

21

✓

CONTRIBUTI
DELL'OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI MILANO · MERATE

a cura del Direttore
Prof. FRANCESCO ZAGAR

NUOVA SERIE

N. 162

E. PROVERBIO

LES SIGNAUX DE TEMPS ET
LEUR UTILISATION
A L'OBSERVATOIRE ASTRONOMIQUE
DE BRERA · MILAN

Extrait du Bulletin Annuel de la Société Suisse de chronométrie
vol. IV - 1960

CONTRIBUTI
DELL'OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI MILANO - MERATE

a cura del Direttore
Prof. FRANCESCO ZAGAR

NUOVA SERIE

N. 162

E. PROVERBIO

LES SIGNAUX DE TEMPS ET
LEUR UTILISATION
A L'OBSERVATOIRE ASTRONOMIQUE
DE BRERA - MILAN

LES SIGNAUX DE TEMPS ET LEUR UTILISATION A L'OBSERVATOIRE ASTRONOMIQUE DE BRERA MILAN

Communication de M. Edoardo Proverbio, Milan

Introduction

1. — L'importance fondamentale que revêtent les signaux de temps à la seconde est bien connue. Ils sont sujets à plusieurs applications, soit dans des buts internes au service horaire, soit comme base de transmission des signaux horaires. Dans le second cas, ils prennent des caractéristiques diverses selon l'application à laquelle ils sont destinés.

Comme la prérogative d'un service horaire dans son ensemble est celle de disposer d'un temps local uniforme, déduit astronomiquement, et de conserver ce temps en utilisant des horloges à quartz de stabilité élevée, de même, la qualité de chaque signal de temps local à la seconde, doit consister à garantir, avec la plus grande précision, la constante de l'unité de temps en faisant tout pour limiter les erreurs accidentelles intrinsèques.

En utilisant les horloges à quartz, la technique de la formation des signaux de temps à la seconde a subi des modifications essentielles ; actuellement ces signaux sont obtenus à partir des fréquences étalons produites par les oscillateurs à quartz. L'Observatoire de Brera — à Milan — dispose maintenant de deux horloges à quartz Ebauches, type B-168 et type B-243. On utilise en outre les fréquences étalons de 1 kHz de deux horloges à quartz Belin de l'Institut de Géodésie de l'Ecole polytechnique de Milan, reliée par une ligne spéciale à l'Observatoire, ainsi que les signaux de temps que l'Institut national G. Ferraris envoie continuellement en utilisant un pont-radio.

En comparant deux signaux de temps, avec un dispositif de haute précision, on peut vérifier l'écart de l'un par rapport à l'autre et, à l'aide de nombreuses comparaisons, l'erreur moyenne de chacune d'entre elles. Cette erreur, en considérant comme négligeable l'influence de la variation de la marche des horloges à quartz d'où les signaux sont tirés, dépend exclusivement des erreurs accidentelles intrinsèques aux signaux de temps mêmes et des erreurs de propagation dans le cas des signaux horaires. Du fait que l'on peut arriver actuellement à une très grande précision en utilisant des chronomètres électroniques ou des dispositifs oscillographiques dans la comparaison des signaux de temps, on peut arriver à contrôler la précision des signaux de temps locaux, en améliorant leur stabilité ; ceci pourra permettre de faire une étude très rigoureuse des variations systématiques progressives ou à longue période des signaux mêmes et en particulier des signaux horaires.

Production et caractéristiques des signaux de temps

2. — La réalisation des signaux de temps à la seconde, en partant des fréquences étalons fournies par des oscillateurs à quartz, est liée au problème de la division des fréquences.

Cette question, qui présente de nombreuses difficultés, a été résolue dans le passé en utilisant des diviseurs électroniques à régénération, présentant par rapport aux diviseurs de fréquence par asservissement une très grande rigidité de phase, de l'ordre du centième de degré pour une variation de tension d'alimentation de 10%. La figure 1 montre le fonctionnement de ce diviseur, qui se

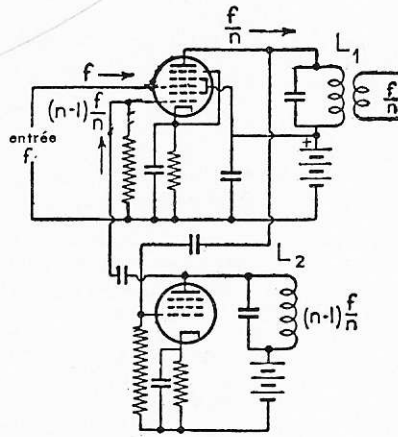
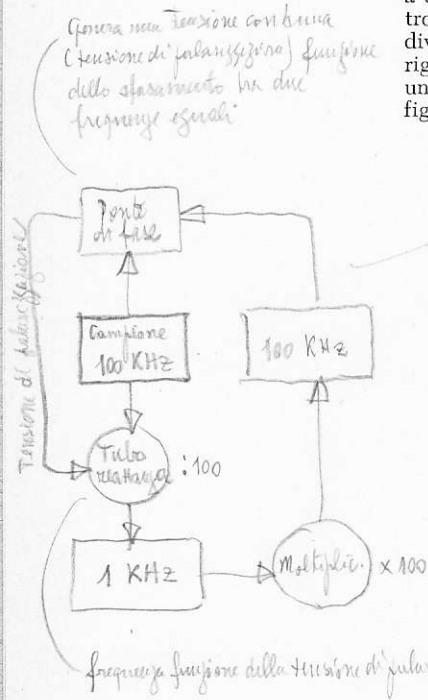


Fig. 1.

compose essentiellement d'une heptode modulatrice de la fréquence f d'entrée. La fréquence de sortie f/n est la même que celle de résonance du circuit oscillant L_1 . Cette fréquence est ensuite multipliée et filtrée par le circuit L_2 , qui donne à la première grille de la lampe modulatrice la fréquence $(n-1) f_2/n$. Pour la stabilité du circuit on doit avoir

$$f - \frac{n-1}{n} f_2 = \frac{f_1}{n},$$

ce qui donne $f = f_1 = f_2$; à la sortie on aura donc une fréquence f/n . La valeur de n avec ces diviseurs ne dépasse pas dans la pratique le facteur 10 de démultiplication.

En utilisant plusieurs diviseurs de ce type, on peut obtenir des fréquences de 1 kHz ou de 50 Hz, du même ordre de stabilité que la fréquence pilote, qui sont ensuite généralement envoyées à une horloge synchrone.

Le contact de la seconde provenant de l'horloge synchrone est enfin inséré dans un circuit qui fournit un signal électrique.

La précision de ce signal, dépendant des irrégularités des contacts ou des irrégularités de marche du moteur synchrone, a été étudiée à l'Observatoire de Milan. On a utilisé à cet effet des horloges synchrones à 1 kHz et 50 Hz. Pour l'erreur moyenne E de chaque seconde, on a trouvé [1] :

$$2,5 \cdot 10^{-4} \text{ s} < E < 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ s}.$$

La valeur de cette erreur a démontré l'incompatibilité des systèmes mécaniques avec la précision qu'exige actuellement un service horaire et qui est donnée par les méthodes de comparaison modernes.

Il a été possible d'obtenir une précision bien plus élevée uniquement en utilisant des signaux de temps à la seconde déduits par voie électronique ; les contacts photoélectriques sont aussi soumis à des irrégularités périodiques de l'ordre du dix millième de seconde, devant être attribuées aux moteurs synchrones.

3. — La méthode la plus commune utilisée pour produire des impulsions ou des signaux à la seconde est celle qui se base sur l'utilisation du multivibrateur bistable d'Eccles-Jordan [2]. C'est le multivibrateur le plus fréquemment employé pour diviser en deux des fréquences impulsionnelles. Dans la figure 2 nous montrons

Oscillatore (divisor) a moltiplicamenti

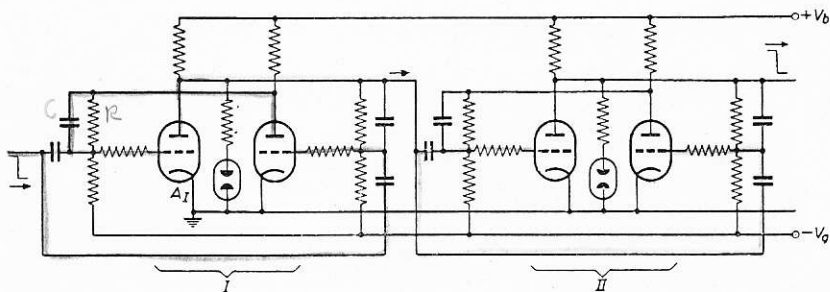


Fig. 2.

une chaîne de deux circuits multivibrateurs capables de diviser en quatre la fréquence des impulsions d'entrée. L'anode de la première triode A_1 est connexe aux grilles des lampes du second multivibrateur. De cette façon, puisqu'on doit envoyer deux impulsions pour faire revenir l'anode de la première triode à l'état initial, la moitié seulement des impulsions appliquées au premier multivibrateur arrivent à l'entrée du suivant.

Cependant la technique moderne des diviseurs de fréquences impulsionnelles est actuellement dirigée vers l'utilisation de tubes compteurs électroniques à cathode

Il primo penna da I a II

Il secondo penna (da I a II) perché me frequenze (costanti di tempo di RC) è primo impulso ha interdetto il primo stadio A_1

Divisione per 2 del multivibrato I

chaude et surtout à cathode froide d'une part, et à l'emploi de semi-conducteurs d'autre part. Nous avons construit à l'Observatoire de Brera plusieurs types de diviseurs à basse fréquence, en utilisant soit des diviseurs décadiques Philips E1T, employés aussi avec de bons résultats aux Observatoires de Paris [3] et de Neuchâtel, soit des tubes miniatures à cathode froide Philips Z70U.

Le fonctionnement du tube E1T est bien connu. Il est fondé sur le principe des tubes à rayons cathodiques avec 10 positions stables. La position du faisceau électronique en dix positions dépendant de la différence de tension entre les deux plaques du tube E1T, on peut, en réglant cette tension, placer le spot de chaque tube compteur sur une position arbitraire initiale parmi les dix à disposition. Ainsi, et en utilisant un Gate commandé par des signaux de temps à la seconde, on peut même utiliser le diviseur comme retardateur de temps.

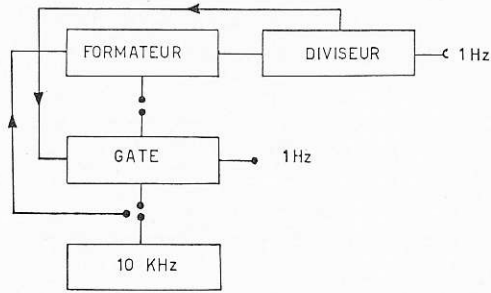


Fig. 3.

Le schéma de la figure 3 montre le dispositif en fonction à l'Observatoire de Milan, pouvant être utilisé soit comme diviseur, soit comme retardateur des signaux de temps. En fonctionnant comme diviseur de la fréquence étalon de 10 kHz, le circuit Gate vient à être exclu.

La fréquence étalon est transformée en utilisant un formateur d'impulsion Philips 88929/03, puis envoyée dans quatre étages diviseurs Philips en cascade de type 88929/02 constitués chacun par un tube de commande E90CC et un compteur décimal E1T. A la sortie du circuit multivibrateur monostable, déclenché par le signal très bref qui sort du dernier étage, on obtient des signaux positifs d'une durée de 20 ms et dont l'amplitude est de 20 V environ, avec la fréquence de 1 Hz. Si, au contraire, le dispositif est utilisé comme retardateur, les signaux de temps provenant d'un diviseur électronique semblable, déclenchent au moyen d'un circuit Gate les impulsions provenant du générateur 10 kHz.

Dans ce cas, les quatre décades du diviseur-retardateur sont prédéterminées en réglant le niveau de tension

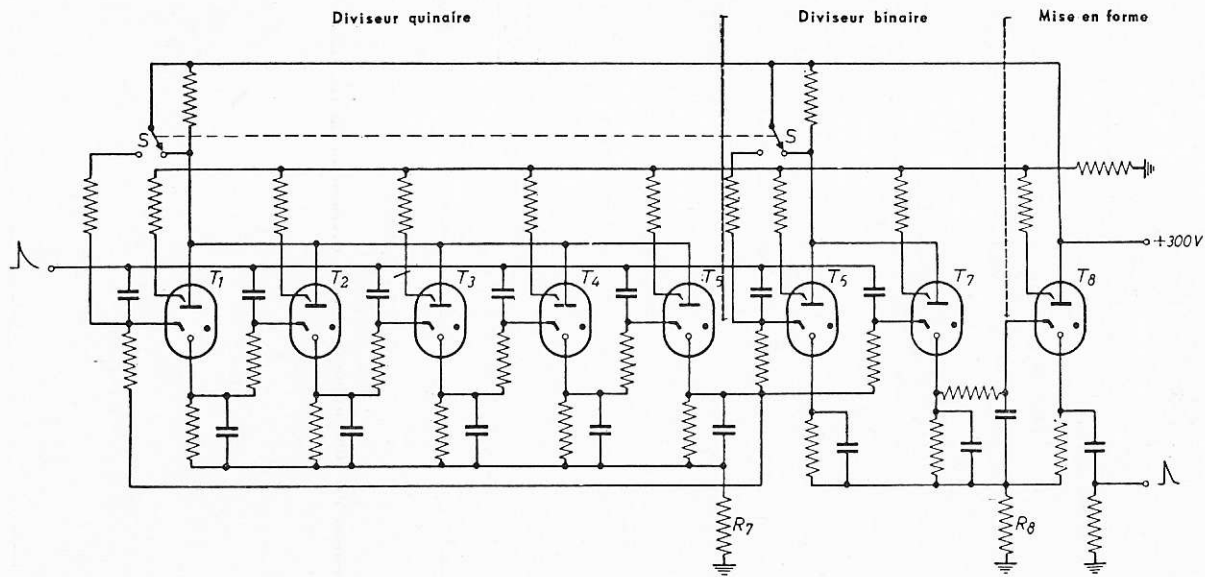


Fig. 4.

d'une des deux plaques de déviation des tubes EIT au moyen de quatre potentiomètres, un par décade, avec dix positions tarées. A la sortie, on prélève du même monostable le signal supplémentaire de stop qui pourvoit à interdire le Gate.

La précision des signaux de temps à la sortie du monostable est très élevée, de l'ordre de quelques μs , en utilisant une alimentation non stabilisée. Nous avons aussi déterminé le retard systématique du diviseur et avons trouvé pour ce retard la valeur de $52 \pm 2 \mu s$.

4. — A la différence des tubes EIT, les tubes à cathode froide Z70U peuvent constituer des diviseurs de fréquence, selon n'importe quel diviseur entier. Leur faible vitesse de comptage (de l'ordre de 1-2 kHz), leur faible consommation et leur longue durée (environ 6000 h) les rendent particulièrement aptes à résoudre de la manière la plus favorable le problème de la production des signaux de temps à la seconde, en partant de basses fréquences.

En utilisant ce type de tube, nous avons réalisé des diviseurs qui donnent des signaux de temps à la seconde en partant des fréquences étalons de 50 Hz, un diviseur qui donne un signal à la minute et enfin un diviseur qui donne un signal à l'heure. La caractéristique particulière des tubes Z70U permet de construire les types de diviseurs les plus variés en utilisant un schéma fondamental de circuit.

Dans la figure 4 nous montrons le montage d'un compteur décimal biquinaire. Nous pouvons mettre en évidence dans ce circuit trois groupes de tubes. Le premier groupe constitue le diviseur fondamental quinaire, le second un diviseur binaire des signaux sortant du diviseur quinaire, et enfin le huitième tube est utilisé comme étage de mise en forme. Les résistances R_7 et R_8 sont communes aux cathodes des deux premiers groupes.

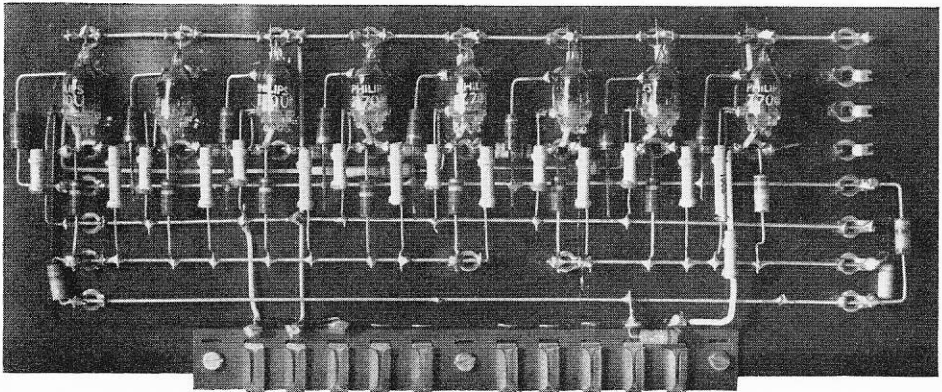


Fig. 5.

L'interrupteur manuel S a pour fonction d'amorcer les premiers tubes des deux groupes. Lorsqu'on applique une impulsion positive, le premier tube du premier groupe s'éteint et le second s'amorce du fait de la chute de tension provoquée aux bornes de la résistance R₇, et ainsi de suite jusqu'à ce que la cinquième impulsion, en amorçant de nouveau le premier tube du premier groupe et le deuxième du second groupe, provoque un nouveau cycle de division quinaire.

En combinant d'une manière adéquate un certain nombre de ces groupes on peut évidemment construire, de la même façon, des diviseurs de quelque ordre qu'ils soient. La figure 5 montre un des diviseurs biquinaires construits à l'Observatoire de Brera (dimensions : 100 × 250 mm), dont l'alimentation de réserve est constituée par un convertisseur à vibreurs alimenté par une batterie de 12 V. Dans la figure 6, au contraire, nous donnons

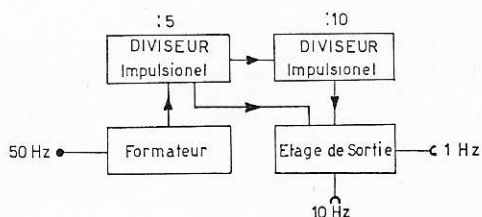


Fig. 6.

le schéma fonctionnel d'un diviseur complet qui, en partant de la fréquence étalon de 50 Hz, donne des signaux de temps à la seconde.

Le formateur d'entrée est constitué par deux étages caractérisés par deux tubes E90CC, le second constituant un multivibrateur monostable. Le premier diviseur quinaire est constitué de 6 tubes Z70U seulement, c'est-à-dire manque le second diviseur binaire de la figure 4.

Dans l'étage de sortie, nous avons encore un circuit monostable d'où l'on prélève le signal dérivé et un tube de mise en forme 19AT7 qui donne des signaux positifs sur la cathode et des signaux négatifs sur l'anode. Ce diviseur rend de très bons services, et sa stabilité est de l'ordre de quelques microsecondes pour une variation de tension inférieure à 10 %. Pour des variations très grandes, dans le cas d'une alimentation non stabilisée, il peut arriver que l'amorçage d'un des tubes du diviseur ne se fasse pas, d'où une erreur de déphasage multiple de 0,02 s aisément décelable.

Nous pouvons donc conclure en disant qu'avec les nouveaux signaux de temps à la seconde déduits électroniquement, on peut exécuter des comparaisons avec une précision intrinsèque très élevée, permettant de montrer des variations journalières de marche de l'ordre

de $1 \cdot 10^{-11}$ s, qui sont à la limite de la précision actuelle des horloges à quartz, atomiques ou moléculaires.

Avec ces mêmes signaux on peut commander des bases de temps oscillographiques de grande stabilité, comme on le fait à l'Observatoire de Brera, pour la comparaison des signaux horaires.

L'utilisation des signaux de temps à l'Observatoire de Brera à Milan

5. — Les signaux de temps à la seconde déduits électroniquement sont utilisés actuellement à l'Observatoire de Milan dans des buts internes au service de l'heure et pour la formation des signaux horaires que l'Observatoire transmet dans des buts techniques et scientifiques.

En ce qui concerne l'utilisation interne des signaux de temps à la seconde, commune d'ailleurs à tous les services horaires, je dirai ici qu'ils ont presque totalement remplacé les anciens signaux locaux déduits des moteurs synchrones.

Dans la comparaison entre les signaux horaires par la méthode oscillographique, nous commandons directement la base de temps de l'oscillographe avec les signaux de temps déduits électroniquement. Ainsi, en déphasant avec un déphaseur au dix millième de seconde la base de temps même jusqu'à la coïncidence avec le début du signal horaire, nous avons réalisé un dispositif, indépendant de la linéarité de la base de temps et d'autres erreurs, permettant d'utiliser la précision élevée des signaux de déclenchement et de comparaison.

Dans le domaine de la transmission des signaux horaires, je présenterai ici seulement quelques problèmes et résultats relatifs à l'activité de l'Observatoire de Milan. Actuellement la question de la transmission des signaux horaires et des fréquences étalons est surtout liée aux nécessités des nombreux opérateurs et laboratoires techniques et scientifiques de la ville de Milan et de sa province.

Nous avons considéré les services d'intérêts publics suivants :

a) transmission de signaux horaires à la seconde dans des buts techniques, utilisés par les horlogers, les laboratoires d'horlogerie et de chronométrie, les laboratoires scientifiques et du domaine industriel ;

b) transmission de signaux de temps particuliers pour la commande d'horloges électriques d'utilité publique ou de réseaux d'horloges des grandes industries ;

c) transmission de fréquences étalons dans des buts techniques et scientifiques, utilisables dans les laboratoires scientifiques et techniques et dans le domaine de l'électrotechnique et des télécommunications.

Depuis 1948, l'Observatoire a organisé, pour satisfaire à certaines exigences pratiques, un service de transmission des signaux horaires à la seconde, en utilisant le réseau téléphonique.

Les signaux étaient constitués par des tops de 0,1 s, obtenus à l'aide d'une horloge synchrone photoélectrique. La stabilité de ces signaux était de l'ordre de quelques millisecondes. La remise à l'heure était effectuée au moyen d'un déphaseur continu mécanique, dont la précision était de 1 ou 2 ms. Après la constitution du Centre de chronométrie de l'Observatoire, l'exigence de disposer et transmettre des signaux horaires et de temps a été accrue. Actuellement nous avons expérimenté à l'occasion de la Foire internationale de Milan des nouveaux types de signaux horaires, produits électriquement et constitués par des trains de fréquence 1 kHz, d'une durée de 40 ms. La minute ronde est constituée d'un top de 200 ms. La stabilité de ces signaux est beaucoup plus élevée et la remise à l'heure, effectuée au moyen d'un déphaseur électronique au dix millièrne de seconde, permet d'utiliser ces signaux dans des buts scientifiques aussi.

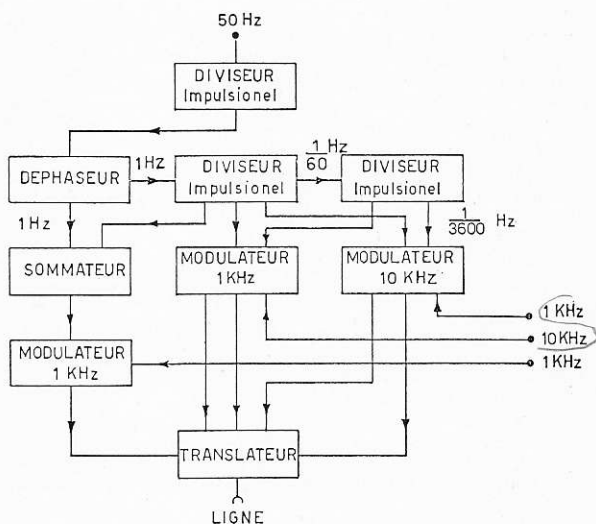


Fig. 7.

Nous donnons dans le schéma de la figure 7 une vue d'ensemble des dispositifs utilisés pour ce service. Les diviseurs utilisés sont tous de type impulsionnel basé sur l'emploi des tubes Z70U, en partant d'une fréquence étalon de 50 Hz.

Les étages de formation des trains d'onde d'une fréquence de 1 kHz et de 10 kHz sont constitués par heptodes E91H, communément utilisées comme portes à impulsions. Les signaux rectangulaires qui sortent de l'étage de mise en forme du diviseur impulsionnel, sont

appliqués à la première grille de commande de l'heptode, convenablement polarisée.

La fréquence modulatrice est, au contraire, envoyée à la deuxième grille de commande. Pour chaque signal rectangulaire qui nous arrive à la grille, on aura sur l'anode un train de fréquence dont la durée est égale à la durée du signal rectangulaire de commande.

L'étage translateur de sortie sur ligne est enfin caractérisé par un transformateur de basse fréquence.

Ce simple système de transmission s'est révélé d'une précision très remarquable, ne provoquant d'autre part que des distorsions négligeables. Il est normalement utilisé aussi pour la transmission de fréquences étalons de 1 ou 10 kHz.

Pour la formation de signaux horaires avec l'intercalage à la minute ronde d'un top long, et aussi pour la formation de signaux de temps particuliers, qui seront utilisés pour la commande des horloges électriques, nous avons employé les signaux élémentaires positifs et négatifs à la seconde, à la minute et à l'heure, déduits électriquement.

En obtenant des signaux élémentaires déduits directement des diviseurs impulsionsnels, on dispose d'une base de temps de grande stabilité, qui permet, dans le cadre interne de l'Observatoire, la comparaison de signaux locaux et de signaux horaires, ainsi que l'étude des phénomènes liés à la marche des horloges à quartz et aux problèmes de la propagation des signaux horaires eux-mêmes ; dans le cadre externe, elle permet d'effectuer des services de transmission de signaux de temps utilisables dans les laboratoires scientifiques et techniques.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Proverbio E., Boll. Geod. e Sci. Affini, XVIII, 305, 1959.
- [2] Eccles W. H., Jordan F. W., Radio Review, 1919.
- [3] Parcelier P., Ann. Franc. de Chron., 29 (2), 115, 1959.

(Manuscrit reçu le 30 juin 1960.)

Imprimé en Suisse