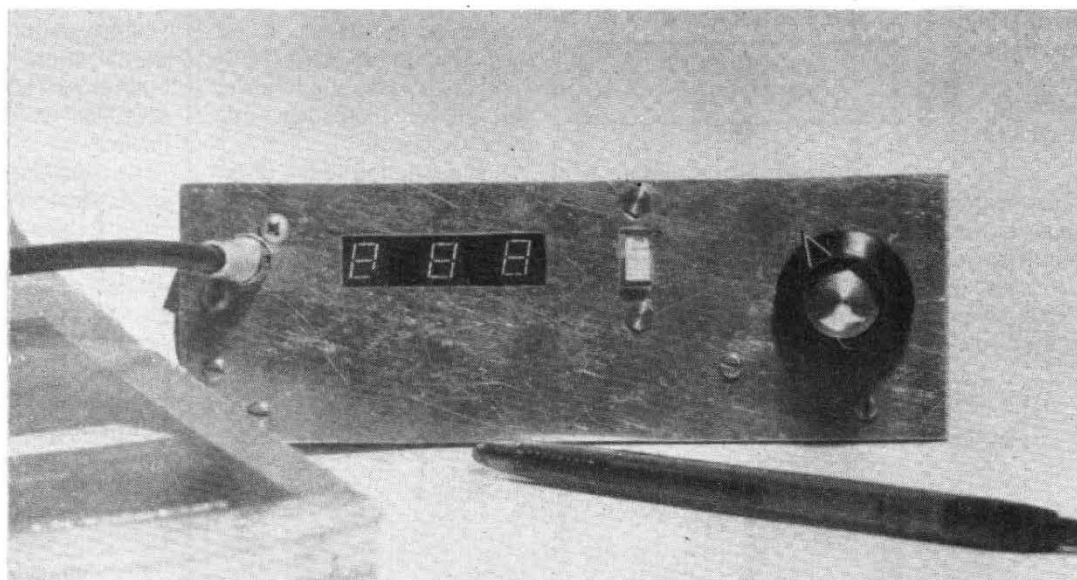


15. — LA MESURE

DES FREQUENCES

construction d'un fréquencesmètre



digital simplifié

FAISANT suite à la précédente description, nous vous proposons un appareil beaucoup plus simple, dont les performances sont néanmoins très intéressantes, puisqu'il couvre le domaine BF et HF (Radio-diffusion) avec une précision tout à fait satisfaisante.

La réalisation est à la portée des amateurs moyens à peine familiarisés avec la technique digitale mais qui sont assez minutieux. Pour ne pas rebuter certains d'entre eux, nous avons choisi la technologie des

circuits Veroboard facile et relativement rapide à mettre en œuvre.

L'accent a été mis sur les deux points suivants :

- dimensions et consommation réduites (alimentation éventuellement par piles),
- faible coût.

Par l'utilisation de compteurs/afficheurs combinés, on a pu réduire à 11 le nombre de circuits intégrés logiques et à 6 le nombre de transistors, de sorte que la consommation totale reste réduite et le coût (relativement) peu élevé.

LES CARACTERISTIQUES DE L'APPAREIL

On ne fait appel qu'à trois digits, ce qui permet, par le jeu du commutateur de gammes d'aller :

- de 1 Hz à 999 Hz sur la gamme Hz,
- de 1 kHz à 999 kHz sur la gamme kHz,
- de 0,1 MHz à environ 12 MHz sur la gamme MHz (la limitation est, dans ce cas, due aux circuits de comptage).

Malgré le nombre réduit de digits, la précision de la mesure avec une base de temps à quartz n'en est pas moins intéressante surtout si l'on sait manier judicieusement le commutateur de gammes. Ainsi, si l'on réalise les lectures suivantes :

- MHz lecture 0 ou 1,
- kHz lecture 2,5 ou 2,6,
- Hz lecture 522,

on en conclura que la fréquence du signal mesuré est de $2\,522\text{ Hz} \pm 1\text{ Hz}$.

De la même façon, MHz lecture 10,3 :

kHz lecture 25,8, correspondant à une fréquence de 10 258 kHz ou 10,258 MHz.

On se limitera à la cinquième décimale car la précision ne sera pas meilleure que 10^{-5} dans des conditions habituelles de mesure.

La sensibilité de l'appareil pour un signal sinusoïdal de 1 kHz. Elle reste à peu près constante jusqu'à 10 MHz.

La consommation moyenne est de 500 mA avec des pointes pouvant atteindre 600 mA (affichage de 888) ce qui reste compatible avec une alimentation à piles de forte capacité.

Les dimensions de l'appareil ne sont que de 15 x 15 x 5 cm, ce qui permet de le loger dans un espace très restreint au même titre qu'un simple contrôleur universel. Son poids est de l'ordre de 1 kg, en ordre de marche.

L'utilisation de cet appareil, nous l'avons indiqué, s'étend au domaine des fréquences les plus couramment utilisées : de quelques Hz à 12 MHz, ce qui permet de mesurer avec préci-

sion la fréquence d'un générateur BF, celle d'effacement d'un magnétophone, ou la fréquence intermédiaire d'un récepteur à modulation de fréquence.

Utilisé avec un prédiviseur par 10, la fréquence de fonctionnement pourra s'élever à 120 MHz, ce qui couvre largement toutes les gammes de radio-diffusion y compris la FM.

En liaison avec un microphone et un petit amplificateur BF, on pourra évaluer la fréquence de résonance d'un local, d'une machine, etc. Le fait que cet appareil soit portable est très appréciable dans ce cas.

LE CIRCUIT D'ENTRÉE

La figure 34 représente le schéma de ce circuit très simple.

L'attaque se fait à haute impédance (1 M Ω) à travers un condensateur d'isolement. Le dispositif de protection à

résistance série et diodes tête-bêche est très efficace pour éviter la destruction du FET d'entrée.

Le signal est dirigé vers la grille de T1 (2N4416) monté entre base et collecteur d'un PNP T2 (2N2894). Ce dispositif est semblable à celui du fréquence-mètre précédemment décrit. Le point de fonctionnement optimal (sensibilité maximale) est déterminé par le courant dans le FET, réglé au moyen d'une résistance ajustable de 120 Ω placée, en série avec 47 Ω , dans le drain de T1.

La base de T3 (2N918) est attaquée en liaison directe. Ce transistor NPN est monté de façon classique en émetteur commun avec une faible charge de collecteur. Il est relié directement à T4 (NPN 2N918) en émetteur follower qui abaisse l'impédance de sortie du circuit.

L'alimentation se fait directement sur la source 5 V. On prend la précaution de la découpler, sur la carte, au moyen de deux condensateurs montés en parallèle (0,1 μ F et 470 μ F).

La bande passante est suffisante pour la rapidité maximale de comptage des circuits. On peut encore l'améliorer pour éviter une légère chute au-delà de 10 MHz par la mise en série d'une inductance de 10 μ H (10 tours sur ferrite de \varnothing 4 mm) avec la charge de collecteur de T3.

LA BASE DE TEMPS

Le principe, toujours le même, consiste à générer un certain nombre de signaux d'allure rectangulaire dont la fréquence de récurrence ou la largeur des créneaux soit bien définie et constante.

Ces signaux sont élaborés à partir d'un oscillateur à quartz, donc très stable, et une série de diviseurs de fréquence.

Le schéma est représenté sur la figure 35.

L'oscillateur se fait directement sur la source 5 V. On prend la précaution de la découpler, sur la carte, au moyen de deux condensateurs montés en parallèle (0,1 μ F et 470 μ F).

L'oscillateur comporte 3 transistors en liaison directe. Le bouclage sélectif est obtenu en réunissant à travers un condensateur ajustable et le quartz, les émetteurs de T5 et de T6. La base de T6 est maintenue à un potentiel statique et dynamique constant grâce à un pont de résistances entre +5 V et masse et d'un condensateur de découplage.

Le transistor T6, monté en émetteur follower abaisse l'impédance de sortie. Le transistor T7 est monté en amplificateur écrêteur ; il isole également le circuit de l'utilisation de celui de l'oscillateur.

On trouve sur le collecteur de T7 une tension rectangulaire à 100 kHz. Cette fréquence est ensuite divisée 5 fois par 10 au moyen des 5 SN7490 montés en cascade (CL1 à CL5).

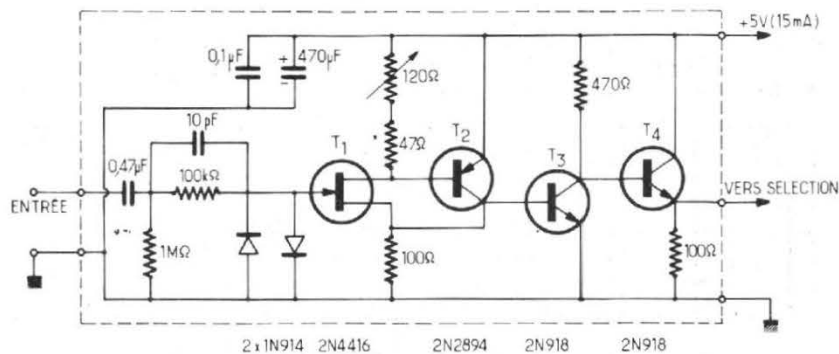
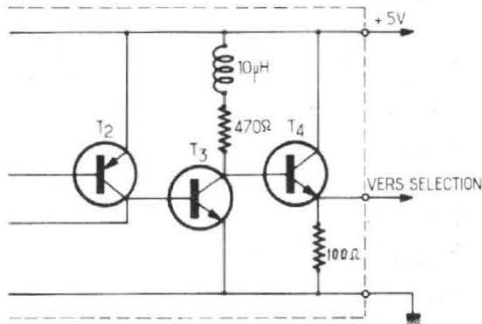


Fig. 34. - Circuit d'entrée avec variante à plus large bande.



LE CIRCUIT DE COMPTAGE ET D'AFFICHAGE

Le schéma est présenté sur la figure 36.

Ce sous-ensemble est cer-

tainement le plus original du montage puisqu'il ne comporte que 5 circuits intégrés pour réaliser la sélection, la génération des signaux fonctionnels, le comptage et l'affichage.

En fait cette tâche est facilitée par l'utilisation de circuits

TIL 306 ou TIXL 306 de Texas Instruments (Radio-Voltaire) qui comprennent chacun tous les éléments d'une décade affichante soient :

— un circuit diviseur par 10,

La plus basse fréquence du signal est donc de 1 Hz (créneau de 0,5 sec.). Or, pour le comptage des Hz on a besoin d'un créneau de 1 sec. C'est ce qui est obtenu par le diviseur par 2 (CL6).

Ainsi les signaux suivants, seront utilisés : 1 s, 10 ms et 10 μ s pour les créneaux de sélection, 1 Hz, 100 Hz et 100 kHz pour la synchronisation du comptage, 100 ms pour la génération des impulsions de transfert.

L'alimentation sous 5 V de la base de temps entraîne une consommation de 120 mA. On veillera à son bon découplage par un condensateur de 470 μ F doublé d'un 0,1 μ F céramique.

Compte tenu de sa compacité, la carte base de temps pourra être utilisée pour piloter un autre fréquencemètre ou pour constituer une source de fréquences étalon, par exemple pour la calibration d'une base de temps d'oscilloscope. Son alimentation, dans ce dernier cas, pourrait être constituée d'une simple pile plate de 4,5 V.

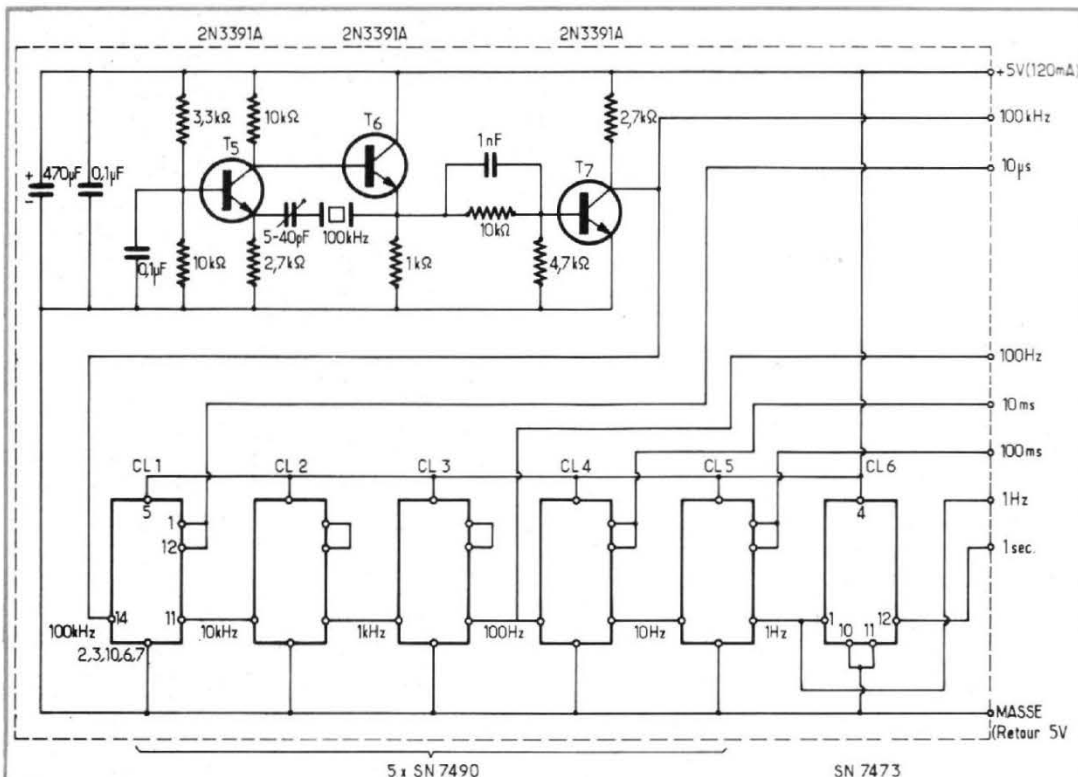


Fig. 35. - Le circuit de base de temps.

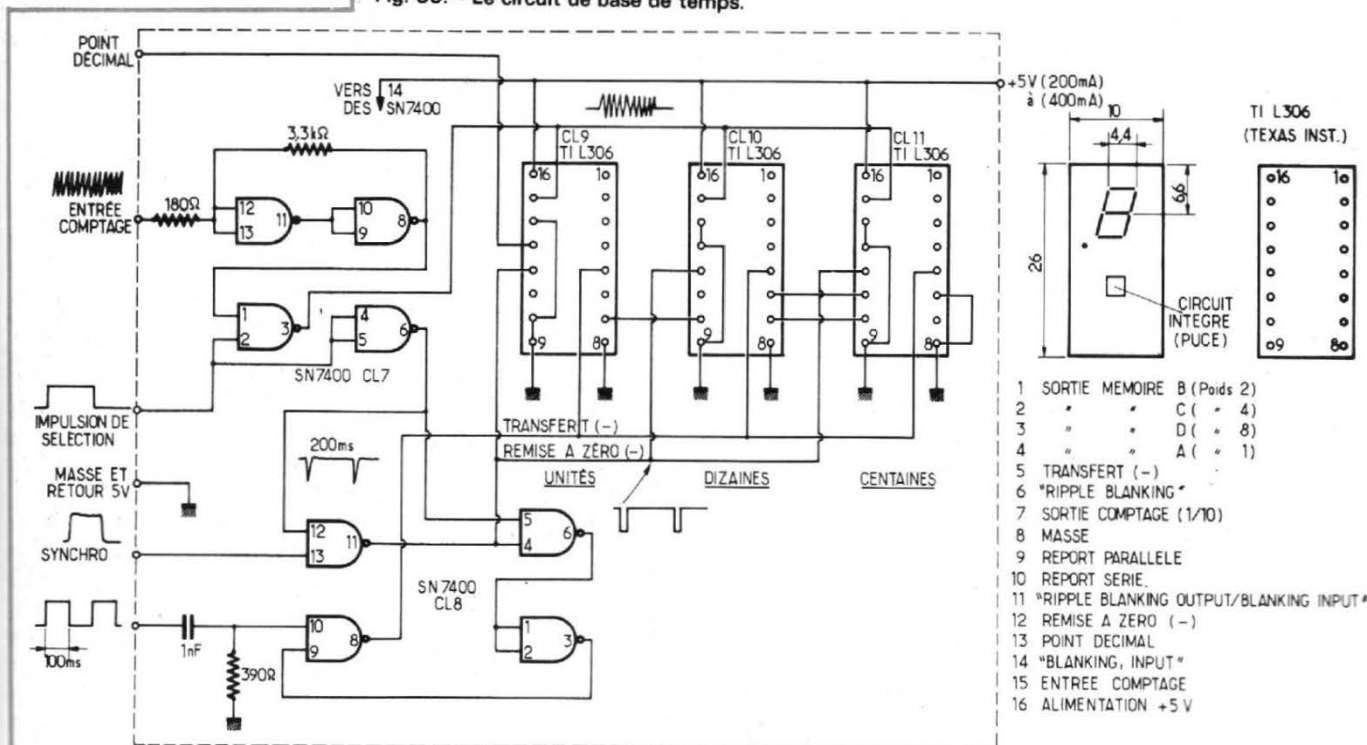


Fig. 36. - Circuit de comptage et d'affichage.

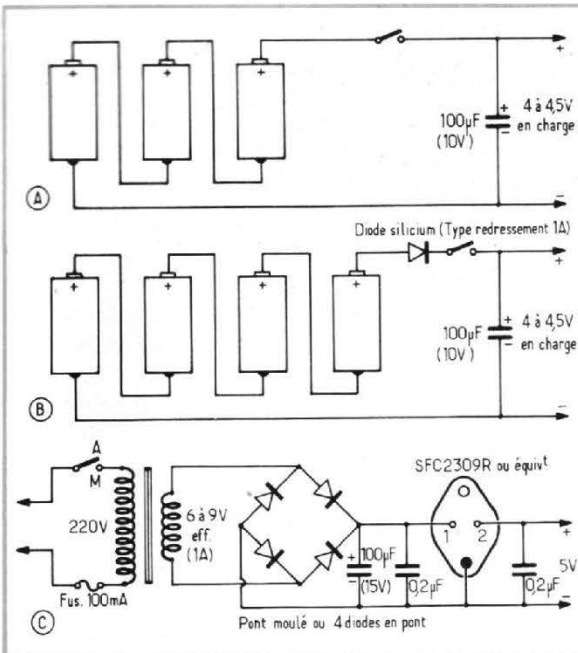


Fig. 37. - Alimentation piles ou secteur.

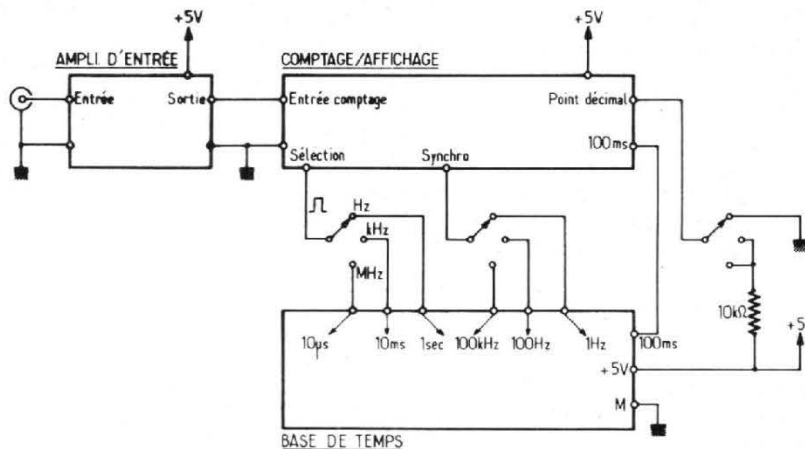


Fig. 38. - Interconnexions des circuits.

- une mémoire à 4 bits,
- un décodeur/driver pour 7 segments,
- un afficheur 7 segments à LED (y compris le point digital).

Ce circuit permet donc, par toutes les fonctions qu'il remplit, de gagner une place importante. En effet, chaque élément est disposé sur un boîtier DIL 16 broches. Il ne mesure que 10 x 26 mm. Les chiffres affichés sont très lumineux, même avec une alimentation de 4 V.

Le circuit de sélection SN7400 (CL7) reçoit le signal d'entrée amplifié (entrée comptage) et l'impulsion de

sélection. Deux circuits NAND composent une bascule de mise en forme. Le 3^e NAND sert à opérer la sélection. Il reçoit la sortie du 2^e NAND et le créneau de sélection. Le 4^e NAND, enfin, sert à inverser le créneau de sélection pour son utilisation dans le dispositif de génération des signaux fonctionnels : les impulsions de transfert et celles de remise à zéro.

Ce dispositif comprend essentiellement un circuit intégré SN7400 (CL8) qui utilise :

- le créneau de sélection inversé,
- la synchro venant de la

base de temps à travers le commutateur de gammes, — un signal de 100 ms.

Le diagramme des signaux est du même type que celui que nous avons décrit, au début de ce chapitre, pour le fréquencemètre à 5 digits (voir figure 16) : nous ne l'avons pas présenté de nouveau.

Le générateur de signaux fonctionnels fournit des impulsions de transfert négatives très courtes se répétant toutes les 200 ms (on les obtient par différenciation des créneaux de 100 ms) et des signaux de remise à zéro sous forme d'impulsions également négatives dont la fréquence de

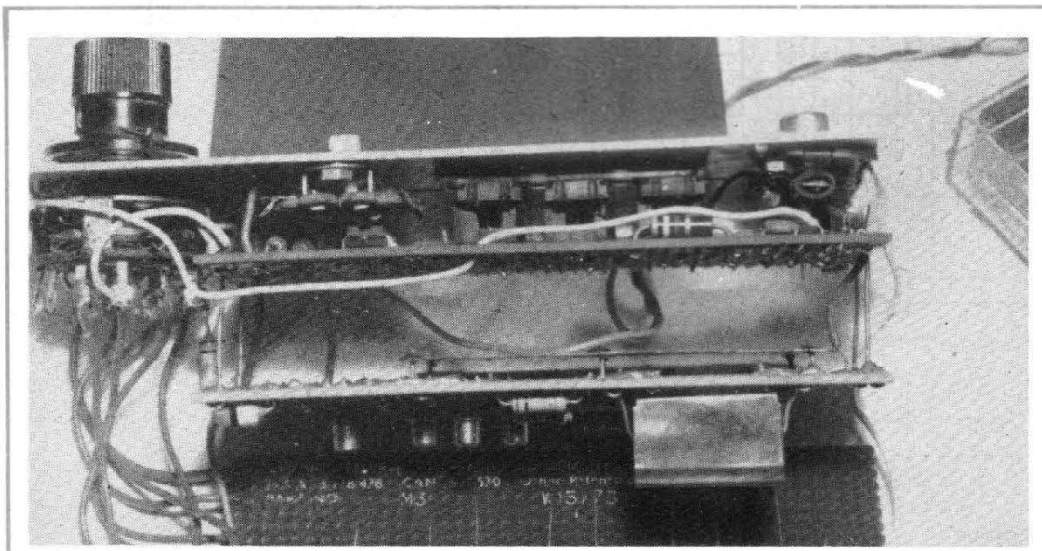
répétition est calquée sur celle des créneaux de sélection et qui sont utilisées entre deux opérations de comptage.

Le comptage affichage réalisé par CL9, CL10 et CL11 fait appel à un câblage d'interconnexions très simplifié comme le montre la figure. Contrairement à ce qui était pratiqué sur les circuits du fréquencemètre à 5 digits, les circuits sont ici attaqués en parallèle. Le signal sélectionné est en effet envoyé simultanément sur les entrées 15 des décades.

Chaque sortie de comptage (7) est réunie à une entrée « report série » (10). On notera également l'utilisation du système d'effacement des zéros inutiles. C'est ainsi que le nombre 7 ne s'affichera pas 007 mais seulement 7 sur le circuit des unités. Par contre le nombre 700 sera bien représenté intégralement. Cette disposition est précieuse puisqu'elle limite la consommation moyenne de courant.

La place manque pour décrire en détail le fonctionnement de ces circuits. Les lecteurs intéressés consulteront la documentation du constructeur.

La consommation des circuits de comptage et d'affichage et des circuits associés varie de 200 à 400 mA suivant la présentation des chiffres.



Il va de soi que l'on pourrait remplacer les TIL 306 par des circuits conventionnels 7 segments + décodeur/driver SN7447 + mémoire SN7475 + décade SN7490, mais il va également de soi que l'encombrement ne serait plus le même...

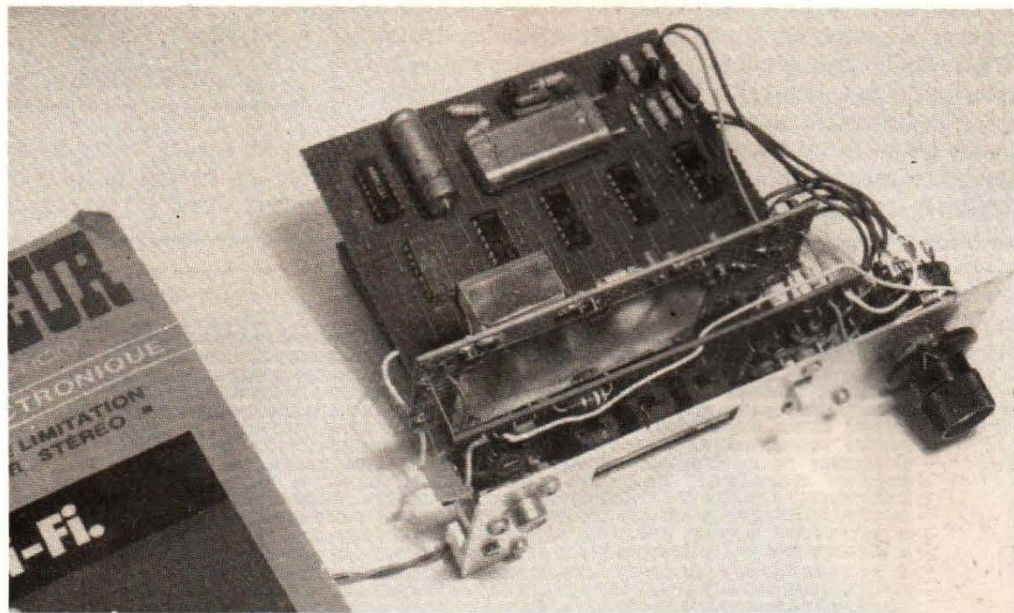
L'ALIMENTATION (+ 5 V, 500/600 mA)

On peut utiliser deux types d'alimentation : secteur ou batteries.

Sur la figure 37A est présenté le type le plus élémentaire d'alimentation qui fait appel à 3 éléments de pile torche R20 donnant une tension de 4,7 à 4,8 V. Cette tension baissera à 4,2/4,4 V en charge et ne permettra pas une utilisation très prolongée de l'appareil surtout si les éléments ne sont pas à forte capacité. En-dessous de 3,8 V les performances de l'appareil commencent à s'altérer, ce qui limite l'autonomie de l'appareil à un temps relativement court de l'ordre de l'heure à la condition de ne l'utiliser que pendant de courtes périodes afin de permettre au dépolari-

sation de faire son office. Une durée plus longue et un fonctionnement plus stable seront obtenus par le circuit de la figure 37B. Dans ce cas, on utilise 4 éléments de piles (tension maximale 6,4 V) en série avec une diode silicium (type redressement 1A), de sorte que la tension disponible sera de 4,8 à 5,2 V en charge. En fin d'utilisation des piles, soit vers 4 V en charge, on pourra court-circuiter la diode ce qui prolongera la durée d'utilisation.

Bien entendu, ces chiffres sont relatifs à l'utilisation d'éléments zinc/carbone. Avec des piles alcalines ces durées sont doublées ou triplées et la tension demeure plus constante en fonction du courant et du vieillissement. Dans ce cas, cependant, comme la tension aux bornes d'un élément est plus faible,



on n'utilisera que la solution à 4 éléments sans diode.

L'alimentation secteur de la figure 37C est très classique : elle fait appel à un transformateur 220/6,3, 1A, un pont de diodes, un filtrage sommaire et un régulateur intégré. Ce montage, très fiable, protégé contre les surintensités, les

court-circuits et l'échauffement prohibitif a déjà été cité dans le montage précédent.

Une solution originale pourrait être l'emploi d'une alimentation mixte secteur/batteries à inverseur ou mieux secteur/accumulateurs cadmium-nickel (avec un montage tampon).

LES INTERCONNEXIONS

Par suite de la décomposition des différentes fonctions en cartes séparées, les interconnexions sont très réduites (voir fig. 38).

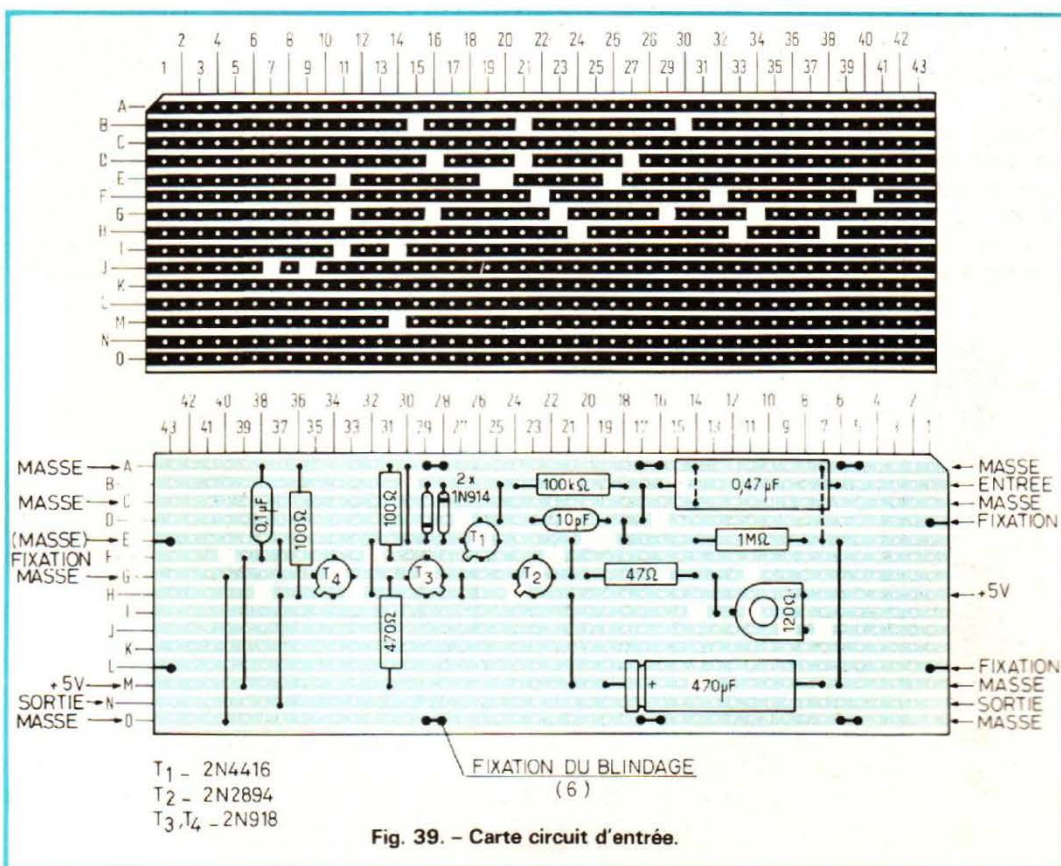


Fig. 39. - Carte circuit d'entrée.

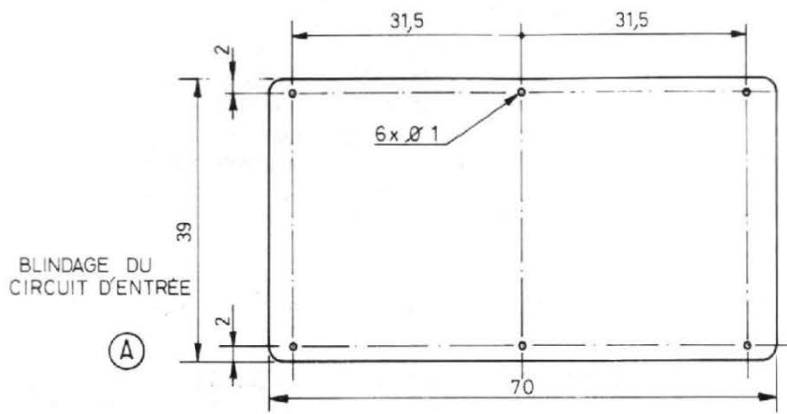


Fig. 42. - Assemblage des cartes entrée et affichage.

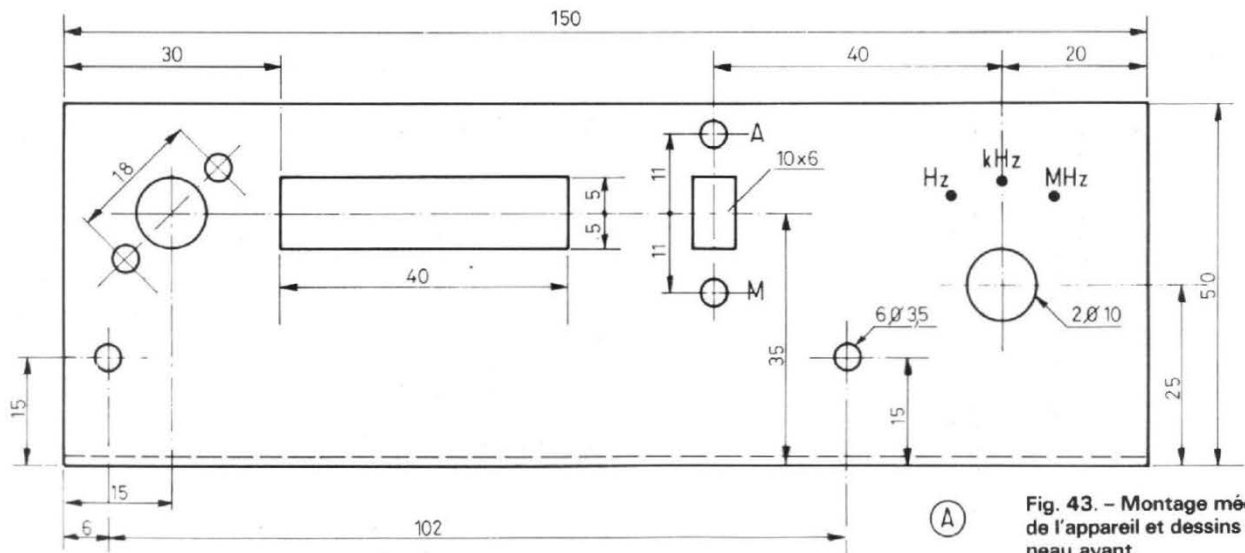
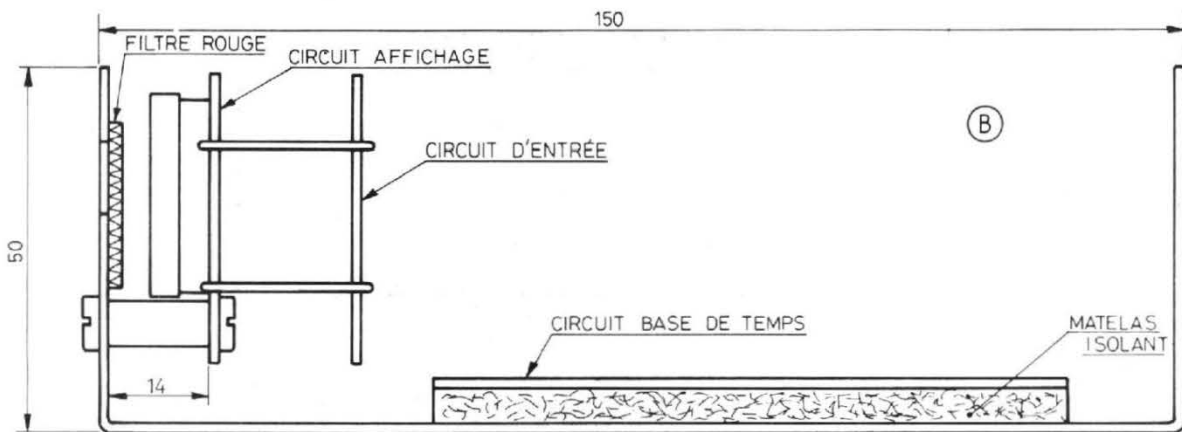
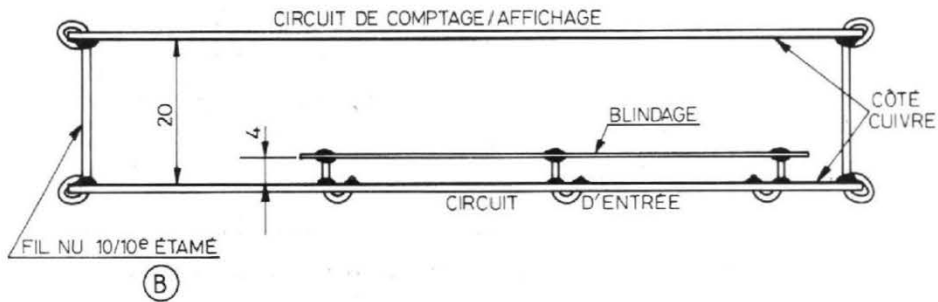


Fig. 43. - Montage mécanique de l'appareil et dessins du panneau avant.

**ASSEMBLAGE DES
CARTES ENTRÉE
ET AFFICHAGE**

La carte entrée sera munie d'un blindage de 39 x 70 mm fixé à 4 mm du circuit (côté

De plus, 2 trous de 3,2 mm de diamètre seront percés pour la fixation aux points N2 et N42. Une échancrure rectangulaire sera pratiquée sur les bandes F, G, H (côté 43), sur une profondeur de 3,5 mm.

La disposition des composants représentée sur la figure 41B montre bien la grande simplicité de ce circuit surtout si on le compare aux précédentes décades affichantes.

Les circuits CL7 et CL8

(SN 7400) seront soudés directement sur le circuit. Des supports 2 x 8 broches seront soudés pour recevoir les décades affichantes aux endroits indiqués. Ces supports ont pour mission de surélever les afficheurs.

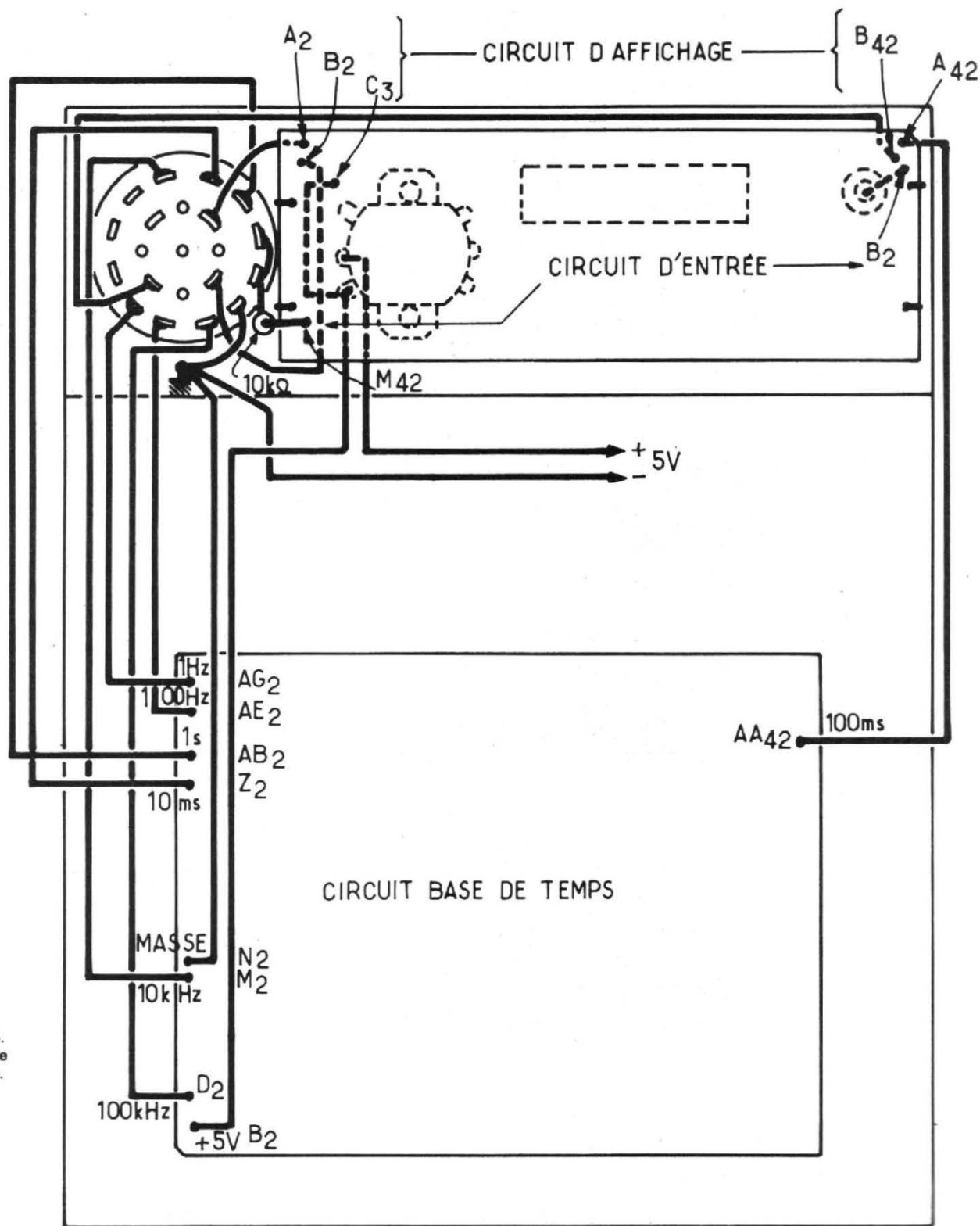
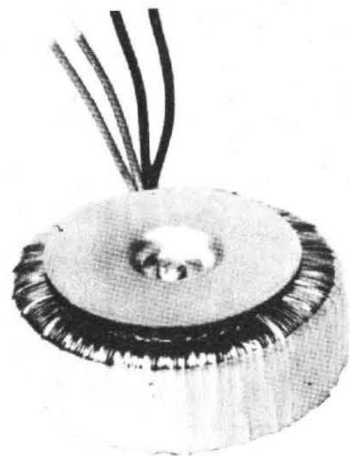


Fig. 44.
Câblage
interne.

TRANSDUKTOR AB

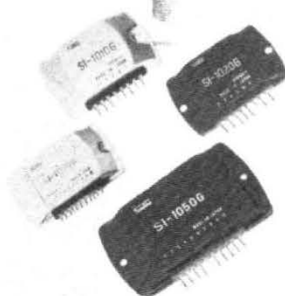


Transformateurs
Toroidaux non
Rayonnants



Type	Tens. au sec. V	Cour. au sec. A	Puis. VA	Dimensions Ht mm Ø mm sans : avec (rondelles)	Poids kg
6031	10	1,5	15	60 33	0,330
6061	15	1,0	15	60 33	0,330
6062	30	0,5	15	60 33	0,330
6042	2 x 6	1,25	15	60 33	0,330
6033	2 x 10	0,75	15	60 33	0,330
6038	2 x 12	0,62	15	60 33	0,330
6020	2 x 15	0,5	15	60 33	0,330
6046	2 x 18	0,41	15	60 33	0,330
6032	10	3,0	30	72 34	0,900
6063	24	1,25	30	72 34	0,900
6064	30	1,0	30	72 34	0,900
6043	2 x 6	2,5	30	72 34	0,900
6034	2 x 10	1,5	30	72 34	0,900
6021	2 x 15	1,0	30	72 34	0,900
6047	2 x 18	0,83	30	72 34	0,900
6065	24	2,1	50	82 37	0,650
6066	35	1,4	50	82 37	0,650
6039	110	0,45	50	82 37	0,650
6044	2 x 6	4,1	50	82 37	0,650
6041	2 x 10	2,5	50	82 37	0,650
6022	2 x 15	1,6	50	82 37	0,650
6023	2 x 20	1,25	50	82 37	0,650
6067	15	5,3	80	95 38	1,050
6068	24	3,3	80	95 38	1,050
6069	35	2,3	80	95 38	1,050
6010	42	1,8	80	95 38	1,050
6045	2 x 6	6,6	80	95 38	1,050
6048	2 x 18	2,2	80	95 38	1,050
6024	2 x 22	1,8	80	95 38	1,050
6025	2 x 30	1,3	80	95 38	1,050
6011	24	5,0	120	95 47	1,250
6012	42	2,8	120	95 47	1,250
6035	110	1,0	120	95 47	1,250
6049	2 x 18	3,3	120	95 47	1,250
6026	2 x 22	2,7	120	95 47	1,250
6027	2 x 30	2,0	120	95 47	1,250
6013	24	6,7	160	115 42	1,600
6014	42	3,8	160	115 42	1,600
6015	54	2,9	160	115 42	1,600
6050	2 x 18	4,4	160	115 42	1,600
6028	2 x 22	3,6	160	115 42	1,600
6040	2 x 30	2,6	160	115 42	1,600
6016	24	9,4	225	115 50	2,000
6017	42	5,0	225	115 50	2,000
6036	110	2,0	225	115 50	2,000
6029	2 x 30	3,7	225	115 50	2,000
6018	24	12,5	300	115 60	2,500
6019	42	6,0	300	115 60	2,500
6037	110	2,7	300	115 60	2,500
6030	2 x 30	5,0	300	115 60	2,500
7010	2x5 + 2x13	2,2	80	95	1,000
7310	48	2,8	140	115	1,500
T500	2 x 60	2,7	330	140	3,600

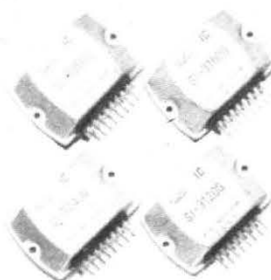
Sanken



Amplis hybrides SANKEN - 10 - 20 - 30 et 50 watts efficaces



Régulateurs de tension hybrides SANKEN 5 V - 12 V - 15 V et 24 V (1,5 A)



Régulateurs de tension hybrides de différents voltages



Ampli hybride opérationnel

cuivre). Pour réaliser cette opération on s'aidera des figures 39 B et 42A et B.

Les deux cartes seront rendues solidaires au moyen de 4 tiges en fil rigide étamé de 10/10^e. Les deux faces cuivre sont en regard à 20 mm environ de distance. Pour ne pas commettre d'erreur, on consultera les figures 39B, 41B et 42B. On notera que l'alignement des points de fixation est tel que les angles fraisés des deux cartes sont opposés : ainsi, l'angle A1 du circuit d'entrée fera face à l'angle A43 du circuit d'affichage.

Le câblage entre les deux cartes s'effectuera de la manière suivante :

- Relier N42 (entrée) à K2 (affichage)
- Relier M42 (entrée) à B2 (affichage).

RÉALISATION DE LA TÔLERIE ET ASSEMBLAGE FINAL

Le châssis métallique de l'appareil est formé par une planche d'AGS de 10/10^e de 252 x 150 mm pliée à chaque extrémité de façon à former un étrier.

La figure 43A représente le dessin de la face avant de l'appareil avec ses ouvertures et ses marquages. Le dessin de la figure 43B montre comment sont assemblés les différents circuits. On fixera par collage sur la face avant interne un filtre rouge, en plexiglass teinté, par exemple, devant l'ouverture rectangulaire de 10 x 40 mm.

L'entrée est prévue pour une embase CINCH. L'inverseur A/M est du type plat à glissière de façon à ne pas prendre trop d'encombrement en épaisseur. Le commutateur de gammes est un modèle rotatif (4 x 3 positions) de dimensions réduites.

Les deux circuits entrée et affichage seront fixés sur la

face avant au moyen de 2 entretoises filetées de 14 x 5 mm ainsi qu'il est indiqué sur la figure 43B.

Le circuit de base de temps peut être fixé de plusieurs façons. L'une des plus simples consiste à coller ce circuit sur un matelas isolant genre polystyrène expansé. On peut également, si une alimentation sur piles est prévue disposer le circuit base de temps au-dessus des éléments de pile, couchés à plat au fond du châssis.

La figure 44 représente les interconnexions de câblage interne, notamment entre le commutateur de gammes et les différents circuits.

L'entrée est réunie au point B2 du circuit d'entrée. Le fil correspondant passe par l'échancrure pratiquée dans le circuit d'affichage.

MISE AU POINT

Le processus de mise au point de ce fréquencemètre est strictement le même que celui que nous avons décrit précédemment. Il consiste à ajuster la résistance réglable de 120 Ω située sur la carte entrée pour obtenir un comptage stable avec un signal à 50 Hz, par exemple, avec un niveau aussi faible que possible.

Si nécessaire, le réglage de la fréquence de l'oscillateur de la base de temps s'opère par comparaison avec une source étalon comme Droitwich (voir le chapitre consacré à la calibration). Ce réglage n'est à entreprendre que dans la mesure où l'on désire obtenir une valeur très précise des signaux de la base de temps, ce qui pourrait être le cas de l'utilisation de ce circuit pour piloter un fréquencemètre à 5 digits ou pour constituer une source de signaux d'étalonnage.

(à suivre)

tradelec

9, av. de la Porte de la Plaine, 75015 Paris - tél. 531 51 37