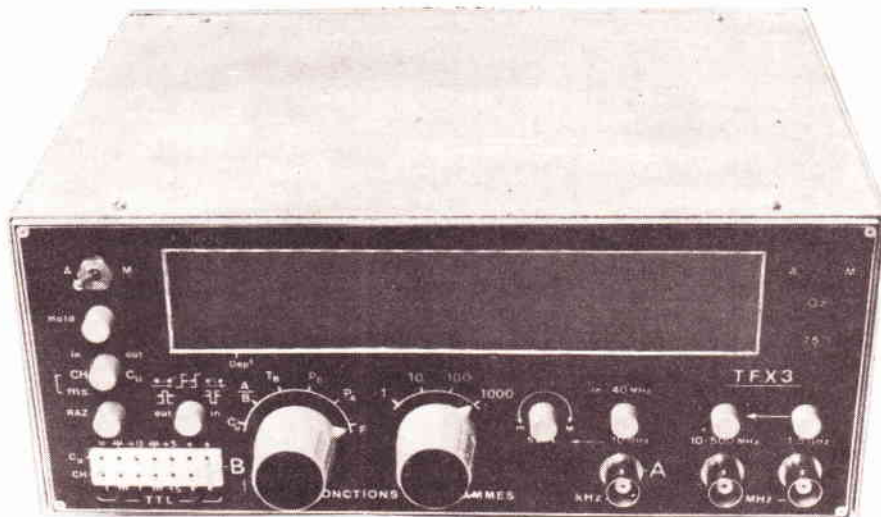


RÉALISEZ UN FREQUENCOMETRE COMPTEUR UNIVERSEL



LE TFX 3

Il y a quelques années, nous avons eu l'occasion de proposer dans les colonnes de cette revue deux fréquencesmètres numériques : le TFX 1 et le TFX 2.

Toute modestie, mise à part, nous devons dire que ces appareils eurent et même ont encore un grand succès. A tel point qu'il y a peu de temps, nous eûmes la grande surprise de constater qu'une certaine maison de Malakoff, fort connue, vendait « son » fréquencesmètre, lequel n'était en fait qu'un TFX 1 à peine revu et corrigé ! Prenons cela pour un compliment sur la qualité de cet appareil et n'insistons pas !

TFX 1 et TFX 2 utilisaient des afficheurs de leur époque : des Nixies, des circuits intégrés de ce moment : des TTL, aussi finalement sont-ils un peu démodés. Nous nous sommes donc remis au travail en essayant de faire mieux et nous croyons y être parvenu, puisque nous avons le plaisir de vous proposer aujourd'hui un appareil d'un niveau technique élevé, n'ayant pas d'équivalent dans le matériel « grand public », accessible aux amateurs et que l'on doit chercher, à des prix astronomiques, dans la classe hautement professionnelle.

Voici donc... le TFX 3 !

Reconnaissons que la conception d'un fréquencesmètre est bien plus facile en 1980 qu'il y a presque 10 ans ! Nous avons maintenant un vaste choix de circuits à haute intégration, spécialisés dans ce genre d'application.

Parmi les différents promoteurs de circuits LSI, de ce type, la firme Intersil nous propose réellement de merveilleuses petites « bêtes » et c'est avec un circuit de cette marque que notre appareil a vu le jour.

Intersil a d'abord proposé le ICM 7208, permettant la réalisation d'un compteur à 7 digits. Un fréquencesmètre est possible en associant le ICM 7208 avec le ICM 7207,

constituant l'oscillateur horloge à quartz. Les diverses fonctions : fréquence, période... sont possibles avec des commutations et des circuits extérieurs. La vitesse maximum de comptage est de 5 MHz.

Mais ce circuit devait être un galop d'essai, car très vite Intersil proposa la série des ICM 7216 / 7226, bien plus intéressants, montant à plus de 10 MHz, affichant sur 8 digits et intégrant toutes les fonctions dans un seul chip.

Les circuits de cette belle famille existent en six variantes que nous allons passer en revue, pour mieux expliquer les raisons de notre choix final.

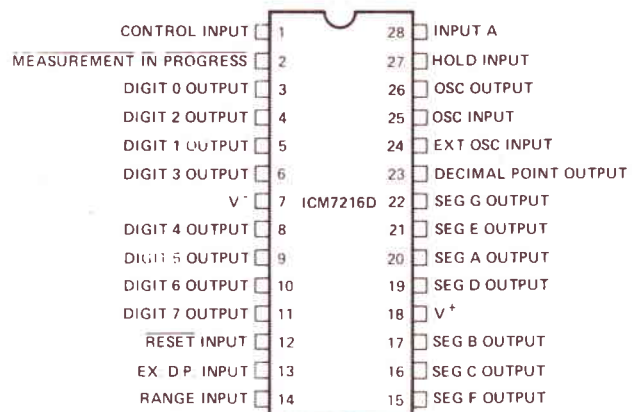
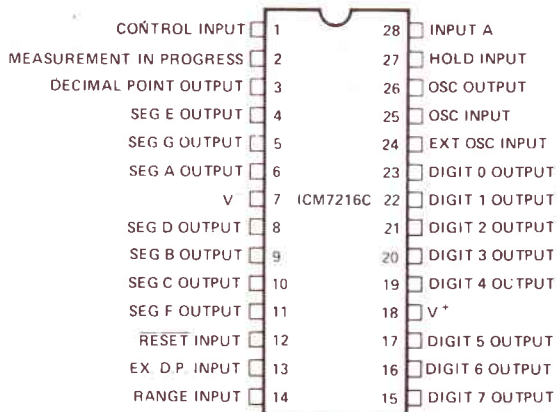
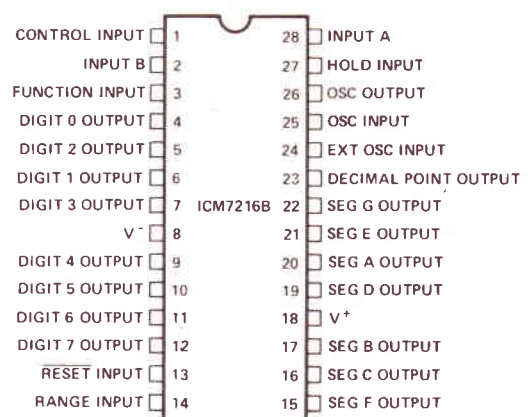
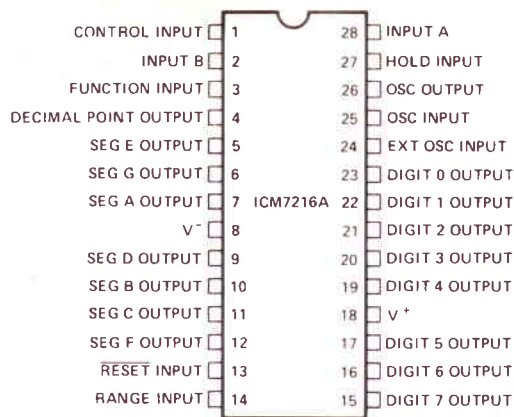


Fig. 1. - La série des 7216. (Document Intersil).

Nous trouvons d'abord quatre 7216 différents :

- le **ICM 7216 C** : 10 MHz, 8 digits, encapsulé dans un boîtier DIL à 28 pattes. Il possède uniquement la fonction fréquencesmètre et de ce fait se trouve éliminé d'office, puisque nous désirions toutes les fonctions. Il nous semble en effet stupide d'investir une somme d'argent relativement importante dans un appareil qui ne rendrait qu'un seul service, alors que pour un complément assez dérisoire, il est possible d'avoir beaucoup plus. C'est pourtant ce que font la plupart des promoteurs de fréquencesmètres, il suffit pour s'en convaincre de consulter la publicité, semblant croire ainsi que les mesures de périodes, de durées d'impulsions, d'intervalles de temps n'existent pas ou sont inutiles.

Le ICM 7216 C est prévu pour attaquer directement, sans aucune résistance, des afficheurs du type anode commune.

- Le **ICM 7216 D** est le frère du précédent. Il possède exactement les mêmes possibilités, mais est prévu pour attaquer des afficheurs à cathode commune.

- Le **ICM 7216 A** commence à nous intéresser, car cette fois, il intègre toutes les fonctions souhaitables et même... un peu plus :

- Mesure de la fréquence.
- Mesure de la période.
- Compteur d'unités.
- Impulsiomètre.
- Rapport de deux fréquences (ratiomètre).

Par ailleurs il a les mêmes possibilités que les deux précédents : 10 MHz, 8 digits et attaque directe d'afficheurs à anode commune.

- Le **ICM 7216 B** est identique au « A » mais attaque des afficheurs à cathode commune.

La figure 1 donne le brochage des quatre circuits de la famille « 7216 » parmi laquelle vous vous attendez sans doute

nous voir retenir l'un des deux derniers ! Eh bien... pas du tout ! Comme vous le constatez dans la figure 1, les 28 pattes de chacun des circuits sont utilisées à plein et les fins observateurs s'apercevront que les modèles C et D possèdent des entrées ou sorties que les A et B n'ont pas et... inversement. Et c'est pourquoi notre choix s'est finalement porté vers les « seigneurs » de la gamme : les **ICM 7226 A/B**.

Ces deux circuits présentent les mêmes performances générales que les précédents mais ils sont encapsulés dans des boîtiers DIL à 40 pattes. Petit détail qui fait la différence car le fabricant a pu sortir 12 liaisons supplémentaires et ainsi donner à son circuit tous les avantages cumulés des variantes précédentes. Le prix est à peine plus élevé mais toutes les astuces de fonctionnement deviennent possibles. Le ICM 7226 A est prévu pour afficheurs à anode commune.

Le ICM 7226 B est prévu pour afficheurs à cathode commune.

Notre choix final est le **ICM 7226 A/ILD**. C'est donc autour de ce circuit que s'est élaboré le TFX 3 ! Voir le brochage en figure 2.

Nous allons évidemment revenir en détail sur le fonctionnement du 7226, mais avant de passer à cette étude, nous vous proposons le résumé des caractéristiques générales de notre dernier-né !

- I -

Caractéristiques du TFX 3

- 1° Compteur universel à 8 digits, possédant 7 fonctions :
- Fréquencesmètre, entrée A.
 - Périodémètre, entrée A.
 - Périodémètre, entrée B.
 - Mesure des intervalles de temps (impulsions et décalages).

- Ratiomètre A/B.
- Compteur d'unités.
- Chronomètre au 1/1000 s.

2° Afficheurs à anode commune de 20 mm. Type LED. Haute luminosité et absence de coupure entre segments.

3° Fréquence-mètre

16 combinaisons de mesure pour des fréquences allant de 0,1 hertz à 1,5 GHz. 3 entrées différentes sur BNC :

- **Entrée 10 MHz, dite A :** sensibilité de 5 mVeff. à 1 kHz. Haute impédance de 1 MΩ, 30 pF. Adaptation parfaite des sondes atténuatrices d'oscilloscopes donnant 10 MΩ, 3 pF. Le couplage est capacitif. Protection par diodes. Sensibilité réglable par bouton extérieur. Même entrée, avec prédiviseur par 10 intercalé, permettant d'atteindre la limite en fréquence des éléments à haute impédance : soit 40 MHz. Les lectures sont en kHz dans les deux cas.

- **Entrée 10 à 500 MHz :** impédance normalisée de 50 Ω. Très bonne sensibilité : - 30 dBm à 100 MHz (soit 7 mVeff.).

- 12 dBm à 500 MHz (soit 50 mVeff.). Limite de fréquence de l'ordre de 600 MHz (-5 dBm). Lecture en MHz. Entrée protégée par diodes.

- **Entrée 1,5 GHz :** impédance de 50 Ω. Sensibilité de l'ordre de +3 dBm à 1,25 GHz. Préamplificateur extérieur prévu. Lecture en MHz. Pour toutes ces entrées, quatre gammes sont possibles avec mesures en 1/100, 1/10, 1 seconde ou 10 secondes (à multiplier par 4, pour la gamme 1,5 GHz).

4° Périodémètre

La liaison est capacitive en entrée A, mais est directe en entrée B (niveau TTL). Il est possible d'atteindre la capacité totale du compteur, soit 10 s. Résolution de 0,1 μs en gamme 1. Mesures de « période moyenne » dans les trois autres gammes, donnant des résolutions de 10 μs en gamme 10, 1 μs en gamme 100 et 0,1 μs, en gamme 1000. Fréquence limite : 2,5 MHz.

5° **Impulsiomètre :** entrée B. Entrée à niveau TTL et liaison directe. Sonde haute impédance adaptable. Résolution de 0,1 μs, quelle que soit la gamme. Maximum mesurable : 10 s. Mesure des impulsions positives et négatives. Mesure du délai séparant deux fronts montants d'impulsions différentes mais synchrones.

6° **Ratiomètre :** A/B. Mesure du rapport des fréquences appliquées d'une part à l'entrée A, d'autre part à l'entrée B. 4 gammes possibles donnant des rapports de 1/1000 à 10 000 000.

7° Compteur d'unités

Capacité : 10 000 000 unités. Vitesse maximum : 10 MHz. Commande externe par contact anti-rebond. Mesure du rebond des interrupteurs et commutateurs. Remise à 0.

8° Chronomètre

Résolution unique : 1/1000 s (ms). Maximum : 10 000 s. Commande externe, à distance, du départ et de l'arrêt. Remise à 0.

Particularités du TFX 3

1° **Fonction « HOLD »** ou de maintien. Permet de fixer à volonté le résultat d'une mesure et de le garder aussi longtemps qu'il est nécessaire.

2° Visualisation par LED des entrées actives

Dans une fonction et une gamme données, l'entrée où le

signal doit être appliqué est indiquée par une LED rouge illuminée. Blocage des entrées non concernées. Ce système peu courant élimine les possibilités d'erreurs de manipulation.

3° Base de temps à 3 options

Le réalisateur choisira le type de base de temps, selon ses possibilités financières et ses impératifs de mesure :

1) **Quartz simple :** précision obtenue de l'ordre de $5 \cdot 10^{-6}$ (erreur allant jusque 5 points pour une mesure de 1 000 000). Ceci étant donné pour une utilisation en local maintenu à une température relativement stable de 20 °C. Solution économique ne permettant pas cependant d'exploiter la capacité du compteur à 8 digits.

b) **Quartz en enceinte thermostatée :** température interne de 75 °C. Précision envisageable de 10^{-7} . Temps de mise en température : 10 à 20 mn. Précision indépendante de l'ambiance. Position d'attente dite « stand-by ».

c) **Oscillateur TCKO :** (Temperature Controlled Quartz Oscillator). Un tel oscillateur permet d'obtenir une précision de $1 \cdot 10^{-6}$ sur toute la gamme de température pour laquelle il a été prévu. Le modèle choisi pour le TFX 3 est un G 31, fabriqué par KVG et qui tient cette précision de 0 °C à 50 °C (1 ppm). Bien entendu, en local, les variations de température étant bien moindres, la précision sera meilleure. Elle atteint

10^{-7} , sans difficulté. Pas d'attente nécessaire pour avoir la précision, lors de la mise sous tension.

4° Standard de fréquences

Sortie sur le panneau arrière des fréquences : 10 MHz, 2 MHz, 1 MHz ; 200 kHz, 100 kHz, 20 kHz, 10 kHz, 2 kHz et 1 kHz. Niveau TTL. Ces fréquences sont pilotées par la base de temps interne.

5° **Sortie en code BCD** des informations d'affichage, pour exploitation externe, par exemple, par ordinateur.

6° **Blanking automatique** des « 0 » inutiles, avec contrôle par les commandes de gammes et de fonctions, en association avec la précision du point décimal.

7° Logique utilisée

Circuit principal ICM 7226 en logique CMOS. Circuits périphériques en logique LS TTL. Circuits haute vitesse en logique ECL.

8° **Construction modulaire** rendant la réalisation simple et toute modification future facile. Etude poussée des dispositions et du câblage. Mise au point à peu près nulle. (Une seule résistance ajustable). KIT de pièces soigneusement préparé et disponible immédiatement. (La maison Selectronic de Lille assure la distribution de ce kit).

Nous pensons que l'énoncé... résumé des possibilités du TFX 3 doit vous convaincre qu'un tel appareil n'existe pas à un prix abordable dans le marché de la mesure ! Par contre, en le montant vous-même, vous allez l'acquérir au prix d'un quelconque fréquence-mètre de bas de gamme.

Ajoutons que nous prévoyons :

- Un adaptateur capacimètre numérique de résolution 1 pF.
- Un adaptateur inductance-mètre de résolution « 20 nH ».
- Un adaptateur multimètre numérique. Le tout donnant au TFX 3 une structure de « mesureur universel »... et si après cela, vous n'êtes pas

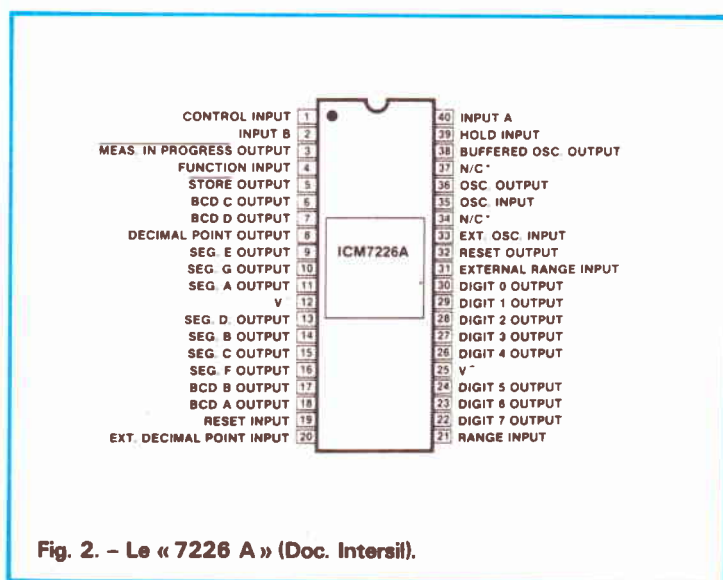


Fig. 2. - Le « 7226 A » (Doc. Intersil).

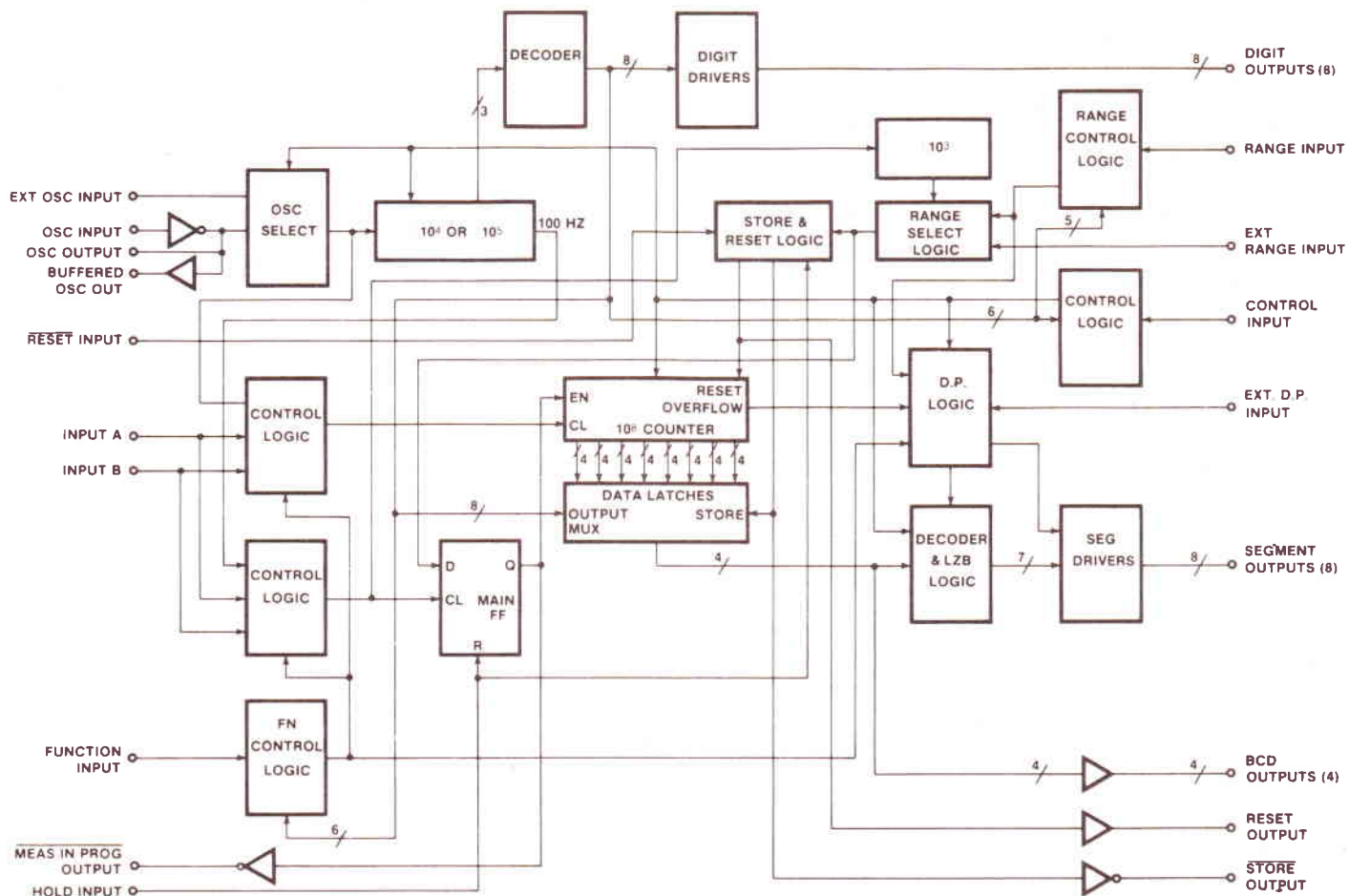


Fig. 3. - Structure interne simplifiée du 7226 A. (Doc. Intersil).

encore décidé, alors nous préférons... « manger notre fer à souder » ! (... à défaut de manger notre chapeau !).

- II -

Etude détaillée du ICM7226A

1° Le ICM7226A est un circuit LSI de technologie C.MOS, en boîtier DIL céramique à 40 pattes. La tension d'alimentation est de 5 V. La consommation typique du circuit seul est de 2 mA !! En fréquence-mètre, ratiomètre et compteur d'unités, l'entrée A du circuit compte jusque 10 MHz minimum (14 MHz typique). En périodemètre et impulsimètre, elle compte jusque 2,5 MHz. L'entrée B compte jusque 2,5 MHz. L'affichage est bien évidemment multiplexé. Les sorties de

digits du 7226A donnent jusque 200 mA et les sorties segments jusque 35 mA. La fréquence de multiplexage est de 500 Hz si le quartz est de 10 MHz.

La figure 2 donne le brochage du 7226 A. La figure 3 nous donne la structure interne

simplifiée ! Cette figure beaucoup trop simpliste pour analyser le fonctionnement précis a cependant le mérite de nous faire imaginer la complexité réelle. Nous y avons ajouté la figure 4, montrant le « chip » dont les dimensions réelles sont d'environ 4 x 4 mm.

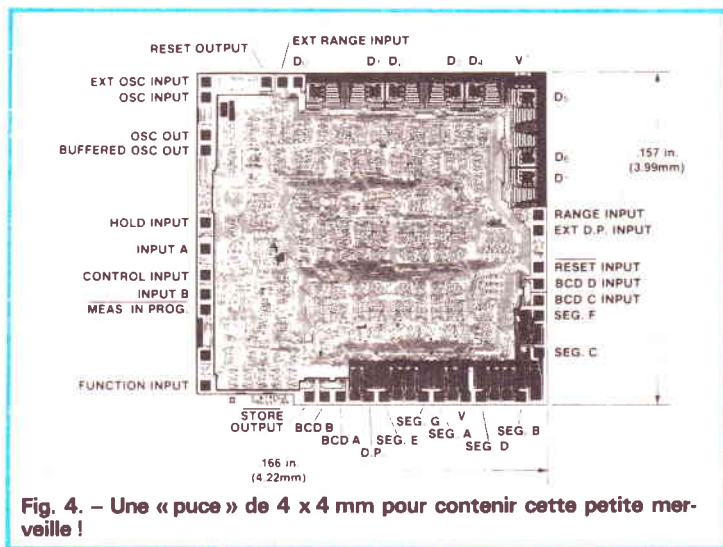


Fig. 4. - Une « puce » de 4 x 4 mm pour contenir cette petite merveille !

La figure 5 propose le schéma d'utilisation « TEST » permettant de suivre les explications suivantes.

2° Les entrées A et B (picots 40 et 2)

Le signal à mesurer doit être appliqué à l'entrée A en fonctions fréquence-mètre, périodemètre, compteur d'unités, ratiomètre et impulsimètre. L'entrée B est utilisée pour les mesures de rapport de fréquences et d'impulsions. Les deux entrées sont digitales, avec un point de basculement typique de +2,0 V si V⁺ = 5 V. Pour les meilleures performances, l'amplitude crête à crête du signal doit faire au moins 50 % de la tension d'alimentation et être centrée sur le seuil de basculement. Quand ces entrées sont commandées par des sorties TTL, il est souhaitable d'utiliser des résistances de « tirage » reliées à V⁺. Le compteur est sensible aux

fronts descendants sur les entrées de mesure. Les amplitudes ne doivent jamais excéder l'alimentation de plus de 0,3 V, faute de quoi le circuit est détérioré.

3° Les entrées de fonctionnement

Les entrées de Gammes (Range) de Contrôle, de Fonctions et de Point décimal externe sont multiplexées pour donner un maximum de possibilités avec un minimum de pattes sur le circuit (c'est finalement ce nombre de pattes qui est la seule limitation de l'intégration des circuits !) Ce mode de fonctionnement est obtenu, en connectant la sortie « digits » convenable à l'entrée concernée. Pour éviter des anomalies causées par le « bruit » de fonctionnement du circuit, un filtre sommaire doit être disposé sur ces entrées.

La table suivante donne les connexions à assurer selon le résultat à obtenir :

Entrées	Fonction	Digit
Entrée de fonction (4)	Fréquencemètre Périodemètre Ratiomètre Impulsiomètre Compteur d'unités Fréquence interne	D ₀ D ₇ D ₁ D ₄ D ₃ D ₂
Entrée de gammes (21)	0,01 s/1 cycle 0,1 s/10 cycles 1 s/100 cycles 10 s/1 000 cycles	D ₀ D ₁ D ₂ D ₃
Entrée de gamme ext.	active	D ₄
Entrée de contrôle (1)	Extinction affichage Test affichage Quartz 1 MHz Oscillateur ext. Activation Pt déc. ext. Test	D ₃ /Hold D ₇ D ₁ D ₀ D ₂ D ₄
Entrée de Pt déc. ext. (20)	Le point décimal se place sur le digit relié à cette entrée	

Notons que cette dernière entrée, permettant le positionnement externe du point décimal n'existe pas sur les 7216A et B, ce qui pose un grave problème lorsque l'on utilise des

prédiviseurs permettant de monter en fréquence. Les deux circuits 7216A et B n'en tiennent pas compte et obligent à une multiplication mentale par 10 ou 100, certes facile, mais

gênante et surtout source d'erreur. Par contre, avec le 7226, pas de problème : si l'on introduit un prédiviseur par 10, le point décimal est décalé d'un digit, avec contrôle par la com-

mande de gammes et décalage automatique du blanking des « 0 » inutiles.

La table précédente donne toutes les possibilités du 7226. Cependant dans le TFX3, nous n'en avons retenu qu'une partie :

- Entrée de contrôle (1)

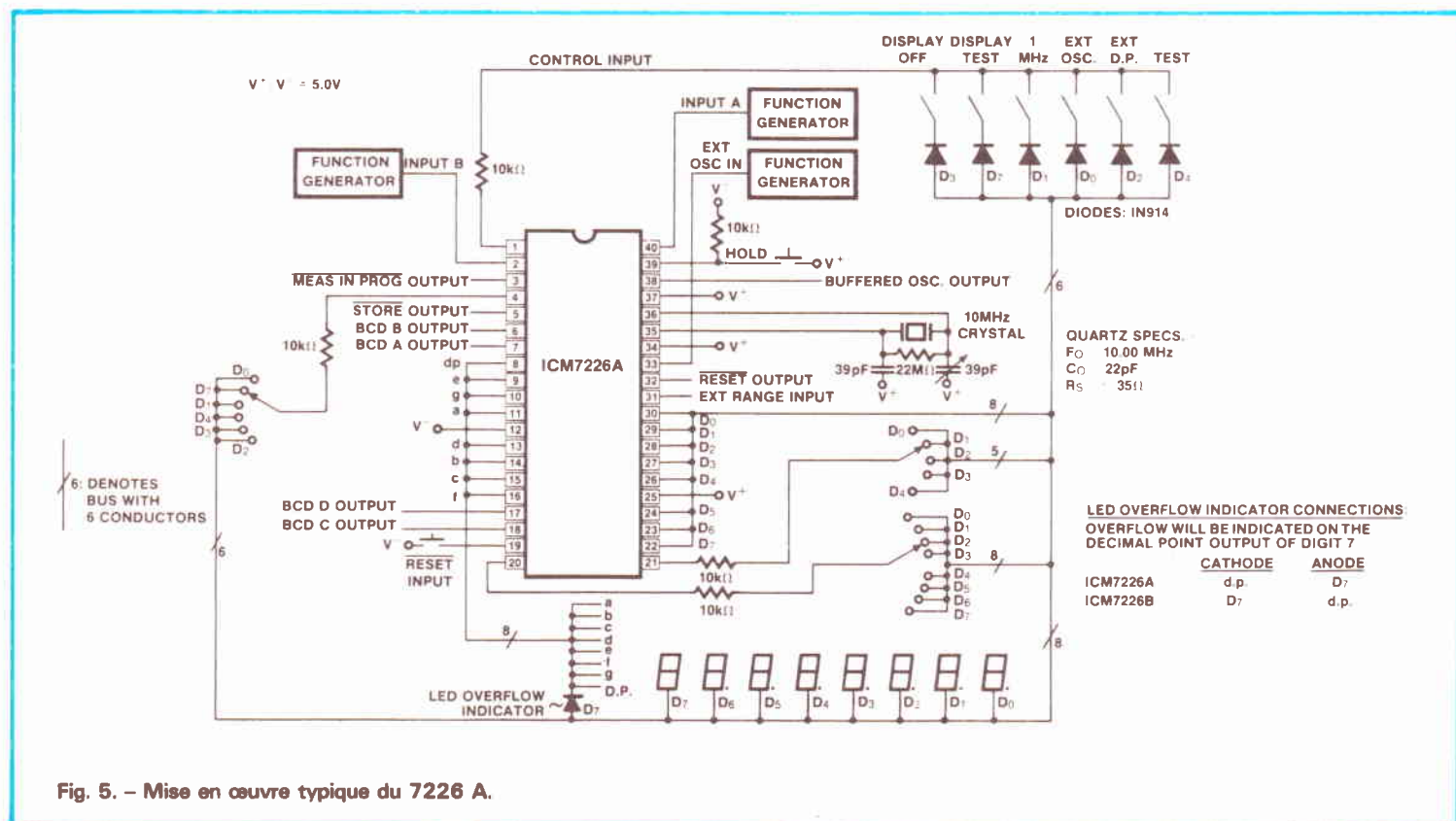
a) **Test affichage.** Tous les afficheurs marquent « 8 ». Non utilisé dans le TFX3.

b) **Extinction d'affichage.** Non utilisé.

c) **Quartz 1 MHz.** Le 7226 peut fonctionner avec un quartz 1 MHz, au lieu du 10 MHz choisi pour le TFX3. La fréquence de multiplexage reste la même ainsi que les gammes de mesure. La résolution du périodemètre et de l'impulsiomètre tombe à 1 μs.

d) **Oscillateur externe.** Dans ce mode, l'oscillateur interne est déconnecté mais continue à fonctionner. Notons que si la fréquence extérieure utilisée en lieu et place est inférieure à 100 kHz, alors le 7226 la refuse, se commutant de lui-même pour repartir avec son propre oscillateur. Le TFX3 utilise ce mode.

e) **Activation de la commande externe de point décimal.** Cette connexion permet



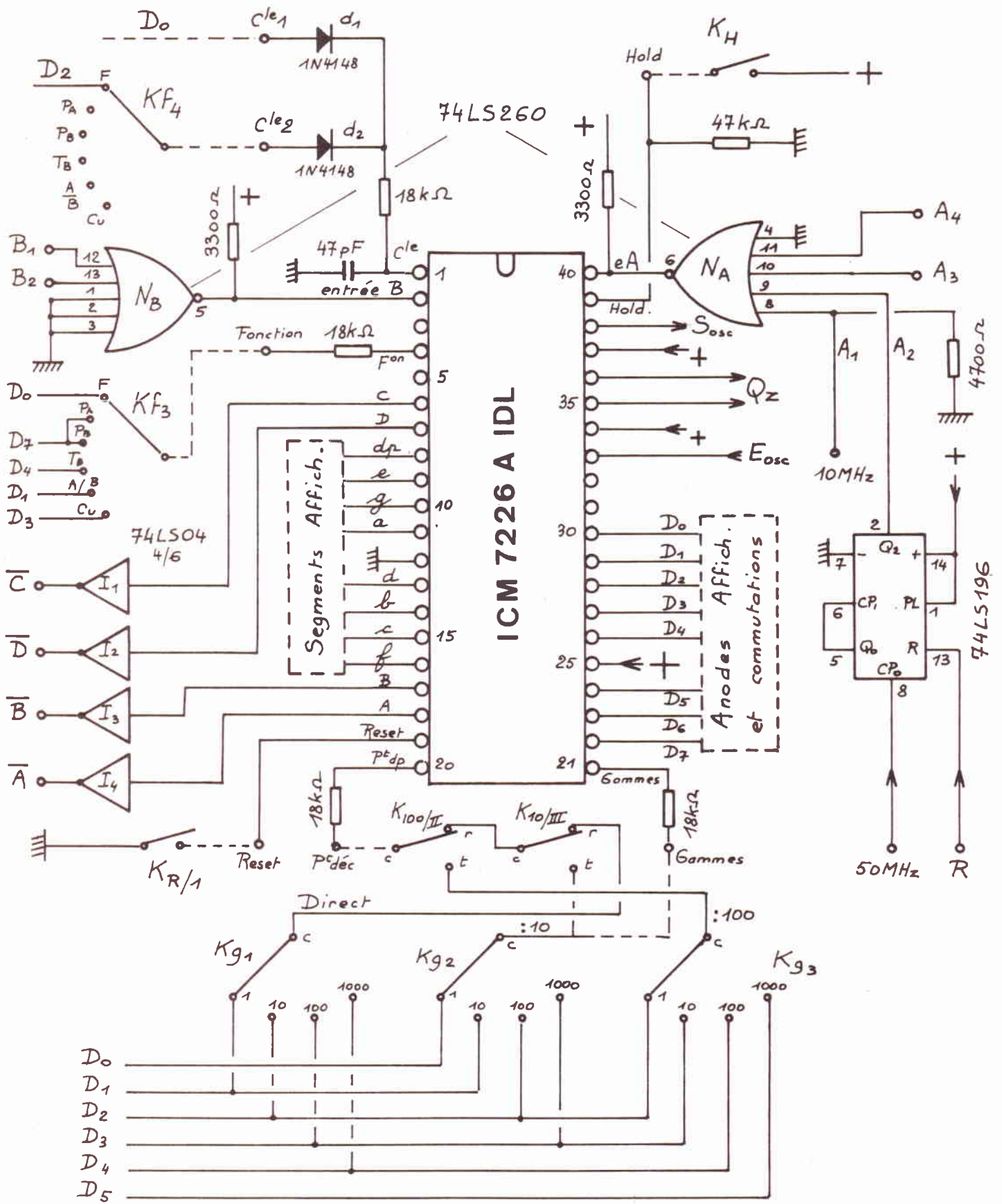


Fig. 6. - Le 7226 A dans le TFX 3.

de passer en positionnement contrôlé du point décimal. On doit l'utiliser dans le TFX3 dès que l'on introduit un prédiviseur.

f) **Test mode.** Non utilisé.

– **Entrées de gammes (21)**

Cette entrée sélectionne l'une des quatre gammes possibles (1, 10, 100, 1000). Notons que dans tous les modes (sauf en compteur d'unités), le changement de gamme en cours de mesure, stoppe le comptage sans rien afficher et recommence une nouvelle mesure, de manière à ne pas afficher le moindre résultat erroné.

Il faut signaler que si l'on commute les diviseurs externes, alors la première mesure suivante est erronée.

– **Entrée de fonctions (4)**

Cette entrée sélectionne l'une des six fonctions possibles. Notons que la fonction « fréquence interne » consiste à mesurer par le 7226 sa propre fréquence interne. Nous n'avons pas utilisé cette possibilité dans le TFX3.

Dans la fonction « impulsio-mètre » un basculeur est activé par une première transition « 1 à 0 » sur l'entrée A et le comptage des $1/10 \mu\text{s}$ commence. Puis le basculeur est remis à 0 par une transition « 1 à 0 » sur l'entrée B et le comptage s'arrête. En clair : la commande de départ de mesure se fait par A et celle de l'arrêt par B. Nous y reviendrons.

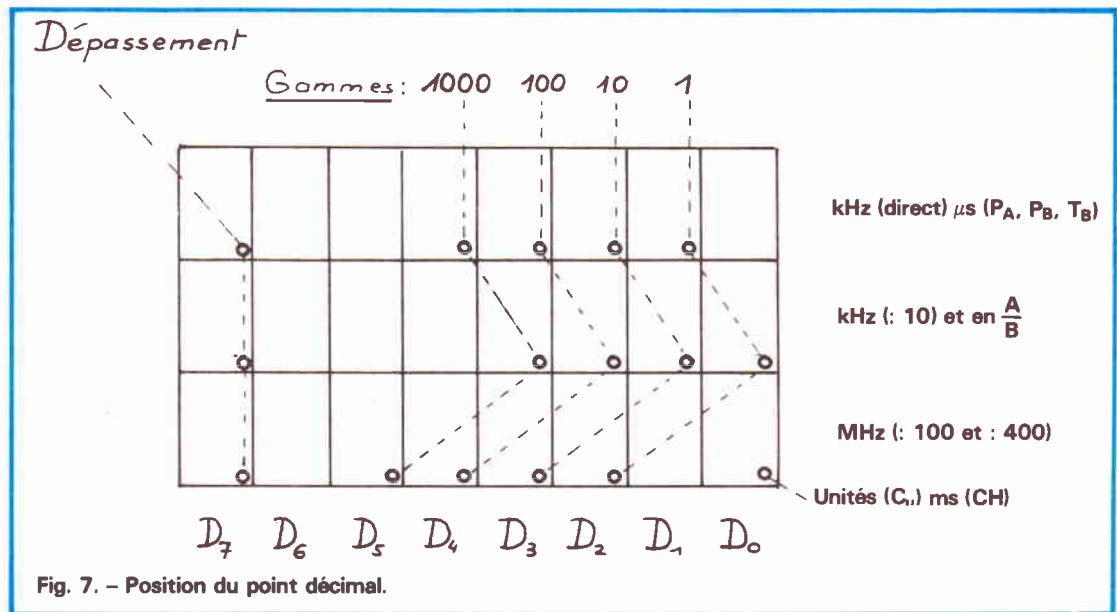
– **Entrée de point décimal externe (20)**

Active si la commande de point décimal externe est activée par connexion à D_2 . Le point décimal se positionne alors sur le digit auquel on relie l'entrée de point décimal externe. Toutes les sorties digits, sauf D_7 , sont utilisables. Si D_7 est utilisé, il bloque la fonction « dépassement » de capacité du compteur et paralyse celle de l'effacement des 0. Notons à ce sujet que le dépassement de capacité est indiqué par le point décimal de D_7 .

3° Autres entrées et sorties

– **Entrée « Hold » (39)**

Sauf dans la fonction « compteur d'unités », si cette



entrée est à V^+ , toute mesure est stoppée, le compteur principal est remis à 0 et le circuit se tient prêt pour une autre mesure. Les mémoires conservent le résultat précédent et le maintiennent à l'affichage. En compteur d'unités, le compteur n'est pas remis à 0.

– **Entrée de Raz (19)**

Active au niveau bas. Reliée à V_- , elle vide le compteur principal et ramène l'affichage à 0.

– **Entrée de gammes extérieures (31)**

Elle permet de choisir extérieurement la gamme de travail. Non utilisée dans le TFX3.

Les sorties : Meas, in prog. (mesure en cours), Store (mémoire), Reset Output (sortie Raz) permettent l'adjonction d'un 9^e digit. Non utilisées.

Sorties BCD (6, 7, 17 et 18). La représentation BCD de chaque digit apparaît sur ces sorties A, B, C, D. L'effacement des 0 n'agit pas sur ces sorties.

Sortie Buffered osc. Il est impossible de prélever l'oscillation 10 MHz sur les picots 35 et 36 de l'oscillateur interne, car cela produirait une forte perturbation de fonctionnement. Intersil a donc prévu un interface interne permettant ce prélèvement sans problème : c'est la sortie « 38 ». Comme toutes les sorties, autres que celles des afficheurs, la sortie d'oscillateur peut supporter « une charge LS TTL » au maximum. Nous verrons plus loin l'intérêt de la sortie d'oscillateur.

– **Oscillateur interne (35 et 36)**

L'oscillateur utilise un inverseur FET complémentaire à fort gain. Une résistance externe de 10 à 22 $M\Omega$ doit être connectée entre entrée (35) et sortie (36) pour assurer une polarisation correcte de l'entrée. L'oscillateur fonctionne avec un quartz de 10 MHz, à résonance parallèle, de capacité statique 22 pF et de résistance dynamique inférieure à 35 Ω . Le quartz et les composants externes doivent être placés aussi près que possible du 7226, de manière à réduire les inductions parasites. En particulier, un couplage entre la sortie de puissance (38) et l'entrée d'oscillateur externe peut occasionner des glissements de fréquence indésirables. Pour réduire ce couplage, les picots 34 et 37 servent de « blindages ». Ils doivent être connectés soit à V^+ , soit à V_- .

En conclusion de cette analyse rapide, nous vous signalerons que, à l'origine, la série des 7216/7226 a été étudiée sur la demande de Hewlett-Packard pour ses nouveaux fréquencemètres. Les initiés apprécieront et ne s'étonneront plus des performances assez extraordinaires de cette famille de circuits et surtout des 7226, modèles les plus complets de la gamme.

Après ces considérations générales sur le circuit 7226A de Intersil, cœur du TFX3, passons à l'examen des schémas.

– III –

Etude théorique du TFX 3

1° Mise en œuvre du ICM 7226 A.

Se reporter à la figure 6.

Bien entendu, le schéma suit les directives des fiches Intersil :

– Le 7226 A est alimenté en + 5 V régulés. Quelques découplages sont effectivement prévus sur le circuit imprimé. Ils n'ont pas été dessinés sur le schéma théorique.

– Les liaisons aux afficheurs sont absolument directes. Il n'est pas possible d'intervenir sur l'intensité des courants. Il est donc important de bien choisir l'afficheur dont le bon rendement assure pour le courant donné, le maximum de luminosité des segments. Nous avons pris des afficheurs Monsanto de type Man 8610, dont nous sommes particulièrement satisfaits : chiffres de 20 mn, visibles de très loin, très bonne luminosité et surtout luminosité parfaitement régulière dans le segment, avec coupure presque invisible d'un segment à son voisin. Ces afficheurs nous semblent de loin supérieurs à tous ceux que nous connaissons !

Les afficheurs sont tous en parallèle, selon la technique bien connue, maintenant du multiplexage. Rappelons que toutes les sorties de digits alimentent les systèmes de com-

mutation de gammes et de fonctions :

Control Input (1) deux seulement de ses possibilités ont été retenues :

- En position « Fréquence-mètre », l'entrée est reliée à D_2 , ce qui permet le positionnement externe du point décimal par l'entrée de commande correspondante (20). Dans les autres modes, le 7228 gère lui-même la position du point décimal ainsi que le blanking des 0 inutiles.

- En « fréquence-mètre 1,5 GHz » l'entrée de contrôle est de plus reliée à D_0 ce qui fait passer le 7226 en « oscillateur externe », la fréquence de référence étant injectée dans « Ext. Osc. Input » (33). Nous y reviendrons dans quelques instants. Bien sûr, des diodes sont indispensables pour éviter le court-circuit de D_0 avec D_2 , lorsque les deux sont utilisés.

Notons la cellule de filtrage de l'entrée 1.

Fonction Input (4) elle est reliée successivement à D_0 , D_7 , D_4 , D_1 et D_3 pour assurer les fonctions : fréquence-mètre, périodemètre, impulsimètre (T_B), ratiomètre (A/B) et compteur d'unités (C_U). On notera les deux positions de la fonction périodemètre, l'une se faisant à entrée capacitive par l'entrée A du TFX 3 et l'autre étant à liai-

son directe, par l'entrée B du TFX 3. (C'est encore, en fait, l'entrée A du 7226 qui est reliée).

Ext. Decimal Point Input (20) cette entrée ne devient active qu'en position fréquence-mètre. Voir ci-dessus. Dans ce cas, selon le nombre de prédiviseurs par 10 intercalés dans l'entrée de mesure, le point décimal est convenablement placé, en fonction de la gamme choisie. La figure 7 montre toutes les possibilités. Lorsque les deux prédiviseurs sont en service, pour des fréquences dépassant 40 MHz, l'affichage se fait en MHz. En nous reportant à la figure 6, nous voyons comment le résultat est obtenu :

- **Sans prédiviseur par 10** : K_{100} et K_{10} sont au repos : c'est donc la galette K_{g_1} dite « directe » qui est active. Elle connecte l'entrée 20 à D_1 , D_2 , D_3 , D_4 selon la gamme de 1 à 1000.

- **Avec UN prédiviseur par 10** : K_{10} est au travail, K_{100} est au repos : la galette K_{g_2} dite « : 10 » est active et sélectionne de D_0 à D_3 .

- **Avec DEUX prédiviseurs par 10** : K_{100} est au travail, K_{10} est au repos. La galette « : 100 » est active et choisit de D_2 à D_5 .

L'introduction du prédiviseur par 4, « 1,5 GHz » ne modifie

pas la position du point décimal donné par « : 100 ».

Entrée RANGE (ou gammes, picot 21) : cette entrée commande le changement de gammes. Comme elle coïncide parfaitement avec « : 10 », elle est simplement reliée au commun de K_{g_2} .

N.B. : les connexions en pointillés, de la figure 6 sont des liaisons souples entre le circuit imprimé principal portant le 7226 A et les organes de commutation.

L'oscillateur de référence

Les circuits de l'oscillateur de base de temps ne sont pas dessinés sur la figure 6. En effet, il faut distinguer deux cas :

a) Fonctionnement en quartz simple

Voir la figure 8.

Le quartz est branché comme le conseille Intersil. La résistance de 22 M Ω assure la polarisation de l'inverseur FET du chip. Les capacités d'entrée et de sortie sont accrues de valeurs externes. La capacité de sortie est variable pour permettre le câlage exact de la fréquence 10 MHz de référence. Le TFX 3 fonctionne ainsi dans toutes les fonctions et gammes... sauf en fréquence-mètre 1,5 GHz. En effet dans ce cas, on introduit une division supplémentaire par 4.

Sans artifice particulier, une fréquence de 1200 MHz, par exemple, donnerait un affichage de 300 MHz, obligeant à une multiplication par 4, mentale ou écrite ! Pour éviter ce défaut gênant, la fréquence de la base de temps est en même temps divisée par 4 : le temps de mesure étant 4 fois plus long, l'affichage indique 4 fois 300 MHz, donc les 1200 MHz qu'il fallait obtenir.

Pour obtenir ce résultat, la sortie « Buffered Osc » est exploitée. Le signal 10 MHz y est prélevé et est appliqué à une porte NOR LS TTL. La sortie est accessoirement envoyée vers le standard de fréquence. Mais le 10 MHz est surtout dirigé vers un diviseur par 4 (2 fois 2) constitué de deux basculeurs JK. Nous obtenons ainsi du 2,5 MHz, lequel traverse un réseau apparemment inutile de portes NOR et se retrouve sur l'entrée « oscillateur externe ».

En configuration normale, tout cela ne sert à rien ! Mais si $K_{100/111}$ passe sur « 1,5 GHz » alors le 7226 A n'utilise plus son propre oscillateur mais l'oscillateur externe, donc le 2,5 MHz... et c'est ainsi que l'affichage donne bien 1200 MHz, si l'on mesure cette fréquence.

Notons que la cadence générale de fonctionnement du 7226 est aussi divisée par

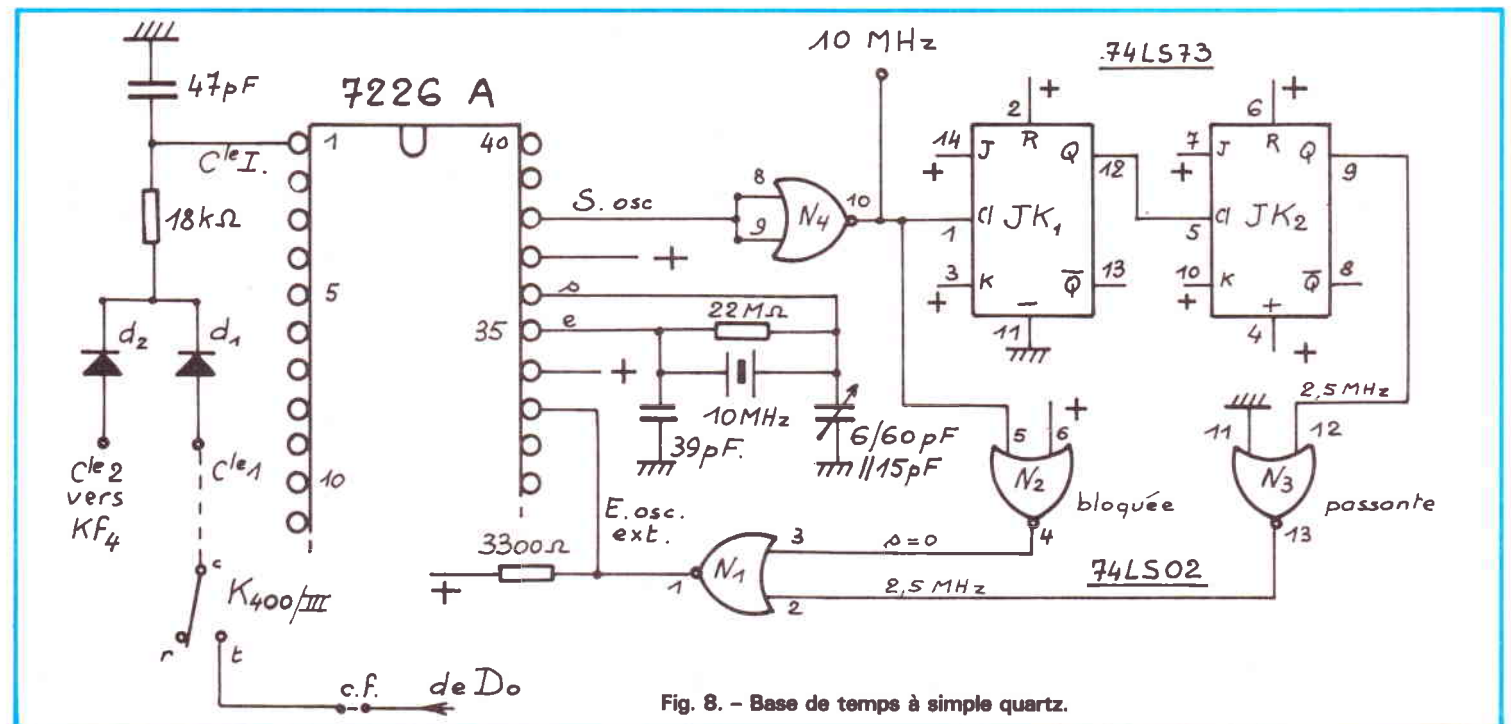


Fig. 8. - Base de temps à simple quartz.

4 et en particulier la vitesse de multiplexage. Ce n'est absolument pas décelable par l'utilisateur.

Attention cependant: en gamme 1000, dont le temps de mesure est déjà de 10s normalement, on atteint maintenant 40 s! C'est beaucoup et cette gamme ne sera qu'exceptionnellement utilisée. On remarquera d'ailleurs qu'elle provoque un dépassement de capacité dès que la fréquence mesurée excède 1 GHz. Voir figure 7.

Dans la version quartz simple dont nous parlons, le quartz peut être un modèle banal en boîtier miniature HC 25/U, directement connecté sur le circuit imprimé, à côté du 7226 A. Il est alors soumis aux variations de température interne de l'appareil, elle-même fonction de la température de l'ambiance. On comprend sans peine que des dérives inévitables s'ensuivent. On peut escompter avec cette solution économique, une précision de l'ordre de $5 \cdot 10^{-6}$. Nous en avons fait le test: Température du local stable de 20 °C.

Mesure de la fréquence de Droitwich en gamme 1000 (10 s).

- A l'allumage du TFX 3 : 200 000,3 Hz.

- Après 39 minutes : 200 000,8 Hz.

- Après 60 minutes : 200,001,1 Hz soit glissement de 8 points sur 2 000 000 : $4 \cdot 10^{-6}$.

Pour améliorer la stabilité de la référence, une bonne solution consiste à choisir un quartz spécial, placé dans une enceinte thermostatée. Nous proposons donc une seconde version du TFX 3 ainsi montée. L'enceinte et le quartz choisis sont de LPE réf. ARC-MC 50. La température de fonctionnement interne est de 75 °C.

Le quartz est spécialement taillé pour avoir un coefficient de température minimum à cette température. La figure 9 donne la structure interne de cette enceinte. Le quartz, fixé sur la table chauffante verticale est placé dans une double enceinte avec calorifuge entre les deux parois pour les déperditions minimales. Le chauffage

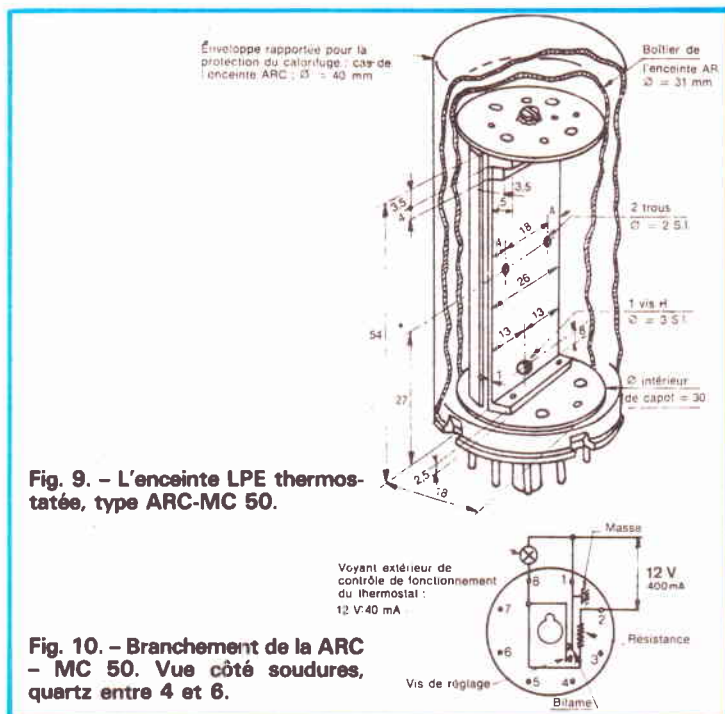


Fig. 9. - L'enceinte LPE thermostatée, type ARC-MC 50.

Fig. 10. - Branchement de la ARC - MC 50. Vue côté soudures, quartz entre 4 et 6.

se fait par résistance électrique et le contrôle de température par thermostat bilame. Bien sûr l'enceinte est un peu volumineuse et augmente le prix de revient. La stabilité exige ce sacrifice!

Il faut aussi un transformateur séparé pour le chauffage de l'enceinte, afin de pouvoir maintenir la température lors d'un arrêt temporaire du TFX 3.

N.B.: Le quartz étant relié à l'inverseur FET du 7226 A dont l'entrée est à très haute impédance, donc très sensible aux inductions parasites, il est indispensable d'avoir un transfo de chauffage de l'enceinte, avec **écran statique soigneusement relié à la masse générale**. Faute de cette précaution, de grosses perturbations seront inévitables, allant jusqu'à compromettre le fonctionnement général du 7226 A.

La figure 10 montre le branchement. Un voyant extérieur contrôle la température: éteint tant que les 75 °C ne sont pas atteints, il s'allume lorsque cette température est obtenue et que les mesures sont ainsi exactes. (Si le câlage est bon, par ailleurs, évidemment!). Dès que la température baisse un peu, le témoin s'éteint à nouveau. En pratique le cycle

de marche est à peu près le suivant:

- 7 mn pour la première mise en température.
- 30 s d'arrêt à 75 °C.
- 20 secondes de réchauffage, lors du régime établi.

On constate sur le schéma que témoin et résistance de chauffage sont en série. (Le témoin est donc absolument indispensable). A froid, ou à moins de 75 °C, le bilame court-circuite le témoin qui s'éteint: le 12 V étant appliqué directement sur la résistance. Lorsque le bilame s'ouvre, la température étant atteinte, le voyant alimenté à travers la résistance s'allume. Sa résistance étant environ 10 fois celle de la résistance (300 Ω pour 30 Ω), l'intensité devient 10 fois plus faible et la chaleur dégagée 100 fois moindre: la température descend.

Un test avec l'enceinte LPE type ARC-MC50

Mesure de la fréquence de Droitwich (gamme 1000)

- A l'allumage du TFX 3 : 199 991,7 Hz soit - 83 points sur 2 000 000.

- Après les 7 mn de mise à 75 °C : 199 999,9 Hz.

- Après 30 mn : 199 999,9 Hz.

- Après 60 mn : 199 999,9 ou 200 000 Hz.

La précision en régime établi est donc de l'ordre 10^{-7} dans le meilleur des cas.

b) Fonctionnement avec TCKO

Le TCKO est un oscillateur à quartz complet, livré en ordre de marche et qu'il suffit d'utiliser sans précautions particulières. Un TCKO comprend donc: (fig. 12)

- Une stabilisation de la tension d'alimentation.
- Un oscillateur à quartz, avec varicap de glissement de fréquence.
- Un réseau de compensation à thermistances contrôlant la varicap.
- Un amplificateur de sortie.

La correction de température est assurée par un circuit possédant son propre coefficient de température, constitué de résistances à couche métallique de haute stabilité et de thermistances déjà vieilles, qui produit la tension de commande nécessaire à la varicap. Le constructeur modèle le circuit de correction pour qu'il provoque un glissement de fréquence aussi exactement opposé à celui de l'oscillateur à quartz que possible. Un certain nombre de points de réglage sont prévus dans la gamme de température prévue. On a ainsi des TCKO à 3 ou 5... points de compensation.

Les quartz utilisés sont presque uniquement taillés en coupe AT, en raison de leur bonne stabilité et de leur coefficient de température favorable. La dérive du TCKO dépend alors de l'angle de coupe et du degré de compensation du réseau associé.

Le TCKO que nous avons choisi est un modèle fabriqué par KVG, firme allemande de réputation mondiale. Il s'agit du G 31, prévu pour fonctionner de 0 à 50 °C, ce qui correspond parfaitement à l'emploi en local du TFX 3.

En voici les caractéristiques essentielles:

Fréquence: 10 MHz.

Dérive maximum de 0 à 50 °C: $0,5 \cdot 10^{-6}$

Vieillessement: par an: $\pm 1 \cdot 10^{-6}$

par mois: $\pm 5 \cdot 10^{-7}$

Par jour: $\pm 5 \cdot 10^{-8}$

Rattrapage externe de la fréquence: $\pm 5 \cdot 10^{-6}$

Consommation: 100 mW

Tension d'alimentation: 12 V réglés

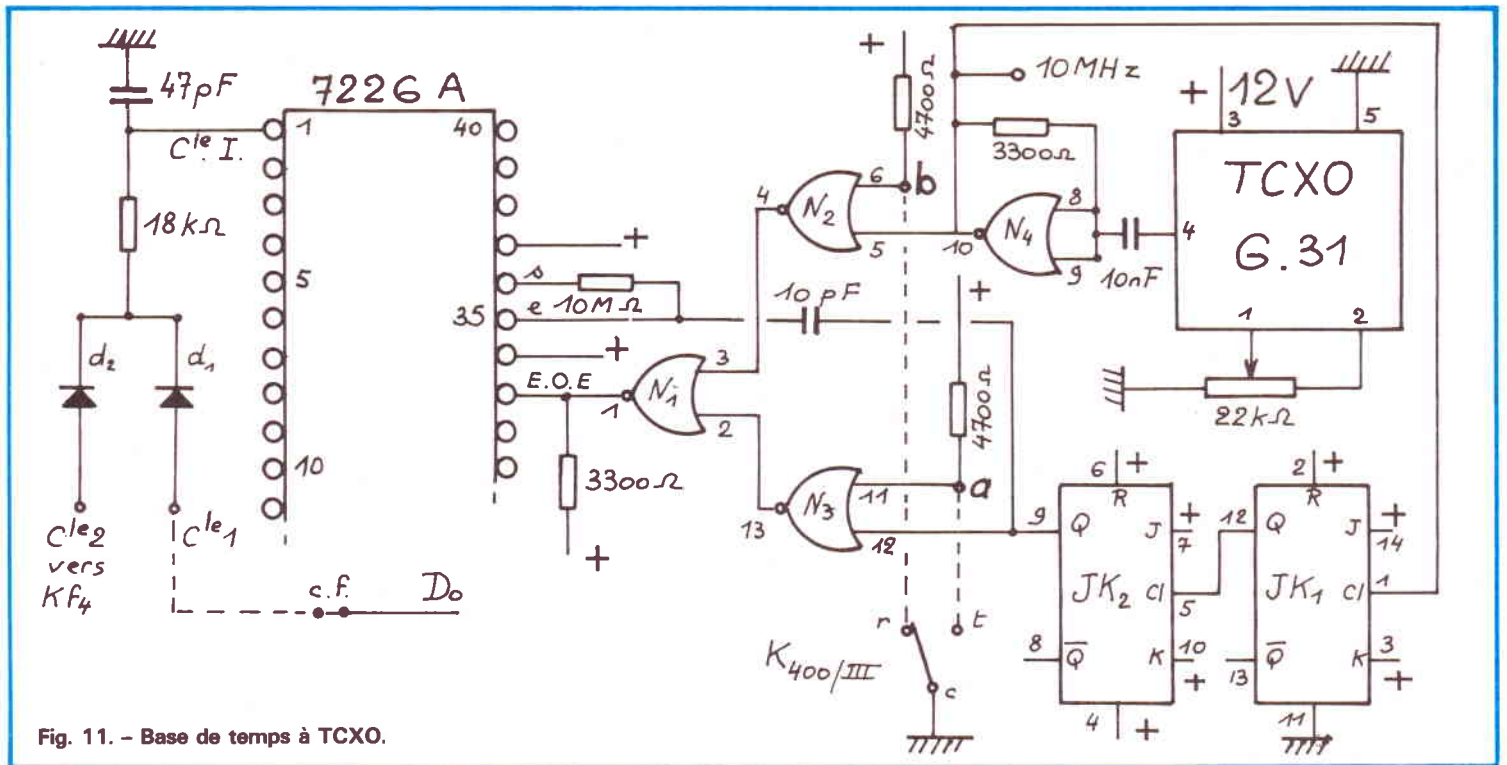


Fig. 11. - Base de temps à TCXO.

Tension de sortie : 3 Vcc sur 500 Ω

Dimensions : 36 × 26 × 19 mm.

On constate déjà, la température extérieure variant de 0 à 50 °C, que le TCXO est 10 fois meilleur que le quartz simple dans une température ambiante stable. En local, il est possible d'espérer mieux que 10⁻⁷ et ainsi exploiter dans de bonnes conditions la capacité du compteur à 8 digits. Il est en effet stupide de monter ce nombre d'afficheurs si la base de temps ne suit pas. Ce n'est pourtant pas ce qui gêne certains fabricants de fréquence-mètres.

Un test de TFX 3 avec le TCXO G31 de KVG

Mesure de la fréquence de Droitwich, gamme 1000.

- A la mise sous tension : 200 000,1 Hz.

- Après 1 heure : 200 000,1 Hz, avec apparition parfois de 200 000,2 Hz.

ce qui semble parfaitement correspondre aux données précédentes.

Le G 31 requiert une alimentation 12 V régulés, mais cette alimentation existe de toute façon dans le TFX 3. Donc pas de frais supplémentaires !

La figure 11 donne le schéma de montage. La tension de 10 MHz issue du TCXO

est prélevée par une porte NOR linéarisée par résistance entrée-sortie. Le 10 MHz est alors envoyé, d'une part vers le standard de fréquence et d'autre part vers le 7226 A :

- soit directement à travers les portes N₁ et N₂. (a = 1 et b = 0),
- soit après une division par 4, par JK₁ et JK₂, à travers N₃ et N₁ (a = 0 et b = 1).

Notons que l'entrée « Control » (1) est en permanence reliée à D₀ pour que le 7226 A se mette toujours en « oscillateur externe ». Un petit détail cependant : sans précaution particulière, à la mise sous tension, il n'existe aucun signal sur les sorties de digits du 7226 A : D₀ n'existe donc pas ! Le 7226 A ne peut pas passer en « oscillateur externe ». Mais comme rien n'est connecté sur les points de l'oscillateur interne, (pas de quartz en particulier), ce dernier ne peut osciller... et le

7226 A reste désespérément bloqué, un digit au hasard, fortement illuminé, car il n'y a pas de multiplexage !

Pour éviter cet état fâcheux et qui risque de durer, nous avons prévu la résistance de polarisation de l'inverseur FET : une 10 MΩ et nous avons relié l'entrée (35) à la sortie 2,5 MHz par un 10 pF. A la mise sous tension, l'inverseur reçoit donc ce signal, démarre et se commute sur « oscillateur externe » !

Le réglage fin du TCXO se fait par un petit multi-tours de 22 kΩ.

Reset et Hold

Ces deux fonctions sont assurées par des commutateurs externes.

Sorties BCD

Les sorties A, B, C, D du signal BCD d'affichage sont prélevées à travers 4 inverseurs LS TTL et sont disponibles sur la face arrière du

TFX 3. L'exploitation de ces informations exige également la sortie de tous les signaux de digits.

Entrées de mesure

Chacune des entrées A (40) et B (2) du 7226 A est reliée à une porte NOR avec résistance de tirage. Nous avons utilisé une double NOR à 5 entrées. Remarquons d'ailleurs la pauvreté en portes NOR de la série LS TTL et particulièrement l'absence d'une double 4 entrées. La double 5 entrées que nous avons retenue est d'ailleurs difficile à trouver ! (mais évidemment en stock chez Sélectronique !).

La Nor « A » reçoit : Par I₁ : le 10 MHz en provenance de l'entrée à haute impédance A du TFX 3.

Par A₂ : le signal des prédiviseurs par 10. Le premier apparaissant sur la figure 6, un 74LS196 fonctionnant à plus de 60 MHz !

Par A₃ : le signal de l'impulsio-mètre (début de la mesure).

Par A₄ : le signal du compteur d'unités.

La Nor « B » reçoit : Par B₁ : le signal de fin de mesure de l'impulsio-mètre.

Par B₂ : le signal de l'entrée B du TFX 3 en fonction ratiométrique (A/B).

A suivre

F. THOBOIS

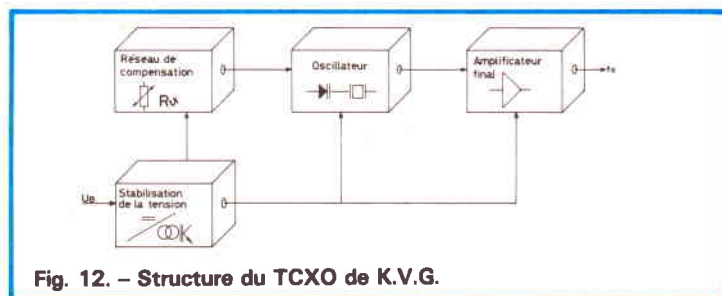


Fig. 12. - Structure du TCXO de K.V.G.