

L'ELECTRONIQUE



COMMANDE

LA VIE MODERNE

RETRONIK.FR

FASCICULE N° 10

LES TEMPORISATEURS ÉLECTRONIQUES

La temporisation vise la commande des temps opérationnels, c'est-à-dire la durée des diverses opérations ou traitements industriels. La précision de la commande des temps opérationnels a une influence considérable sur la qualité des produits obtenus. En photographie, par exemple, la bonne qualité des tirages dépend du respect des temps de pose. De même, en soudure électrique, la qualité d'un point de soudure dépend essentiellement de la durée de passage du courant. Dans l'industrie chimique, la durée de certaines réactions doit être réglée soigneusement. Enfin, dans la commande automatique de machines, les manœuvres successives doivent être séparées par des intervalles de temps bien déterminés.

Pendant longtemps, on eut recours à l'homme qui commandait la machine selon les indications d'un chronomètre; les exigences de la fabrication en grande série ont conduit à remplacer l'homme par des dispositifs automatiques temporisateurs destinés à provoquer la mise en route ou l'arrêt d'une opération après un laps de temps déterminé et en général réglable.

SYSTÈMES DE TEMPORISATION

Plusieurs principes physiques peuvent être utilisés pour provoquer une temporisation. C'est ainsi qu'il existe des dispositifs basés sur des actions :

- THERMIQUE (dilatation d'une pièce métallique);
- MECANIQUE (mouvement d'horlogerie);
- ELECTRIQUE (charge et décharge d'un condensateur).

Les dispositifs basés sur la dilatation manquent de précision car leur constante de temps est fonction de la température ambiante; ils sont recherchés à cause de leur faible prix dans les installations où la précision n'est pas indispensable (par exemple, pour la commande de feux clignotants en publicité ou signalisation). Convenablement réalisés, ils conviennent pour la temporisation d'appareils de

protection de circuits devant être coupés en cas de surcharge (disjoncteurs, contacteurs, etc.). Il serait imprudent de les utiliser lorsque l'on recherche une mesure précise du temps.

Lorsque la durée de la temporisation à obtenir est assez longue, on a recours à des minuteries mécaniques, véritables mouvements d'horlogerie, entraînés par un moteur mécanique ou électrique. On peut ainsi obtenir des temporisations comprises entre quelques secondes et plusieurs heures.

Pour réaliser des temporisations comprises entre une très faible fraction de seconde et plusieurs minutes, le problème ne peut plus facilement être résolu par des procédés mécaniques : on a alors recours aux temporisateurs électriques qui, lorsqu'ils sont complétés par des dispositifs électroniques, possèdent une précision de réglage et de souplesse d'utilisation considérables.

PRINCIPE ÉLECTRIQUE DES TEMPORISATEURS

Il est basé sur la charge ou la décharge d'un condensateur, la tension aux bornes du condensateur étant déterminée en fonction du temps.

Utilisation de la charge.

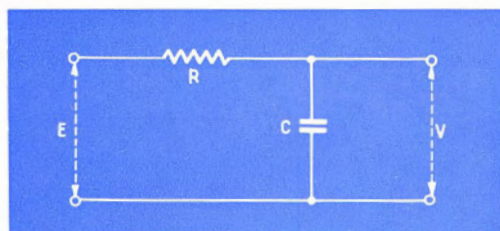


Fig 1. - Circuit de charge.
E = Source de tension continue.

On sait qu'un condensateur C branché sur une source de tension continue par l'intermédiaire d'une résistance R, se charge jusqu'à une tension égale à celle de la source (fig. 1).

La tension V aux bornes du condensateur est donnée par l'expression :

$$V = E (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (1)$$

dans laquelle e est la base des logarithmes népériens ($e = 2,72$) R est la valeur de la résistance exprimée en ohms, C est la capacité en farads et t le temps en secondes. La figure 2 représente la variation de la tension V en fonction du temps.

V est égal à E lorsque $e^{-\frac{t}{RC}} = 0$, donc pour $t = \infty$

Pratiquement, si l'on considère la tension V au temps $t = RC$, la relation devient $V = E (1 - e^{-1}) = 0,632 E$.

Le produit RC est la constante de temps : c'est le temps nécessaire pour que V prenne la valeur 0,632 E.

Par exemple, pour $R = 1 \text{ M}\Omega$ et $C = 8 \mu\text{F}$, la constante de temps RC a une valeur de 8 secondes.

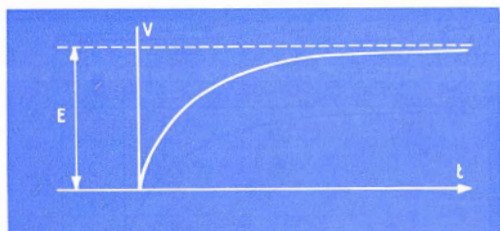


Fig 2 - Courbe de la tension aux bornes du condensateur en charge.

L'allure de la courbe exponentielle est telle que pour des temps inférieurs à la constante de temps RC, la variation de la tension est relativement rapide. Pour des temps supérieurs à RC la croissance de la tension est beaucoup plus lente.

Au point de vue de la précision on a naturellement intérêt à utiliser la première partie de la courbe, c'est-à-dire celle correspondant à des temps $t < RC$.

Utilisation de la décharge.

Considérons le schéma indiqué figure 3. Le condensateur C est initialement chargé lorsque l'inverseur est placé sur a. L'inverseur est ensuite placé sur b. Le condensateur C se décharge alors à travers la résistance R. On sait que la tension V aux bornes de C est donnée en fonction du temps

$$\text{par l'expression } V = E e^{-\frac{t}{RC}} \quad (2)$$

Pour $t = RC$ on a $V = 0,368 E$.

Le produit RC est encore appelé la constante de temps du circuit : c'est le temps nécessaire pour que la tension V passe de la valeur E à la valeur 0,368 E.

La décroissance de la tension est très rapide pour des valeurs de t inférieures à RC, et devient ensuite de plus en plus lente. C'est encore la première partie de la courbe qui est généralement utilisée, correspondant à des temps $t < RC$.

TEMPORISATEURS

Un temporisateur comprend essentiellement un circuit temporisateur proprement dit et un organe contacteur.

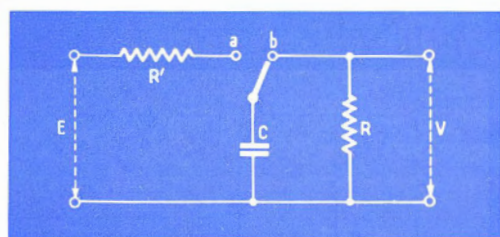


Fig. 3. - Décharge du condensateur.
E = Source de tension continue.

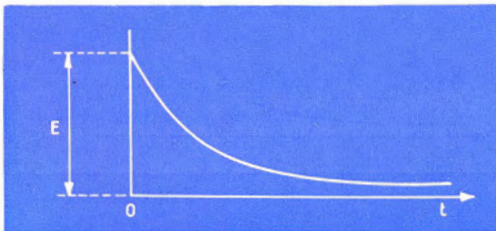


Fig. 4. - Courbe de la tension aux bornes du condensateur pendant la décharge.

L'organe contacteur sera un relais qui enclenchera ou déclenchera, lorsque la tension appliquée à ses bornes atteindra la valeur pour laquelle il aura été réglé.

Les plus simples des temporisateurs comporteront donc un circuit temporisateur et un relais, le circuit temporisateur utilisant le principe de la charge ou celui de la décharge.

Temporisateur simple utilisant le principe de la charge.

La figure 5 donne le schéma de principe d'un tel temporisateur. Lorsque l'on ferme l'interrupteur S, une source de tension continue, constituée ici par le secteur alternatif et quatre éléments semi-conducteurs montés en pont, charge, à travers la résistance R, le condensateur C. Le temps nécessaire pour que la tension V aux bornes de C soit égale à la tension de réglage V_r du relais dépend de la valeur de R. Le réglage de la valeur de la résistance permet d'ajuster la temporisation. La figure 6 indique, pour 3 valeurs de R les temporisations obtenues.

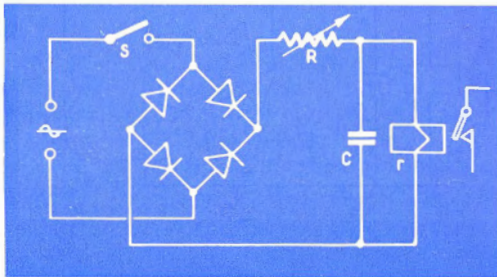


Fig. 5 - Schéma de principe d'un temporisateur simple utilisant le principe de la charge.

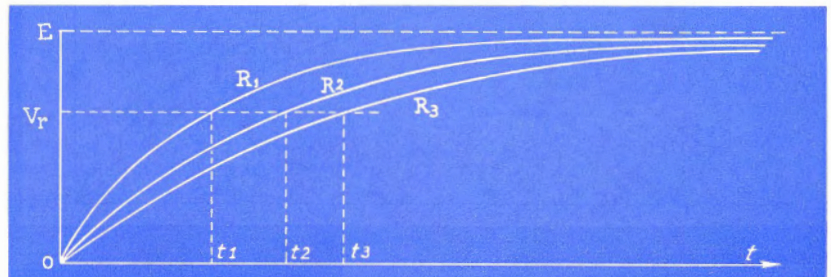


Fig. 6. - Variation de la constante de temps avec la valeur de la résistance R (charge).

Temporisateur simple utilisant le principe de la décharge.

La figure 7 donne le schéma de principe d'un tel temporisateur. L'interrupteur est normalement fermé, le condensateur C est chargé à la tension E et le relais r est excité. Lorsque l'on ouvre l'interrupteur S, le condensateur se décharge dans le relais, la tension devient inférieure à la tension de déclenchement du relais, l'armature retombe. La résistance R réglable permet de faire varier la rapidité de la décharge du condensateur et par conséquent la temporisation du relais r. La figure montre qu'aux trois valeurs R_1 , R_2 et R_3 , de la résistance R, correspondent trois t_{11} , t_{12} et t_{13} de la temporisation (figure 8).

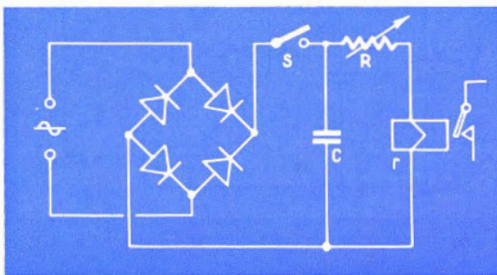


Fig 7 - Schéma de principe d'un temporisateur simple utilisant le principe de la décharge.

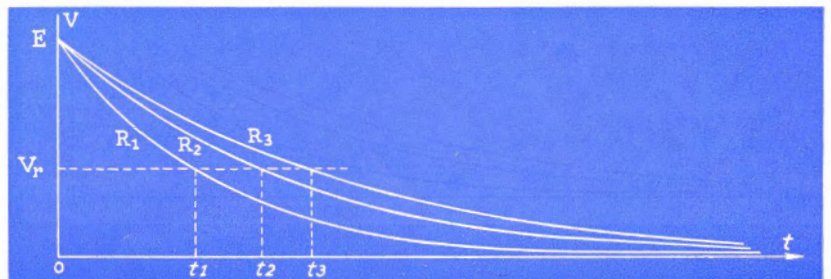


Fig. 8. - Variation de la constante de temps avec la valeur de la résistance R (décharge).

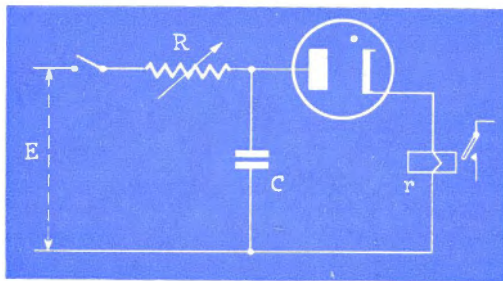


Fig. 9. - Schéma de principe d'un temporisateur utilisant une diode à gaz.

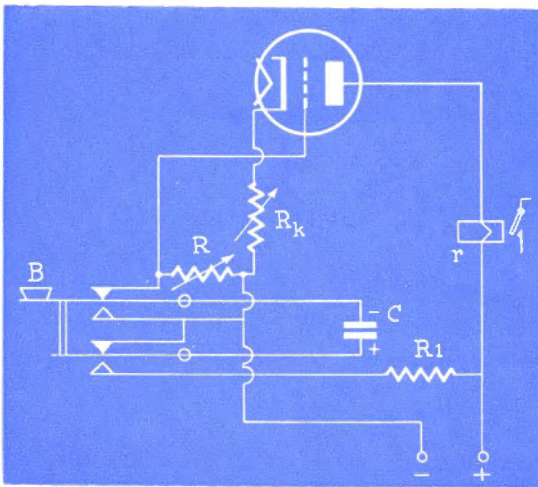


Fig. 10. - Principe de la minuterie électronique.



Fig. 11 - Temporisateur électronique industriel.
(Document M.T.I.).

Inconvénient des temporisateurs simples.

Les deux temporisateurs simples décrits présentent l'inconvénient suivant : pour les valeurs relativement élevées de la temporisation par exemple t_3 (fig. 6) la courbe de tension aux bornes du condensateur C varie relativement lentement. Il en est de même du courant traversant le relais r. La durée de la temporisation n'est alors pas définie d'une manière précise. On obtient une amélioration notable en montant en série avec le relais r une diode à gaz dont la tension d'amorçage ou de désamorçage est très précise. Le courant à travers le relais r est ainsi établi ou interrompu brusquement.

La figure 9 donne le schéma d'un montage utilisant le principe de la décharge, une diode à gaz étant montée en série avec le relais r. Avec les temporisateurs simples, il est nécessaire d'utiliser un relais sensible donc délicat et d'un faible pouvoir de coupure.

L'énergie disponible est en effet uniquement celle du condensateur C et on serait dans certains cas conduit à utiliser des batteries de condensateurs très volumineuses.

Il est préférable d'utiliser la tension existant aux bornes du circuit de charge pour modifier la tension de grille d'un tube électronique, dans le circuit anodique duquel sera inséré le relais.

TEMPORISATEURS ÉLECTRONIQUES

Le circuit RC temporisateur est disposé dans le circuit de grille du tube, tandis que le relais est inséré dans le circuit anodique. La sensibilité du relais devra être adaptée au type de tube utilisé, le courant anodique variant, suivant le type de tube, entre un et une trentaine de milliampères.

La figure 10 donne le principe d'un temporisateur de ce type basé sur le principe de la décharge.

Ce temporisateur fonctionne de la façon suivante :

Lorsque l'on appuie sur le bouton B, le condensateur C de $5\mu F$ est relié à la source de tension $+200 V$ à travers la résistance R, de 50Ω . Il est chargé instantanément par suite de la très faible constante de temps du circuit $R_1 C$ $50 \times 5.10^{-6} = 0,25 ms$.

Lorsque le bouton B est relâché, le condensateur C se trouve branché entre la grille et la cathode du tube. Le tube est bloqué et le relais r retombe : le contact a se ferme et le temps de contact commence à être compté.

Le condensateur C se décharge alors à travers la résistance R; la tension de polarisation appliquée à la grille du tube diminue et lorsqu'elle n'est plus que de quelques volts, le relais est actionné.

EXEMPLE DE DÉTERMINATION D'UN TEMPORISATEUR ÉLECTRONIQUE

Supposons que le tube à vide soit un tube 6 J 5 G fonctionnant sous une tension anodique de 200 volts et que le relais utilisé soit actionné par un courant de 5mA, valeur de courant anodique obtenu pour une tension de grille cathode de -7 volts.

La pression sur le bouton B provoque la charge du condensateur C à la tension de 200 V. Lorsqu'on relâche le bouton B, la tension de 200 V appliquée entre cathode et grille bloque le tube et le relais r retombe. La tension aux bornes du condensateur C s'abaisse lentement, jusqu'à ce qu'elle devienne inférieure à la tension de cut-off du tube, soit -12 volts.

A partir de ce moment la tension de polarisation est à chaque instant la somme algébrique de la tension résiduelle aux bornes de C et du produit $R_K I_A$. Le relais est actionné pour un courant de 5 mA. Ce courant est obtenu pour une polarisation de — 7 volts. La chute de tension $R_K I_A$ dans la résistance R_K de 400 ohms est alors de 2 volts et la tension résiduelle V_r aux bornes de C, est donc de $7 - 2 = 5$ volts.

Il est facile de calculer exactement la durée t de temporisation obtenue.

D'après la formule (2) on a $t = RC \log_e \frac{E}{V}$

Pour $R = 5 \text{ M}\Omega$, $C = 5 \mu\text{F}$, $E = 200 \text{ V}$, $V = 5 \text{ volts}$

on a $t = 5.10^6 \times 5.10^{-6} \log_e \frac{200}{5} = 92 \text{ secondes.}$

La temporisation peut être ajustée par le réglage de R et de R_K cette dernière jouant un rôle de vernier permettant d'obtenir une valeur très précise de t .

Lorsque l'on veut obtenir une nouvelle opération d'une durée égale à t , il suffit d'appuyer à nouveau sur le bouton B.

UTILISATION D'UN THYRATRON

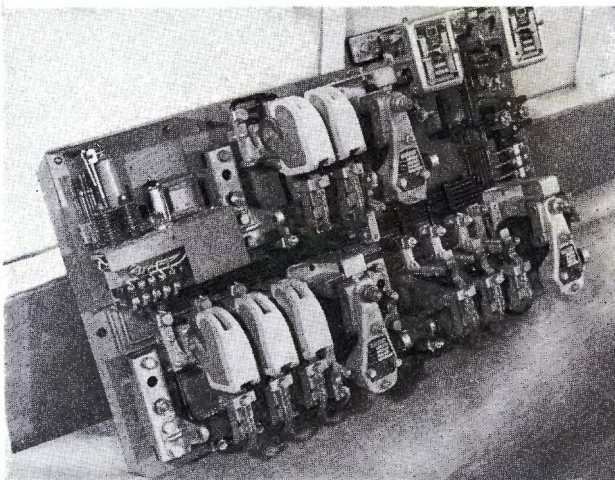


Fig. 12. - Panneau de démarrage de moteur triphasé, avec temporisation électronique. (Constructeur SIRELEC).

Le courant fourni par le circuit d'anode d'un tube amplificateur à vide est au maximum de quelques dizaines de milliampères. On est donc obligé, lorsque la puissance de l'appareil à commander l'exige, d'utiliser après un premier relais sensible, un relais plus puissant ayant un pouvoir de coupure plus élevé. On préfère souvent remplacer le relais primaire coûteux et délicat par un thyatron ou tube relais délivrant, malgré ses petites dimensions, une puissance notable.

Le circuit d'anode du thyatron est généralement alimenté en alternatif; le relais doit naturellement être prévu pour un courant de cette nature (bagues de déphasage sur le circuit magnétique ou condensateur aux bornes de la bobine du relais).

Principe de la minuterie à thyatron.

La figure 13 montre le schéma de principe d'une minuterie à thyatron. Normalement, le thyatron est chauffé et l'interrupteur S ouvert. Le condensateur C se charge alors à travers l'espace grille-cathode dans le sens indiqué. Si l'on ferme l'interrupteur S, la charge du condensateur C s'arrête et ce condensateur se décharge à travers la résistance R.

La tension appliquée à la grille du thyatron est la somme algébrique de la tension existant aux bornes du condensateur C et de la tension alternative fournie par le potentiomètre P. Lorsque la tension grille du thyatron atteint la valeur d'amorçage, le thyatron devient conducteur et le relais r est actionné.

Le courant anodique se maintient jusqu'au moment où l'on ouvre S. Le cycle peut alors être répété.

Il est particulièrement commode que la mise en route de la minuterie et de l'appareil d'utilisation soit effectuée par une seule manœuvre. D'autre part, il est souvent souhaitable que le circuit de chauffage du thyatron ne soit mis sous tension qu'au moment de la mise en route du thyatron, ce qui supprime la consommation d'énergie en dehors de l'utilisation de la minuterie; ceci n'est d'ailleurs possible que si la durée de temporisation désirée est supérieure au temps de chauffage du thyatron, c'est-à-dire, une dizaine de secondes. L'exemple de réalisation donné ci-après répond à ces conditions.

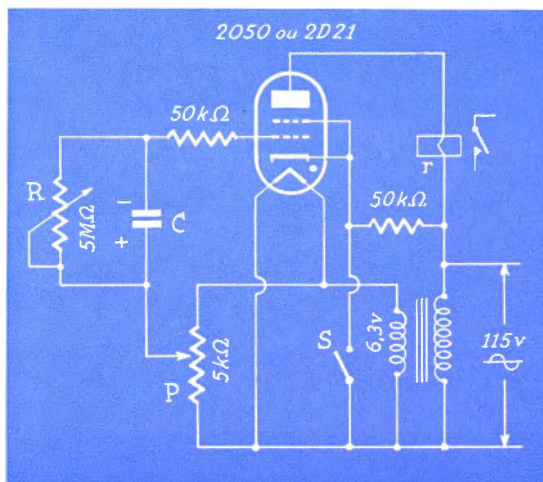


Fig. 13. - Principe de minuterie à thyatron.

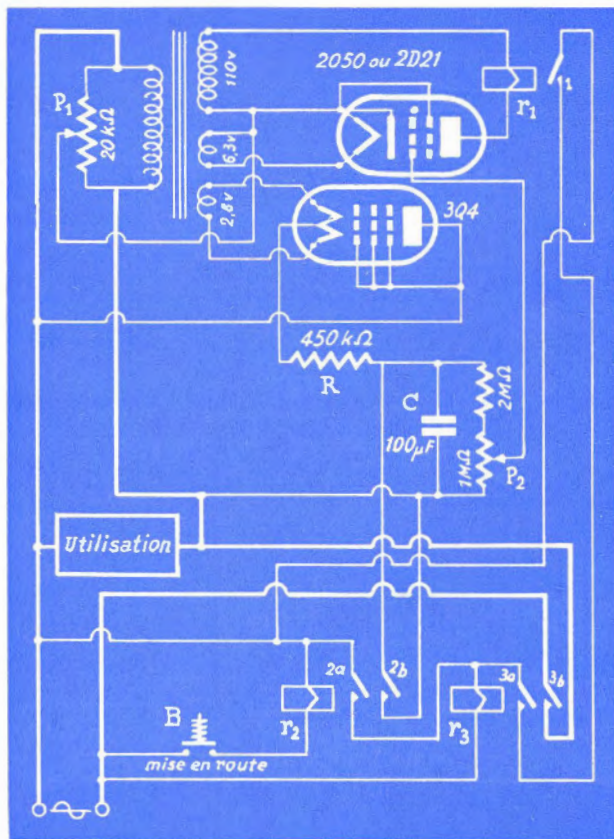


Fig. 14. - Minuterie à thyatron.

Exemple de réalisation d'une minuterie à thyatron.

La figure 14 donne le schéma d'une telle minuterie. A l'instant 0 on appuie sur le contact de mise en route; le relais r_2 est excité, ainsi que le relais r_3 qui reste alimenté par son contact 3 a quand on a relâché le contact de mise en route, le contact 1 étant normalement fermé. Le contact 2 b, en court circuitant le condensateur de charge C, l'a débarrassé des charges résiduelles.

Quand le contact de mise en route est relâché, le condensateur C se charge à travers R et le tube 3 Q 4 fonctionnant en diode redresseur. En même temps, le contact 3 b met en service l'appareil contrôlé par la minuterie et met sous tension le transformateur d'alimentation de celle-ci.

La polarisation de la grille du thyatron est égale à la somme d'une tension positive prélevée sur le potentiomètre P_2 branché en parallèle avec le condensateur C_1 , et d'une tension alternative fournie par le potentiomètre P_1 , cette tension alternative étant en opposition de phase avec celle appliquée à l'anode.

Quand la tension continue devient suffisante, le thyatron s'amorce et le relais r_1 est actionné, ouvrant le contact 1 et coupant ainsi le circuit de maintien du relais r_3 . L'appareil commandé et la minuterie ne sont plus alimentés. Le temps de contact est réglable par le jeu de potentiomètres P_1 et P_2 entre 10 secondes, temps de chauffage du thyatron, et 2 minutes environ. Il n'y a aucune consommation en dehors des temps de service.

Minuterie pour travaux photographiques.

La figure 15 donne le schéma plus simple que le précédent, d'une minuterie donnant des temporisations de 1 à 60 secondes et assurant une grande régularité dans les temps d'exposition pour les reproductions et agrandissements photographiques.

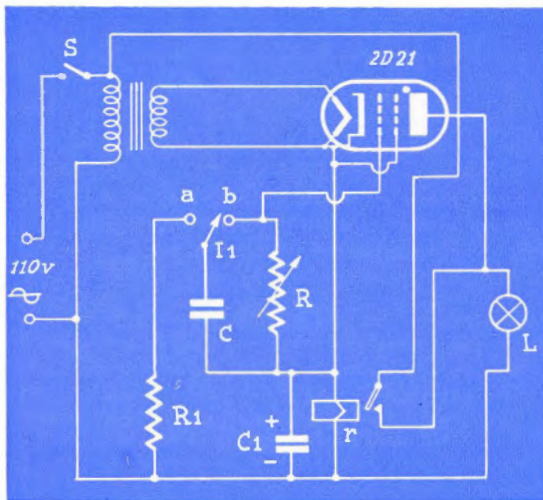


Fig. 15. - Minuterie électronique pour travaux photographiques.

Fig. 16. - Coffret pour la commande de signaux de circulation urbaine (Ville de Paris). Les diverses séquences sont réglées par temporisateurs à thyatron.

(Constructeur : SAULNIER DUVAL).



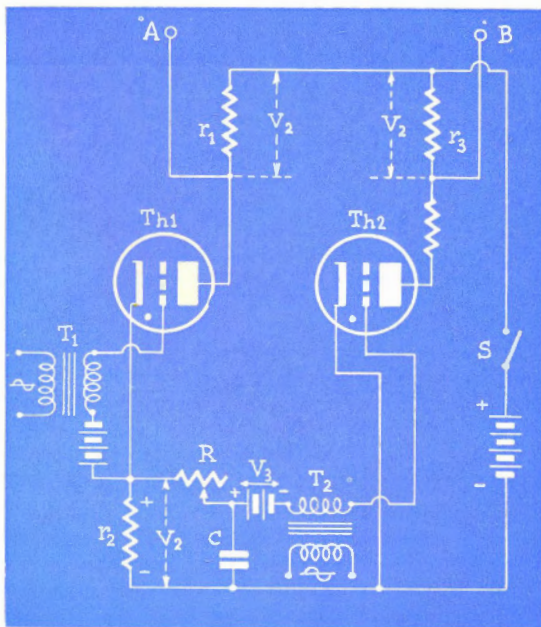


Fig. 17 - Principe d'une minuterie synchrone.

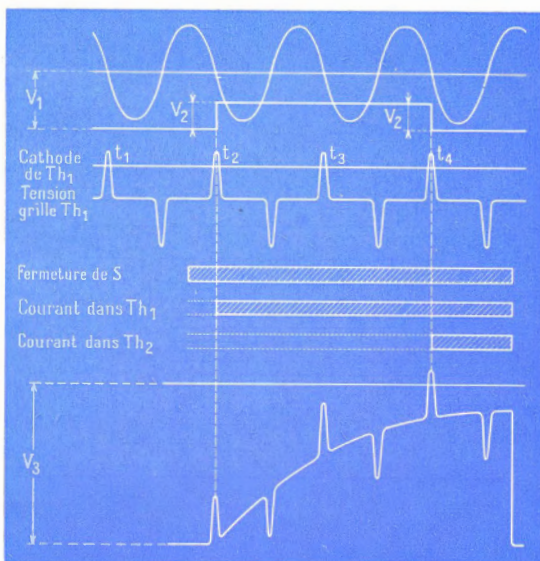


Fig. 18 - Établissement du courant dans les thyristors Th_1 et Th_2 de la figure 17.

L'appareil fonctionne sur le principe de la décharge. Le circuit de temporisation comprend le condensateur C de 3 ou $4\mu F$ et la résistance réglable R d'une valeur maximum de 10 à 15 $M\Omega$. L'interrupteur S permet de brancher l'appareil sur le secteur alternatif 110 volts. L est la lampe de l'agrandisseur ou de la tireuse.

L'interrupteur I_1 étant sur la position a , le thyatron s'amorce lorsque son filament est chaud; les condensateurs C et C' se chargent à une tension sensiblement égale à la valeur de crête de la tension du réseau. La palette du relais r_1 est attirée et le circuit de la lampe L est ouvert.

Si l'on manœuvre alors l'interrupteur I_1 pour le placer sur la position b , le condensateur C est connecté entre grille et cathode; le thyatron est alors bloqué. La palette du relais r_1 retombe et allume la lampe L . A partir de ce moment, le condensateur C se décharge et lorsque la tension grille n'est plus assez négative, le thyatron s'amorce à nouveau, le relais r coupant le circuit de la lampe L .

On ramène alors l'interrupteur I_1 à la position a et l'appareil est prêt à être utilisé à nouveau.

Des minuteriers basées sur le même principe général sont utilisées pour la mesure des temps de pose en radiographie.

AUGMENTATION DE LA CONSTANCE DE TEMPS

Il est possible d'augmenter la constante de temps d'un circuit de charge, en limitant la valeur du courant de charge, par exemple en branchant en série dans le circuit de charge l'espace anode-cathode d'un tube pentode. On sait que la caractéristique d'anode des tubes pentodes présente une longue partie sensiblement horizontale. On obtient ainsi une charge pratiquement linéaire du condensateur. Il en résulte un allongement de la durée de la charge.

MINUTERIES SYNCHRONES

Pour certaines applications, il est nécessaire de mesurer un intervalle de temps avec une grande précision; c'est le cas de la soudure électrique par points lorsque l'on désire des points de soudure rigoureusement identiques. Il faut de plus que l'établissement et la rupture du courant aient toujours lieu à des instants bien précis de la sinusoïde du courant; en effet, dans le cas contraire, l'énergie libérée dans chacune des soudures ne serait pas constante par suite de l'influence des courants transitoires. On est donc amené à mesurer le temps de soudage en nombre entier de périodes ou cycles. La minuterie est dite alors synchrone. La figure 17 montre le schéma de principe d'une telle minuterie. Son fonctionnement est le suivant :

L'interrupteur S est commandé manuellement ou par pédale. A l'arrêt lorsque S est ouvert, aucune tension n'est appliquée aux thyristors Th_1 et Th_2 . Après fermeture de l'interrupteur S , l'amorçage du thyatron Th_1 ne peut se produire que lors de la première pointe de tension positive donnée par le transformateur de pointe T_1 (instant t_1). Dès que Th_1 est amorcé il apparaît aux bornes de r_2 une différence de tension V_2 qui est appliquée au circuit temporisateur comprenant le rhéostat R et le condensateur C . La tension continue V_3 appliquée à la grille du thyatron Th_2 s'oppose à l'allumage de ce thyatron. Le déclenchement de Th_2 sera produit par le transformateur de pointe T_2 quand la tension aux bornes de C aura atteint une valeur suffisante (instant t_1). Aussitôt après l'allumage de Th_2 , une tension V_2 apparaît aux bornes de r_3 , elle est opposée à celle fournie par r_1 et la tension de polarisation entre les bornes A et B est nulle. On voit que la minuterie synchronisée fournit, entre les bornes A et B , une tension continue pendant un temps d'une durée multiple d'une période. C'est cette tension continue qui permettra, par l'intermédiaire de thyristors, de commander l'amorçage des ignitrons utilisés en interrupteurs électroniques.

Le réglage précis du nombre de périodes pendant lequel le courant de soudage sera établi, est obtenu très facilement par l'ajustage de la résistance R de très faible puissance.

TEMPORISATEURS DE SÉQUENCES

On nomme séquence la succession des diverses phases mécaniques et électriques nécessaires à l'exécution d'un point de soudure. Il existe des séquences plus ou moins compliquées suivant le genre de travail à effectuer. La durée de chacune des phases de la séquence peut être réglée par un temporisateur électronique. On aura par exemple, un ensemble de quatre temporisateurs, chacun d'eux lorsqu'il a fonctionné mettant en marche le temporisateur suivant.

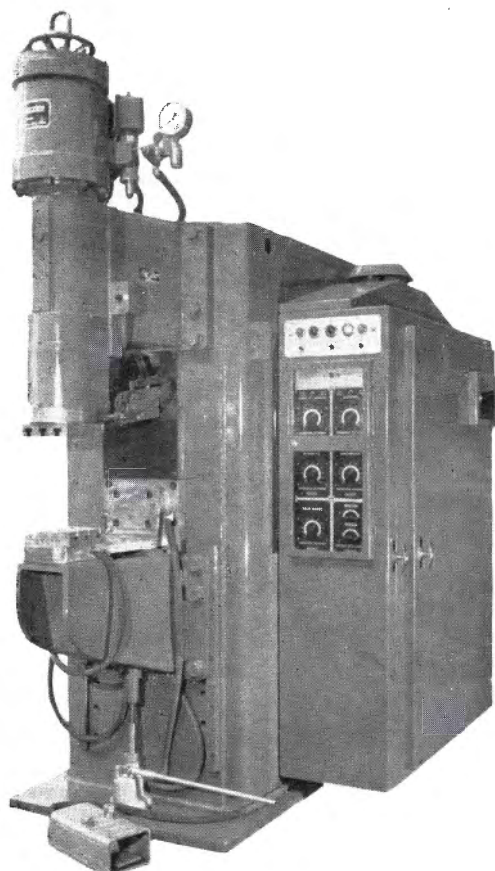


Fig. 19. - Machine à souder à commande électronique des séquences.
(Constructeur : Établissements SCIAKY).

CONCLUSION

Les dispositifs de temporisation électronique présentent un intérêt indiscutable, car ils permettent de limiter la durée de nombreuses opérations industrielles, sans intervention humaine, c'est-à-dire d'une manière précise et économique. Ils apportent souvent des solutions pratiques à certains problèmes de fabrication automatique.

Leur domaine s'étend d'une faible fraction de seconde à une minute environ. Ils peuvent être facilement incorporés à tous les circuits de commande électrique, des plus faibles aux plus puissants. Tous ces avantages font que les systèmes de temporisation électronique doivent continuer à se développer dans l'industrie.

CONSTRUCTEURS D'ÉQUIPEMENT DE TEMPORISATION

ALSTHOM - 36, Avenue Kléber, Paris (16°).
FABRIQUE D'APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE - Saint-Marcellin (Isère).
Éts GUÉNEAU - 33, rue Vergniaud, Paris (13°).
LA SOUDURE ÉLECTRIQUE LANGUEPIN - 20, rue Toulouse-Lautrec, Paris (17°).
L'ÉLECTROMAGNÉTIQUE - rue Regnault, Pantin (Seine).
M.T.I. - 40, rue du Pré-St-Gervais - Paris (19°).
SAUNIER-DUVAL - 11, rue Voltaire, Montreuil-sous-Bois (Seine).
SCIAKY - 13, rue Charles-Fourier, Paris (13°).
SIRELEC - 21, rue Kléber, Issy-les-Moulineaux (Seine)



2D21



2050

LAMPE MAZDA

COMPAGNIE DES LAMPES
SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 13 680 000 N.F.

DÉPARTEMENT TUBES ÉLECTRONIQUES
29, RUE DE LISBONNE - PARIS (VIII°)

Tél. : LAB. 72-60 à 68 • Adr. Tél. MAZDALAMP-PARIS • R.C. Seine 54 B 5088