou les deux derniers) digit(s) en présence de bruit : on élimine ainsi une erreur de lecture, et on évite l'emploi de filtres extérieurs.

La fonction de calculs peut être mise à profit dans certains post-traitements de la mesure. Par exemple, pour le changement d'échelle, on applique la simple transformation : $y = ax + b$, où x est le résultat brut de la mesure, y son image obtenue par cette fonction, a et b deux constantes fixées éventuellement par l'utilisateur (fig. 16). La touche « pourcentage de déviation » déclenche le calcul de la différence (exprimée en pour-cent) entre la va-

leur lue, et une constante enregistrée dans un registre de mémoire, telle qu'une valeur moyenne mesurée préalablement sur un autre échantillon de la grandeur étudiée. De multiples calculs statistiques permettent de réaliser un contrôle qualité sur un ensemble de valeurs relevées sur un échantillon de la grandeur physique analysée, d'en déterminer les limites maxi et minimales, d'effectuer des moyennes et des calculs de variance.

Cette fonction de calculs offre encore la possibilité supplémentaire de pouvoir dépouiller directement une mesure (une force électromotrice par exemple), et d'en déduire immédiatement (ou presque : après 100 millisecondes d'attente) la valeur exacte de la grandeur physique

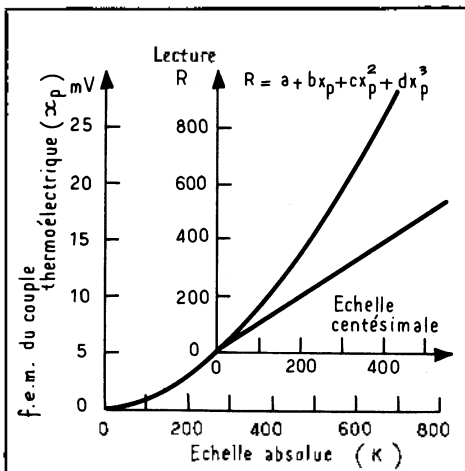


Fig. 17. - Traitement de l'information fournie par un thermocouple : les paramètres a, b, c, d dépendent de la nature de la jonction et sont introduits dans les registres de mémoire du multimètre.

(température, pression) qui s'y rattache. Certains appareils peuvent ainsi traiter l'information fournie par un couple thermo-électrique, (fig. 17) et afficher directement une température en degrés Celsius, Fahrenheit, ou Kelvins ; d'autres multimètres savent convertir directement la résistance de thermistances en température.

Des mémoires sont disponibles pour stocker plus ou moins de lectures (de quelques registres à plusieurs centaines de registres), pour enregistrer un programme de traitement des données, et bien sûr pour archiver le programme interne qui commande la configuration ou le test de l'instrument.

Place aux systèmes de mesure

Avec l'option GPIB, le multimètre s'intègre dans un système de mesure. C'est une interface (« General-Purpose Interface Bus ») normalisée (IEEE-488, IEC-625) qui permet à tous les instruments qui en sont équipés de pouvoir communiquer l'un avec l'autre, quelle que soit leur marque.

Grâce au GPIB (dénommé HP-IB chez Hewlett-Packard), on peut interconnecter des générateurs de signaux, un analyseur de spectres, des filtres, des calibrateurs de tension, courant, résistance, temps, un enregistreur de transitoires, une imprimante et une machine à dessiner, un oscilloscope numérique, et bien sûr un ordinateur. Le tout est que chacun joue sans fausse note, la partition qui lui est dévolue : chaque appareil peut être en effet émetteur d'informations, récepteur, ou contrôleur, mais pas les trois simul-

tanément ; de plus, il ne peut y avoir, à un instant donné, qu'un seul contrôleur actif pour gérer le système de mesures.

De nombreux dispositifs sont à la fois émetteur et récepteur : un multimètre fonctionne en récepteur lorsqu'il reçoit des instructions de programme, et travaille en émetteur lorsqu'il transmet ses mesures vers un autre instrument du système tel qu'une imprimante ou un mini-ordinateur. Plusieurs dispositifs peuvent simultanément fonctionner en récepteur, mais pour éviter toute confusion, un seul émetteur est actif à un instant quelconque.

Les communications entre instruments se font par l'intermédiaire d'un « bus » parallèle à seize lignes actives et huit lignes reliées à la masse ; les lignes actives sont réparties en trois groupes : huit lignes sont réservées au transfert de données, trois autres servent à la synchronisation (elles sont dites « handshakes »), et les cinq dernières sont réservées au contrôle du bus.

Des mémoires tampons sont indispensables pour assurer l'intégrité des informations, en adaptant la vitesse de fonctionnement de chaque instrument à la vitesse de transmission des informations dans le bus (1 Moctet/s).

Les interfaces GP-IB sont aujourd'hui largement utilisées dans les systèmes automatiques de tests.

Une nouvelle interface a fait son apparition l'an passé : HP-IL (Hewlett-Packard Interface Loop) est une interface à deux fils de Hewlett-Packard, destinée aux systèmes portables économiques fonctionnant en particulier sur batteries : calculateurs portables, ordinateurs de table, multimètres numériques, imprimantes graphiques, lecteurs de cassettes, moniteurs vidéo... Trente dispositifs peuvent ainsi se trouver sur la boucle à travers laquelle les informations transitent à la vitesse de 150 octets/s.

Va-t-on un jour standardiser au niveau international cette interface ? L'avenir le dira !

E.C.

Bibliographie

- « Mesures et contrôles industriels », par Marc Ferretti, *EME*, Paris 1977.
- « Multimètres numériques et à aiguilles », par F. Gazay et J. Reymond, *Editions Radio*, 1978.
- « Instruments », par M. Riezenmann, *Electronic Design*, 6 janvier 1983.
- « Instruments », par G.F. Chesnutis, *EDN*, 17 décembre 1982.
- « Intelligent instruments », par G.F. Chesnutis, *EDN*, 3 mars 1982.
- « Hand-held DMM looks like a calculator, works like a system meter », par S. Runyon, *Electronic Design*, 16 août 1978.
- « DMM add functions and features as prices continue to fall », par A. Santoni, *EDN*, 20 novembre 1979.
- « Handheld DMM : good things keep coming in smaller packages », par M. Chester, *Electronic Design*, 25 novembre 1982.
- « Designing a 10 bit, 20 megasample per second a-to-d converter system », par A.S. Muto, B.E. Peetz, R.C. Rehner, *Hewlett-Packard Journal*, novembre 1982.
- « Analog LSI », par F. Goodenough, *Electronic Design*, 6 janvier 1983.
- « The promise of analog microprocessors », par R.H. Cushman, *EDN*, 5 janvier 1980.
- « Des périphériques intelligents pour vos mesures », par Eric Catier, *Electronique et Applications Industrielles*, décembre 1979.
- « Instrumentation intelligente décentralisée : principes et emplois du GPIB », par François Cinare, *Minis et Micros n° 145*, juillet-août 1981.

