

# construisez un synthétiseur de fréquence

**L**A stabilité de fréquence des générateurs basse fréquence courants est assez limitée et d'autre part il est difficile de pointer à mieux que 1 % près un chiffre sur un cadran gradué. Or il est très intéressant pour de nombreuses applications de disposer de signaux dont la fréquence peut être ajustée avec précision, par exemple au millième près, et reproductible d'un jour à l'autre. Les synthétiseurs de fréquences qui génèrent numériquement le signal de sortie à partir d'un oscilla-

teur pilote à quartz de haute stabilité apportent à ce problème une solution élégante mais encore actuellement bien trop onéreuse pour l'amateur moyen. La construction d'un tel appareil surtout si on ne lui demande pas des performances exceptionnelles peut être entreprise assez aisément grâce aux circuits intégrés disponibles sur le marché à des prix très bas.

Parmi les divers schémas possibles nous avons choisi ici celui dont la mise au point est la plus simple. Il fait appel à

un circuit diviseur spécial que les anglo-saxons désignent sous le nom de « rate multiplier ».

## PRINCIPE DU MULTIPLICATEUR DE RYTHMES DÉCIMAUX ET UTILISATION POUR LA SYNTHÈSE DE FRÉQUENCES

Le multiplicateur de rythmes décimaux (DRM) est un système décimal car il se

retrouve dans son état initial après un cycle de 10 impulsions. Ce n'est pas cependant à proprement parler un diviseur de fréquence (contrairement à ce que l'on peut lire parfois) mais un système d'aiguillage constitué par des portes logiques pilotées par les sorties d'un diviseur par 10 (décade) qui ne laisse passer au cours d'un cycle qu'un nombre choisi N de tops d'horloge.

On peut voir sur la figure 1 que le nombre N (0 à 9) est appliqué sous forme binaire à



Photo 1. - Aspect extérieur de l'appareil.

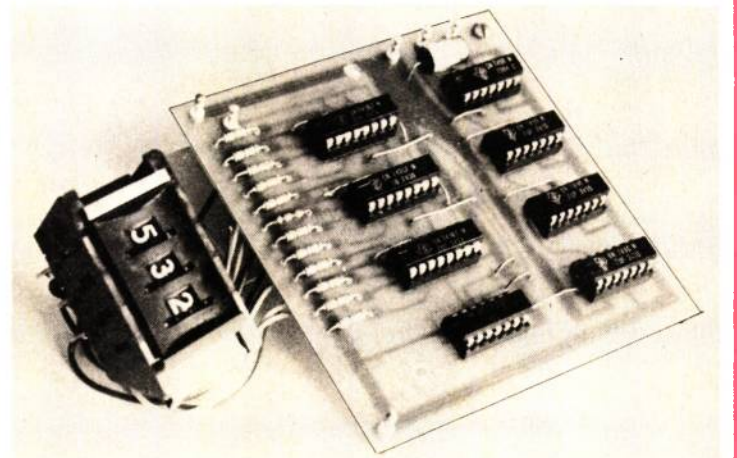


Photo 2. - Plaquette principale supportant les D.R.M.

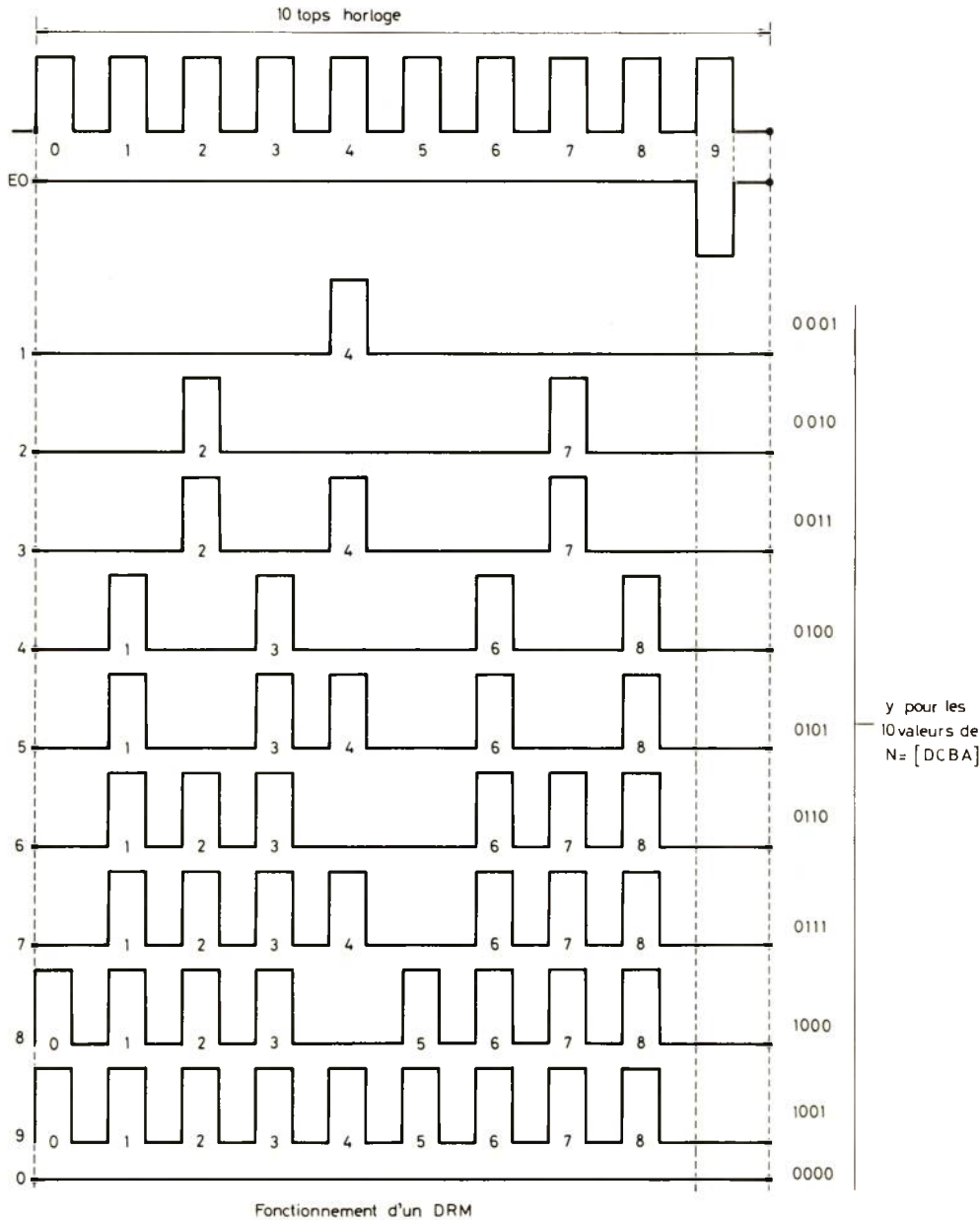
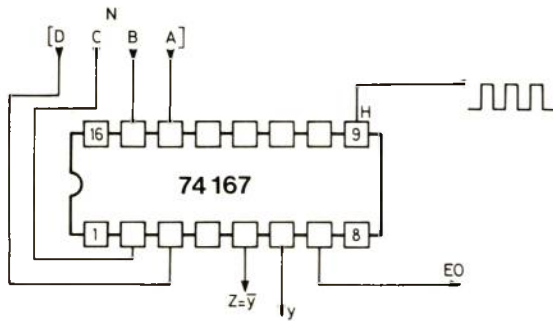


Fig. 1. - Fonctionnement d'un D.R.M.

4 broches du circuit :  $N = A 2^0 + B 2^1 + C 2^2 + D 2^3$ , la dernière impulsion d'horloge de chaque cycle se retrouve inversée sur une sortie spéciale E 0 (enable out put) les N impulsions utiles apparaissant en Y (ou complémentées en Z). Il faut remarquer que quelle que soit la valeur de la consigne N l'impulsion E 0 ne fait jamais partie de celles prélevées en Y, c'est ce qui permet la mise en série de plusieurs circuits.

Pour une valeur particulière de N, si  $f_0$  est la fréquence de l'horloge H, il apparaît chaque seconde à la sortie Y :  $N f_0/10$  tops.  $N f_0/10$  est donc en quelque sorte la fréquence **moyenne** du signal Y.

La mise en série de deux circuits est représentée sur la figure 2. On peut soit utiliser directement le signal Y du premier comme horloge pour le second (mode asynchrone) soit comme il est indiqué envoyer E 0<sub>1</sub> sur une entrée spéciale E 1 (enable in put) du second qui ne prend ainsi en compte parmi les tops d'horloge que ceux qui arrivent pendant la phase active du signal E 0<sub>1</sub> (position basse).

Ainsi par exemple pour  $N_1 = 3$ ,  $N_2 = 5$ , sur une série de 100 impulsions on recueille à la sortie Y<sub>1</sub> les tops d'horloge de positions 02 04 07 12 14 17 22 24 27, etc. (d'après la figure 1). La sortie E 0 est validée aux instants 9 19 29, etc. parmi lesquels Y<sub>2</sub> n'est active qu'en 19 39 49 69 et 89. Les signaux en Y<sub>1</sub> et Y<sub>2</sub> ne sont jamais simultanés puisque les Y<sub>2</sub> sont pris parmi les signaux E 0 du premier circuit, on peut donc les ajouter à l'aide d'une porte « ou » ce qui donne en S au total 35 impulsions sur les 100 d'entrée. Si  $f_0$  est la fréquence d'horloge la fréquence moyenne en S est alors

$$\frac{35}{100} f_0$$

On peut généraliser le système en plaçant en série 3 ou 4 circuits commandés par des consignes  $N_1 N_2 N_3$ , etc., à la sortie d'un « ou » addition-

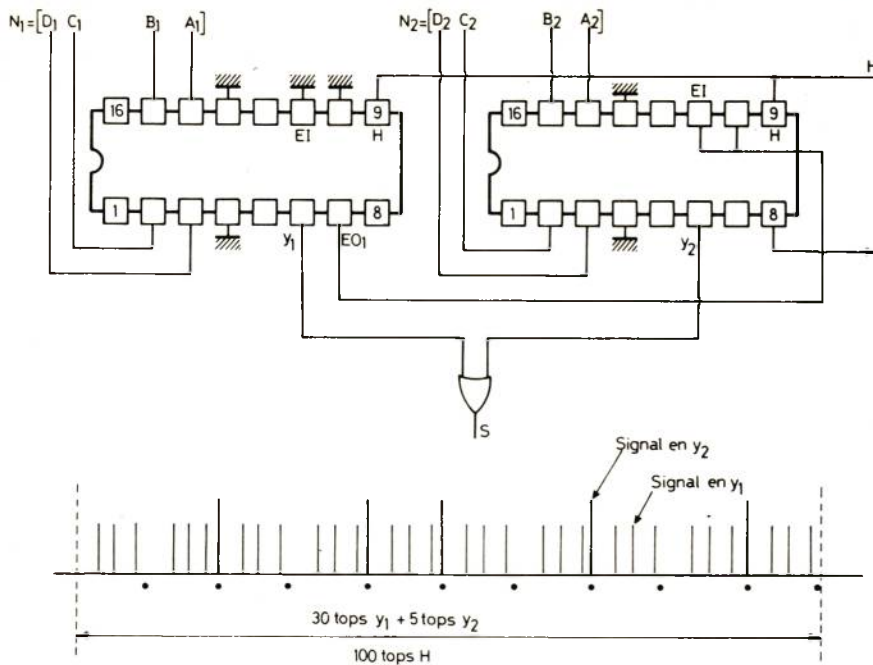


Fig. 2. - Mise en série de 2 étages et exemple de sortie S pour  $N_1 = 3$ ,  $N_2 = 5$  des points indiquent les positions 9 de chaque dizaine pour lesquelles  $EO_1$  est actif.

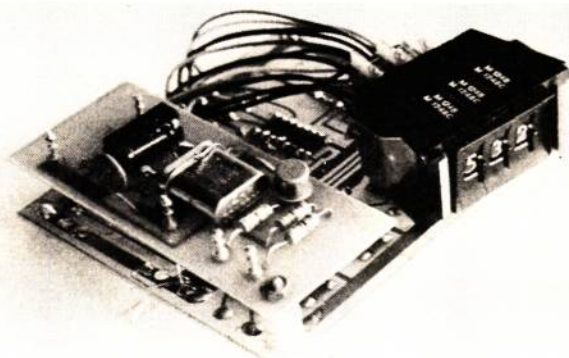


Photo 3. - Ensemble du bloc électronique.

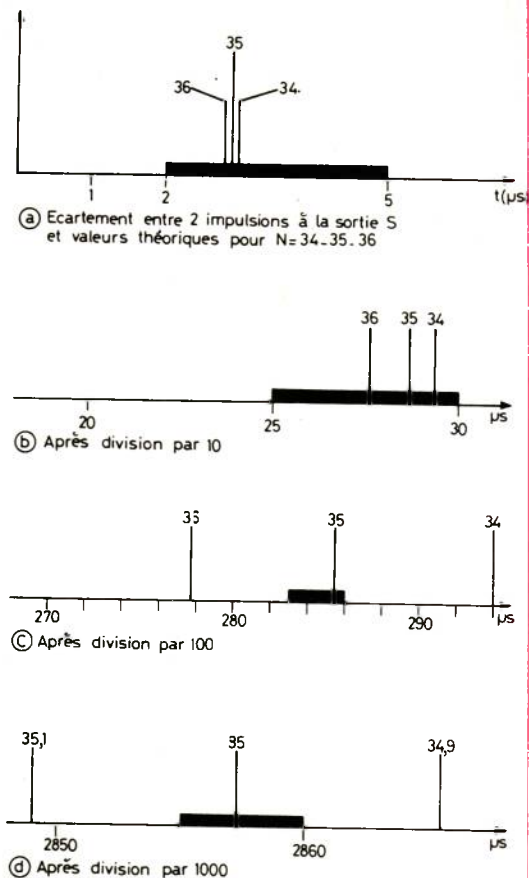


Fig. 3. - Amélioration du spectre du signal de sortie par division : une division par 100 est nécessaire pour donner un sens au 2<sup>e</sup> chiffre affiché, avec une division par 1000 la précision est meilleure que le millième. Exemple pour  $N = 35$  - 2 circuits et  $f_0 = 1$  MHz.

nant toutes les sorties Y on recueillera un signal de fréquence moyenne :

$$\frac{N_1 N_2 N_3}{1\ 000} f_0$$

### TRAITEMENT DU SIGNAL DE SORTIE

Bien qu'un compteur de fréquence placé en sortie affiche exactement la valeur donnée par la formule ci-dessus, le signal S est loin d'être utilisable tel quel, son spectre est beaucoup trop large. On peut s'en convaincre en remarquant que dans le cas de l'exemple précédent avec  $f_0 = 1$  MHz, l'écartement entre

deux impulsions de sortie varie de 2 à 5 \$\mu\$s correspondant respectivement à des fréquences de 500 et 200 kHz alors qu'elle devrait être de 2,857 \$\mu\$s pour 350 kHz valeur de la fréquence moyenne. Cette fluctuation d'écartement ou « jitter » est réduite si l'on effectue une division de fréquence. Le calcul montre qu'après une division par 10 la période du signal fluctue encore de 25 à 30 \$\mu\$s (fréquences extrêmes correspondantes 40 et 33,3 kHz) et avec une division par 100 de 285 à 288 \$\mu\$s. Ces deux valeurs correspondant à 3,508 et 3,472 kHz qui encadrent parfaitement les 3,5 kHz théoriques (fig. 3). Une division par 100 a donc été nécessaire pour obtenir un signal dont la fré-

quence est définie à mieux que le centième. De façon générale on peut montrer qu'une fréquence définie numériquement à l'aide de P circuits D R M mis en série nécessite une division de taux au moins égal à  $10^P$ .

Cette nécessité de faire appel à un taux de division important limite aux fréquences basses l'emploi de ce système pour générer des fréquences. Pour une fréquence maximale de sortie de 10 kHz définie à 10 Hz près (3 chiffres significatifs), il faut un diviseur par 1 000 et une horloge à 10 MHz. C'est la solution que nous avons retenue compte tenu des circuits disponibles (le S N 74167 accepte une fréquence d'entrée maximale de 30 MHz.

### LE SCHÉMA DE MONTAGE

L'oscillateur pilote doit avoir une grande stabilité de fréquence, c'est la raison pour laquelle nous avons fait appel à un quartz 10 MHz associé à une quadruple porte « nand » TTL Schottky. Le circuit 7400 ordinaire oscille difficilement à 10 MHz alors que la porte équivalente Schottky 7400 S permet de dépasser 20 MHz sans difficultés.

Les impulsions de cet oscillateur attaquent 3 circuits D R M 74167 placés en série et commandés par 3 roues codeuses dont le montage est détaillé sur la figure 4b.

Les tops sélectionnés et mélangés grâce à un

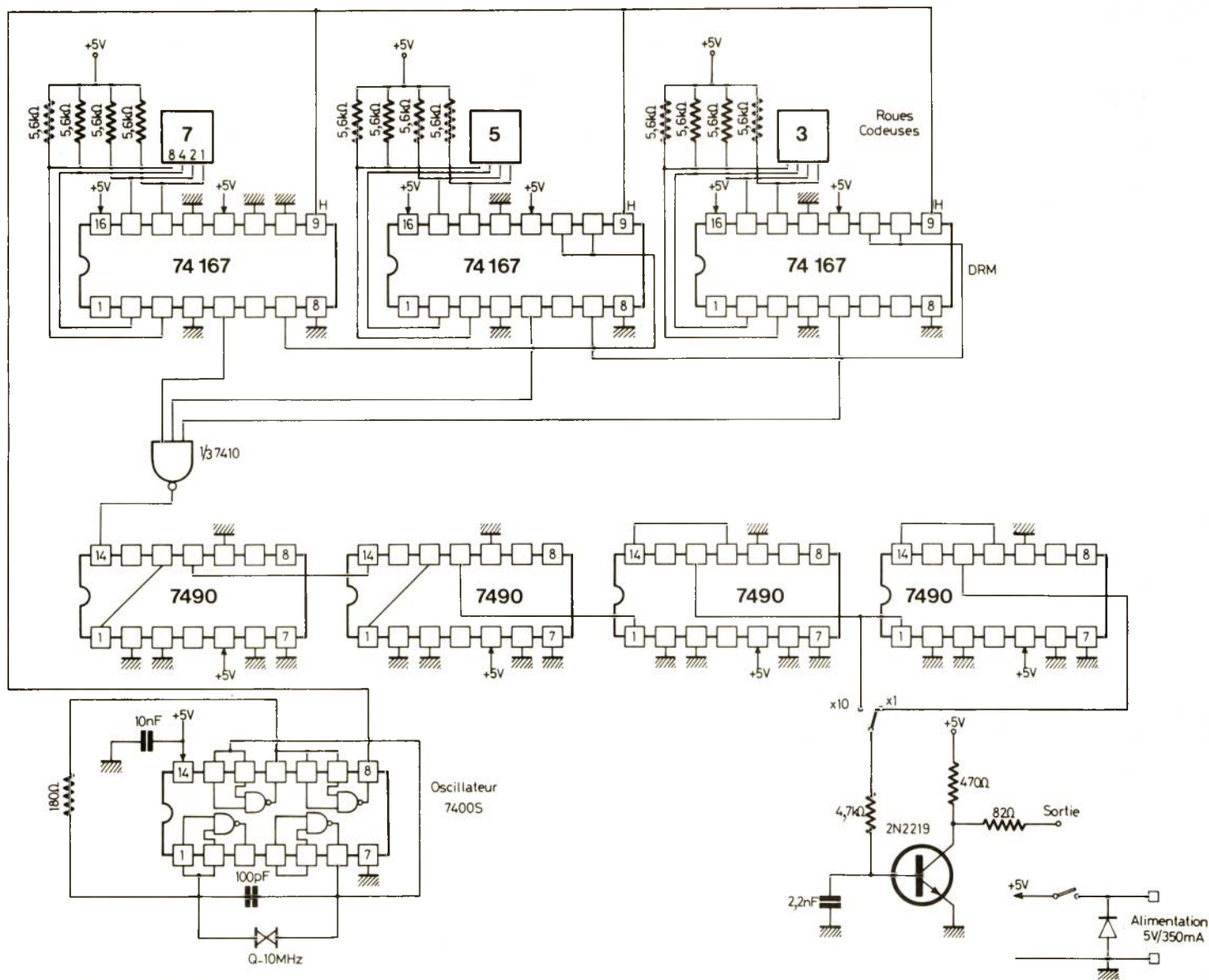


Fig. 4a. - Schéma complet.

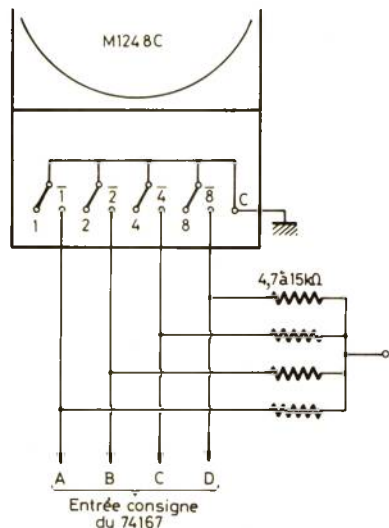


Fig. 4b. - Branchement d'une roue codeuse.

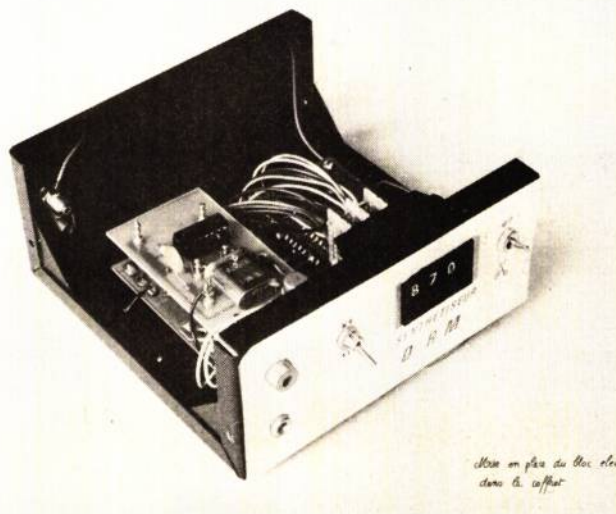


Photo 4. - Mise en place du bloc électronique dans le coffret.

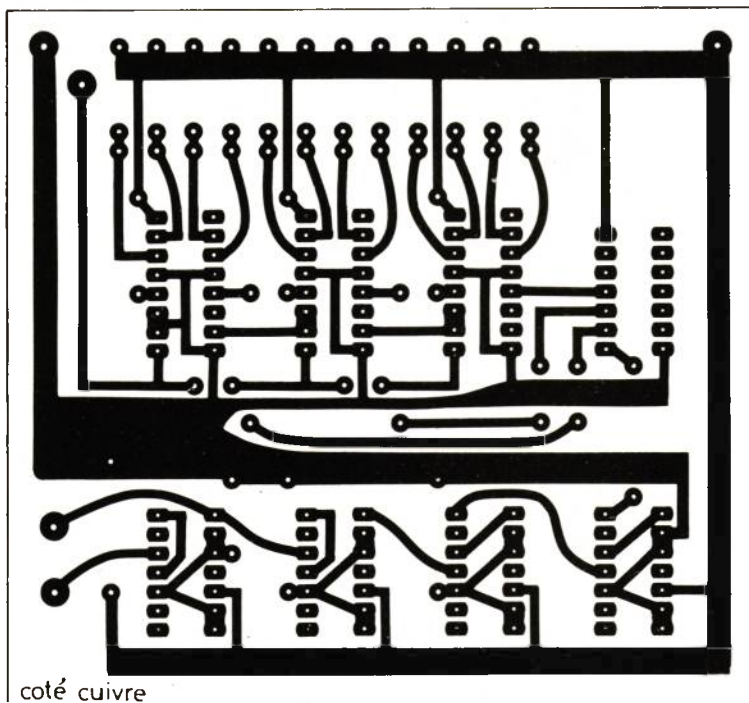


Fig. 5a

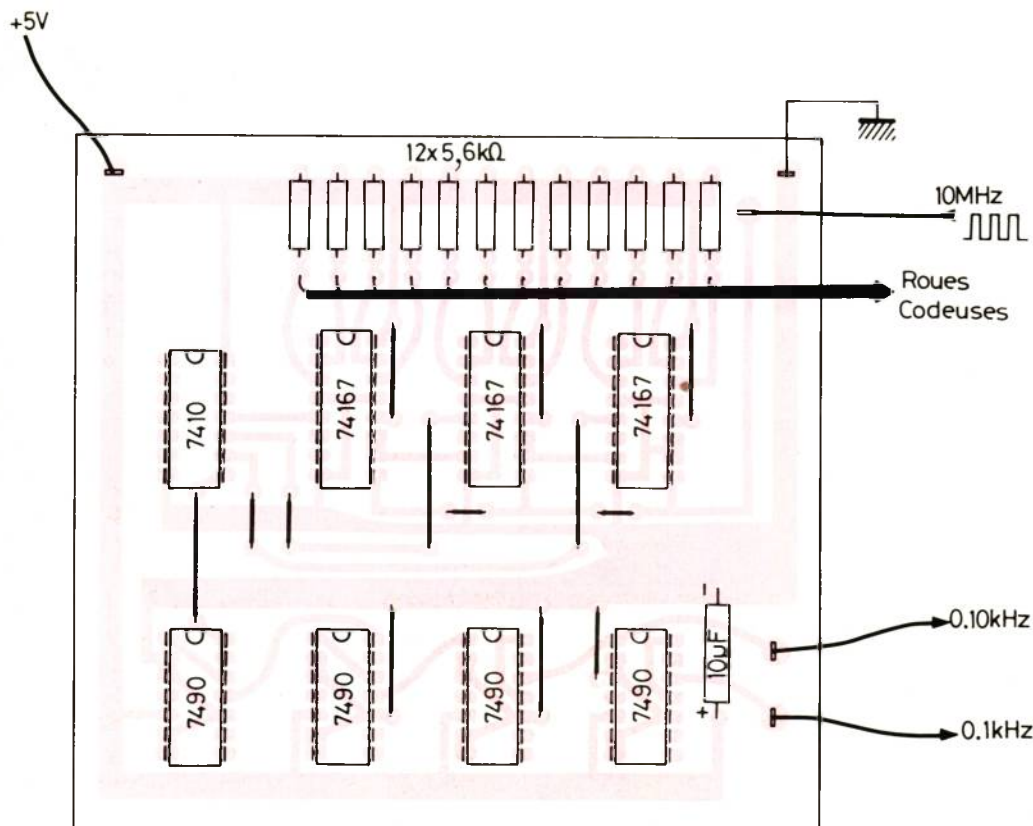


Fig. 5b

Fig. 5. - Circuits imprimés.

« Nand » à 3 entrées (7410) sont envoyés à l'entrée d'un diviseur par  $10^4$  constitué par 4 décades 7490. Les deux dernières d'entre elles sont câblées de façon à délivrer un signal de sortie symétrique (division par 5 précédant la division par 2). Un commutateur permet de choisir la sortie de la troisième ou de la quatrième décade pour l'attaque de l'amplificateur de sortie.

### LA RÉALISATION PRATIQUE

Elle ne pose aucun problème, le système fonctionne dès la mise sous tension. L'ensemble des 3 D R M et des décades a été câblé sur une seule plaquette imprimée dont le dessin est reproduit sur la figure 5. Une plaquette annexe fixée à la première par une colonnette supporte l'oscillateur et l'amplificateur de sortie.

Les roues codeuses étant reliées aux entrées de consigne du D R M tout l'ensemble électronique peut être réglé avant d'être mis en place dans le coffret ou inversement être dégagé d'un seul bloc pour un dépannage éventuel.

Nous n'avons pas prévu d'alimentation secteur dans le coffret. Le 5 volts (350 mA) étant amené sur deux prises à l'arrière à partir d'une alimentation extérieure alimentant d'autres circuits. Si on le désire, une alimentation autonome peut très facilement être réalisée à l'aide d'un transformateur 6 V 500 mA et un système de stabilisation et de filtrage classique.

### LES PERFORMANCES

Elles sont exactement celles attendues. On peut reprocher au montage de ne fournir que des signaux rectangulaires.

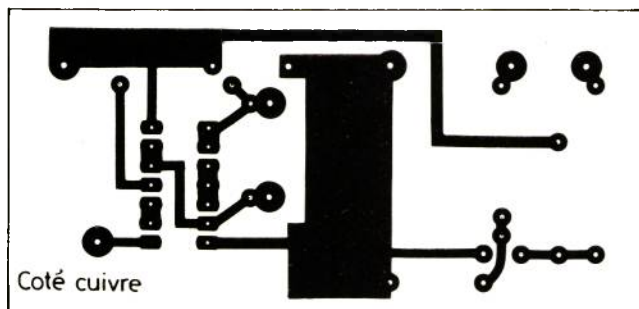


Fig. 5c

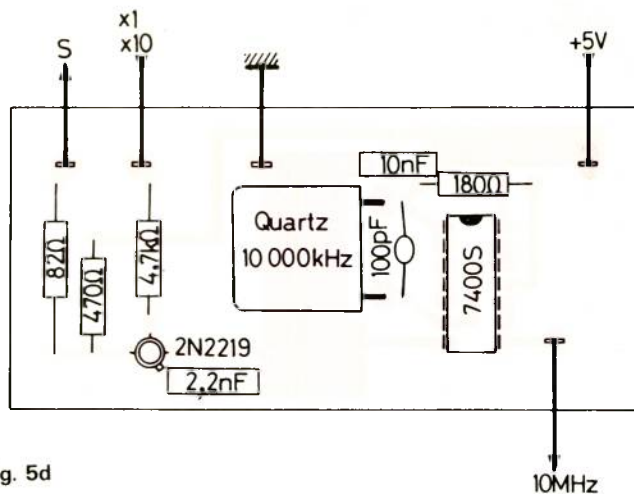


Fig. 5d

res, mais cela suffit pour effectuer des étalonnages de fréquence.

Pour obtenir des signaux parfaitement sinusoïdaux l'asservissement en phase d'un oscillateur extérieur sur le synthétiseur précédent est très facile, il en découle d'ailleurs une grande amélioration de la pureté spectrale du signal fourni.

Nous avons réalisé un tel oscillateur asservi qui fera l'objet d'un prochain article.

### NOMENCLATURE

— Circuits intégrés :  
3 SN 74167, 1 SN 7410, 4 SN 7490, 1 SN 7400 S

Texas Instruments (Tekelec Airtronic, B.P. N° 2, 92310 Sèvres ou Radio Voltaire, etc.).

- Quartz 10 000 kHz Beric 43, rue Victor-Hugo, 92240 Malakoff ou Radio Voltaire.
- Roues codeuses série S 61000 M 1.2.4.8 C (R.T.C. ou Radio Voltaire, 150 avenue Ledru-Rollin, Paris

11°) (3 éléments avec extrémités de fixation).

- 2 interrupteurs (inverseur unipolaire).
- Boîtier 135 x 135 x 60 (Radio MJ - rue Claude Bernard, Paris 5°).

J.A.

# RÉALISEZ CET AMPLIFICATEUR

(Suite de la page 205)

$Q_3$  étant monté en collecteur commun, c'est sur son émetteur que nous prélevons la modulation avec  $C_8$ -10  $\mu$ F.

Le gain de ce préampli est de l'ordre de 30.

Le signal en sortie de ce préamplificateur RIAA est appliqué au commutateur de fonction électromécanique (module 275 [C]).

### Le circuit imprimé (fig. 10).

Si celui-ci est de faibles dimensions (84 x 61 mm) disons tout de suite qu'il ne reçoit les composants que d'une seule voie. Il est donc nécessaire de réaliser deux cartes 275 (A).

Les liaisons sont peu nombreuses, ce qui simplifie le travail. On peut utiliser des pastilles de  $\varnothing$  2,54 mm et de la bande de 1,27 mm.

Tous les perçages s'effectuent avec un foret de 0,8 mm à l'exception des deux trous de fixation forés à  $\varnothing$  3,2 mm.

Avant de commencer l'opération de câblage, bien désoxyder les pistes cuivrées en les frottant avec un tampon Jex.

### Câblage du module :

Le plan de câblage est celui de la figure 11. Tous les composants étant repérés par leur symbole électrique, se reporter à la nomenclature pour en connaître la valeur nominale.

Bien veiller à l'orientation



Fig. 12

des transistors et des condensateurs électrochimiques.

Utiliser de la soudure à 60 % pour éviter les soudures froides.

La photographie figure 12 permet de voir le travail à effectuer. On peut d'ailleurs constater une petite différence entre les figure 11 et 12, le réseau  $R_9$ -300  $\Omega$  et  $C_7$ -33 pF n'étant pas à la même place. Seule la figure 11 est valable, une petite modification étant intervenue lors des essais de l'appareil.

Les deux modules 275 (A) étant câblés et vérifiés, on dissout la résine des points de soudures avec du trichloréthylène et, pour éviter toute oxydation, on pulvérise une couche de vernis sur les pistes cuivrées.

B. DUVAL