

4/67

rea

UNIVERSITE D'ALGER
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
المكتبة
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
المكتبة
Département Telecommunications
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

TEMPORISATEUR
ELECTRONIQUE

PF67-6

PROPOSE PAR
M^r J SLOSIAR

REALISE PAR
M^r BSAT
1967

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT TELECOMMUNICATIONS

*Reçu, le 15/6/67
Slossiar
11-30h*

Département Télécommunications

- PROJET DE FIN D'ETUDES -

Effectué par l'Elève-Ingénieur BSAT Farouk

Sujet :

TEMPORISATEUR ELECTRONIQUE

ANNEE 1966-1967

Proposé par M. Le Professeur SLOSSIAR

I N T R O D U C T I O N

I.I - Dans un grand nombre de circuits électriques industriels, on utilise des dispositifs ou des relais de retardement qui agissent sur un contact à un instant bien déterminé après l'émission d'un signal. Nous connaissons, par exemple, des dispositifs retardateurs actionnés par des moteurs; une action de retardement se produit également lorsque l'air s'échappe d'un soufflet. Les relais à action différée sont particulièrement nombreux et variés dans le domaine de l'électronique industrielle, où il s'agit principalement de relais commandés par des lampes et utilisés dans plusieurs montages électronique.

1.2 - OUVERTURE DIFFEREE D'UN CONTACT :

Nous allons voir comment il est possible de communiquer une énergie à un contacteur ordinaire, un certain temps après l'ouverture de l'interrupteur d'alimentation.

Si nous fermons l'interrupteur S sur la figure I-1, nous appliquons une énergie au contacteur CR,

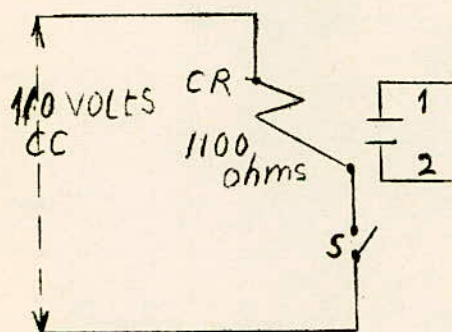


fig 1-1

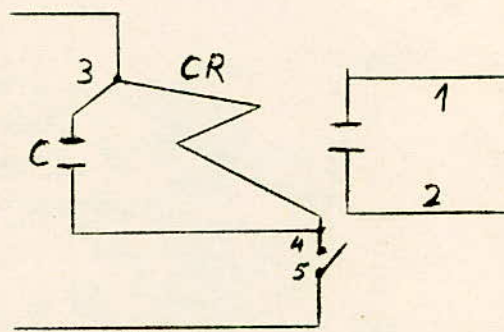


fig 1-2

Ce qui entraîne la fermeture du contact extérieur de celui-ci entre les points I et 2. Supposons que la résistance de la bobine de ce contacteur soit de 1100 ohms; une tension de 110 volts, appliquée aux bornes de la bobine, donne alors naissance à un courant de 0,1 ampère dans celle-ci. Supposons également que ce contacteur particulier se désarme, lorsque le courant dans sa bobine tombe à 0,04 ampère. Si, dans ces conditions, nous ouvrons l'interrupteur S sur la figure I-1, le courant dans la bobine se trouve interrompu, le contacteur CR se désarme très rapidement, et son contact s'ouvre. Or, ce que nous voudrions, c'est que ce contact demeure fermé pendant quelques secondes après l'ouverture de l'interrupteur. Comment pouvons-nous atteindre ce résultat ?

Reproduisons le même contacteur S sur la figure I-2, en y ajoutant toutefois, un fort condensateur C. Lorsque l'interrupteur S se ferme, le contact de CR se ferme aussi; toutefois, la tension de 110 volts aux bornes de la bobine charge maintenant le condensateur C. Lorsque l'on ouvre l'interrupteur S, le condensateur reste branché aux bornes de la bobine de CR; or, l'électricité accumulée dans ce condensateur produit, dans la bobine de CR, un courant suffisant (entre 0,1 et 0,04 ampère) pour que le contact de CR ne s'ouvre pas immédiatement.

Si le condensateur C est très grand (1000 à 2 000 microfarads, par exemple), il accumule assez d'électricité pour maintenir CR fermé pendant quelques secondes après l'ouverture de S. La durée de ce retard dans l'ouverture du contact dépend de la capacité du condensateur C ainsi que la résistance ohmique de la bobine du contacteur.

I.3 - UN RELAIS D'ACTION DIFFEREE :

Considerons la fig. I-3, S étant fermé, la tension de la batterie C se trouve maintenant appliquée aux bornes de I R, de sorte que la grille G sera de 20 volts plus négative que la cathode K ;

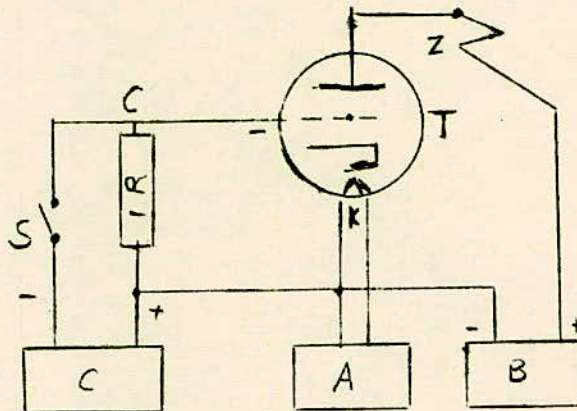


fig. I-3

aucun courant ne circulera donc dans la lampe T. Mais à l'instant où l'on ouvre S, la connexion entre la batterie C et la résistance IR se coupe; la tension aux bornes IR disparaît immédiatement, et la grille G prend le même potentiel que la cathode K. Aussitôt, le courant se met à parcourir la lampe T et agit sur le relais Z.

Supposons que nous voulions faire fonctionner le relais Z quelques instants après l'ouverture de S, c'est-à-dire faire travailler le circuit comme un dispositif de retardement.

Il suffit, dans ce but, de brancher le condensateur IC aux bornes de la résistance IR, comme montré sur la fig. I-4.

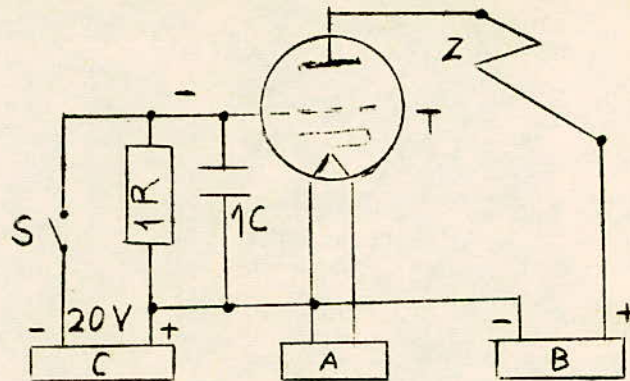


Fig. I-4

Dans ce cas, si S est fermé, la tension de la batterie C apparaît, comme auparavant, aux bornes de IR, et aucun courant ne passe dans la lampe T. Cependant, la batterie C (de 20 volts) charge en même temps le condensateur IC qui emmagasine une certaine quantité d'énergie électrique. L'ouverture de S fait bien mettre hors circuit la tension de la batterie C, mais la tension aux bornes de IR ne peut pas disparaître immédiatement, puisque le condensateur IC conserve encore une partie de son énergie. Pendant un certain temps, très court, IC agit donc comme une toute petite batterie et détermine le passage d'un courant à travers IR, ce qui fait qu'il existe encore aux bornes de IR une certaine tension qui maintient la grille G négative.

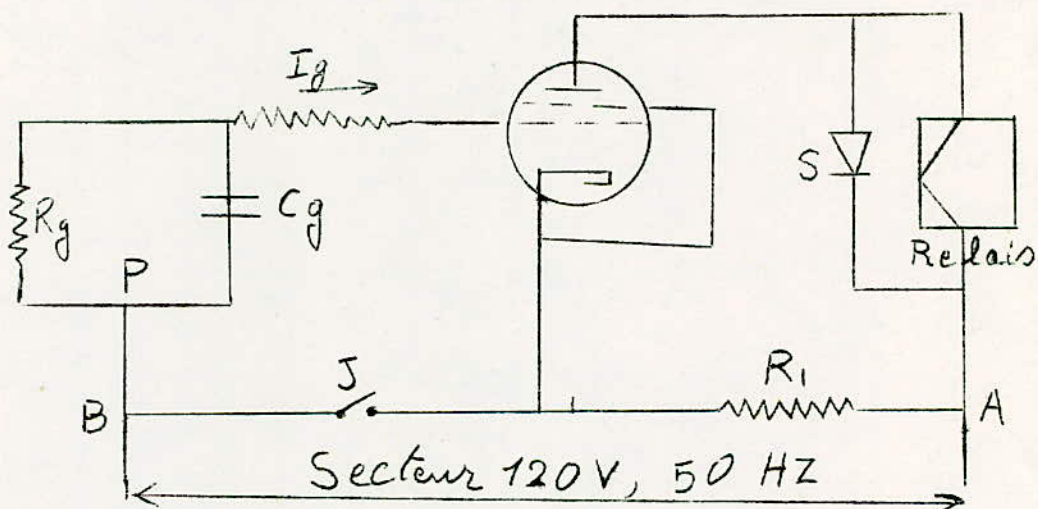
Quelques secondes plus tard, le condensateur IC aura, cependant perdu une fraction suffisante de sa charge pour que la tension aux bornes de IR devienne suffisamment faible pour permettre à un courant de traverser la lampe et de faire fonctionner le relais Z.

II. PRINCIPE DU TEMPORISATEUR ELECTRONIQUE

2.1 - Le temporisateur électronique est un des montages le plus fréquemment utilisé en électronique. Il est destiné à fixer la durée d'un phénomène ou à retarder d'une durée déterminée un phénomène par rapport à un autre. On utilise à cet effet des relais comprenant des circuits RC.

Ce temporisateur dont l'étude théorique et la construction font l'objet de ce projet, est un montage qui introduit un retard réglable (temporisation) entre la fermeture d'un contact de commande et l'enclenchement d'un relais électromagnétique.

2.2 - Le schéma de principe est le suivant :



2.3 - Principe du fonctionnement :

Lorsque le contact J est ouvert, seul le circuit de grille du thyatron se trouve alimenté. La grille de commande et la cathode constituent une diode de faible résistance. Le condensateur Cg se charge aux bornes de Rg.

La fermeture du contact de commande J fait passer la tension d'alimentation du circuit de grille au circuit d'anode. Toute fois, le thyatron ne s'amorce pas, la grille étant portée à un potentiel très négatif par Cg mais ce dernier se décharge dans Rg progressivement et le thyatron s'amorce lorsque le potentiel de grille diffère peu de 0; on aura un courant anodique suffisant pour exciter le relais R.

Il s'est passé un certain retard entre la fermeture du contact de commande et l'enclenchement du relais; ce retard (ou temporisation) augmente avec C_g et avec R_g , puisque le condensateur se décharge plus lentement. Pour le régler sans discontinuité, on alimente le circuit de grille par un potentiomètre.

Pour bien comprendre le fonctionnement détaillé du temporisateur électronique, on va faire une brève étude théorique sur :

- a) Les thyratrons.
- b) La charge et la décharge d'un condensateur.
- c) Les relais.

III. - ETUDE THEORIQUE

A.- LES THYRATRONS.

Les lampes à vide poussé sont parcourues par un courant anodique faible, généralement de l'ordre de 1 à 100 milliampères, c'est-à-dire de 0,001 à 0,1 ampère; mais dans les circuits industriels, il est souvent nécessaire d'utiliser des lampes supportant des courants sensiblement plus élevés, allant de 1 à 100 ampères, et atteignant même jusqu'à 5000 ampères. Ces lampes à forte intensité sont habituellement remplies de gaz ou de vapeurs; leur fonctionnement différent de celui des lampes à vide, elles sont souvent repérées, sur les schémas et les diagrammes, par un point placé à l'intérieur du cercle représentant le symbole de la lampe. Parmi ces lampes, certaines comportent une cathode chauffée et sont appelées phanotrons, ou thyratrons. On s'en sert généralement pour des courants compris entre 0,1 et 40 ampères. Un autre type de lampe à atmosphère gazeuse est nommé ignitron et contient une certaine quantité de mercure (non chauffé) servant de cathode; l'ignitron est utilisé avec des courants supérieurs à 40 ampères.

Dans l'étude des tubes à vide, on a constaté que les seuls porteurs de charges sont les électrons libres émis par la cathode. Les phénomènes sont beaucoup plus complexes si le tube renferme un gaz à très faible pression, car aux électrons émis par la cathode s'ajoutent les porteurs de charges que provoque l'ionisation du gaz. Aussi les propriétés d'un tube à gaz sont-elles très différentes de celles du tube à vide.

3.II.- STRUCTURE D'UN THYRATRON :

Quand on introduit une grille de commande dans une diode à gaz, les propriétés de la triode ainsi réalisée sont totalement différentes de celles d'une triode à vide. Les tubes à gaz contenant une cathode chaude, une ou deux grilles et une anode sont connus sous le nom de thyratrons.

La grille est constituée en général par un cylindre creux qui entoure à la fois l'anode et la cathode, de telle sorte qu'une faible tension appliquée à la grille peut neutraliser presque complètement la tension d'anode élevée, empêchant ainsi l'amorçage d'un arc sous des tensions où il devrait normalement se produire.

3.12.- FONCTIONNEMENT DU THYRATRON :

Nous connaissons la différence principale existant entre un thyatron et une triode; en effet le thyatron est rempli de vapeur ou d'une atmosphère gazeuse. Cependant, les deux lampes produisent des électrons, émis par leurs cathodes ou leurs filaments chauffés, pour qu'un courant y prenne naissance, il est nécessaire que l'anode soit positive dans l'une de ces deux lampes que dans l'autre; enfin, chacune des deux lampes peut empêcher la production du courant anodique si la grille de commande est suffisamment négative.

La différence entre les deux lampes ne devient apparente que lorsque le courant a commencé à circuler. Nous savons que, dans une lampe à vide poussé, le courant est formé par des millions d'électrons émergeant de la cathode incandescente et que cet écoulement d'électrons peut être accru ou réduit progressivement si l'on fait varier le potentiel appliqué à la grille.

Dans un thyatron les premiers électrons que la grille enlève à la cathode pour les diriger vers l'anode entrent en collision avec les particules de gaz et les ionisent. Ces particules, désormais chargées positivement, reviennent vers la cathode et neutralisent la charge d'espace, ce qui libère de nombreux autres électrons et leur permet de se précipiter vers l'anode.

Cependant, un grand nombre de particules positives "atterrissent" sur la grille, dont le potentiel négatif s'en trouve "obscurci", et cesse d'exercer un effet sur les électrons; il s'ensuit qu'un courant intense peut maintenant circuler librement dans un thyatron, tout comme dans un phanotron. Des billions d'électrons supplémentaires peuvent atteindre l'anode, ce qui serait impossible si la lampe ne contenait pas des particules ionisées. Aussi le thyatron rempli de vapeur est-il prévu pour débiter un courant bien plus intense que celui pouvant être supporté par les lampes à vide de même dimensions.

3.13.- CARACTERISTIQUE D'AMORCAGE.

Considérons la fig. 3.1 la cathode ayant atteint sa température de fonctionnement, on polarise la grille la plus négativement possible.

puis on applique entre la plaque et la cathode une tension élevée (soit $V_p = E_p = 300V$), si l'on manœuvre lentement le potentiomètre du circuit grille pour réduire en valeur absolue la tension grille, on peut voir pour une position très précise du curseur le tube s'illuminer.

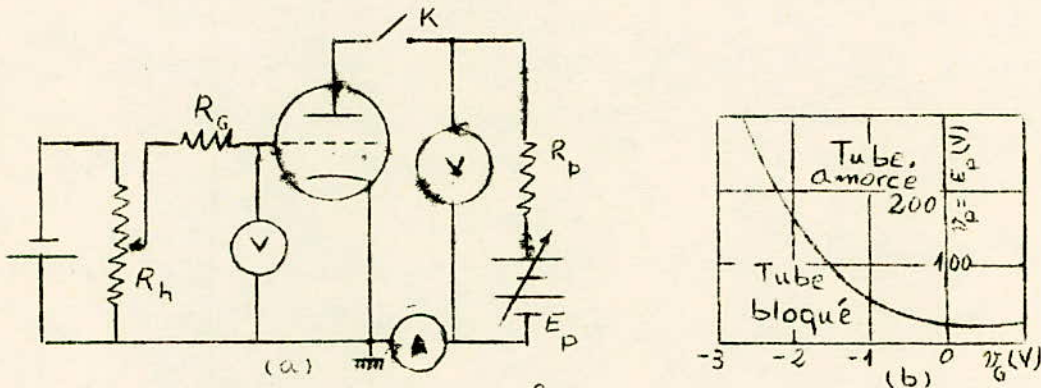


fig. 3.1

La tension qui a permis l'amorçage du tube est appelée tension critique de grille. Il est alors facile de vérifier qu'une fois le tube amorcé la grille ne joue plus son rôle de commande. En effet si l'on modifie la position du curseur du potentiomètre le courant plaque ne varie pas. On explique le résultat par la présence d'un nuage d'ions positifs qui constitue un écran électrostatique autour de la grille, lui enlevant toute action sur les électrons émis par la cathode.

Pour réaliser un nouvel essai, on doit supprimer le courant plaque en ouvrant l'interrupteur K ce qui restitue à la grille son rôle de commande. On peut aussi appliquer une tension plaque plus faible ($V_p' = E_p'$) puis noter la nouvelle valeur de la tension critique de grille. En particulier pour $V_g = 0$, le thyatron d'amorçage est très légèrement supérieure à la tension d'arc E. (Soit une dizaine de volts). On peut consigner ces résultats sur un graphique (fig. 3-1 b), la partie hachurée correspondant au domaine où l'amorçage n'est pas possible. En définitive :

Un thyatron à cathode chaude se comporte comme un interrupteur ouvert avant l'amorçage, son circuit équivalent est le même que pour le phanatron.

Bien que la grille soit à un potentiel négatif, le circuit grille est parcouru par un courant provoqué par les ions positifs qui bombardent la grille. C'est pour limiter ce courant à une valeur convenable que l'on insère dans le circuit grille une résistance d'environ 100 K Ω .

3.14.- Courbe de contrôle d'un thyatron en régime sinusoïdal.

Les applications d'un thyatron en courant continu sont forcément très limitées car il faut interrompre manuellement le courant de la plaque pour rendre à la grille son pouvoir de commande. Il n'en est pas de même en régime sinusoïdal puisque cette coupure se fait automatiquement à chaque période. Il est alors possible de résoudre le problème suivant qui aura des applications très importantes :

Amorcer le thyatron à chaque période en un point précis que l'on se donne sur l'alternance positive de la tension appliquée.

En effet, soit $e = E_M \sin \theta$ (avec $\theta = \omega t$) la tension d'alimentation sinusoïdal qui remplace la tension continue E_p (fig. 3.2), on peut, en s'aidant de la caractéristique d'amorçage relevée en courant continu, déterminer graphiquement aux différentes époques les valeurs limites de la tension grille qui permettent d'amorcer le thyatron. On obtient ainsi une courbe que l'on appelle : caractéristique critique de grille ou courbe de contrôle, la zone hachurée correspondant au domaine où l'amorçage n'est pas possible.

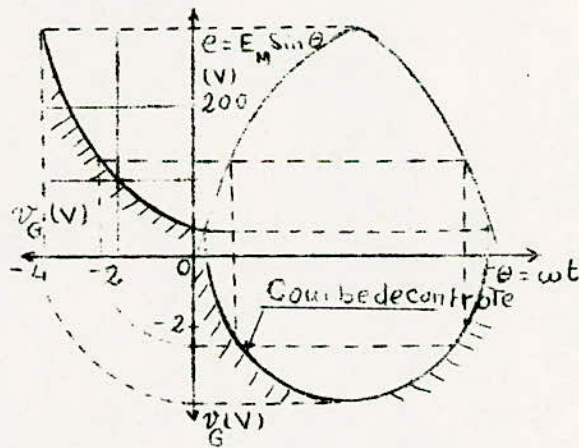


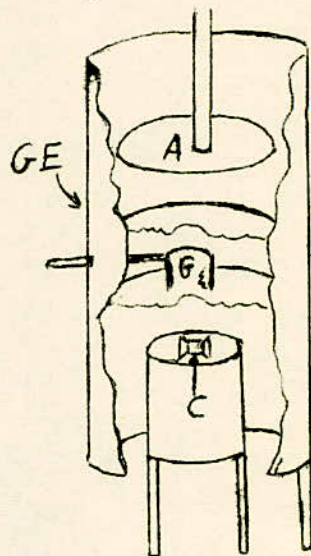
fig. 3.2

3.15.- THYRATRON A GRILLE-ECRAN.

Dans un thyatron ordinaire, la "grille" présente en réalité la forme d'un cylindre de dimensions relativement grandes entourant complètement la cathode. Il en résulte divers inconvénients, en particuliers une capacité grille-cathode assez élevée, et un courant de grille relativement important dans certains cas.

On a amélioré les propriétés des thyratrons en leur adjoignant une quatrième électrode jouant le rôle d'écran.

Dans ce cas, on donne à l'écran une forme telle qu'il entoure presque complètement les trois autres électrodes : il ne reste pour les électrons allant de la cathode à l'anode qu'un passage restreint, délimité par les trous pratiqués dans deux parois pleins de part et d'autre de la grille de commande, de dimensions très petites. Il résulte de cette disposition les avantages ci-après :



1°) La capacité grille-cathode, et par conséquent le courant de grille sont considérablement réduits, ce qui permet d'étendre le domaine d'emploi de ce tube aux circuits à résistance de grille élevée. Dans un tube à remplissage gazeux, la grille collecte des ions positifs, qui constituent un courant de grille de sens opposé à celui qui peut exister dans un tube à vide.

Si ce courant est appréciable et passe dans une résistance élevée, il en résulte une chute de tension qui combat la polarisation négative de la grille il pourrait altérer sensiblement le fonctionnement du tube. Si par contre ces charges positives sont captées par une grille-écran, celle-ci les écoule vers la masse sans qu'elles puissent influencer le circuit d'entrée.

2°) - La grille de commande est protégée contre la chaleur émise par la cathode et contre le dépôt de matière émissive évaporée de la cathode : ceci réduit considérablement l'émission secondaire que cette grille peut produire. De plus, la grille-écran joue évidemment son rôle de blindage électrostatique entre les diverses électrodes.

3°) - Dans le thyatron ordinaire, la grille est disposée tout autour de la cathode, dans le double but de bloquer tous les électrons issus de celle-ci et de réduire les déperditions de chaleur. Il est bien évident que ce dernier rôle peut être rempli par toute enveloppe placée autour de la cathode, et qu'il vaut mieux que la grille de commande ne soit pas chargée de cette action auxiliaire. Dans le thyatron à grille-écran, cette dernière peut se substituer à la grille pour protéger la cathode.

Ces divers avantages ont pour conséquence que le thyatron à grille écran remplace de plus en plus fréquemment celui à 3 électrodes. On reliera fréquemment la grille-écran à la cathode, mais on peut aussi lui appliquer un potentiel réglable, positif ou négatif, par lequel il devient possible d'influencer les caractéristiques d'allumage.

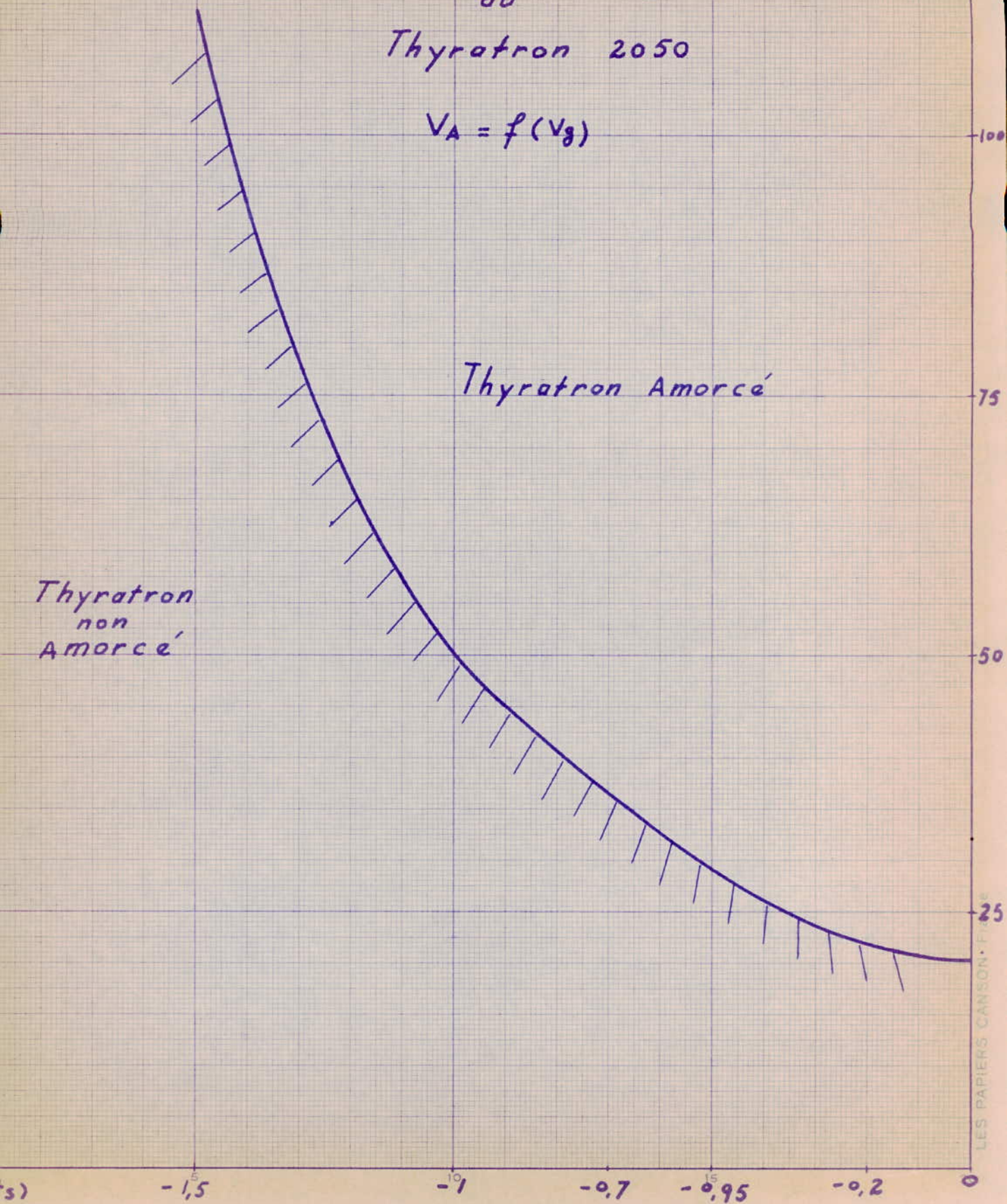
Courbe d'amorçage
du

Thyratron 2050

$$V_A = f(V_g)$$

Thyratron Amorcé

Thyratron
non
Amorcé



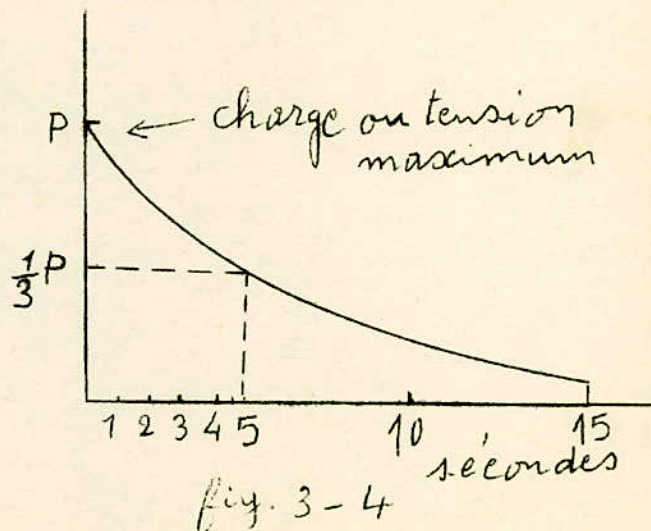
B.- CHARGE ET DECHARGE D'UN CONDENSATEUR

3.21.- VITESSE DE DECHARGE D'UN CONDENSATEUR :

Si un condensateur a été chargé, soit par le courant continu soit par le courant alternatif, il retient sa charge pendant un certain temps. Lorsque la source d'alimentation qui chargeait le condensateur est supprimée ou mise hors circuit, le condensateur contient, en effet, une quantité déterminée d'électricité dont il tentera de se débarrasser en la forçant de s'écouler à travers tout circuit ou tout trajet disponible. Si l'on relie les deux bornes du condensateur par une large bande métallique, le condensateur se déchargera instantanément; cette décharge donne, d'habitude, naissance à une étincelle, due à un écoulement spontané du courant de décharge à travers une résistance aussi faible que celle de la bande métallique. Si un circuit comportant une résistance plus élevée est relié aux bornes de la capacité, celle-ci perdra sa tension ou sa charge plus lentement, et le courant de décharge sera moins fort. Si l'on branche aux bornes du condensateur une résistance encore plus élevée la décharge peut devenir si lente que plusieurs secondes ou, même, minutes peuvent s'écouler avant la disparition quasi-totale de la tension aux bornes du condensateur. Nous voyons ainsi que la décharge du condensateur peut être rendue rapide ou lente, suivant la valeur de la résistance du circuit branché entre les bornes de ce condensateur.

3.22.- LA CONSTANCE DE TEMPS DU CIRCUIT COMPORTANT UNE RESISTANCE ET UNE CAPACITE :

La vitesse de décharge d'un condensateur peut être grande au début, mais elle diminue toujours à mesure que la tension aux bornes du condensateur baisse. Comme on peut le voir sur la fig. 3-4, la tension aux bornes du condensateur peut tomber à environ un tiers de sa valeur maximum en l'espace de cinq secondes, mais, dix secondes plus tard, il subsiste encore une certaine tension résiduelle. Si la capacité - en microfarads - du condensateur est connue, ainsi, d'ailleurs que la



en mégohms - du circuit de décharge, le temps qui est nécessaire pour que la tension aux bornes du condensateur tombe à un tiers environ de sa valeur initiale, sera donné par la formule suivante : temps (en secondes) = résistance (en mégohms) \times capacité (en microfarads). par exemple, un condensateur de 1 microfarad se déchargeant à travers une résistance de 5 M Ω demande approximativement cinq secondes pour se décharger jusqu'à un tiers de sa tension initiale; un condensateur de 20 microfarads se décharge à la même vitesse si la résistance est égale à 250 K Ω .

Cette durée de décharge, obtenue en multipliant R (résistance) par C (capacité), est appelée la constante RC, ou la constante de temps d'un circuit constitué par une capacité et par une résistance. La constante de temps nous fait ainsi voir pendant combien de temps

la tension aux bornes du condensateurs demeure supérieure à un tiers de sa valeur initiale. Comme l'indique la fig. 3-5, la tension résiduelle aux bornes du condensateur est exactement égale à 0,368 de la tension originale lorsqu'un temps égal à RC s'est écoulé; le condensateur a donc déjà perdu 63,2 % de sa charge. Enfin, à l'expiration d'une période de temps égale à 3RC, la tension résiduelle ne s'élève plus qu'à 5 % autrement dit, elle sera égale à 0,05 de sa valeur initiale.

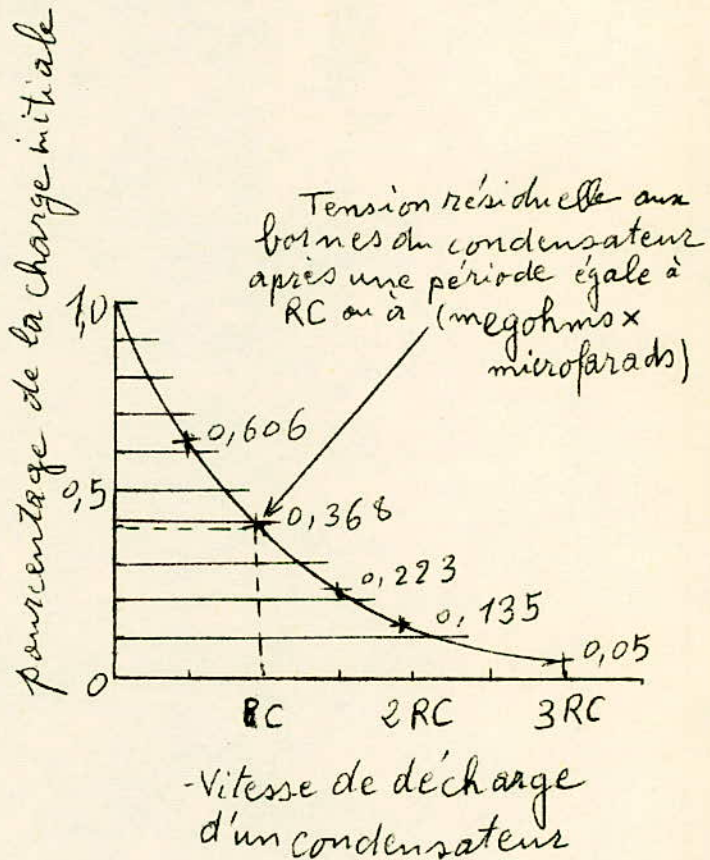


Fig. 3-5

3.23.- TEMPS DE DECHARGE D'UN CONDENSATEUR.

L'effet de retardement dont nous avons parlé trouve une explication dans le circuit de la figure 3-6, aussi longtemps que l'interrupteur S reste fermé, le condensateur C reste chargé à la tension E de la batterie, et le courant $I = \frac{E}{R}$ continue à circuler à travers R (cette tension constante demeurant appliquée, aucun courant ne pénètre dans le condensateur, ni n'en émerge).

Pendant un instant après l'ouverture de S, le condensateur C conserve cette tension, qui continue à envoyer le courant I dans R. Cependant, ce courant utilisera une fraction de l'énergie emmagasinée dans le condensateur, ce qui réduira la tension aux bornes de celui-ci.

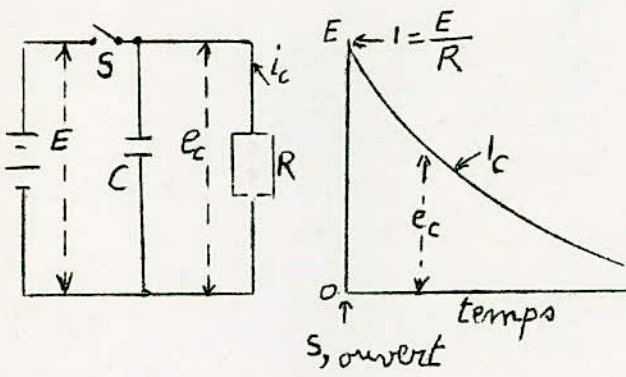


Fig. 3-6

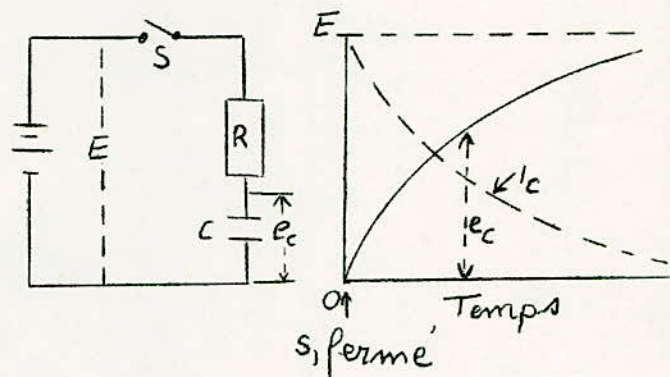


Fig 3-7

La décharge du condensateur s'effectue à la vitesse fixée par sa capacité, ainsi que par la résistance à travers laquelle il se décharge. A tout instant, la tension appliquée à R sera également la tension restant encore aux bornes du condensateur elle est représentée par e_c sur la fig. 3-6

Remarquons que i_c fourni par C et circulant dans R. décroît à la même vitesse.

On sait que e_c obéit à la formule

$$e_c = E e^{-t/RC}$$

Si $C = 2$ microfarads et $R = 3$ még. ohms. La constante de temps de ce circuit sera

$$RC = 2 \times 3 = 6 \text{ secondes.}$$

Supposons que la tension de la batterie soit égale à 10 volts. Dans ces conditions, 6 secondes après l'ouverture de l'interrupteur S,

Nous aurons :

$$e_c = 10 e^{-\frac{6}{2 \times 3}} = 10 e^{-1} = 10/e \text{ volts}$$
$$= 3,68 \text{ volts}$$

si, maintenant, nous attendons encore 6 secondes (jusqu'à l'écoulement du temps total $2 RC$), ces 3,68 volts se seront réduits à 36,8 % de leur valeur, soit à 1,35 volts.

Ce comportement du condensateur est représenté sur la fig. 3-5

La formule ci-dessus peut être écrite :

$$e^{-t/RC} = \frac{e_c}{E}$$

d'où

$$\frac{t}{RC} = \log \frac{E}{e_c}$$
$$t = RC \log \frac{E}{e_c}$$

3.24.- TEMPS DE CHARGE D'UN CONDENSATEUR :

Le phénomène inverse du processus ci-dessus est représenté sur la fig. 3-7. Nous supposons qu'avant la fermeture de S le condensateur C est exempt de toute charge électrique, la tension e_c étant donc nulle.

L'instant qui suit la fermeture de S, la tension de la batterie E envoie un courant intense $i_c = \frac{E}{R}$ dans R et dans C, la majeure partie de E est absorbée par la chute de tension RI dans R. Mais, à mesure que le temps passe, la charge de C augmente, e_c augmente également, ce qui réduit la différence entre E et e_c de sorte que i_c diminue. Cependant, alors que e_c baisse aussi rapidement qu'il baissait dans le cas de la fig. 3-6, la tension e_c est, sur la fig. 3-7 égale à :

$$E \text{ moins la valeur de la courbe précédente, soit } e_c = E - \left(E e^{-\frac{t}{RC}} \right).$$

Ainsi la tension aux bornes du condensateur est :

$$e_c = E \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right).$$

Quand le temps t devient très grand, $e^{-\frac{t}{RC}}$ devient négligeable, et e_c égalera la totalité E. de la tension de la batterie. Par conséquent :

$$t = RC \log \frac{E}{E - e_c}$$

3.25.- EXEMPLE DE RETARDEMENT :

Dans le circuit de la fig. 3-8, le condensateur C est utilisé pour produire un effet de retardement après le passage de l'inverseur S de la position 1 à la position 2; cet effet retardera le désamorçage du relais CR, dû à l'interruption du courant de la lampe.

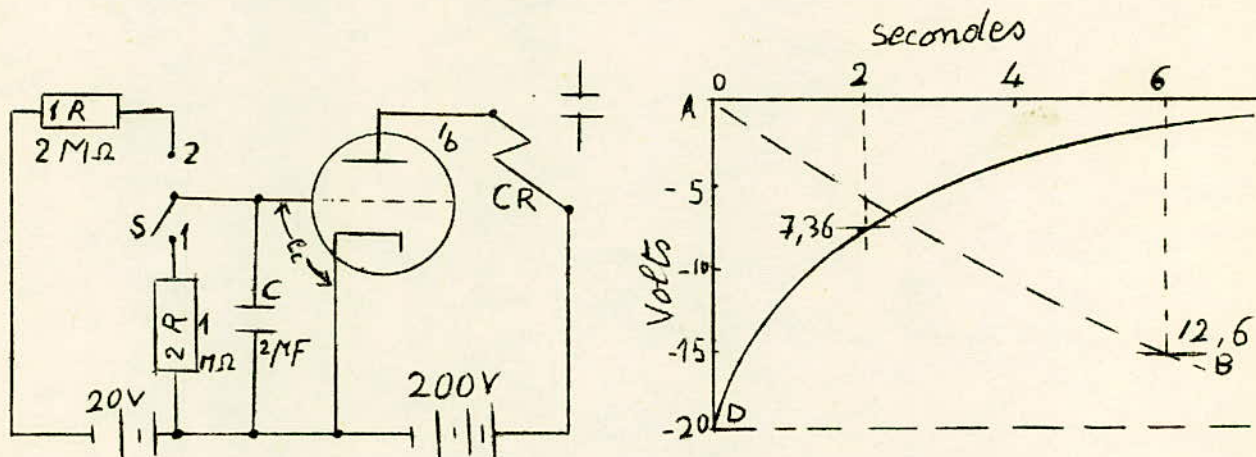


fig. 3-8

Remarquons que, si le condensateur C n'existait pas, la grille de la lampe se trouverait - l'inverseur S étant sur la position 1 - au potentiel de la cathode, car aucun courant ne circulerait dans 2R; par contre, la tension-grille tomberait immédiatement à -20 volts lorsque l'inverseur serait mis sur sa position 2, aucun courant ne traverserait IR.

Mais si le condensateur C est bien inséré entre la grille et la cathode la tension aux bornes de ce condensateur s'élève à e_c , c'est-à-dire à la tension grille de la lampe. Supposons que l'inverseur S se soit trouvé sur sa position 1 jusqu'à la décharge complète du condensateur à travers 2R. Si, dans ces conditions nous plaçons S sur la position 2, le condensateur se chargera progressivement, en effet, les électrons, quittant la batterie de 20 volts, s'écoulent à travers IR et s'accumulent sur le condensateur, ce qui amène la grille à un potentiel plus négatif. Or, comme ce condensateur de 2 microfarads se charge à travers une résistance de 3 mégohms, la constante de temps sera : $RC = 6$ secondes. Le potentiel de la grille deviendra ainsi plus négatif tout en suivant la courbe AB de la fig. 3-8, après un intervalle de 6 secondes, ce potentiel aura atteint la valeur :

$$(1 - 0,368) (-20 \text{ volts}) = -12,64 \text{ volts.}$$

Supposons que le courant de la lampe devienne suffisamment faible pour désamorcer le relais, quand la tension-grille e_c devient égale à -5,5 volts. Le retard dans le désamorçage du relais est donc :

$$t = RC \log \frac{E}{(E - e_c)} = 6 \log \frac{20}{(20 - 5,5)} = 6 \log 1,38 = 1,93 \text{ secondes}$$

Ayant laissé S sur sa position 2 assez longtemps. Pour charger le condensateur à -20 volts, inversons maintenant S rapidement, l'amenant sur la position 1.

La charge du condensateur maintiendra alors la grille à un potentiel négatif mais le condensateur se décharge à travers la résistance 2 R égale à 1 mégohm. La constante de temps étant :

$$RC = 2 \text{ microfarads} \times 1 \text{ mégohm} = 2 \text{ secondes.}$$

Le potentiel de la grille deviendra moins négatif. en suivant la courbe DE de la fig. 3-8, jusqu'au moment où, les 2 secondes s'étant écoulées, .

Nous aurons :

$$e_c = (0,368) (-20 \text{ volts}) = -7,36 \text{ volts.}$$

Supposons enfin que le courant de la lampe augmente et amorce le relais CR. lorsque la tension-grille atteint -4 volts. Le retard dans l'amorçage du relais sera alors.

$$t = RC \log \frac{E}{e_c} = 2 \log \frac{20}{4} = 3,22 \text{ secondes.}$$

Remarquons que cette valeur peut être vérifiée en relevant, sur la fig. 3-8, le point d'intersection de la courbe montante et de la droite horizontale correspondant à -4 volts.

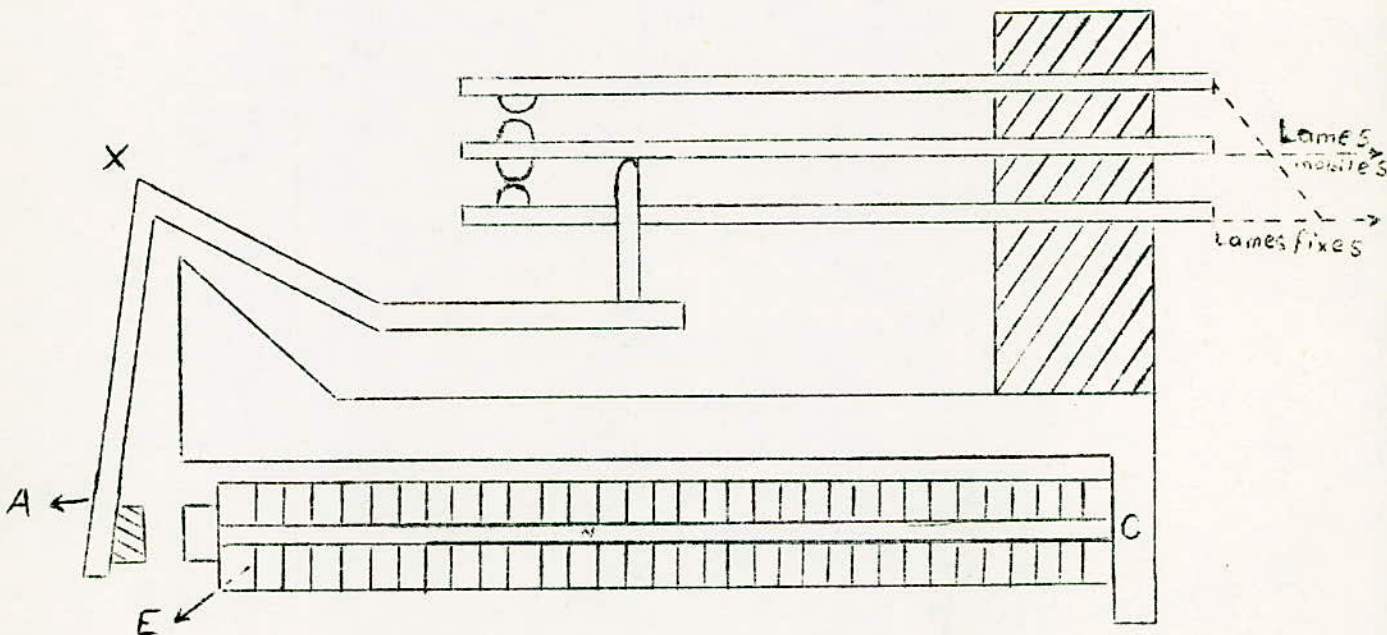
C - LES RELAIS

Le relais est un des contacteurs les plus employés aujourd'hui encore en téléphonie.

il présente deux positions ou états : il est ouvert ou fermé; grâce à ses deux états il peut servir comme élément de montage de portes logiques "ou" et "ET".

Les pièces constitutives du relais sont les suivantes

- a) le noyau N sur lequel est bobiné l'enroulement E l'ensemble constitue la bobine.
- b) La carcasse ou culasse C
- c) L'armature A pivotant autour d'un axe X
- d) Les empilages de contact composés de 2 sortes de lames-ressorts : les lames fixes et les lames mobiles.



On peut distinguer les contacts suivants :

- 1) Les contacts de repos (R) la lame fixe et la lame mobile sont en contact au repos du relais.
- 2) Les contacts de travail (T) la lame fixe et la lame mobile sont en contact lorsque le relais est attiré.
- 3) Les contacts repos-travail (R.T.) : une lame mobile est en contact avec l'une ou l'autre des 2 lames fixes suivant l'état du relais.

Dans les différents systèmes de téléphonie automatique, on groupe les relais utilisés en classes distinctes, en catégories, en type. Plusieurs points de vue président cette classification : construction, fonctionnement...

A titre d'exemple :

Système Rotary : 5 classes distinctes :

- Relais ronds
- Relais plats
- Relais à armeture latérale
- Relais d'impulsions inverses polarisé
- Relais divers à courant alternatif

Système R6 : En général type unique mais

- Point de vue construction : 2 catégories
- Relais simple
- Relais double
- Point de vue fonctionnement
 - Relais normal
 - Relais retardé
 - Relais différentiel

Système Strowger : Dans ce système on distingue

- Les relais ordinaires
- Les relais doubles à double bobine
- Les relais à circuit magnétique fermé
- Les relais retardés (bague)
- Les relais divers.

3.31.- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES RELAIS :

Le principe du fonctionnement est le suivant : lorsque la bobine est excitée, un flux magnétique parcourt les pièces ferromagnétiques et les entrefers et en particulier l'entrefer entre noyau et culasse. Une force proportionnelle au carré du flux produit dans cet entrefer attire donc l'armature vers le noyau. Pour que l'armature vienne à fond; il faut que la force motrice soit supérieure à la force résistante (opposée par les ressorts) : il existe donc une intensité minimum d'attraction pour chaque relais caractérisée, à ce point de vue par sa bobine et son empilage.

3.32.- THEORIE ELECTRIQUE :

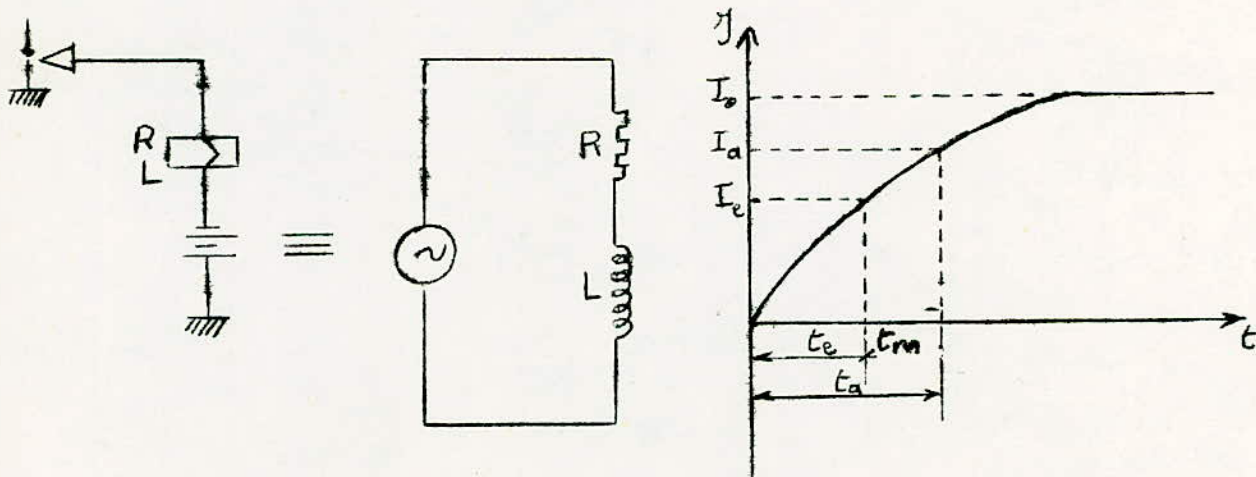
Les temps de fonctionnement des relais peuvent être très différents le temps d'attraction peut varier de quelques m sec à quelques dizaines de minutes. On peut modifier les constantes de temps d'un relais en agissant soit sur le relais lui-même soit sur son circuit.

1°) TEMPS D'ATTRACTION.

Lorsque le relais est mis sous tension, l'intensité croît lentement à cause de l'inductivité de la bobine et l'armature ne commence à bouger que lorsque l'intensité du courant atteint une valeur Minimum nécessaire.

Le temps d'attraction du relais se compose de deux parties :

- a) retard électrique t_e
- b) retard mécanique t_m



I_0 = Intensité finale

I_a = Intensité correspondante au retard total à l'attraction

I_c = Intensité correspondante au retard électrique.

Lors de la mise sous tension, l'équation différentielle du circuit est, si on suppose L constante :

$$E = I R + L \frac{dI}{dt}$$

En supposant $I = 0$ pour $t = 0$, $I = I_0$ pour $t = \infty$, la solution de cette équation est :

$$I = \frac{E}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) = I_0 (1 - e^{-\frac{R}{L}t})$$

Le rapport $\frac{L}{R}$ est une constante de temps τ caractéristique du fonctionnement du relais.

Le temps d'attraction est $t = \tau \ln \frac{I_0}{I_0 - I_a}$

ou $t = \tau \ln \frac{I - I_a}{I_0 - I_a}$

On a trouvé que $I = I_0 (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$

Remplaçons t par τ , on trouve que $I = I_0 \cdot 0,632$ c'est-à-dire τ est le temps nécessaire au courant pour atteindre 63,2 % de sa valeur finale.

On peut diminuer le temps d'attraction :

1 - En diminuant l'induction, c'est-à-dire en diminuant τ .

2 - En diminuant le rapport $\frac{I_a}{I_0}$

2°) - Temps de relâchement.

L'équation suivante est valable pour le relâchement :

$$RI + L \frac{dI}{dt} = 0$$

La solution est : $I = \frac{E}{R} e^{-\frac{Rt}{L}} = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$

d'où le temps de relâchement : $t_r = \tau \ln \frac{I_0}{I_c}$

En remplaçons t par τ , nous trouvons :

$I = I_0 \cdot 0,368$; c'est-à-dire le courant atteint 36,8 % de sa valeur initiale.

Le temps de relâchement peut être diminué par :

- 1) La diminution de L
- 2) L'augmentation de R
- 3) L'augmentation de I_0

3°) - MODIFICATION DES TEMPS DE FONCTIONNEMENTS.

Par des réglages mécaniques extérieurs on peut modifier un peu les temps de fonctionnement, par exemple l'augmentation de la tension des ressorts facilite le relâchement de l'armature.

On peut ainsi modifier les temps de fonctionnement par modification du circuit de commande du relais (Introduction de résistances, de capacités et de thermistances).

3.33.- TEMPORISATION :

Par définition, le temps d'attraction c'est le temps qui sépare le moment où le courant est appliqué du moment où se ferment ou s'ouvrent les contacts du relais.

Le temps de relâchement c'est le temps qui sépare le moment où le courant d'excitation est coupé du moment où le relais rétablit les contacts de repos.

Temporiser un relais c'est modifier les temps de son fonctionnement, en employant différents moyens (par exemple résistances ou capacités en série et en parallèle).

Pour mesurer la temporisation, nous mesurons le temps de fonctionnement des relais dans ces nouvelles conditions d'utilisation. Par comparaison nous pouvons voir l'effet de ces différents moyens, c'est-à-dire comment le temps de fonctionnement est modifié.

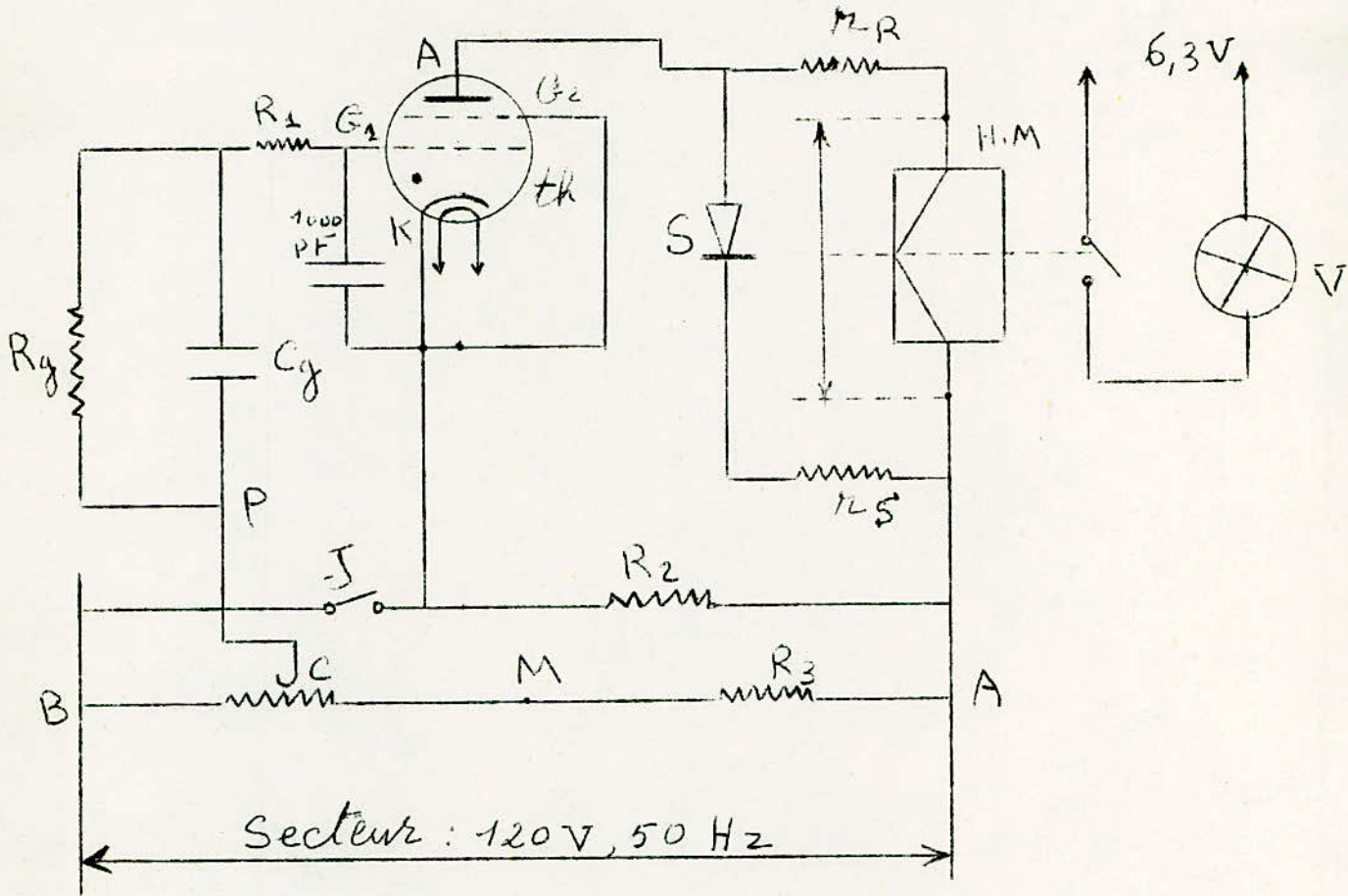
IV.- ETUDE PRATIQUE DU TEMPORISATEUR ELECTRONIQUE

4.I.- MATERIEL UTILISE :

Le montage du temporisateur électronique comporte les éléments suivants :

- a) un thyatron 2050
- b) Une diode semi-conducteur OA85
- c) Un relais à courant continu
I contact repos - Travail
marque : HM
Résistance de la bobine = 1000 Ω
- d) des résistances :
 - Rg = 3,3 M Ω
 - R2 = R3 = 10 K Ω
 - RI = 5 K Ω
 - Rr = 100 Ω
 - Rs = 27 Ω
- e) 2 capacités : C = 1000 pF;
Cg = 5 μ F.
- f) Un potentiomètre : 10 K Ω
- g) 2 interrupteurs bipolaires
- h) Un voyon : 6,3 V.

4.2.- SCHEMA DU MONTAGE :



- S = Diode
- H.M = Relais
- V = Voyon.
- th = thyatron grille-écran.

4.3.- ROLE DU REDRESSEUR S.

Le thyristion n'est conducteur que pendant une alternance sur deux puisque sa tension anodique est la tension alternative du secteur AB : (120 V, 50 Hz).

Pour égaliser le courant dans le relais on met un redresseur inversé en parallèle avec le relais.

4.31.- RELAIS ALIMENTÉ EN COURANT REDRESSÉ NON FILTRÉ :

On réalise l'essai suivant :

L'interrupteur J de la fig. 4.2 étant ouvert, on met le relais sous tension : il vibre fortement : en effet, pendant l'alternance inverse de la tension d'alimentation, le courant s'interrompt dans la bobine du relais et l'armature n'est plus attirée.

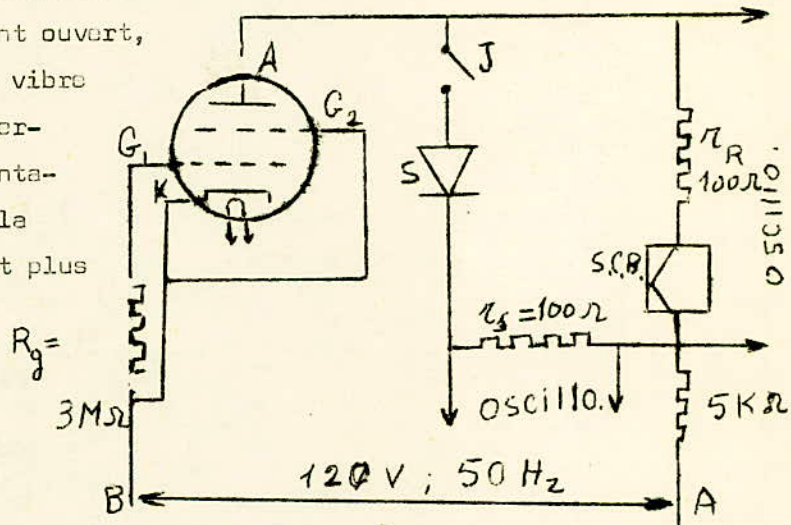


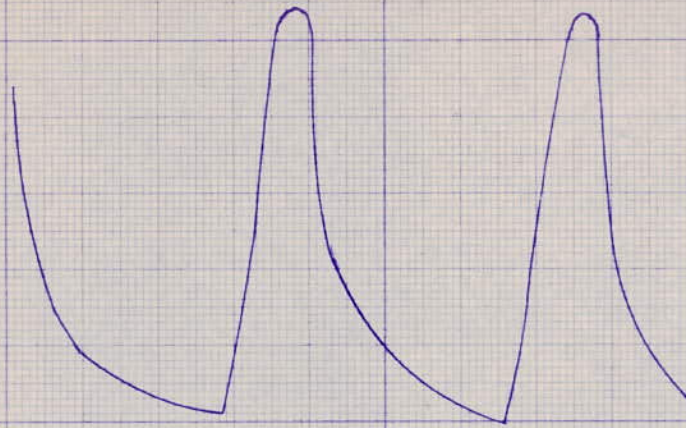
Fig 4-2

4.32.- REDRESSEUR INVERSE EN PARALLELE AVEC LE RELAIS :

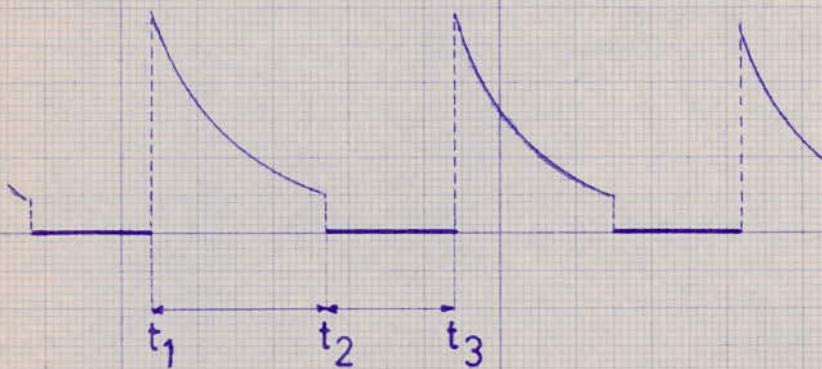
Lorsqu'on ferme l'interrupteur J, le relais ne vibre plus. L'oscilloscope montre que le courant existe pendant ^{toute} la période; en effet, la bobine est inductive et emmagasine donc de l'énergie électromagnétique lorsqu'elle est alimentée, cette énergie lui permet de prolonger le courant dans le redresseur S qui ne lui offre ni f.c.é.m. ni résistance élevée.

Nous relevons les oscillogrammes suivants :

OSCILLOGRAMME DU COURANT DANS LA BOBINE
DU
RELAIS



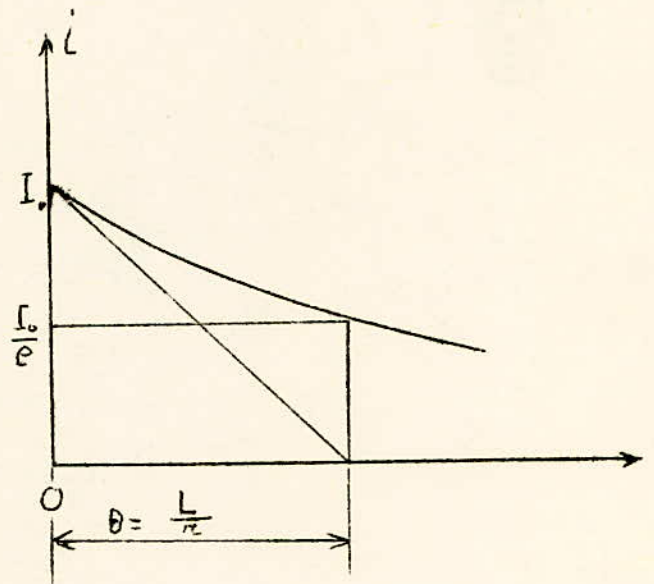
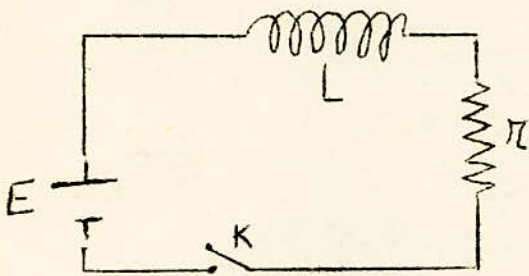
OSCILLOGRAMME DU COURANT DANS LA SOUPE



t_1 à t_2 : débit du thyatron

t_2 à t_3 : l'inductance du relais se décharge à travers la soupape S

4.33.- RAPPEL SUR LA RUPTURE DU COURANT DANS UNE SELF.



Considérons une self L en série avec une résistance (r) initialement branchées aux bornes d'un générateur (E). A un instant donné, on court-circuite brusquement le générateur. Soit I_0 le courant existant dans la self au moment où l'on court-circuite le générateur. On a :

$$L \frac{di}{dt} + r i = 0$$

d'où en tenant compte, que $i = I_0$ pour $t = 0$, on a :

$$i = I_0 e^{-\frac{r t}{L}} = I_0 e^{-\frac{t}{\theta}} \quad (\text{avec } \theta = \frac{L}{r})$$

Le courant s'éteint suivant une loi exponentielle caractérisée par la constante de temps (θ).

FONCTIONNEMENT DU TEMPORISATEUR ELECTRONIQUE

Nous allons faire l'étude de fonctionnement du temporisateur électronique dans les trois cas suivants :

- 4.4. - Le curseur du potentiomètre est en B -
- 4.5. - Le curseur du potentiomètre est en M -
- 4.6. - Cas général : le curseur occupe une position quelconque entre B et M.
- 4.4. - LE CURSEUR DU POTENTIOMETRE EST EN B :

a) - Le contact de commande J est ouvert :

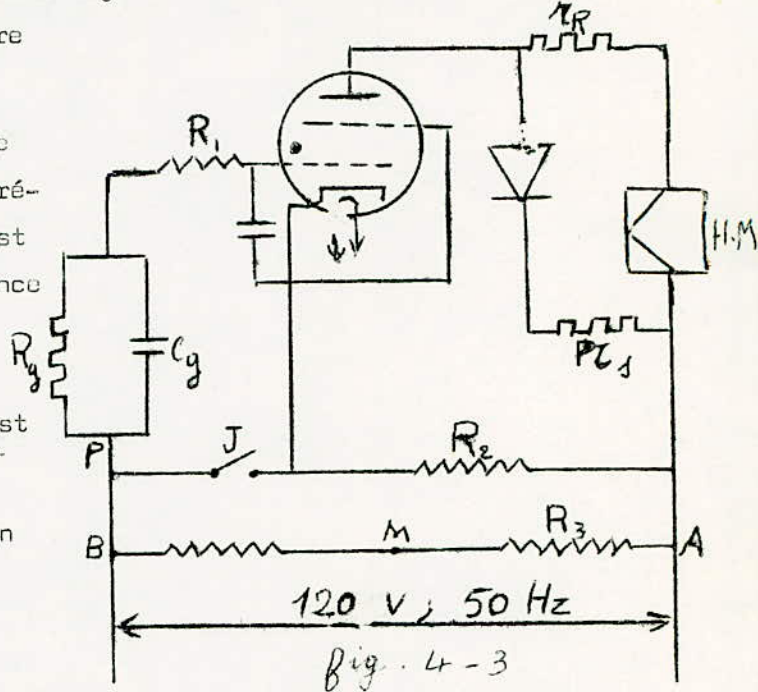
Lorsque J est ouvert, l'anode et la cathode se trouvent au même potentiel, donc $V_A - V_K = 0$ et c'est le circuit de grille du thyatron qui se trouve seul alimenté. La grille de commande G_1 et la cathode constituent une diode de faible résistance.

Le condensateur C_g sera chargé à la tension maximum aux bornes de R_g . Cette tension est peu inférieure à $U \sqrt{2} = 120 \sqrt{2} \approx 170 \text{ V}$.

Le voltmètre branché aux bornes de R_g indique 150 V. On remarque que la résistance R_g qui est de 3,3 mégohms est bien supérieure à toute autre résistance dans le circuit.

Le schéma équivalent du montage est représenté par la fig. 4. 4.

Une seule alternance de la tension alternative du secteur passe dans la diode grille-cathode.



Sur l'oscilloscope on voit la courbe de la tensions aux bornes de la diode. Le palier P correspond à la durée du courant de grille et le reste de la courbe à la tension inverse supportée par cette diode.

Pendant l'alternance suivante, l'effet redresseur de la grille empêche toute apparition d'un courant de sens inverse, le condensateur C_g ne perd, en se déchargeant à travers R_g , qu'une très faible fraction de sa tension puisque la constante de temps est : $3,3 \times 5 = 16,5 \text{ sec}$. Aussi longtemps que l'interrupteur J demeure ouvert, une tension de 150 V est donc maintenue aux bornes de R_g de sorte que la grille reste portée à un potentiel très négatif par C_g .

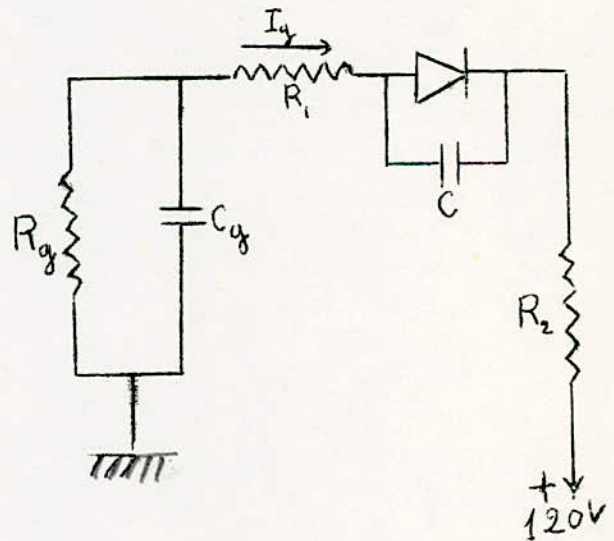


fig. 4 - 4

b) LE CONTACT DE COMMANDE J EST FERMÉ :

En fermant J, on relie la cathode au point B, ce qui court-circuite le circuit cathode-grille. Le condensateur Cg ne se charge donc plus; par contre il se décharge à travers Rg, ce qui fait que le potentiel de la grille monte ou devient moins négatif. Après l'expiration de 2,25 minutes - Ce qui correspond à la période de retard la plus longue sur laquelle ce relais peut être réglé - Le potentiel de la grille devient si voisin de celui de la cathode, qu'un courant croît rapidement et atteint la valeur qui est nécessaire pour entraîner le relais

La fermeture du contact de commande J, fait donc passer la tension d'alimentation du circuit de grille dans le circuit d'anode. Le voltmètre branché aux bornes de Rg revient lentement vers 0.

Sur l'écran de l'oscilloscope, la courbe se transforme en une droite, d'abord plus basse que la courbe, et qui monte de plus en plus lentement. Le relais enclanche ^{lorsque} cette droite coïncide avec le niveau de l'ancien palier P et lorsque le voltmètre atteint 0.

Le schéma équivalent du montage quand le thyatron débite (fig. 4-5) montre que seule l'alternance positive passe, pendant l'alternance négative où le tube ne débite pas, c'est l'inductance du relais qui se décharge à travers la diode S, ce qui égalise le courant dans la bobine du relais. (Voir page 27)

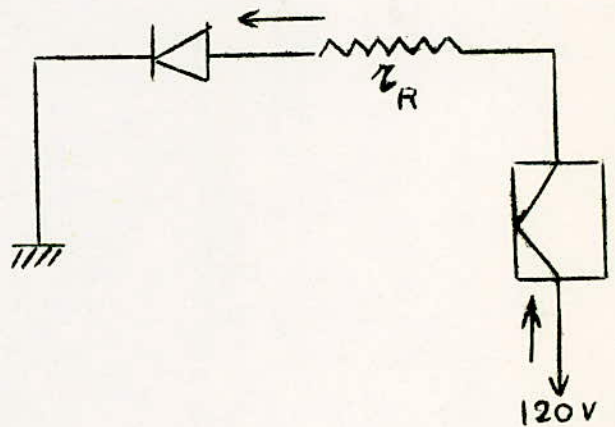


fig. 4-5

4.5- LE CURSEUR DU POTENTIOMETRE EST EN M :

Poussons lentement le curseur de B vers M :

- L'oscilloscope indique une tension alternative de plus en plus petite entre grille et cathode.
- Le voltmètre indique une tension de charge de plus en plus petite pour C_g .

- Lorsque C arrive en M. Ces tensions sont environ 2 fois plus petites que lorsque C était en B.

Le curseur étant en M, fermons le contact de commande J :

- Sur l'écran de l'oscilloscope la courbe reste la même que lorsque le contact de commande était ouvert.

- Le voltmètre varie peu autour de $80V$

- Le relais enclanche sans aucun retard.

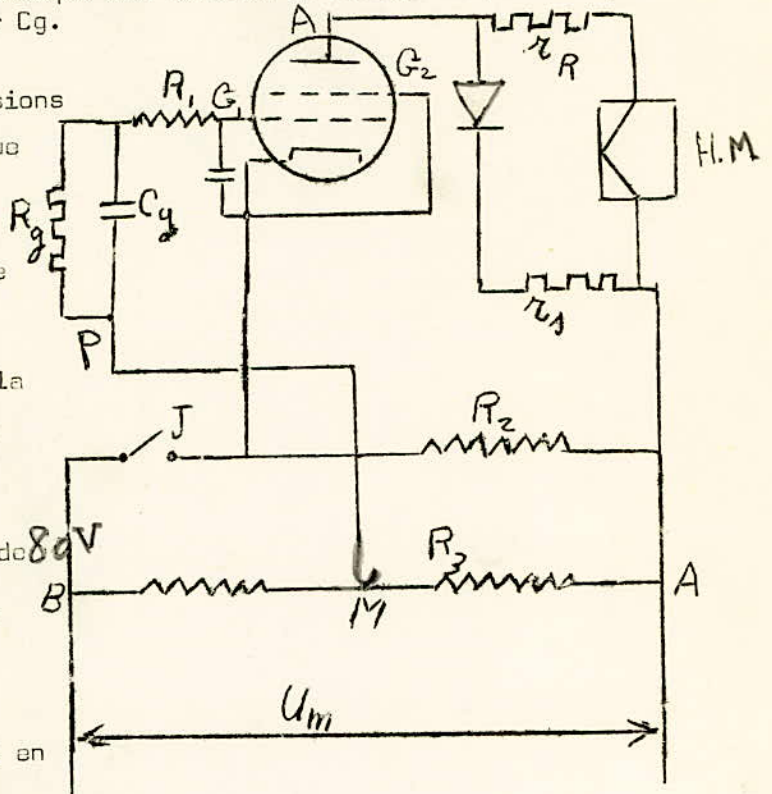
En effet, lorsque le curseur est en M, la tension d'alimentation de la grille, J ouvert, est $\frac{U}{2}$ (entre M et A), 2 fois plus petite qu'avec le curseur en B. C_g se charge à une tension un peu inférieure à $\frac{U \cdot \sqrt{2}}{2} = \frac{U_m}{2}$, or lorsqu'on ferme le contact de commande :

- l'anode se trouve alimentée par la totalité de la tension U de la source.

- La grille est encore alimentée par la tension $\frac{U}{2}$ (entre M et B) de valeur maximum = $\frac{U_m}{2}$.

Posons pour la tension anodique

$$U = V_A - V_B = U_m \sin \omega t$$



La tension instantanée de la grille $V_{G_1} - V_K$ a pour expression :

$$V_{G_1} - V_K = (V_{G_1} - V_p) + (V_M - V_B)$$

$V_{G_1} - V_p$ est la tension aux bornes du condensateur, elle est de l'ordre de $\frac{U_m}{2}$

En outre, $V_M - V_B = \frac{V_A - V_B}{2} = \frac{U_m}{2} (\sin \omega t)$. D'où :

$$V_{G_1} - V_K = -\frac{U_m}{2} + \frac{U_m}{2} \sin \omega t = \frac{U_m}{2} (\sin \omega t - 1).$$

La tension instantanée de la grille s'annule donc dès la première alternance positive de la tension anodique qui suit la fermeture du contact de commande. Le thyatron débite donc immédiatement.

4.6.- CAS GENERAL : Le curseur occupe une position quelconque entre B et M.

Le contact de commande étant ouvert, l'oscilloscope montre une sinusoïde écrêtée S_1 et le voltmètre indique par exemple 102 V.

Fermons le contact de commande : nous trouvons un retard de 20 sec. L'indication du voltmètre est passée de 102 V ^{à 38 V} et se maintient constante à cette dernière valeur. Sur l'écran la sinusoïde écrêtée S_1 a été remplacée par une sinusoïde S_2 d'amplitude plus faible : S_2 part du bas de l'écran, s'élève de plus en plus lentement, puis s'immobilise après écrêtage; son palier P est au même niveau que celui de S_1 , l'enclenchement se produit lorsque le sommet de la sinusoïde atteint le niveau du palier ($V_{G_I} = 0$).

Il est possible de déterminer une position du curseur C fournissant un retard donné entre 0 (C en M) et 2,25 minutes (C en B).

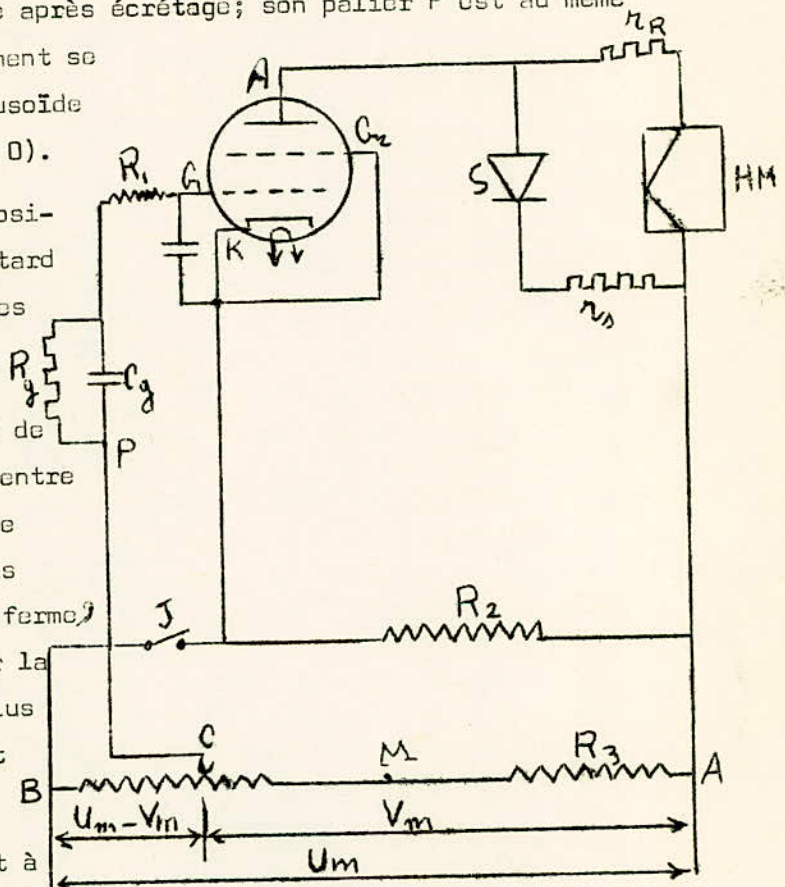
Lorsque J est ouvert, le circuit de grille est alimenté par la tension entre C et A de valeur maximum V_m comprise entre $\frac{U_m}{2}$ et U_m . C_g se charge sous la tension V_m (un peu moins). J se ferme, le circuit d'anode est alimenté par la tension $U_m \sin \omega t$ et il ne reste plus dans la grille que $(U_m - V_m) \sin \omega t$ entre C et B; d'où :

$V_{G_I} - V_K = -V_m + (U_m - V_m) \sin \omega t$ à l'instant de la fermeture. Or :

$$(U_m - V_m) < \frac{U_m}{2} < V_m \text{ donc } V_m - V_K < 0$$

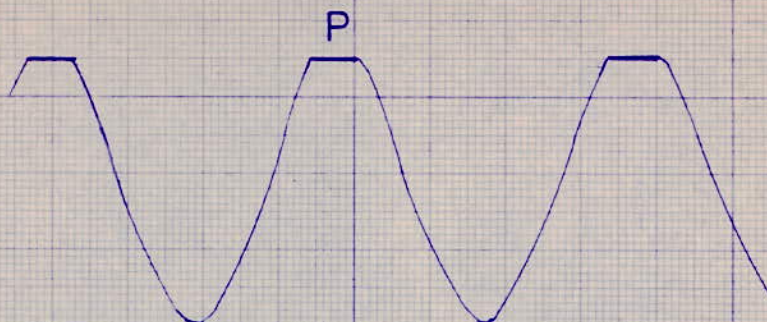
Le thyatron ne peut donc s'amorcer immédiatement. Mais C_g se décharge dans R_g jusqu'à une tension $-(U_m - V_m)$ et à ce moment le thyatron débite car :

$V_{G_I} - V_K = -(U_m - V_m) + (U_m - V_m) \sin \omega t$ est très faible pendant l'alternance positive.



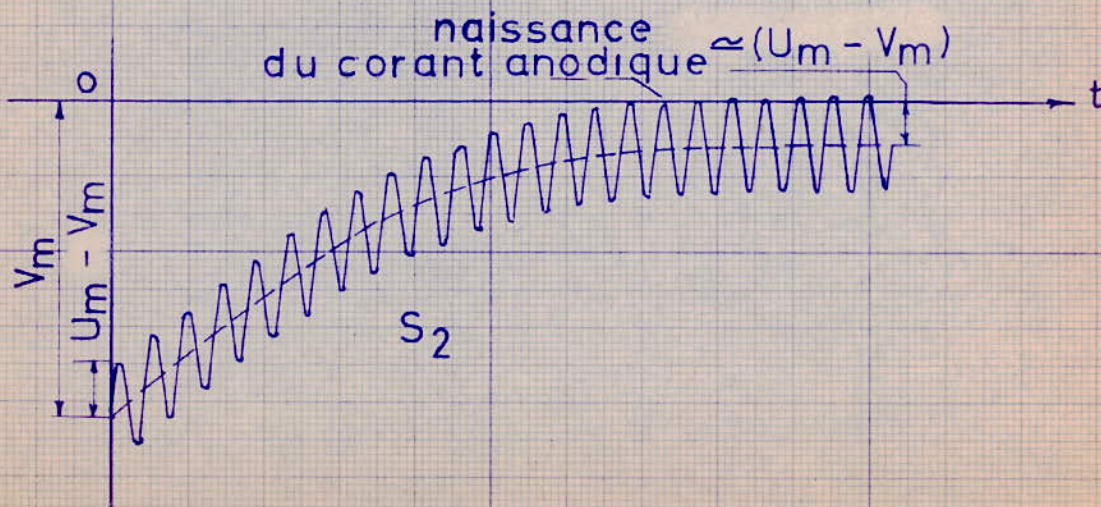
OSCILLOGRAMME DE LA TENSION AUX BORNES DE LA DIODE CATHODE GRILLE

J OUVERT



le palier P correspond à la durée du courant de grille, et le reste de la courbe à la tension inverse supportée par cette diode

VARIATION DE V_g A PARTIR DE LA FERMETURE DU CONTACT DE COMMANDE J



V. - CONCLUSION ET REMARQUES

1) - Le temporisateur électronique ainsi réalisé nous permet d'avoir un retard variable allant de 0 à 2,25 minutes. c'est la position du curseur C du potentiomètre qui fixe la durée de ce retard. Nous avons vu que le retard est nul quand C est en M, il est maximum quand C est en B. Le retard diminue en allant de B vers M.

En déplaçant le curseur C de M vers B on modifie deux grandeurs en sens inverse : On augmente la tension de charge du condensateur Cg avant fermeture de J, et l'on réduit la tension alternative superposée à la polarisation après fermeture de J

2) - L'action retardatrice du circuit commence à l'instant même où l'on ferme l'interrupteur J. A l'expiration du délai voulu, le thyatron entraîne le relais dont les contacts peuvent être connectés de manière à fermer un autre circuit quelconque, ou à ouvrir ce circuit.

3) - Ce temporisateur nous donne un retard maximum entre l'application du signal et l'enclenchement du relais égal à 2,25 minutes : Cette valeur obtenue dépend principalement du circuit Rg Cg et du potentiomètre. Nous avons pris : $R_g = 3,3 \text{ M}\Omega$; $D_g = 5 \mu\text{F}$ et un potentiomètre de $10 \text{ K}\Omega$. En prenant d'autres valeurs pour ces trois éléments on aurait pu avoir un retard maximum différent de 2,25 minutes.

4) Pour égaliser le courant dans la bobine du relais, on s'est servi de la diode S, à travers laquelle l'inductance du relais se décharge pendant les demi-cycles où le thyatron ne débite pas, pour éviter tout tremblement du relais. Pour atteindre ce but on aurait pu aussi connecter un condensateur aux bornes du relais. Pendant la circulation du courant dans la lampe, ce condensateur se charge à la tension existant aux bornes de la bobine du relais, il se décharge ensuite, durant le demi-cycle suivant.

