

# (XVIII) PRATIQUE DE LA MESURE

# LES COMPTEURS

Ayant longuement discuté de l'utilisation et du fonctionnement de divers compteurs, nous allons envisager, pour conclure, deux fonctions particulières que possèdent parfois ces appareils : à savoir la fonction mesure des re-

tards et la fonction ratiomètre. Ces fonctions n'existent que sur des compteurs évolués. Elles sont donc peu connues des amateurs. Rappelons que le TFX3, décrit dans ces colonnes, en était doté.

## I. Mesure des retards

Rien n'étant instantané, même en électricité, la propagation d'un signal de l'entrée d'un montage vers sa sortie, exige un certain temps ! Dans les systèmes analogiques, cela est souvent sans importance : qui se soucierait du fait que le son issu du haut-parleur de sa chaîne HiFi soit en retard de quelques nano ou microsecondes, par rapport au signal source ! (Encore faut-il tout de même que ce retard soit à peu près

constant dans la gamme des fréquences couvertes, sinon gare à la distorsion de phase !)

Mais ce qui est presque toujours négligeable dans ce cas ne l'est plus du tout dans d'autres et plus particulièrement en logique. Là, il faut que chaque signal soit rigoureusement à sa place. Trop tôt, c'est mauvais, et trop tard ce n'est pas bon ! Il est donc primordial de pouvoir mesurer avec précision les décalages respectifs des signaux créés par rapport à un signal horloge de référence.

Nous avons déjà abordé ce problème lors de l'étude de l'oscilloscope, il y a quelques mois de cela ! Cet appareil, à condition qu'il soit à double trace, permet de visualiser simultanément deux signaux donnés, la synchronisation se faisant sur l'un des deux. Ceci permet de situer un signal par rapport à l'autre et donc, si l'oscilloscope est correctement étalonné de déterminer le décalage des fronts. Voir figure 1.

L'oscilloscope ne peut guère donner une précision supérieure à 3 %, ce qui est d'ailleurs souvent suffisant. Par

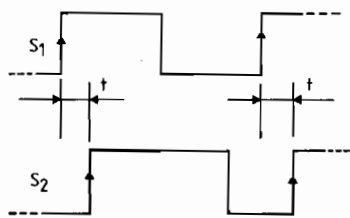


FIGURE 1  
Décalage des deux signaux.

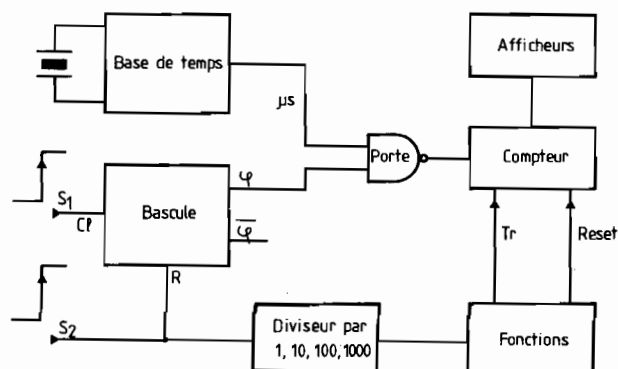


FIGURE 2. - Mesure des retards.

contre, quand le décalage à mesurer est faible à côté de la durée de la période, l'observation n'est pas aisée. Par ailleurs, il est parfois nécessaire d'avoir une précision supérieure. Dans ce cas on pense de suite à la mesure numérique, et c'est justement le principe de cette mesure que nous allons étudier ci-dessous. Voir figure 2.

On reconnaît bien sûr les constituants habituels du compteur classique : le compteur lui-même, ses circuits de fonctions, la section affichage et la porte. La base de temps délivre ici des impulsions de référence de  $1 \mu\text{s}$ , par exemple. On remarque par contre l'existence inhabituelle d'une bascule. Celle-ci est attaquée sur son entrée horloge par le signal  $S_1$  et sur l'entrée Reset par le signal  $S_2$ . En supposant les transitions montantes actives dans les deux cas,  $S_1$  fait passer la bascule au travail, ce qui porte  $Q$  à 1 et ouvre la porte : le compteur compte les microsecondes. Mais le front montant de  $S_2$  remet la bascule au repos et le comptage s'arrête. Les registres du compteur contiennent alors la valeur en microsecondes du décalage des fronts montants des signaux  $S_1$  et  $S_2$ .

Le signal  $S_2$  est aussi envoyé vers les circuits de fonctions qu'il déclenche. Ceux-ci délivrent donc un top de transfert suivi d'un top de remise à 0 du compteur. Le premier fait passer le résultat à l'affichage. Le second réinitialise le compteur pour une mesure ultérieure.

Dans les conditions de la figure 2, seuls sont actifs les fronts montants. Si l'on voulait mesurer le décalage des fronts descendants, il suffirait d'intercaler deux inverseurs, un par entrée  $C_1$  et  $R$  de la bascule. Pour mesurer le décalage entre un front montant et un front descendant, ou l'inverse, il suffirait d'un seul inverseur placé dans la ligne « front descendant » ! Le système est donc très souple et se prête à toutes les combinaisons.

Dans les considérations précédentes, nous n'avons pas évoqué l'existence du diviseur commutable situé dans l'entrée du circuit de fonctions, supposant que ce diviseur divise « par 1 » ce qui le rend « transparent ». Dans ce cas, comme dit ci-dessus, l'affichage est activé à chaque mesure d'un décalage. Par contre, si nous commutons le diviseur sur « 100 » par exemple, le circuit de fonctions ne sera activé que toutes

les 100 mesures simples, ce qui signifie que le compteur va contenir la somme des 100 mesures et que l'affichage va marquer cette valeur. Pour retrouver la mesure exacte, il suffit de décaler le point décimal de deux rangs, par une simple commutation liée à celle du diviseur. Le résultat correspond à la valeur moyenne du décalage, moyenne de 100 « échantillons » comme le disent nos chers instituts de sondage, sans lesquels nous ne saurions même plus ce que nous pensons vraiment.

De manière générale, si le signal  $S_2$  est transmis aux circuits de fonctions à travers un diviseur par  $10^n$  (1, 10, 100 ou 1000), l'affichage ne se fera que pour  $10^n$  mesures élémentaires et donc indiquera  $10^n$  fois la valeur vraie.

Bien entendu, la valeur moyenne est toujours plus proche de la réalité que ne l'est le résultat d'un prélèvement ponctuel. En revanche, le procédé n'augmente pas la précision puisque l'erreur technologique de  $\pm 1$  digit se produit à chaque mesure simple (ouverture et fermeture de la porte) et se trouve ainsi multipliée par le facteur de division choisi. Nous avons rencontré ce même problème dans le cas de la mesure de durée des impulsions.

Si la mesure des décalages est importante en logique, nous l'avons dit, elle peut être importante aussi dans des cas très particuliers. Ainsi, pour la réception d'une certaine chaîne de télévision, il est question de retards de 902 et de 1 804 ns ! Les amateurs ayant essayé de réaliser ces retards avec des circuits intégrés se sont sans doute heurtés à la dérive thermique de ces circuits. Une solution passive est donc meilleure et beaucoup plus économique. Encore faut-il, lors de la mise au point, pouvoir mesurer les retards en cause, ce qui est assez facile si vous disposez d'un compteur possédant la fonction que nous venons d'évoquer !

## II. Ratiomètre

« Ratio » signifie « rapport ». (Cette racine se retrouve dans les mots *ration* – partie d'un tout affecté à un individu – dans *rationnel* au sens algébrique du mot – un nombre rationnel est le quotient de deux entiers relatifs.)

Ici, le ratiomètre est une variante de compteur permettant de mesurer le rapport de deux fréquences, sans me-

surer ces fréquences elles-mêmes. On peut se demander quelle est l'utilité d'une telle fonction, rarement disponible sur les compteurs classiques (pour amateurs, du moins !). Nous allons envisager quelques cas précis pour en montrer l'intérêt.

a) Imaginons simplement un circuit comprenant un oscillateur à 5 MHz et une cascade de diviseurs par 10 permettant l'obtention d'une fréquence finale de 50 Hz. La mesure de la fréquence initiale est possible dans de très bonnes conditions. En effet, si nous laissons de côté l'erreur de calage de la base de temps du fréquencemètre, agissant relativement de même pour toutes les fréquences mesurées, il reste l'erreur technologique de  $\pm 1$  digit peu importante à côté des 5 000 000 de points mesurés.

Par contre, la fréquence finale se mesure dans de mauvaises conditions, le résultat de la mesure étant de  $50 \pm 1$  Hz, ce qui est beaucoup moins bon !

Il est donc très difficile d'affirmer que la chaîne des diviseurs est irréprochable. La rapport théorique est de  $5\,000\,000 : 50 = 100\,000$ . Le résultat mesuré oscillant entre 49 et 51 Hz pourrait tout aussi bien être obtenu de rapports allant de 102 040 à 98 040. Ceci laisse donc une belle incertitude !

Procédons donc différemment, en mesurant, non plus les fréquences initiale et finale, mais directement le rapport de division. Pour cela faisons appel au circuit de la figure 3.

Dans l'exemple ci-dessus, le 50 Hz serait  $F_1$ , n serait égal à 1. La fréquence  $F_2$  serait le 5 MHz. Le diviseur par 2 de la voie  $F_1$  permet d'ouvrir la porte pendant une période de  $F_1$  et non pendant une seule alternance (voir article précédent). La fréquence  $F_2$  est donc comptée pendant une période de  $F_1$ , soit pendant un temps  $1/F_1$  s. Sachant que la fréquence  $F_2$  correspond à  $F_2$  périodes par secondes, il s'en comptera  $F_2 \times 1/F_1$  pendant l'ouverture de porte, soit  $F_2/F_1$ .

Résultat pratique : dans le compteur nous allons trouver un nombre égal au rapport des deux fréquences injectées. C'est ce nombre qui va être affiché. Ainsi, dans l'exemple ci-dessus, on a :

$$F_1 = 50 \text{ Hz}$$

$$F_2 = 5\,000\,000 \text{ Hz}$$

Une période de  $F_1$  vaut  $1/50$  s.

Pendant une ouverture de porte il passe  $5\,000\,000 \times 1/50 = 100\,000$  périodes.

Affichage de 100 000. C'est bien le rapport des deux fréquences !

Mais rappelons que les erreurs de mesure d'un fréquencemètre sont causées par :

- La base de temps. Ici elle est éliminée.
- L'erreur technologique, elle-même due à ce que les signaux de base de temps et de fréquence inconnue ne sont pas synchrones. Or justement ici,

tales de  $\pm 1 \pm 5$  Hz, soit  $\pm 6$  Hz ! La fréquence d'entrée est donc comprise entre 4 999 994 Hz et 5 000 006 Hz. Sachant maintenant que le rapport de division est exactement égal à 100 000, nous pouvons conclure à une fréquence de sortie de 49,999 94 Hz à 50,000 06 Hz ! Résultat impossible à obtenir par mesure directe de cette fréquence.

Le signal d'ouverture de porte était égal à  $F_1$ , le diviseur étant sur « 1 ». Dans ce cas, la mesure ne peut se faire que si  $F_2 > F_1$ . Dans le cas limite avec

Nous pouvons maintenant cerner les limites de fonctionnement du ratiomètre ainsi défini :

- au pire, il est possible d'avoir  $F_1 = 1000 F_2$ , soit  $F_2 = F_1 / 1000$ . L'affichage est de 1, mais un décalage du point décimal de trois rangs permet de lire « 0.001 », ce qui est la bonne valeur du rapport des fréquences ;

- à l'autre limite des possibilités, nous ne sommes arrêté que par le nombre des digits du compteurs. Ainsi avec 8 chiffres disponibles (cas du TFX3) on peut aller jusqu'à 99 999 999, soit quasiment 100 millions. Les rapports mesurables sont finalement compris entre 0,001 et 100 millions !

b) Voyons un autre exemple :

Les synthétiseurs de fréquences sont à la mode. Ils permettent de générer de très nombreuses fréquences, à partir d'un unique quartz de référence. Les fréquences obtenues passent de l'une à l'autre consécutive par un incrément égal à une constante appelée pas. Par exemple, on peut ainsi fabriquer toutes les fréquences des canaux CiBi, au pas de 5 kHz, ou bien tous les canaux de la bande 72 MHz de radiocommande !

Le principe est rapidement rappelé ci-dessous :

Le quartz de référence sert à obtenir le pas. Voir figure 4.

Un oscillateur LC fournit la porteuse utile. Celle-ci est aussi envoyée dans un diviseur programmable qui la ramène à la valeur du pas. Ce pas est comparé au pas de référence. Toute erreur donne un signal de sens convenable, lequel, dûment filtré, corrige la valeur de la fréquence de l'oscillateur VCO.

La mise au point ou le dépannage d'un système de ce genre est difficile car toute anomalie, à un endroit quelconque de la « boucle », paralyse complètement le fonctionnement global ! Pour obtenir un accrochage correct, il est essentiel de tester méthodiquement chaque partie concernée :

- vérifier que l'oscillateur travaille bien dans la gamme prévue, pour les valeurs normales de la tension de correction ;
- vérifier que le diviseur programmable donne bien le rapport de division programmé ;
- vérifier comparateur et filtre.

Nous allons ici nous intéresser au second cas.

N'oublions pas que, en dehors de l'accrochage de boucle, le VCO est

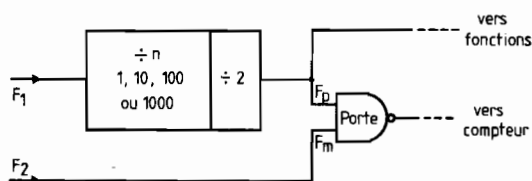


FIGURE 3. - Principe du ratiomètre.

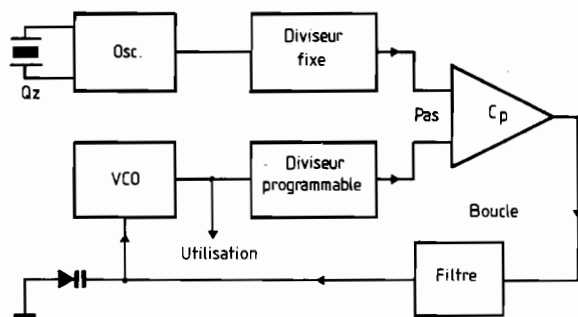


FIGURE 4  
Principe du synthétiseur de fréquence.

ils le sont, puisque le signal de sortie est le signal d'entrée divisé. Il n'y a donc plus d'erreur de ce type.

Et c'est bien ce qui fait l'énorme avantage du ratiomètre, dans ce cas. Le résultat de la mesure est mathématiquement bon.

Dans notre exemple, si nous mesurons les 5 MHz à  $\pm 1$  Hz près, avec une erreur de calage de l'ordre de  $\pm 1.10^{-6}$ , cela nous donne une erreur to-

égalité des deux fréquences, l'affichage sera de 1. Il est évident que le compteur ne peut compter des fractions de périodes !

En revanche, l'introduction de diviseurs 10, 100 ou 1 000 dans la voie  $F_1$  va permettre de reculer cette limite de fonctionnement. Ainsi, en choisissant le diviseur par 1000, la relation  $F_0 = F_2$  caractérisant la limite précédente devient  $F_1 / 1000 = F_2$  ou  $F_1 = 1000 F_2$ .

libre et qu'il n'oscille pas sur une fréquence fixe, soumis qu'il est de plus à des tensions de corrections anarchiques. Il en est évidemment de même de la tension de sortie que nous ne pourrions d'ailleurs jamais mesurer avec la précision nécessaire, l'exemple précédent nous l'a montré. Impossible donc de savoir si le diviseur programmable est hors de cause ! Le simple temps pour passer de la mesure à l'entrée à la mesure en sortie a provoqué un glissement de fréquence enlevant toute valeur à la mesure. Sans parler du glissement provoqué par la mesure sur le VCO lui-même... La quadrature du cercle ? Eh bien, pas du tout, il suffit de disposer d'un ratiomètre !

La fréquence basse de sortie est envoyée en  $F_1$  de la figure 3. La fréquence du VCO est envoyée en  $F_2$ . Le ratiomètre affiche alors l'exact rapport des deux fréquences, même s'il y a glisse-

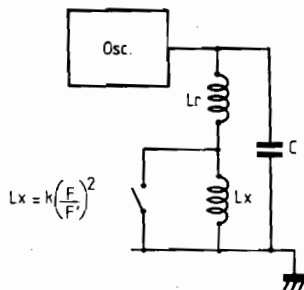


FIGURE 5  
Principe d'un inductancemètre.

ment permanent. Le doute peut ainsi être complètement levé (ou non), sur cette partie essentielle du synthétiseur.

c) Rappelons aux réalisateurs du TFX3 et de ses adaptateurs, l'utilisation

de la fonction A/B (ou ratiomètre) pour la mesure des inductances !

Voir figure 5. Le principe de cette mesure consistant à mettre l'inductance inconnue avec une inductance de référence déterminant la fréquence d'un oscillateur. L'introduction de cette inductance modifie la fréquence. La valeur inconnue est calculée à partir du rapport des deux fréquences, avant et pendant la mise en série de l'inductance à mesurer.

Ces considérations terminent nos articles sur les compteurs et les fréquences. Du même coup elles concluent cette série sur la mesure.

Nous espérons que les lecteurs auront trouvé dans cette série des indications utiles et ainsi que ce travail n'aura pas été vain !

F. THOBOIS

## BLAUPUNKT : des téléviseurs prêts pour la R.D.S. *Suite de la page 99*

que ST concerne les tubes à coins carrés mais dont le rayon de courbure de l'écran est celui des tubes de la précédente génération.

S'agissant de la RDS, Blaupunkt a d'ores et déjà commencé une campagne d'informations techniques auprès de son réseau de revendeurs afin de le préparer à la mutation qui s'opérera à partir de 1987 avec l'apparition des premiers satellites de radiodiffusion.

Quant au marché français des TVC, il croît lentement, comme le montrent les chiffres donnés par M. Bezert :

1984 : 2,15 millions ; 1985 : 2,225 M ; 1986 : 2,3 M ; 1987 : 2,4 M.

En ce qui concerne 1986 et 1987, il s'agit, on l'aura compris, de prévisions, avec toutes les incertitudes que ces vues sur l'avenir peuvent impliquer. Toutefois, il apparaît que la tendance s'oriente vers un plus fort pourcentage de TVC à grand écran (tableau I). Le chiffre d'évolution des ventes motivées par l'apparition des nouvelles chaînes

DIAGONALE DE L'ECRAN (cm)	POURCENTAGE DES VENTES			
	1984	1985	1986*	1987*
36	13	15,2	13,5	8
38			3	7
42	9	9,5	7	3
44			4	9
47		3,1	2	
51	21	18,5	9	
55			10	19
56	23,5	23,7	10	
63			16	28
67	33,5	30	11	
70			15	26

TV et les grandes retransmissions TV du premier semestre 1986 – en particulier celles de la Coupe du Monde de football en juin – devraient rapidement permettre de confirmer, ou d'infirmier, ces vues.

C. PANNEL

\* Prévisions. En 1987, 54 % des récepteurs seraient à grand écran : 63 et 70 cm de diagonale. Si l'on ajoute à ces derniers les 55 cm, on voit que près des 3/4 du marché seraient pris par les plus grandes dimensions.