

50376
1972
178

50376
1972
178

UNIVERSITE DE LILLE

FACULTE DES SCIENCES

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES

DE SCIENCES PHYSIQUES

"ETUDE DU THYRATRON A CATHODE FROIDE
REALISATION D'UN AUTOMATISME A SEQUENCES
ET MEMOIRE POUR COMMANDE D'ASCENSEUR."



Commission d'examen

Président : Monsieur GABILLARD

Examineurs : Monsieur LEBRUN

Monsieur LIEBART

Présenté à LILLE

par

Alain HIS

Ingénieur I S E N

Licencié ès-sciences

SCD LILLE 1



D 030 303725 6

50376
1972
178

50376
1972
178

Nous avons effectué ce travail sous la direction de Monsieur Bernard PRONIER, Directeur des Laboratoires d'Electronique et d'Automatique du Nord - L E A N O R D -. Nous le remercions particulièrement de son aide constante qui nous a permis de mener ce travail à bonne fin.

Nos remerciements vont aussi à Monsieur le Professeur Norbert SEGARD, Directeur de l'Institut Supérieur d'Electronique du Nord - I S E N - pour l'aide qu'il nous a apportée en nous autorisant à travailler dans ses laboratoires, ainsi que pour les conseils qu'il nous a donnés.

Nous remercions également Monsieur GABILLARD, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille, qui a suivi et orienté notre travail, ainsi que Messieurs les Professeurs LEBRUN et LIEBART qui ont accepté de faire partie de notre jury.

Nous remercions enfin tous les professeurs de la Faculté des Sciences et de l'ISEN qui nous ont conseillé et aidé dans notre travail.

Que Messieurs Dominique DAULMERIE, Jean-Claude KRAU et Gérard LEFLON, Ingénieurs ISEN, qui nous ont particulièrement aidé, veuillent bien trouver ici l'expression de toute notre reconnaissance pour leur collaboration constante et amicale.



S O M M A I R E

Première partie : ETUDE DU THYRATRON A CATHODE FROIDE

| | pages |
|---|-------|
| Chapitre I - 1 Principe physique. | |
| I-1-1 Introduction | 8 |
| I-1-2 Phénomène de décharge entre deux électrodes | 8 |
| I-1-2-1 Décharge non autonome | 8 |
| I-1-2-2 Décharge semi autonome | 8 |
| I-1-2-3 Décharge de Townsend | 9 |
| I-1-2-4 Amorçage - Décharge autonome | 9 |
| I-1-2-5 Décharge d'Arc | 14 |
| I-1-2-6 Conclusion | 14 |
| Chapitre I - 2 Le thyatron à cathode froide Z 70 U | |
| I-2-1 Technologie | 15 |
| I-2-2 Fonctionnement | 16 |
| I-2-2-1 Statique | 16 |
| I-2-2-2 Dynamique, déclenchement | 17 |
| I-2-2-3 Phénomènes annexes | 17 |
| I-2-2-4 Formation du germe | 18 |
| I-2-2-5 Sonde | 18 |
| I-2-3 Remarques | 18 |
| I-2-4 Caractéristiques | 18 |
| I-2-4-1 Caractéristique principale $V=f(I)$ | 19 |
| I-2-4-2 Caractéristique de starter | 21 |
| I-2-4-3 Caractéristique de cathode de préionisation | 22 |
| I-2-4-4 Caractéristique de transfert | 22 |
| I-2-4-5 Caractéristiques dynamiques | 23 |
| I-2-5 Limites de fonctionnement - Utilisation | 24 |
| I-2-6 Conclusion | 25 |
| Chapitre I - 3 Montages de base | |
| I-3-1 Le Relaxateur | 26 |
| I-3-1-1 Montage | 26 |
| I-3-1-2 Principe | 26 |
| I-3-1-3 Utilisation de ce principe | 27 |
| I-3-1-4 Améliorations et montage final | 28 |
| I-3-1-5 Montage et mesures | 30 |
| I-3-1-6 Conclusion | 34 |
| I-3-2 Le circuit compteur | 34 |
| I-3-2-1 Montage | 34 |
| I-3-2-2 Principe | 34 |
| I-3-3 Utilisations en relais | 35 |
| I-3-3-1 Détecteur par variation de résistance | 35 |
| I-3-3-2 Détecteur par variation de constante de temps | 36 |
| I-3-3-3 Montages divers | 39 |
| I-3-4 Conclusion | 40 |

| | pages |
|---|-------|
| Chapitre I - 4 Application à un générateur de tension en escalier | |
| I-4-1 Introduction | 41 |
| I-4-2 Principe | 42 |
| I-4-3 Réalisation | 42 |
| I-4-3-1 Choix préliminaire | 42 |
| I-4-3-2 Montage | 43 |
| I-4-3-3 Calcul des éléments | 43 |
| I-4-4 Schéma de principe | 44 |
| <u>Deuxième partie</u> : REALISATION D'UN AUTOMATISME A SEQUENCES ET MEMOIRE POUR COMMANDE D'ASCENSEUR. | |
| Chapitre II - 1 Automatisme pour ascenseur | |
| II-1-1 Généralités | 49 |
| II-1-1-1 Introduction | 49 |
| II-1-1-2 Etude d'une séquence | 49 |
| II-1-2 Sous-ensembles à thyratrons à cathode froide | 50 |
| II-1-2-1 Circuit générateur | 50 |
| II-1-2-2 Circuit "réformeur d'impulsion" "R" | 50 |
| II-1-2-3 Circuit "Porte" | 50 |
| II-1-2-4 Circuit "Ou" | 52 |
| II-1-2-5 Circuit "Compteur" | 52 |
| II-1-3 Principe du fonctionnement | 53 |
| II-1-3-1 Organes centraux | 53 |
| II-1-3-3 Description d'une séquence | 55 |
| II-1-3-4 Remarques | 56 |
| II-1-4 Conclusion | 58 |
| Chapitre II - 2 Principe d'une mémoire séquentielle | |
| II-2-1 Mémoire | 60 |
| II-2-2 Principe | 60 |
| II-2-2-1 Fonction logique | 60 |
| II-2-2-2 Caractéristiques de la mémoire | 61 |
| II-2-3 Conclusion | 62 |
| Chapitre II - 3 Constitution théorique | |
| II-3-1 Diagramme fonctionnel | 63 |
| II-3-1-1 Notations | 63 |
| II-3-1-2 Diagramme de la mémoire | 64 |
| II-3-2 Analyse | 64 |
| II-3-2-1 Matrice | 64 |
| II-3-2-2 Organe d'écriture | 66 |
| II-3-2-3 Organe de lecture | 66 |
| II-3-2-4 Organe de sortie | 67 |
| II-3-2-5 Conclusion | 67 |
| II-3-3 Extension | 68 |

| | |
|--|----|
| Chapitre II - 4 Etude de la réalisation | |
| II-4-1 Analyse du schéma complet | 70 |
| II-4-2 Organes de la matrice | 70 |
| II-4-2-1 Montages des éléments matriciels | 70 |
| II-4-2-2 Logique de la matrice | 70 |
| II-4-3 Système d'écriture | 71 |
| II-4-3-1 Ecriture initiale | 71 |
| II-4-3-2 Ecritures ultérieures | 73 |
| II-4-4 Système de lecture | 73 |
| II-4-4-1 Mise en marche initiale | 73 |
| II-4-4-2 Lecture | 74 |
| II-4-5 Organes de sortie | 74 |
| II-4-6 Déroulement d'une séquence | 75 |
| II-4-7 Mesures | 76 |
| II-4-7-1 Remarques générales | 76 |
| II-4-7-2 Oscillations sur le starter | 76 |
| Chapitre II - 5 Utilisations | |
| II-5-1 Principes généraux | 79 |
| II-5-2 Applications à un ascenseur | 79 |
| II-5-2-1 Introduction de la mémoire | 79 |
| II-5-2-2 Déroulement d'une séquence | 80 |
| II-5-2-3 Extension | 81 |
| II-5-3 Application à un circuit téléphonique | 82 |
| II-5-4 Conclusion | 84 |
| Conclusion générale de l'étude | 86 |
| Annexe 1 | 87 |
| Annexe 2 | 89 |
| Bibliographie | 91 |

Le thyatron à cathode froide est apparu il y a une vingtaine d'années, et cependant ce n'est qu'aujourd'hui qu'il attire l'attention d'un grand nombre d'utilisateurs. Si encore certains aspects de son fonctionnement sont mal connus, ils empêchent ses qualités de prévaloir dans de nombreuses réalisations. Notre présent travail a été d'étudier le fonctionnement et l'utilisation de cet élément.

Dans une première partie, nous en verrons la constitution, le fonctionnement théorique et son application à quelques montages de base.

Dans une seconde partie, nous décrirons la réalisation d'un automatisme pour ascenseur comportant une mémoire séquentielle entièrement réalisée avec des thyatrons à cathode froide.

AVERTISSEMENT TECHNOLOGIQUE

Afin de supprimer toute ambiguïté, nous allons définir ici certains termes utilisés dans ce texte ; c'est qu'en effet, il existe parfois des différences d'expressions entre la bibliographie à caractère théorique et celles à caractère technique qui pourraient gêner le lecteur.

Dans un tube à gaz, entre deux électrodes, on appellera :

- Tension d'arc, la tension entre deux électrodes, lorsque le gaz est ionisé et que la décharge est autonome.
- Tension d'amorçage ou Potentiel explosif, la tension qu'il faut appliquer entre anode et cathode pour provoquer la décharge.
- Décharge d'arc, l'état de fonctionnement du tube lorsque la cathode est thermo-émissive, soit parce qu'elle est préalablement chauffée, soit que l'intensité du courant provoque une thermo-émissivité.

PREMIERE PARTIE

ETUDE DU THYRATRON A CATHODE FROIDE

Chapitre I - 1

PRINCIPE PHYSIQUE

I - 11 INTRODUCTION

Le phénomène de décharge électrique dans un gaz est à la base du fonctionnement de nombreux dispositifs tels que le tube stabilisateur de tension du néon, le compteur de Geiger, la cellule photo-électrique à gaz, le thyatron à cathode froide et le tube indicateur décimal. Tous ces éléments utilisent le phénomène d'ionisation entre deux électrodes

I - 12 PHENOMENE DE DECHARGE ENTRE DEUX ELECTRODES

Si l'on établit entre deux électrodes d'un tube rempli de gaz une différence de potentiel, on observe différents états déterminés par l'intensité du courant qui traverse le gaz. On peut, en effet, obtenir plusieurs états différents pour une même tension. Alimentons alors notre tube par une source de tension afin de distinguer une succession de cinq états différents à courant croissant.

I - 121 Décharge non autonome

Dans ce premier état, le courant est produit par une excitation extérieure. Il existe toujours dans un gaz, des "germes" c'est à dire des porteurs créés par les rayonnements cosmiques et par radio-activité. Dans la décharge "non autonome", eux seuls produisent un courant. Le champ est insuffisant pour donner à ces charges des énergies capables d'ioniser le gaz, et ainsi ce courant prend rapidement une valeur de

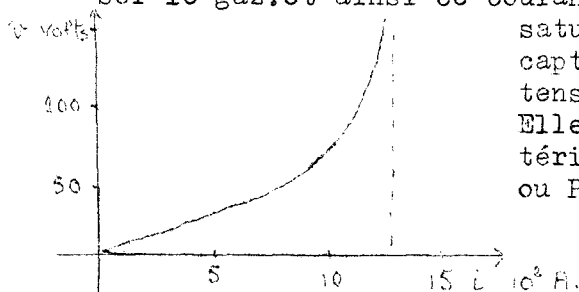


Fig. I - 121

saturation lorsqu'elles sont toutes captées. La caractéristique "courant-tension" a l'allure ci-contre (1). Elle a la même allure qu'une caractéristique de diode à vide $I = PV^{3/2}$ ou P est la "Pervéance".

I - 122 Décharge semi-autonome

Si on augmente la tension entre les électrodes, après que le courant ait atteint la valeur de saturation, on observe que le courant recommence à croître.

(1) Laporte - Décharge électrique dans les gaz p. 100

En effet, l'énergie acquise par les particules est capable d'ioniser quelques molécules de gaz. Pour cela il faut que

$$W \geq eV = W_0 : \text{énergie minimum d'ionisation}$$

W : énergie acquise par la particule

e : charge de l'électron

V : potentiel d'ionisation : pour le Néon 21,5 v.

Cependant ces particules sont captées par l'anode avant d'avoir acquis à leur tour une énergie capable d'ioniser des molécules. Ainsi comme la décharge non autonome, la décharge semi-autonome ne subsiste que si un agent extérieur est générateur de porteurs de charges électriques. C'est le stade préliminaire de la décharge autonome, phénomène étudié par TOWNSEND en de nombreuses expériences.

Ce phénomène est utilisé dans les cellules photo-électriques à gaz et dans les tubes Geiger.

I - 123 Décharge de TOWNSEND

I - 1231 - Phénomène Physique

Si l'on fait croître la tension, on observe un second stade de décharge non autonome où tension et courant croissent toujours dans le même sens celui-ci cependant nettement plus vite que celle-là. TOWNSEND suppose que l'ionisation supplémentaire que l'on observe est due aux ions positifs.

I - 1232 - Énergie acquise par un ion sous l'influence du champ électrique.

Cathode

Anode

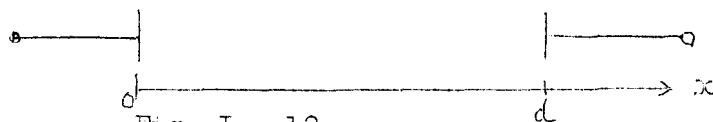


Fig. I - 12

Considérons une particule de charge $q = -e$ placée dans le champ accélérateur $E = \frac{V}{d}$ V étant le potentiel entre anode et cathode et d la distance entre ces électrodes.

L'abscisse x de cette particule sera

$$x = x_0 + \frac{1}{2} \gamma t^2$$

x_0 étant l'abscisse du point où cette charge a pris naissance ;

$$\gamma = \frac{eE}{m} \quad \text{et donc :}$$

$$x = x_0 + \frac{1}{2} e \cdot E \cdot \frac{t^2}{m}$$

L'énergie d'une particule sera donc : $W = x.e.E$

$$\text{Soit : } W = W_0 + \frac{1}{2} e^2 E^2 \frac{t^2}{m}$$

Nous voyons donc que l'énergie acquise par une particule étant en $\frac{1}{m}$, il est évident que les ions positifs ne vont acquérir une énergie plus grande que W_0 , énergie minimum d'ionisation, que pour un champ E plus élevé.

I - 124 Amorçage - Décharge autonome.

I - 1241 - Amorçage

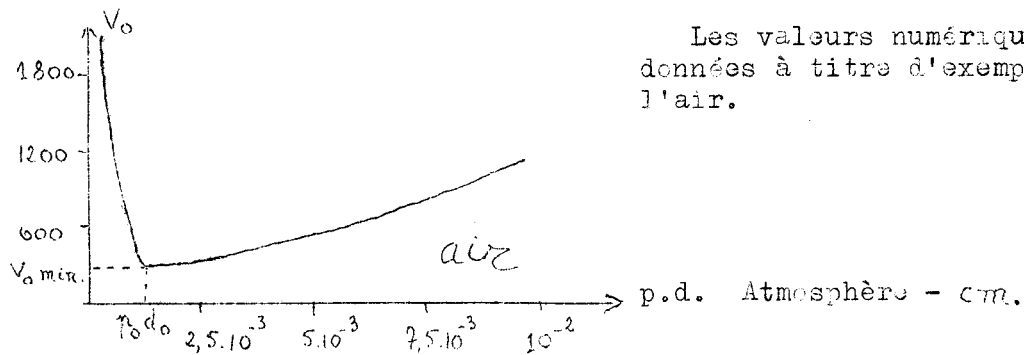
Dès que la distance des deux plateaux d est telle que $d = \frac{1}{2} e E \frac{t^2}{m} = W_0$ les électrons ionisés peuvent à leur tour ioniser d'autres particules. On comprend qu'une particule ayant acquis une énergie W_0 ionisera effectivement par choc une molécule d'autant plus facilement que la pression est grande, c'est ce qu'exprime la Loi de PASCHEN : pour tous les gaz, le potentiel explosif entre plateaux parallèles est uniquement fonction du produit

$$p \times d$$

où p est la pression du gaz
et d la distance entre électrodes.

Le potentiel explosif est la valeur de la tension à partir de laquelle le gaz s'ionise. Il est alors lumineux.

Si on trace la courbe de la valeur V_0 du potentiel explosif en fonction du produit $p \times d$, on obtient la courbe de la fig. I - 124



On peut écrire le produit $p \times d$ sous la forme

$$p \times d = \frac{K}{\lambda} d$$

où λ est le libre parcours moyen des électrons qui est inversement proportionnel à la pression.

Cette loi montre en particulier que pour un gaz donné, il y a un potentiel explosif minimum, et que ce potentiel ne dépend que de la distance des électrodes mesurées avec λ comme unité.

Le minimum de $V_0 = V_0 \text{ min.}$ est atteint lorsque λ , libre parcours moyen, est tel que la particule puisse acquérir l'énergie W_0 .

$$\text{or } W = x \cdot e \cdot E = W_0$$

$$\text{soit } W_0 = \lambda \cdot e \cdot \frac{V_0 \text{ min.}}{d} \quad \text{or } p = \frac{K}{\lambda}$$

$$\text{soit } W_0 \text{ min.} = W_0 \frac{1}{e} \frac{d}{\lambda} = \frac{W_0}{e} K p \cdot d$$

- Si la pression est trop grande, la particule rencontrera une molécule avant d'avoir acquis une énergie W_0 . D'où la nécessité d'augmenter le potentiel c'est à dire en fin de compte le champ.

- Si la pression est trop faible, la particule aura un libre parcours moyen plus grand, mais une probabilité moindre de rencontrer une molécule avant de se faire capter par l'anode. D'où la remontée de la courbe de PASCHEN. Il est intéressant de voir l'ordre de grandeur de ces potentiels pour différents gaz. Le tableau ci-dessus ind. que pour quelques gaz, les potentiels explosifs minima et les produits $p \times d$ correspondant en mm de Hg et cm.

| Gaz | Air | H ² | H _e | Ar |
|--------------------|-------|----------------|----------------|------|
| V _e min | 330 | 270 | 156 | 233 |
| p d | 0,567 | 1,15 | 4,0 | 0,76 |

Etant donné les dimensions pratiques des tubes électroniques, ces valeurs montrent qu'on utilisera donc des faibles pressions dans les tubes à gaz afin d'obtenir des potentiels explosifs minima.

I - 1242 - Décharge autonome

En fait le courant ne varie pas "brusquement" pour cette valeur de V_0 (c'est à dire qu'il n'y a pas discontinuité du courant par rapport à la tension). Cependant le courant croît rapidement.

La décharge devient alors "Autonome". Nous montrerons qu'alors l'ionisation demeure. On peut caractériser cet état très important (Etat de fonctionnement ordinaire des tubes au néon et thyatron à cathode froide) par deux particularités

1 La décharge est lumineuse

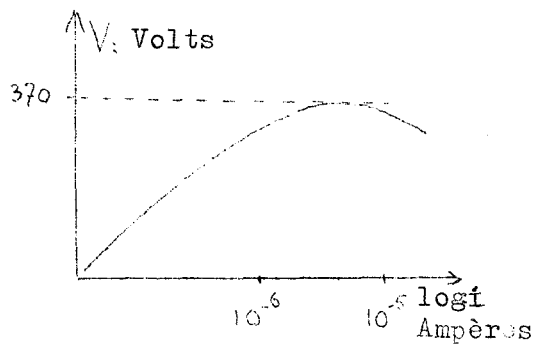
On trouve une nombreuse bibliographie sur la décharge lumineuse dans les gaz. Nous n'en retiendrons que l'essentiel (Note). Cet effet lumineux est du à l'excitation des molécules du gaz.

Note : On retiendra

- Cours d'électricité. Bruhat p. 587 - 592
- Laporte - Décharge électrique
dans les gaz p. 142 - 176

Il se produit au niveau de la cathode et on l'utilise dans les tubes indicateurs numériques. Ces tubes ont dix cathodes en forme de chiffres de 0 à 9 ; leur point de fonctionnement est tel qu'une seule cathode arque avec l'anode à la fois et que toute cette cathode est entourée d'une "gaine cathodique" lumineuse.

2 Il y a une grande modification dans la répartition du champ dans le gaz entre les électrodes.



Courbe
 $V = f(i)$
Tube au néon

$p \approx 0,1$ mm. de Hg.
 $d \approx 1$ cm.

fig. I - 124 a

On voit que le courant croît sans discontinuité. Lorsque $V = V_0$ "potentiel explosif" est atteint, il se forme dans l'ampoule un "plasma" du à l'ionisation.

On appelle "plasma" un gaz ionisé formé d'un mélange, partie égale d'ions négatifs et positifs. La charge d'espace dans un plasma est donc nulle et à cause de la grande mobilité des ions, il ne peut exister de champ électrique permanent important. (le plasma se comporte comme un conducteur de faible résistance ohmique.)

La répartition des potentiels à l'intérieur de l'ampoule est alors la suivante

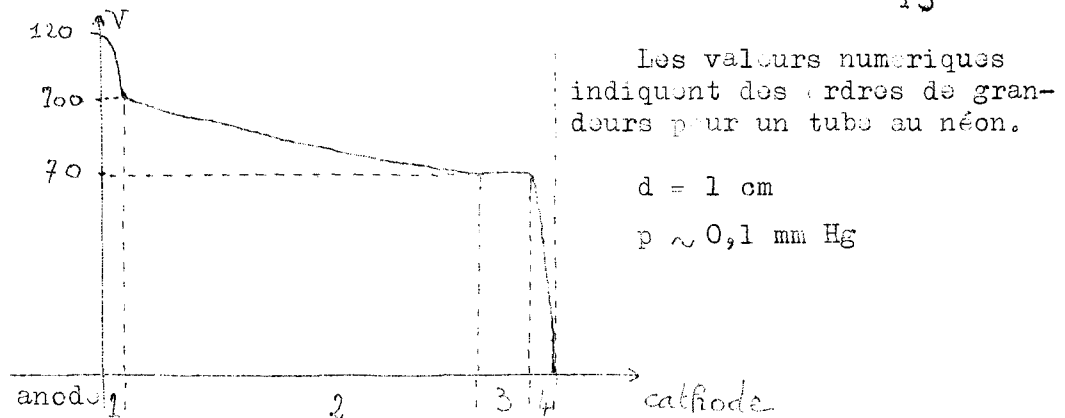


fig. I - 124 b

1) Chute anodique -

qui semble due à l'accumulation au voisinage de l'anode des électrons d'ionisation créant une charge d'espace (d'ailleurs variable avec les impuretés dans le gaz).

2) Chute de potentiel dans le plasma. Puisque dans cette région on relève une chute de tension linéaire

3) Espace sombre de Faraday et lumière négative

Dans cette région le potentiel varie peu, la recombinaison de quelques électrons provoquent une région de lumière dite "négative" sur une zone d'un espace sombre dit "de Faraday" où les électrons sont ralentis.

4) Chute Cathodique

Il se produit au voisinage immédiat de la cathode, une chute de tension très importante qui dépend :

- de la nature du gaz
- de celle de la cathode
- des altérations de surface de la cathode
- des impuretés dans le gaz.

Elle est indépendante

- de la pression du gaz
- de l'intensité du courant (aussi longtemps que la cathode n'est pas entièrement éclairée)

C'est la région où se produit une très forte accélération des particules donc se produit une excitation d'un grand nombre de particules et c'est pourquoi la luminescence du gaz est très forte juste après cette chute cathodique.

I - 125 Décharge d'arc

On appelle décharge d'arc, une décharge ayant lieu avec émission électronique de cathode par effet thermo-ionique (par chauffage de la cathode).

C'est la zone de fonctionnement des thyratrons à cathode chaude. Elle se caractérise par l'abaissement considérable de la hute cathodique.

I - 126 Conclusion

Après avoir vu les différentes étapes de l'ionisation, à courant croissant, nous pouvons rappeler les applications de ces différents états.

- 1) Décharge non autonome : non utilisée car les courants sont très faibles.
- 2) Décharge semi-autonome utilisée dans les cellules photo-électriques à gaz et les compteurs de Geiger.
- 3) Décharge de Townsend non utilisée car le phénomène est instable.
- 4) Décharge autonome entre 10 mA et 100 mA. Néon régulateur de tension, thyatron à cathode froide, tubes indicateurs.
- 5) Décharge d'arc : thyatron à cathode chaude, ignitrons.

Le phénomène de décharge électrique dans les gaz présente un grand intérêt par le nombre des applications qu'il permet. Cependant nos connaissances de ce phénomène sont en core loin d'être suffisantes et de nombreuses études se poursuivent actuellement.

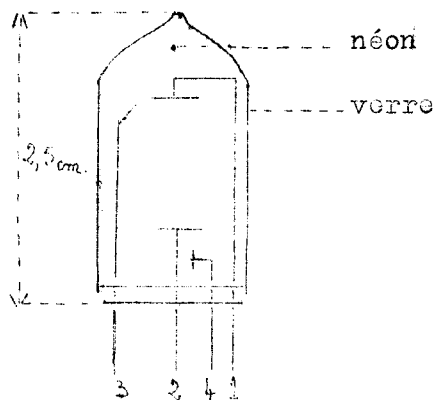
(1) Note : La valeur des courants indiqués n'est évidemment qu'un ordre de grandeur évalué pour un tube néon basse pression.

Chapitre I - 2

LE THYRATRON A CATHODE FROIDE Z 70 U

I - 21 TECHNOLOGIE

Le thyatron à cathode froide est un tube à gaz basse pression, de l'ordre du millimètre de Mercure, utilisant le phénomène de décharge électrique dans les gaz.



Tube Z 70 U

fig. I - 21 a

- 1 Cathode .
- 2 Anode .
- 3 Starter ou électrode d'amorçage.
- 4 Cathode de préionisation .

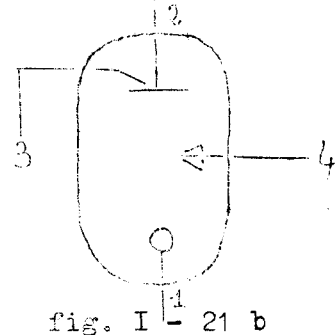


fig. I - 21 b

Il se présente symboliquement comme le montre la figure I - 21 b. Il peut être à quatre ou cinq électrodes ; certains tubes ont deux starters placés symétriquement par rapport à la cathode.

Les électrodes sont généralement en métal pur, le plus souvent du molybdène, enfermées dans une ampoule de verre, remplie de gaz à faible pression.

Les plus petits sont de 2 à 5 cm, les plus grands d'une dizaine de cm.

On trouvera en annexe 1 quelques types de thyatrons à cathodes froides chez différents constructeurs, car nous sommes obligés dans nos applications à n'utiliser qu'un seul type de tube, celui qui nous a semblé correspondre le mieux à nos besoins d'utilisation en élément de base de circuit fonctionnel (consommation et encombrement min mum). C'est le tube Z 70 U que nous avons choisi car il présente l'avantage d'avoir un analogue à deux starters, le Z 70 W, tube qui possède par ailleurs une identité totale avec le Z 70 U. On trouvera en annexe 2 toutes les caractéristiques essentielles de ce tube.

I - 22 FONCTIONNEMENT

I - 221 Statique

La zone de fonctionnement des thyratrons à cathode froide est la décharge autonome, zone dans laquelle la caractéristique $V = f(i)$ présente un palier spécifique des tubes utilisateurs au néon. Dans cette région, la résistance

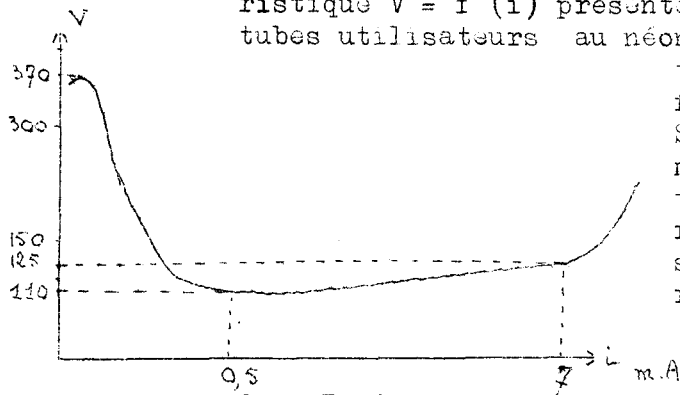
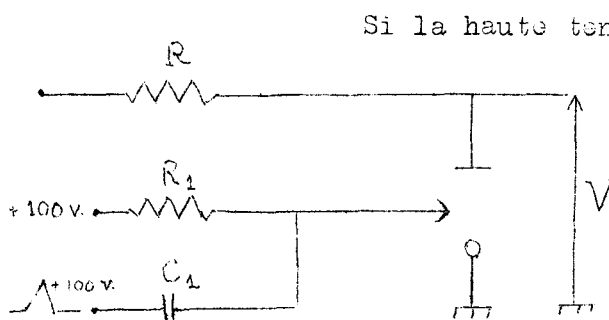


fig. I 221 a

résistance dynamique du tube est très faible, de l'ordre de 600Ω . Si donc le tube est ionisé, et maintenu dans sa zone de fonctionnement en limitant le courant par une résistance R en série, la tension à ses bornes restera sensiblement constante.



tube Z 70 U

$$R_1 = 1,5 \text{ M}\Omega$$

$$C_1 = 500 \text{ pf}$$

$$R = 65 \text{ k}\Omega$$

$$E = 250 \text{ v}$$

fig. I 221 b

Si la haute tension E varie de ΔE la variation ΔV qui en résultera aux bornes du tube sera réduite dans le rapport des résistances dynamiques R et ρ du tube

$$\Delta V = \frac{\rho}{R + \rho} \Delta E$$

Soit :

$$\Delta V \sim \frac{\rho}{R} \Delta E$$

soit ici : $\frac{1}{100}$

Le courant doit évidemment rester compris ici entre 1 et 4 mA.

Puisque la décharge est autonome, la plus grande partie de la chute de tension se produira sur la cathode (cf I - 124). On rend cette tension minimale en choisissant un métal pur et en dosant les impuretés dans le gaz. La "tension d'arc" c'est à dire la tension que l'on a entre anode et cathode lorsqu'il y a ionisation en décharge autonome, se produisant presque uniquement au niveau de la cathode est indépendante de la géométrie des électrodes. Elle est à l'ordre d'une centaine de volts.

I - 222 Dynamique, déclenchement.

Pour parvenir à la décharge autonome entre anode et cathode, il faut :

- soit établir le potentiel explosif, de l'ordre de 370 volts, entre ces électrodes.

- soit établir au moyen d'une anode auxiliaire une décharge autonome qui produira une chute cathodique accélératrice et un plasma qui établira la décharge principale entre anode et cathode.

Cette anode auxiliaire appelée starter, est placée très près de la cathode en sorte que le potentiel explosif (1), en accord avec la loi de Paschen, est beaucoup plus faible, de l'ordre de 150 volts.

Donc la tension entre anode et cathode étant inférieure à la tension d'amorçage mais supérieure à la tension d'arc, le déclenchement de la décharge autonome entre ces électrodes se fait par la formation d'un arc entre starter et cathode par dépassement du potentiel explosif entre ces électrodes. La puissance de commande nécessaire restera très faible : 150 volts, 100 μ A.

Remarquons qu'entre anode et cathode, séparées de 3 mm, le potentiel explosif est de 370 volts et la tension d'arc de 120 volts. Entre starter et cathode, séparés d'environ 0,5 mm, le potentiel explosif est de 150 volts et la tension d'arc de 100 v. Ceci montre bien qu'entre deux électrodes, le potentiel explosif dépend de la géométrie des électrodes et que la tension d'Arc n'en dépend pas car toute la chute de tension se produit sur la cathode (I - 124)

I - 223 Phénomènes annexes. Retard à l'amorçage.

Nous avons vu (cf. I - 1211) que pour amorcer une décharge entre deux électrodes, il fallait initialement que des porteurs de charge pré-existent dans le gaz. L'existence et l'emplacement géométrique de ces "germes" à l'intérieur de l'ampoule déterminent la vitesse d'enclenchement du phénomène d'ionisation. Plus la tension appliquée, c'est à dire le champ, sera intense et plus la probabilité de formation d'un germe efficace sera grande.

De plus, il s'écoule encore un certain temps avant que le phénomène de filiation successive de formation des porteurs fixe le courant à sa valeur stable, ces temps atteignent plusieurs micro-secondes comme on le verra. (Cf I - 315)

Note : (1) Ce que les théoriciens appellent le potentiel explosif est appelé tension d'amorçage dans la bibliographie technique. Nous emploierons l'un et l'autre terme.

I - 224 Formation du germe.

Pour favoriser l'ionisation entre cathode et starter, il convient donc de favoriser la formation de porteurs de charge.

- Les germes, dans le gaz, plus ceux-ci seront nombreux et plus le retard à l'amorçage sera bref.

. On peut utiliser les germes formés par chocs dus aux particules cosmiques, à la radio-activité ambiante, et aux photons. C'est ainsi que fonctionnent les cellules photo-électriques à gaz et les compteurs de Geiger.

. On peut aussi créer une émission électronique par cathode chauffée : c'est le principe des thyratrons à cathode chaude.

. On peut enfin par une décharge autonome permanente, créer, au niveau de l'anode, une source d'ions positifs et d'électrons qui seront ainsi les germes nombreux de la décharge. C'est ainsi que dans un thyatron à cathode froide est ajoutée (cf fig. I - 21 b, électrode 4) une cathode de pré-ionisation créant un arc permanent en décharge autonome avec l'anode. Le courant de cette électrode est très faible, de l'ordre de 10 μ A, mais suffit pour créer les germes nécessaires à une ionisation rapide et non aléatoire entre starter et cathode.

I - 225 Sonde.

Lorsque le tube est ionisé, le starter ne joue plus aucun rôle. Si aucun courant n'existe alors dans cette électrode, elle joue le rôle d'une sonde isolée, placée dans un milieu gazeux ionisé c'est à dire qu'elle prend le potentiel du plasma. Ceci explique la forme des oscillogrammes que l'on observera sur cette électrode.

I - 23 REMARQUES

Dans aucune notice technique, nous'avons trouvé :

- la pression du néon à l'intérieur de l'ampoule.

- la pureté du gaz utilisé. Etant donné le phénomène de l'ionisation et, en particulier, l'importance du potentiel d'extraction, il est évident que la présence, même sous forme de trace d'oxygène ou de krypton, modifie assez considérablement les caractéristiques du tube.

I - 24 CARACTERISTIQUES

Les caractéristiques de tous les thyratrons à cathode froide sont analogues. Nous allons étudier plus spécialement

celles du tube Z 70 U, Z 70 W qui, nous l'avons dit, nous a exclusivement servi dans notre étude.

I - 241 Caractéristique Principale $V = f(i)$

On a relevé cette caractéristique au moyen du montage ci-contre. Etant donné la forme connue de cette caractéristique, nous avons utilisé un générateur de courant, Haute Tension 1000 v et R variable de plusieurs $M\Omega$.

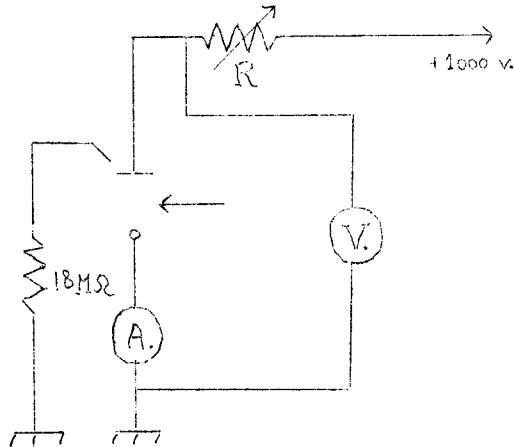
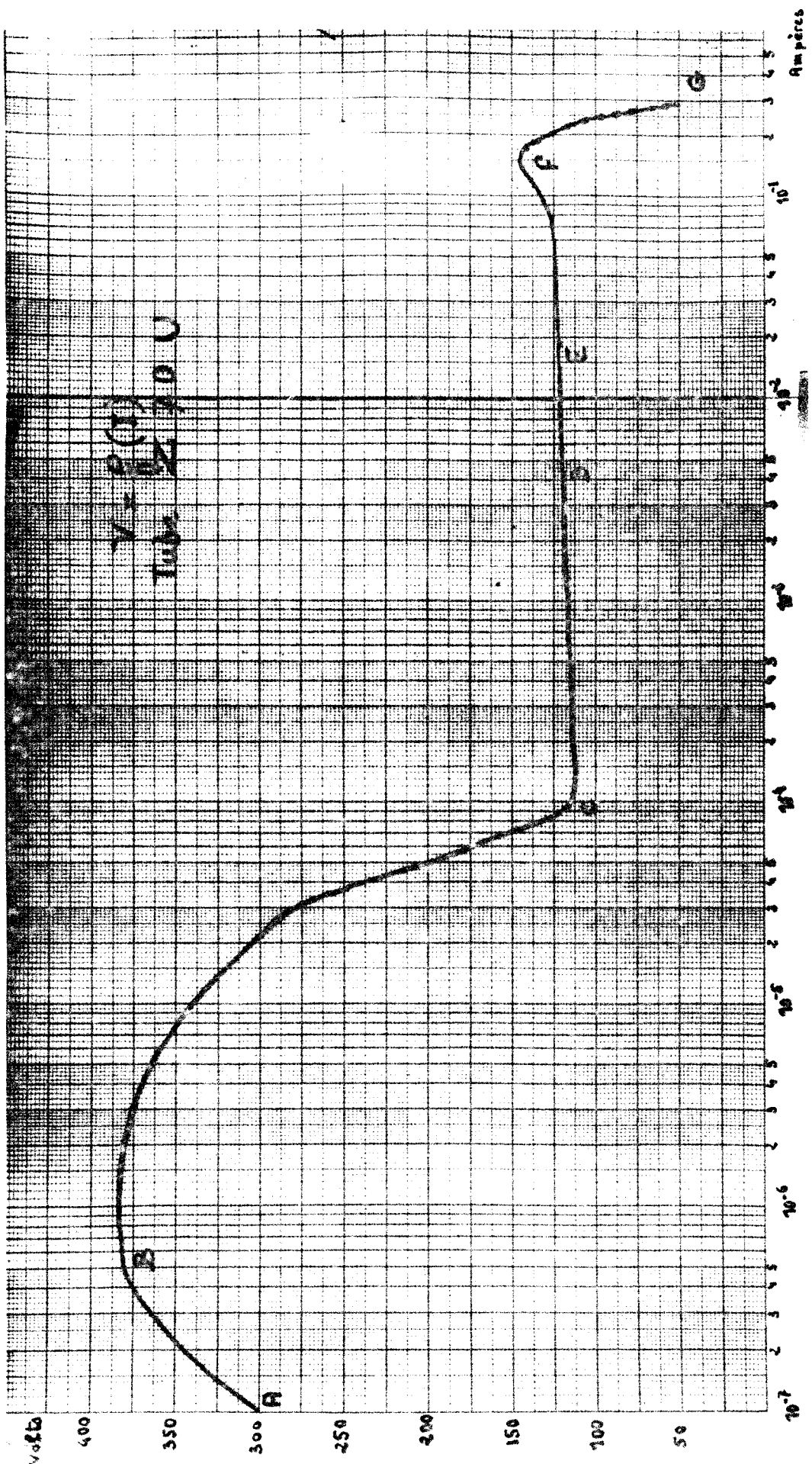


fig. I. 241 a

- L'Ampèremètre utilisé était un Hewlett packard 412 A de résistance interne :
 $1 k\Omega$, échelle 1 p.A.
 $0,1 \Omega$, échelle 1 A.

• Le voltmètre continu était un Philips de résistance interne en continu de $10 M\Omega$. On a obtenu la courbe suivante (fig. I - 241 b)



On peut diviser cette courbe de la manière suivante :

1: Zone A B. La Décharge est non autonome, le tube n'est pas lumineux. On n'a pas obtenu la courbe en deçà de 0,1 μ A. faute d'Appareil de mesure. Aux alentours du Point B, nous avons la décharge dite de "TOWNSEND".

2: Zone B C. La décharge est autonome et la pente de la courbe est négative. En effet, quand le courant augmente la tension aux bornes du tube a tendance à se réduire à la chute de tension cathodique (cf fig. I - 124 b). A partir du point B, on commence à apercevoir une lueur dont l'intensité est croissante avec le courant. Cette partie de la courbe est particulièrement difficile à relever car la pente de la caractéristique correspond à une résistance négative.

3: Zone C D. C'est la zone normale de fonctionnement correspondant à un courant variant entre 100 μ A. et 4 m.A. pour une tension d'arc comprise entre 113 et 121 volts. La décharge est autonome, le tube est très lumineux.

4: Zone D E. C'est une zone de fonctionnement impulsif. Le constructeur indique un courant de pointe maximum de 16 m A.

5: Zone E F. Cette zone est interdite. Les points de mesure aux environs de F sont pris "à la volée", le tube commençant à chauffer.

6: Zone F G. La cathode, par suite du courant interne est thermo-emissive. La décharge en arc s'amorce. En G, le tube a été détruit. Cette partie de courbe a du être relevée rapidement et les points de mesure m'indiquent que l'allure du phénomène.

I - 242 Caractéristiques de Starter.

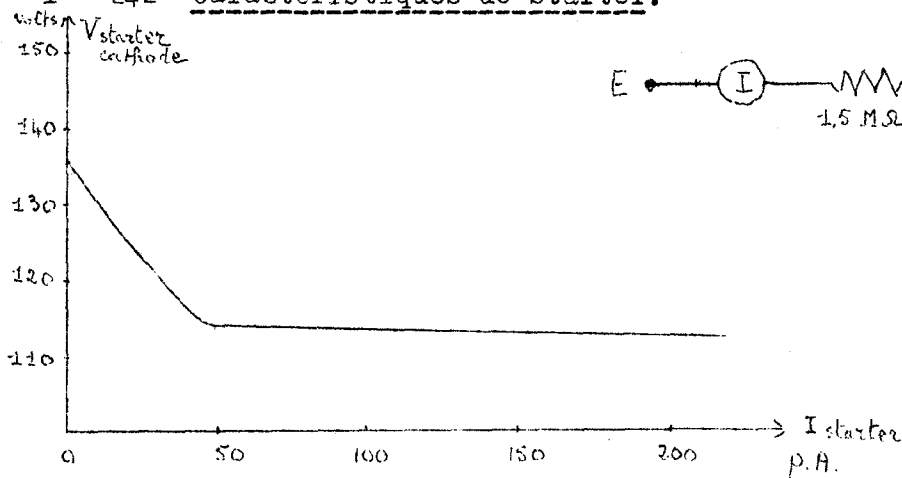


fig. I. 242 b

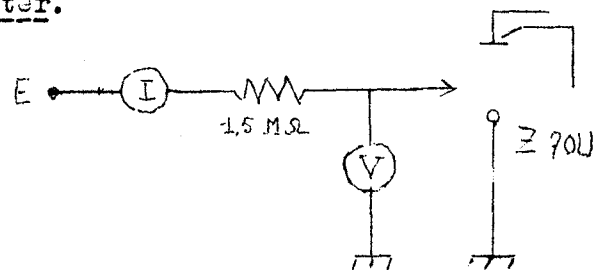
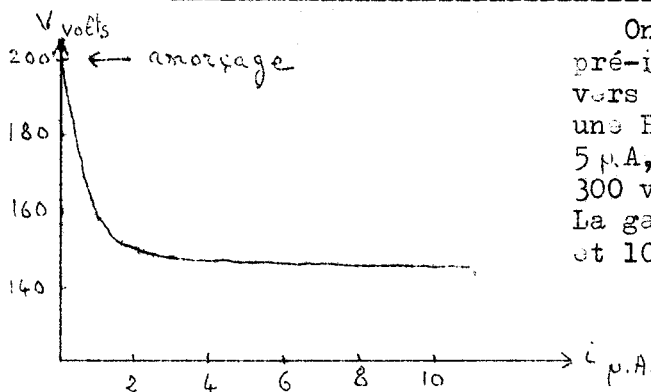


fig. I. 242 a

Cette caractéristique a donc l'allure normale d'une courbe d'ionisation. Le courant normal du starter est de 100 μ A.

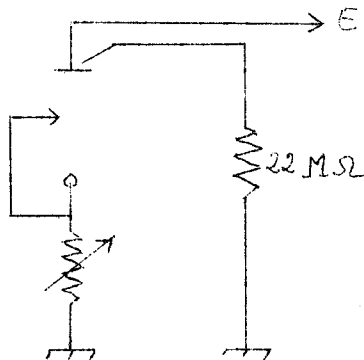
I - 243 Caractéristique de cathode de pré-ionisation.



On branchera la cathode de pré-ionisation à la masse à travers une résistance de 18 M Ω pour une HT de 250 v, soit un courant de 5 μ A, et de 22 M Ω pour une HT de 300 v, soit un courant de 6,5 μ A. La gamme de courant est entre 1 et 10 μ A.

Fig. I. 243 a

Nous avons fait sur la cathode de pré-ionisation les mesures suivantes :



Les courants sont mesurés avec le milli ampèremètre Howlett Packard 412 A.

- Courant d'extinction de cette cathode $i \approx 0,08 \mu$ A.; $E = 163$ volts
- Pour $E = 300$ v $i_{pr} = 7,8 \mu$ A. avec la résistance de 22 M Ω .

I - 244 Caractéristique de Transfert.

- Caractéristique d'amorçage $V_{\text{anode cathode}} - V_{\text{starter}}$

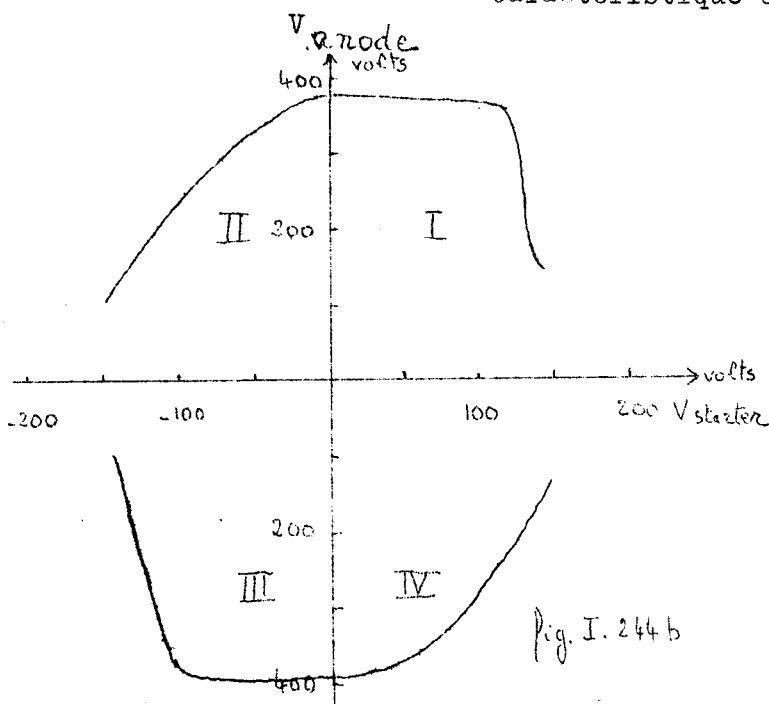


Fig. I. 244 b

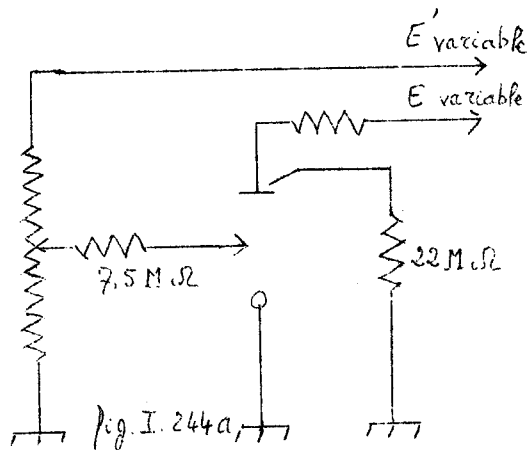


Fig. I. 244 a

- Quadrant I : Fonctionnement normal. Il faut environ 360 v sur l'anode pour qu'il y ait ionisation. Quand V_{st} atteint 145 v alors le tube s'ionise si V_{anode} est plus grand que 120 volts, tension d'arc.
- Dans le quadrant III. Le starter joue toujours son rôle, mais la cathode devient anode et inversement. Le courant de starter est alors négatif. (1)
- Dans le quadrant II. L'arc jaillit entre anode et starter vers $V_{anode} - V_{Starter} = 300$ v, d'où l'allure quasi-linéaire de la caractéristique. Le courant de starter est négatif (2).
- Dans le Quadrant IV, le fonctionnement est le même que dans le quadrant II mais: a) Anode et Cathode voient leur rôle inversé, b) L'arc jaillit entre starter et anode avec courant positif de starter.

Seul le fonctionnement dans le quadrant I est correct.

I - 245 Caractéristiques dynamiques.

Pour le fonctionnement correct du thyatron, le montage suivant est recommandé par le constructeur.

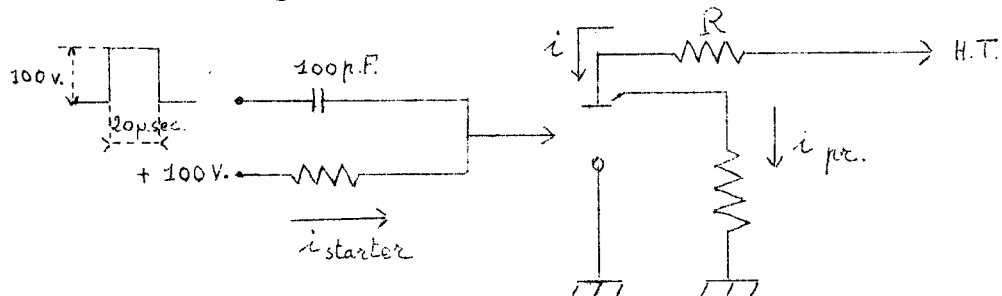


fig. I 245

I - 2451 - Déclenchement

L'arc Starter-cathode jaillit vers 145 volts mais, par suite du phénomène de retard à l'ionisation,

- Note : (1) On appelle courant positif de Starter, un courant tel que cette électrode joue un rôle d'anode. Un courant négatif sera évidemment l'inverse.
- (2) C'est par contre dans ce quadrant II que fonctionne le tube Z 804 U (cf: I-2122)

il est recommandé de déclencher l'arc avec 200 volts (polarisation de 100 v + impulsion de 100 volts qui doit durer au moins 20sec; Nous avons souvent observé des cas de non déclenchement malgré 170 v Starter. Nous verrons par la suite pourquoi des valeurs trop grandes de capacité sont prohibées. Une certaine quantité d'électricité est cependant nécessaire au déclenchement du phénomène, ce qui impose une capacité minimum.

Dans la plupart des montages, nous attaquerons le starter non par une impulsion carrée mais par le signal ci-contre qui déclenche correctement l'ionisation.

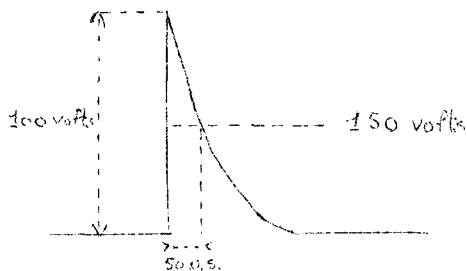


fig. I - 2451

I - 2452 Valeurs des courants.

i_{Starter} maximum = 100 p.A. Nous prendrons comme valeur de résistance starter 1,5 à 1,8 M Ω . R doit être tel que i continu soit compris entre 2 et 4 mA.

I - 25 LIMITES DE FONCTIONNEMENTS - UTILISATION.

L'usage du thyatron à cathode froide nous limite à des applications dans un domaine de fréquence basse. Par suite des phénomènes de temps d'ionisation et de désionisation, une fréquence de 10 k H z est un grand maximum.

De plus, les influences étudiées précédemment, notamment celles de la pression du gaz, de l'état de surface des électrodes, des dimensions géométriques, amènent une dispersion de 10 % des caractéristiques notamment sur les tensions d'amorçage et les tensions d'arc (1).

L'utilisation de ce tube pour des circuits digitaux, rend ces défauts inopérants et sans conséquence.

La Société "Corberus" dans l'une de ses notices garantit "une durée de vie dépassant bien 25 000 heures de service continu. Cette durée de vie signifie, dans la plupart des applications, une durée de service pratiquement illimitée!"

Par contre on a pu observer sur certains tubes une tenue mécanique laissant à désirer. La soudure de la cathode à son embase étant parfois défectueuse.

Note : (1) Cependant pour un tube donné, la variation de cette tension au cours du temps est très faible, de l'ordre de 2 % après 10 000 heures.

Un inconvénient plus important est la faible valeur des courants et la grande valeur des tensions qui conduit à l'utilisation d'impédances élevées. Comme on le verra, ceci nous introduira des phénomènes parasites importants.

I - 26 CONCLUSION.

Le thyatron à cathode froide se comporte donc comme trois tubes à décharge au néon dans une même ampoule :

- décharge anode cathode 1
- décharge Starter cathode 2
- décharge cathode de préionisation, anode 3.

Le néon 3 est le germe à la décharge entre les électrodes du néon 2 qui crée le plasma établissant le régime de conduction du "néon principal" 1.

L'électrode de commande requiert une faible puissance et libère par tout ou rien une énergie plus grande. De ce fait, il s'apparente au relais électromagnétique.

Chapitre I - 3

MONTAGES DE BASE

Dans toute notre étude, nous nous sommes volontairement limité à deux montages de base. Les différentes utilisations que nous en ferons sont des variantes c'est à dire des adaptations de ces montages à des cas particuliers. Nous verrons ensuite le principe d'utilisation et quelques applications de thyatron à cathode froide "Relais" ou interrupteur, montages qui servent fréquemment dans les utilisations industrielles.

I - 31 LE RELAXATEUR.I - 311 Montage. (1)

$$\begin{array}{ll} R_p = 22 \text{ M}\Omega & E = 300 \text{ v} \\ R_1 = 3,3 \text{ M}\Omega & R = 1,8 \text{ M}\Omega \\ R_2 = 3,9 \text{ M}\Omega & C = \text{variable} \end{array}$$

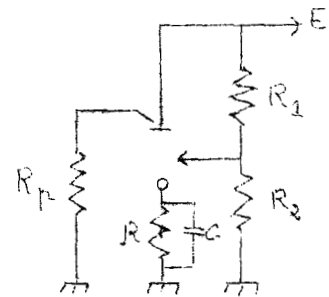


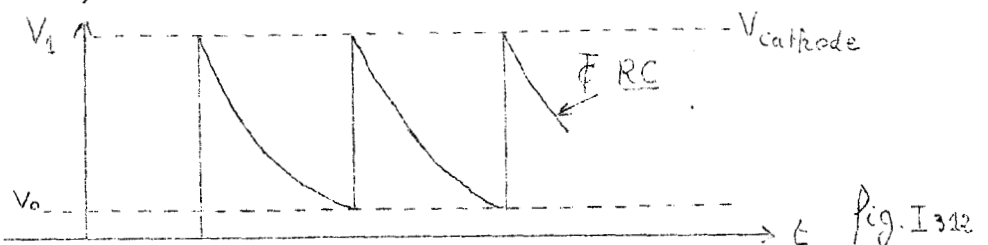
fig. I - 311

Le pont diviseur $R_1 R_2$ doit être tel que $V_{st} = 360 \text{ v}$ et $I_{st} < 100 \mu\text{A}$. d'où les valeurs à Haute Impédance.

I - 312 Principe.

Le potentiel du starter est tel que le tube peut toujours s'allumer. Initialement le tube est éteint. La tension d'arc étant 300 v, le tube s'ionise. La capacité C se charge à travers la résistance interne de la source de tension et la résistance dynamique du tube ($\approx 600 \Omega$). La tension aux bornes du tube étant au minimum V_{arc} la tension d'arc, C se charge à la valeur $E - V_{arc}$. R est choisi tel que le courant $\frac{E - V_{arc}}{R}$ soit insuffisant

pour maintenir l'ionisation. Le tube s'éteint alors et le condensateur C se décharge dans R. Lorsque $V_{cathode}$ est tel que un arc jaillisse à nouveau entre Starter et cathode, le tube se rallume.



Note : (1) Afin de simplifier les schémas, nous ne représenterons qu'exceptionnellement les cathodes de pré-ionisation, le circuit de cet électrode ne présentant pas d'intérêt.

$$V_1 = E - V_{\text{arc}} \approx 180 \text{ volts}$$

$$V_0 = V_{\text{Starter}} - V_{\text{amorçage cathode-Starter.}}$$

Le principe est donc en tout point identique à celui d'un Relaxateur classique au néon, mais on peut régler légèrement la fréquence de ce relaxateur en agissant sur V_{Starter} .

Un calcul immédiat conduit à :

$$T = RC \log \frac{V_1}{V_0} \quad \begin{array}{l} V_1 = 180 \text{ volts} \\ V_0 = 160 - 150 = 10 \text{ v} \end{array}$$

soit $T \approx 3,55 \text{ msec}$
ou $F = 280 \text{ Hz}$.

I - 313 Utilisation de ce principe.

La charge C n'étant limitée que par la résistance interne du tube et celle de la source, le courant de pointe dans le tube peut être très élevé. La résistance interne de la source est de l'ordre de $3 \text{ k}\Omega$ et ρ_0 du tube conducteur environ 600Ω ; le courant de pointe sera donc $i = \frac{E - V_{\text{arc}}}{\rho + \rho_0} \approx 50 \text{ a}$ ce qui est nettement

trop élevé. On est donc conduit au montage de la figure I - 313 a où R_0 est tel que

$$i_{\text{max}} = \frac{E - V_{\text{arc}}}{R_0 + \rho + \rho_0} \quad \text{avec } i_{\text{max}} = 16 \text{ mA.}$$

ce qui conduit à $R_0 \approx 8 \text{ k}\Omega$

On voit alors que les tensions sur les électrodes sont les suivantes :

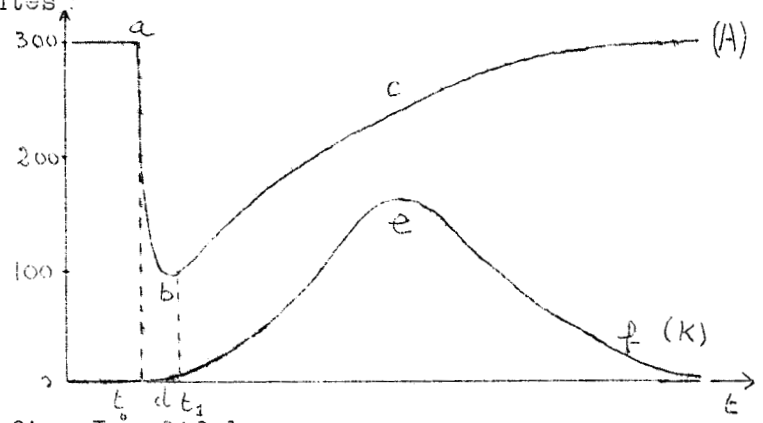


fig. I - 313 b

A tension au point A anode

K tension au point K cathode

$$a b = 0,3 \text{ sec.}$$

$$b c = d e = 30 \mu\text{sec.}$$

$$c f = 3,5 \text{ msec.}$$

$$E = 300 \text{ v}$$

$$R_1 = 3,3 \text{ M}\Omega \quad R_2 = 3,9 \text{ M}\Omega$$

$$R = 1,8 \text{ M}\Omega \quad R_0 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$C = 680 \text{ p.f.}$$

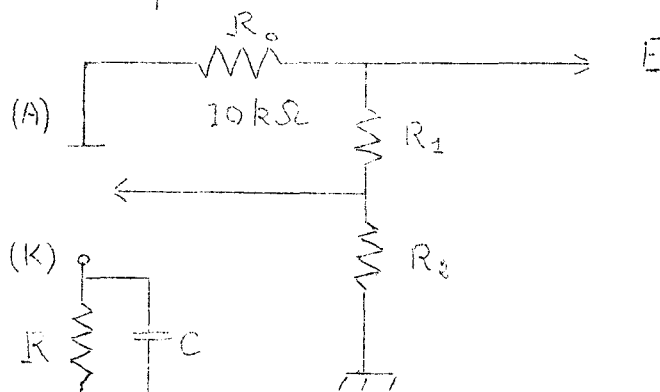


fig. I - 313 a

(1) Partie a b = 3 μ sec

Aucune tension ne se retrouve sur la cathode, le condensateur C a une charge nulle. Toute la tension doit se retrouver aux bornes de R_0 soit $E - V_{\text{arc}} \sim 180 \text{ v}$.

(Le courant maximum étant de 16mA, $V_{\text{arc}} = 120 \text{ v}$).

En fait le courant ne s'établit pas immédiatement, le temps a b est du :

- à la self parasite de l'alimentation
- aux capacités parasites en parallèle sur R_0
- enfin et surtout au temps d'établissement du courant dans le tube.

(2) Partie b c $\hat{=}$ de = 30 μ sec

C se charge à travers $R_0 + \rho_0 + \rho$ et la tension aux bornes du tube reste de $120 \text{ v} = V_{\text{arc}}$.

La τ est $(R_0 + \rho_0 + \rho) C \sim 10 \mu\text{s}$.

En e ou c, le tube s'éteint. La forme arrondie de la courbe est due au phénomène de désionisation sur lequel nous reviendrons.

(3) Partie e f = 3,5 msec

Le condensateur C se décharge dans R.

$$\tau = RC = 1,8 \text{ M}\Omega \times 680 \text{ p.f.} = 1,2 \text{ msec.}$$

I - 314 Améliorations et montage final.

Nous cherchons à obtenir une impulsion ainsi calibrée

- Impulsions de 100 v
- Temps de montée aussi bref que possible
- 50 μsec minimum à 50 v.

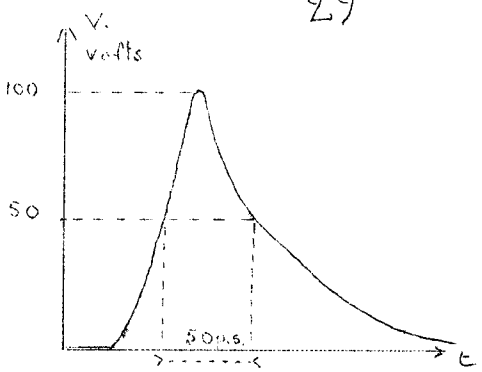


fig. I - 314 a

Le montage définitif se déduit du montage précédent par les remarques suivantes :

- a) - On voit que le temps de montée aux bornes de R_0 est très bref.
- b) - On peut au moyen d'un diviseur de tension compensé sur R sortir une impulsion calibrée à la valeur voulue.
- c) - La valeur de C ne peut être prise inférieure à 100 pf environ, car une certaine énergie est nécessaire au déclenchement du phénomène. Il suffit de choisir C convenablement pour obtenir la fréquence et la durée des impulsions voulues.
- d) - On peut de plus choisir R_1 et R_2 pour ajuster la fréquence.

- $R_6 C_2 = R_4 C_1$

c'est le diviseur de tension compensé

- $V_S = \frac{E - V_{arc}}{R_6 + R_4} R_4$

- $V_S = \frac{E - V_{arc}}{R_5 + R_3} R_3$

- $R_3 + R_5 = 12 k \Omega$

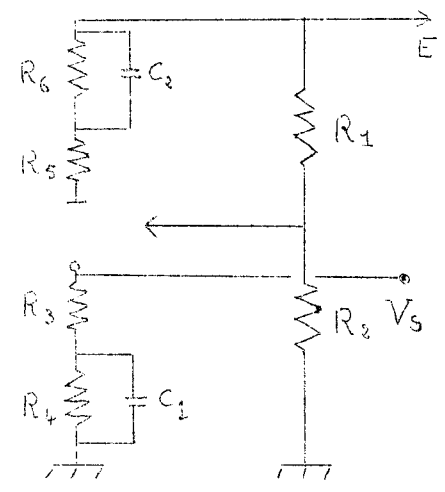


fig. I - 314 b

dans R_5 est compris la résistance interne de la source et la résistance interne du tube.

- $V_{Starter} \sim 160 v = \frac{E R_2}{R_1 + R_2}$

- e) - On peut enfin faire un montage oscillateur déclenché en polarisant le starter par $R_1 R_3$ à 100 v et en déclenchant par impulsions de 100 volts. Ce montage permet une synchronisation et des mesures plus aisées. Les impulsions de 100 v sont fournies par un relaxateur normal. Ceci nous permet de mesurer, comme nous le verrons, le temps d'ionisation.

I - 315 Montage et mesures.

Etant donné la haute valeur des impédances et l'influence des capacités parasites, celles en particulier qui sont en parallèles sur R_3 , les mesures ont été faites avec un oscilloscopes Te: tronix et une sonde d'impédance d'entrée $10 M\Omega - 3 pf$.

I - 3151 - Montage

- $R_1 = 2 M\Omega$
- $R_2 = 1 M\Omega$
- $R_3 = 15 k\Omega$
- $R_4 = 1,8 M\Omega$
- $R_5 = 6,8 k\Omega$
- $R_6 = 1,2 M\Omega$
- $R_7 = 20 M\Omega$
- $C_1 = 680 pf$
- $C_2 = 850 pf$
- $C_3 = 680 pf$
- $E = 300 v$

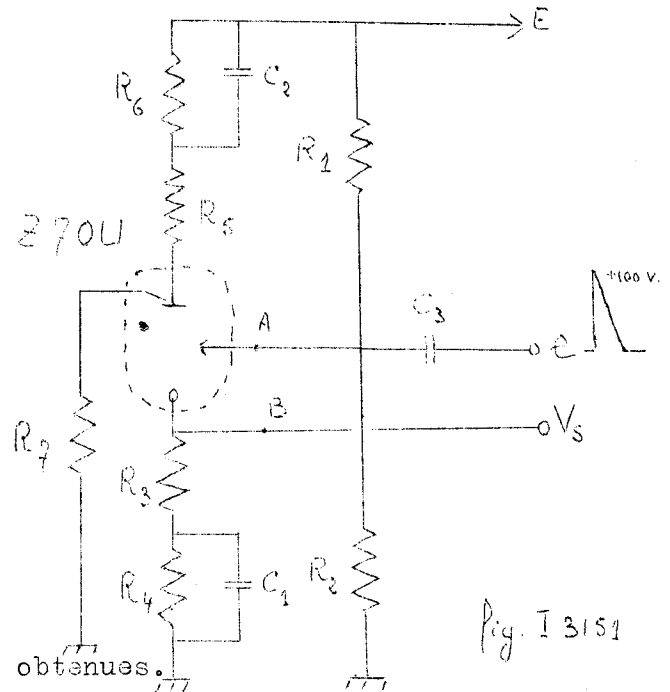
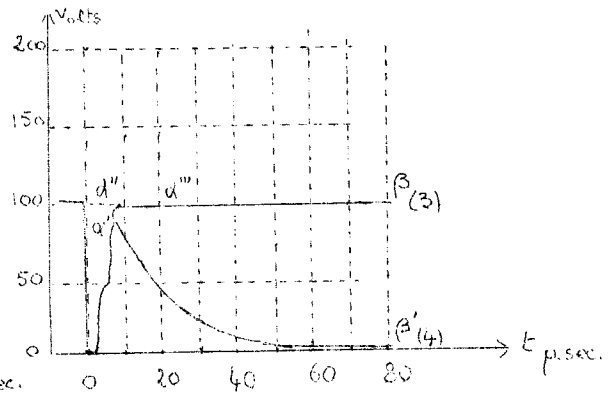
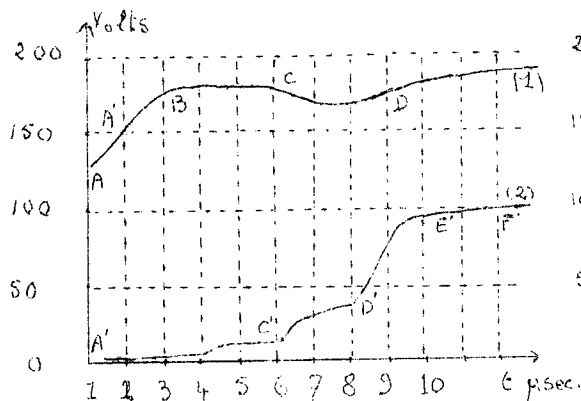


Fig. I 3151

I - 3152 - Courbes obtenues.

courbes (1) et (2)

courbes (3) et (4)



I - 31521

- Courbes 1 à 2

Courbe 1 prise au point A

Courbe 2 prise au point B.

- La courbe 1 représente la variation de de tension starter, donc la tension du point A. L'oscilloscope est synchronisé sur l'impulsion de déclenchement du montage.

- La Courbe 2, représente la tension de cathode, soit V_B

AB: Temps de montée de l'impulsion de déclenchement

BC: Partie de la courbe correspondant au temps d'ionisation.

CD: C'D' jusqu'en C', aucun courant ne passe sur la cathode. En C un arc jaillit entre Starter et cathode qui dure jusqu'en D. Le temps CD est donc le temps mis à l'établissement de l'arc anode cathode lorsque l'arc starter cathode est établi. Le temps CD est indépendant de la tension starter et ne dépend que de la tension d'anode. Cette partie CD à l'allure ci-dessous.

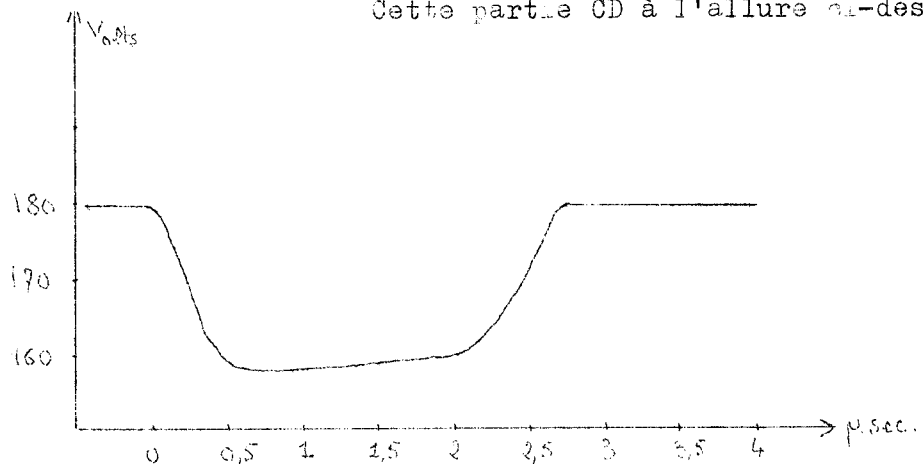


fig. I - 31521

D'E': L'arc anode cathode s'établit

$1 \mu\text{sec} < D' E' < 1,5 \mu\text{sec.}$

Ce temps est, en effet, compris entre deux valeurs minimales et maximales, (cf I - 223), dues à la nature de la formation de l'arc.

On voit alors que l'arc starter cathode n'existe plus, la tension de cathode s'étant considérablement élevée.

I - 31522

- Courbes 3 et 4

Courbe 3 prise au point B

Courbe 4 représente la tension aux bornes

de R_3 donc $V_B - V_C \approx R_3 i$ représente donc le courant de cathode.

- La partie $O\alpha$ est la courbe 2

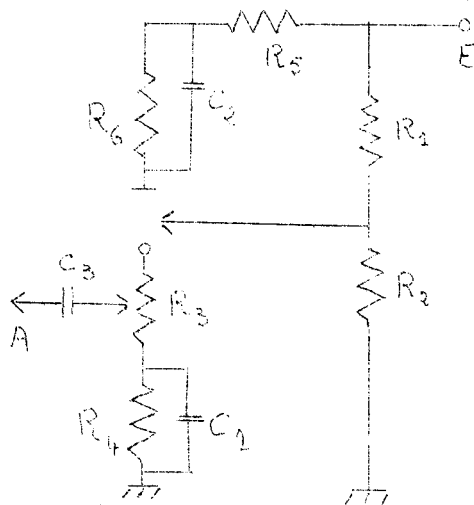
- $\alpha\beta$ et la suite (la tension tombe à 0 avec une τ de 1,2 m.sec).

La différence $\alpha'\alpha''$ provient d'une compensation imparfaite du diviseur $R_5 C_2$,

$R_3 C_1$. On peut d'ailleurs observer à l'oscilloscope une partie $\alpha''\alpha'''$ peu distincte sur la photographie, significative d'une mauvaise compensation (très faible) du diviseur $R_6 C_2 - R_4 C_1$.

- $\alpha'\beta'$ représente le temps de désionisation du tube. Le courant est trop faible pour maintenir l'ionisation, mais il faut 70 μ .sec pour que tous les porteurs soient évacués du gaz (à l'intérieur duquel un champ électrique existe toujours).

I - 31523 Mesures du temps d'ionisation.



mêmes valeurs que
I - 3161
fig. I - 31523 a

Si on remplace R_3 par un potentiomètre, on voit que l'on peut faire varier l'amplitude de l'impulsion de sortie.

On a représenté ci-contre le relaxateur de déclenchement du montage 3161. R_3 est un potentiomètre de 15 k Ω .

On peut ainsi mesurer le temps d'ionisation en fonction de la tension starter. On a compté, temps d'ionisation, le temps mis à l'établissement de l'arc cathode starter lorsque la tension starter avait dépassé 150 v.

c'est donc sur la courbe (1) page 30 le temps $\tau = A'C$ en fonction de la tension on atteint en B par le starter que l'on a tracé.

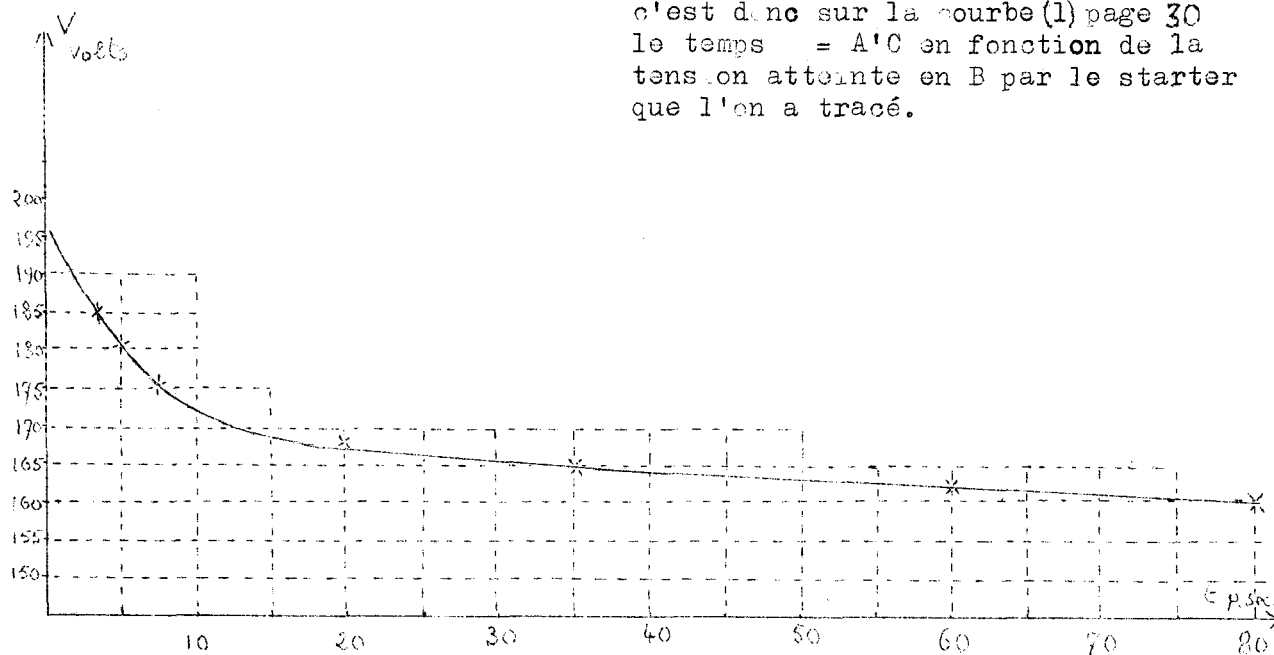


fig. I - 31523 b

Cette courbe met en évidence le phénomène décrit en I - 223 et justifie les recommandations des constructeurs en ce qui concerne les normes de déclenchement des thyatron à cathode froide (f. I - 245) τ : temps, l'ionisation tend vers l'infini lorsque v tend vers 150 volts. Cette asymptote varie entre 137 et 153 volts suivant les tubes 2700.

I - 31 524 Oscillations sur le starter.

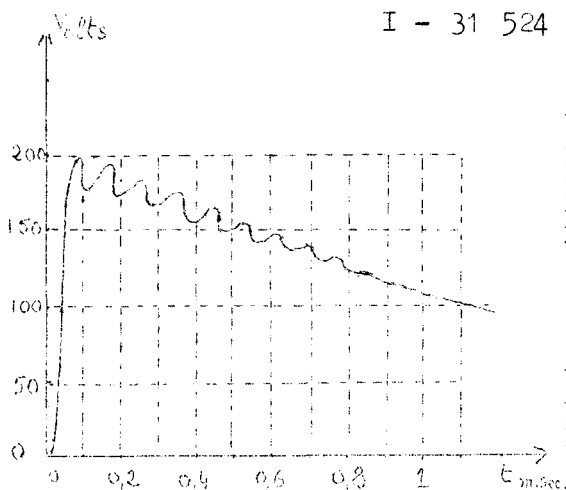


fig. I 31524

Cet oscillogramme représente la variation de tension du starter du point A du montage I - 3151. IL apparaît entre anode et starter, un phénomène oscillatoire de fréquence variable avec la tension starter. Cette loi est de la forme

$$F = f \left(\frac{1}{V_{\text{starter}}} \right)$$

Cette oscillation ne peut être due qu'à un arc anode-starter car on ne trouve pas trace sur la cathode. Ces oscillations sont de forme sinusoïdale et donc ne semblent pas être un phénomène simple de relaxation. Il semble qu'elles doivent être générées par la désionisation du tube, c'est à dire par l'évacuation du plasma. Mais cette explication semble insuffisante car le phénomène peut durer 600 p. sec.

Cette effet nous a considérablement gêné com e nous le verrons plus loin. On est parvenu à le corriger mais non à le supprimer.

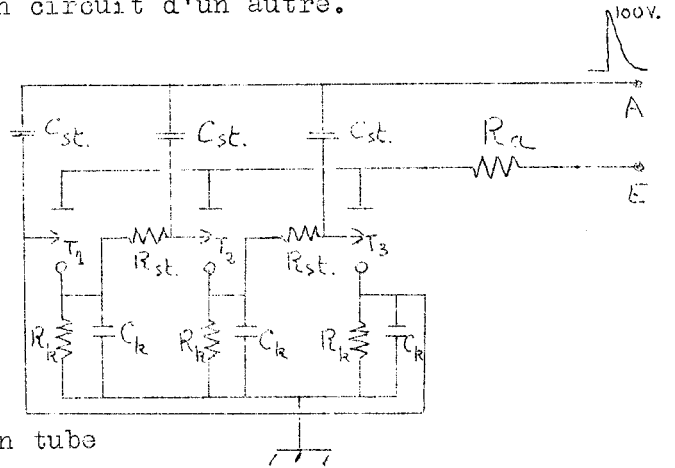
I - 316 Conclusion.

Nous avons volontairement étudié assez longuement ce montage car il nous servit abondamment et il nous a permis de nombreuses mesures intéressantes sur le fonctionnement du tube 2 70 U . Le montage décrit en 3151 que nous appellerons "relaxateur déclenché" nous servira en particulier de formateur d'impulsion chaque fois que l'on voudra isoler un circuit d'un autre.

I - 32 LE CIRCUIT COMPTEUR.

I - 321 Montage.

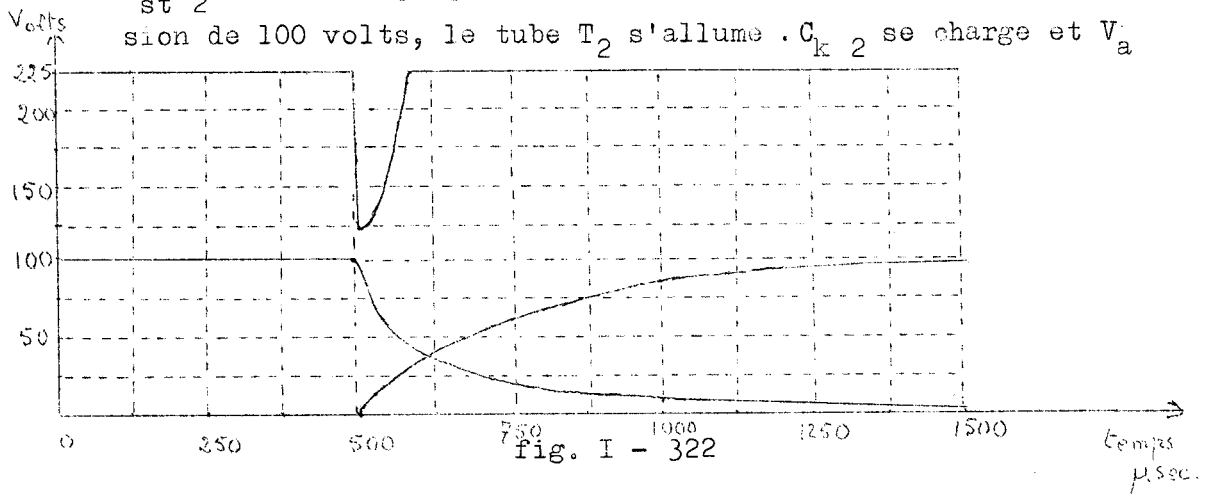
- E = 300 v
- R_a = 33 kΩ
- R_{st} = 1,5 MΩ
- C_k = 5 nf.
- R_k = 47 kΩ
- C_{st} = 100 pF
- Courant moyen dans un tube



$$i = \frac{E - V_{arc}}{R_a + R_k} = 2,3 \text{ mA.} \quad \text{fig. I - 321}$$

I - 322 Principe.

Supposons T₁ allumé. La cathode est à 100 v et V_{st 2} = 100 v. Lorsqu'on enverra sur la ligne en A une impulsion de 100 volts, le tube T₂ s'allume. C_{k 2} se charge et V_a



tombe à V_{arc} = 120 volts. La présence de C_{k 1} maintient un certain temps la cathode de T₁ à 100 volts et T₁ s'éteint. A

l'impulsion suivante T_3 s'allumera et T_2 s'éteindra. Le nombre de tubes compteurs ainsi mis en série n'est pas limité. Le fonctionnement de ce montage est particulièrement simple et très sûr. Par contre la présence des R_k , C_k et surtout les phénomènes de temps d'ionisation et de désionisation limitent à 5 k c/s la fréquence maximale de comptage.

Nous verrons plusieurs applications de ce montage. Il est évident que l'on peut l'utiliser avec deux tubes en bascule. On peut utiliser également des tubes Z 70 W à deux starters. Les starters 2 peuvent alors être utilisés en décomptage ou en positionnement en parallèle : c'est par ces entrées indépendantes que l'on peut allumer un tube donné quelque soit l'état antérieur du compteur. Il faut alors, c'est évident, déclencher l'allumage du tube par des impulsions de 200 volts puisque, en général, le starter ne sera pas prépolarisé.

I - 33 UTILISATIONS EN RELAIS

Nous en venons alors aux utilisations fréquentes du thyatron à cathode froide en relais. Son intérêt réside dans sa faible puissance de commande. Les montages sont très nombreux ; nous n'indiquerons que quelques montages classiques

I - 331 Détecteur par variation de résistance.

I - 3311 Montage de principe.

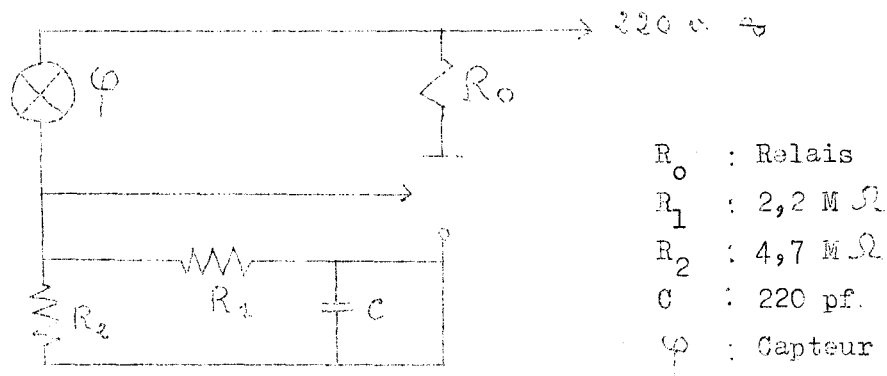


fig. I - 3311

L'intérêt d'un tel montage réside dans son fonctionnement en alternatif. Le capteur peut être, par exemple, une photo-résistance. Ce genre de montage a été répandu en grand nombre dans les commandes à rayons lumineux et les appareils de contrôle de flamme.

On peut également utiliser en ϕ un contact ou une thermistance pour contrôler un niveau, une température, etc.

I - 3 - 3 - 1 - 2 Montage de surveillance de flamme

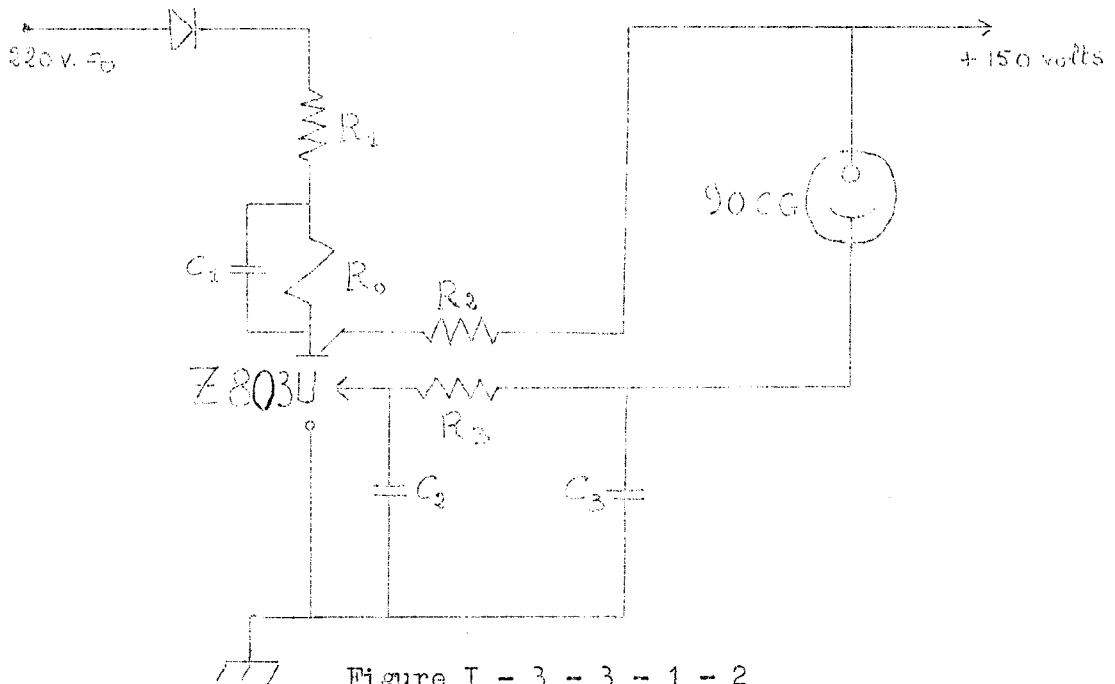


Figure I - 3 - 3 - 1 - 2

$$R_1 + R_0 \sim 10 \text{ k} \Omega$$

$$R_2 = 10 \text{ M} \Omega$$

$$R_3 = 1 \text{ M} \Omega$$

Lorsque la flamme éclaire la cellule 90 C G, C_2 se charge à travers elle et R_3 et le tube s'amorce et colle le relais R_0 . C_1 empêche ce relais de battre à la fréquence du secteur redressé en mono-alternance. R_1 limite le courant moyen à sa valeur nominale. C_3 régularise les variations de tensions rapides qui existent aux bornes de la cellule exposée à la flamme.

I - 3 - 3 - 2 DETECTEUR PAR VARIATION DE CONSTANCE DE TEMPS

I - 3 - 3 - 2 - 1 Montage de principe (voir schéma page suivante)

Le montage, fonctionnant également en alternatif peut déceler des variations inférieures à 1% d'une constante de temps électrique quelconque.

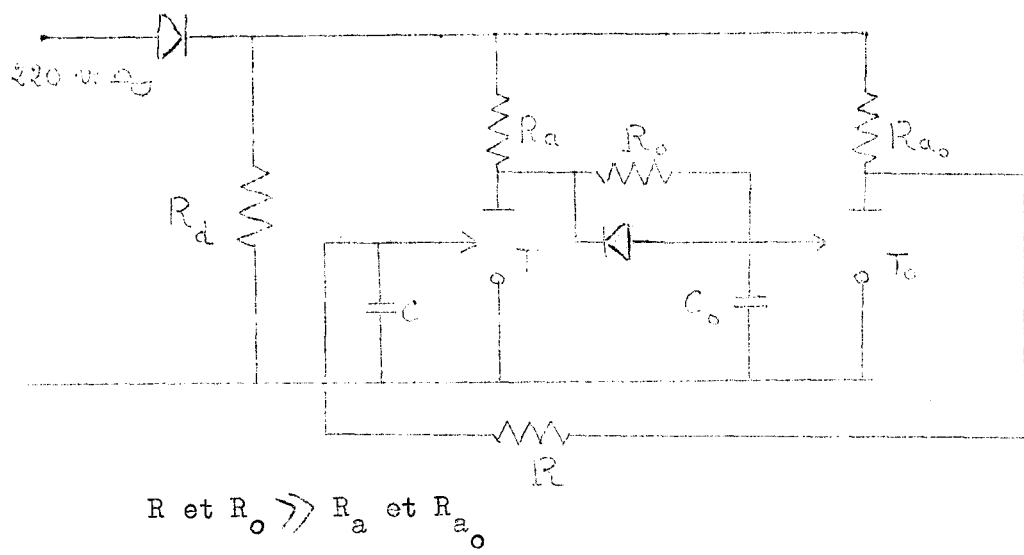


Figure I - 3 - 3 - 2 - 1 a

A chaque alternance, les condensateurs C et C_o se chargent à travers R et R_o, jusqu'à ce que la tension d'un starter ait atteint la valeur de la tension d'amorçage. (1)

- Si $R \cdot C < RC$, le tube T_o s'amorce. Le starter du tube T étant alors alimenté par la tension d'entretien de T_o ne peut s'amorcer.
- Si $R \cdot C > RC$, c'est l'inverse qui se produit. T s'amorce avant T_o qui ne peut plus s'ioniser.

Ainsi, suivant les valeurs relatives des constantes de temps du circuit, on obtient l'amorçage du tube T_o ou du tube T.

Afin de décharger rapidement le circuit détecteur R_o C_o, on place en parallèle sur R_o une diode qui déchargera C_o.

La valeur limite de l'intervalle de temps Δt est donnée par le temps d'ionisation du tube, environ 20 μ .sec, correspondant à un $\Delta \tau$ de 20 μ .sec également.

Si $R \cdot C = 2 \text{ msec}$ $\Delta \tau = 20 \mu$.sec correspond à une précision de 1%.

Le circuit peut utiliser un détecteur résistif ou capacitif, puisque $\frac{\Delta z}{z} = \frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta R}{R}$.

(1) Note : Pour plus amples détails, on se reportera à "Information Technique" Avril 1962 IND II édité par "La Radiotechnique".

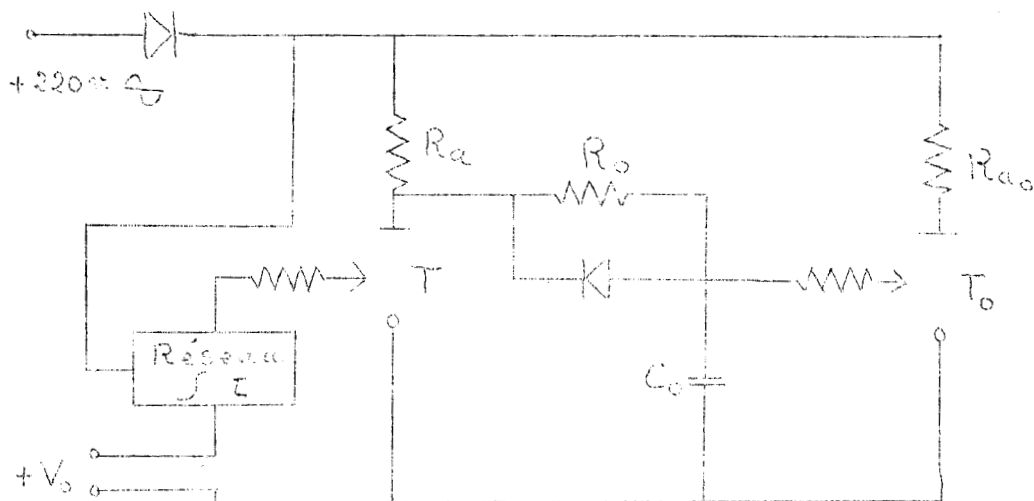


Figure I - 3 - 3 - 2 - 1 b

Le montage peut aussi être suivant le schéma ci-dessus. Le tube T s'allumera toujours. Mais, T ne s'allumera que si $\tau > R_0 C_0$. On peut évidemment remplacer R_{a_0} par un relais shunté par un condensateur.

Le circuit intégrateur du tube T peut être un circuit RC ou LR. Ce système permet donc d'utiliser tous les types de capteurs - thermistances, photorésistances, capteurs de déplacements capacitifs, inductifs ou résistifs. On peut de plus utiliser des capteurs basse impédance en prépolarisant par V_0 , tension continue, le starter du tube T.

I - 3 - 3 - 2 - 2 Montage pratique

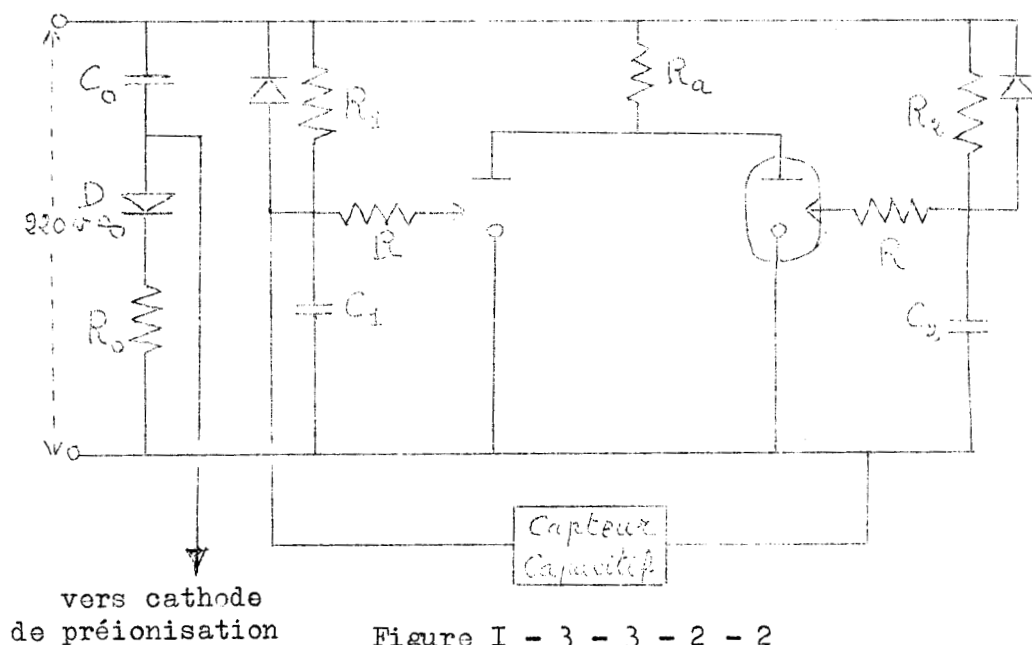


Figure I - 3 - 3 - 2 - 2

D : OA 85
 R_a : 270 kΩ
 R₁ }
 R₂ } dépendent du
 C₁ } capteur, par exemple : R₁ C₁ et R₂ C₂ de l'ordre de
 C₂ } 2 s sec.
 R_o : 1 kΩ
 C_o : 0,22 p.F.

Dans ce montage, on aura T₁ ou T₂ allumés. Le capteur capacitif peut être de valeur assez faible, C₁ en parallèle permet d'ajuster les valeurs des constantes de temps.

I - 3 - 3 - 3 MONTAGES DIVERS

Il existe évidemment une grande quantité de montages d'utilisation de thyatronns à cathode froide. Notons cependant deux d'entre eux intéressants, l'un par son côté pratique, l'autre pour ses possibilités.

I - 3 - 3 - 3 - 1 Le commutateur automatique 110 - 220 V

C₁ : 150 p.f.
 C₂ : 0,22 p.f.
 R_o : Relais 16 000Ω
 R₁ : 10 kΩ
 R₂ : 39 kΩ
 R₃ : 1,2 MΩ
 R₄ : 1,8 MΩ
 D : OA 85

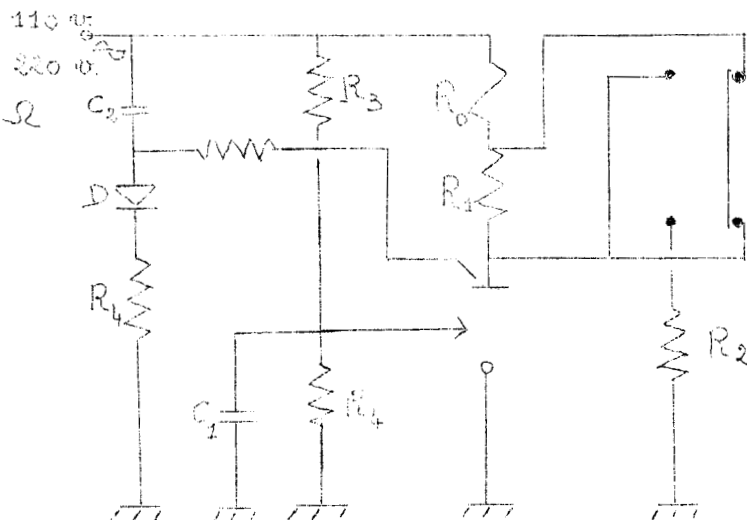


Figure I - 3 - 3 - 3 - 1

L'alimentation est alternative sans redressement. Si la tension est de 220 v, le thyatron s'allume et permet par l'intermédiaire du relais, une commutation de l'alimentation d'un circuit d'utilisation.

L'alimentation redressée de la cathode de pré-ionisation est nécessaire pour éviter des courants négatifs de cette électrode vers l'anode.

C₁ évite la commutation pour des impulsions brèves toujours¹ possibles sur le secteur et qui sont de toute manière éliminées par le circuit de redressement de l'utilisation.

Notons cependant le prix de revient élevé d'un tel montage consécutif à l'utilisation d'un relais sensible.

I - 3 - 3 - 3 - 2 Adjonction d'un circuit de sortie indépendant

Il est possible de tirer partie de la lumière émise par le tube lorsqu'il est amorcé en plaçant en regard une cellule photo-résistante. Un tel circuit a l'avantage d'être totalement indépendant du circuit propre du thyatron. On pourra utiliser des photo-résistances telles que ORP 60, LDR 03 dont les dimensions s'adaptent facilement au tube Z 70 U. Les cellules pourront être placées en regard du fond du tube.

Certains utilisateurs ont d'ailleurs pensé inclure à l'intérieur même de l'ampoule une ou deux cellules photo-résistances. De tels éléments ne sont cependant pas encore apparus sur le marché.

I - 3 - 4 CONCLUSION

Par la suite, nous appellerons Relaxateur le montage auto déclenché décrit en I - 3 - 1 - 4, relaxateur déclenché celui décrit en I - 3 - 1 - 5 - 1, enfin un "tube decade", un thyatron utilisé suivant le montage décrit en I - 3 - 2. Les valeurs numériques seront celles que l'on a déjà indiquées sauf utilisation spéciale.

Chapitre I - 4APPLICATION A UN GENERATEUR DE TENSION EN ESCALIERI - 4 - 1 Introduction

Ce montage a été étudié en vue de la réalisation d'un traceur de courbe de tubes électroniques. Ce générateur sert à l'alimentation en tension de la grille de commande du tube dont on veut tracer les caractéristiques :

Il ne devra donc fournir aucune puissance. On cherche à obtenir une tension "en escalier", de n "marches" si l'on veut tracer n courbes. Chaque fois que la tension grille prend une nouvelle valeur, on trace une courbe en faisant croître par exemple linéairement la tension plaque.

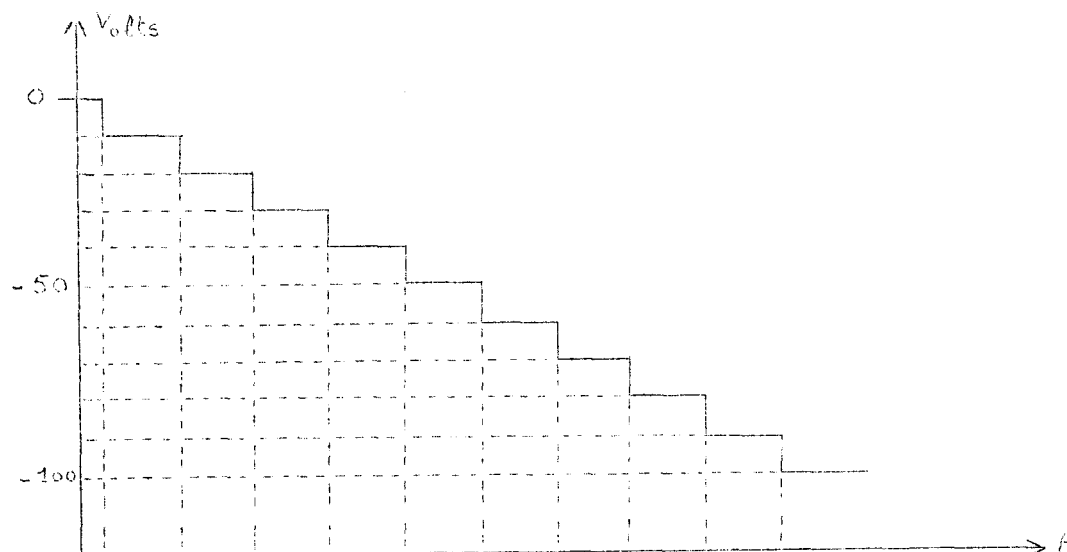


Figure I - 4 - 1

Lorsqu'une courbe est tracée, un dispositif déclenche le générateur de tension en escalier pour faire descendre d'une "marche" la tension grille.

Afin de tracer un nombre suffisant de courbes, on a choisi de faire 10 "marches", entre 0 et -100 v, donc 10 paliers de 10 v. La tension sera prise aux bornes d'une résistance et l'on pourra réduire l'amplitude de cette tension en fractionnant cette résistance ; il est en effet nécessaire de pouvoir faire 10 courbes pour V_g compris entre 0 et -10 v pour une 12 AX 7 par exemple.

I - 4 - 2 PRINCIPE

Le montage se présente sous forme d'une sorte de montage compteur auquel on a supprimé les capacités des cathodes, en sorte qu'à chaque impulsion d'entrée, les tubes s'allument les uns après les autres sans que les précédents s'éteignent.

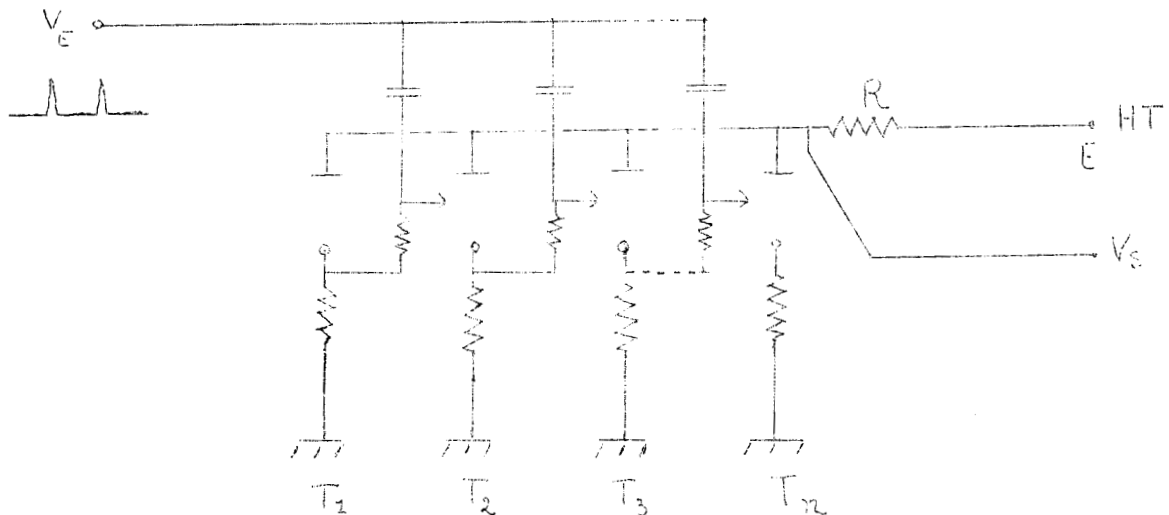


Figure I - 4 - 2

En fin de séquences, un dispositif annexe coupera la haute tension afin d'éteindre les tubes. On voit donc que l'on obtiendra en V_s une tension décroissante par paliers depuis la valeur E de la haute tension.

Le premier palier sera $E - RI_{T_1}$, le second $E - R(I'_{T_1} + I_{T_2})$... le nième $E - R(\sum_{i=1}^n I_{T_i})$.

I 4 - 3 REALISATIONI - 4 - 3 - 1 Choix préliminaire

- La haute tension maximale est de 310 v.
- Le courant maximal dans un tube est de 4 mA ; le courant minimal de 300 μ A environ.
- La tension d'arc pour un tube est de 120 v environ.
- Le courant dans un tube est variable au cours d'un cycle puisque la tension d'anode est variable.
- La tension réelle doit varier de 0 à - 100 v compte tenu de ces faits, on est conduit à choisir une haute tension de - 300 v sur les cathodes, les anodes étant mises à travers la résistance R à la masse.

De plus, les prépolarisations des starters doivent être d'une centaine de volts par rapport.

I - 4 - 3 - 2 Montage

Le schéma de principe du Générateur sera donc le suivant :

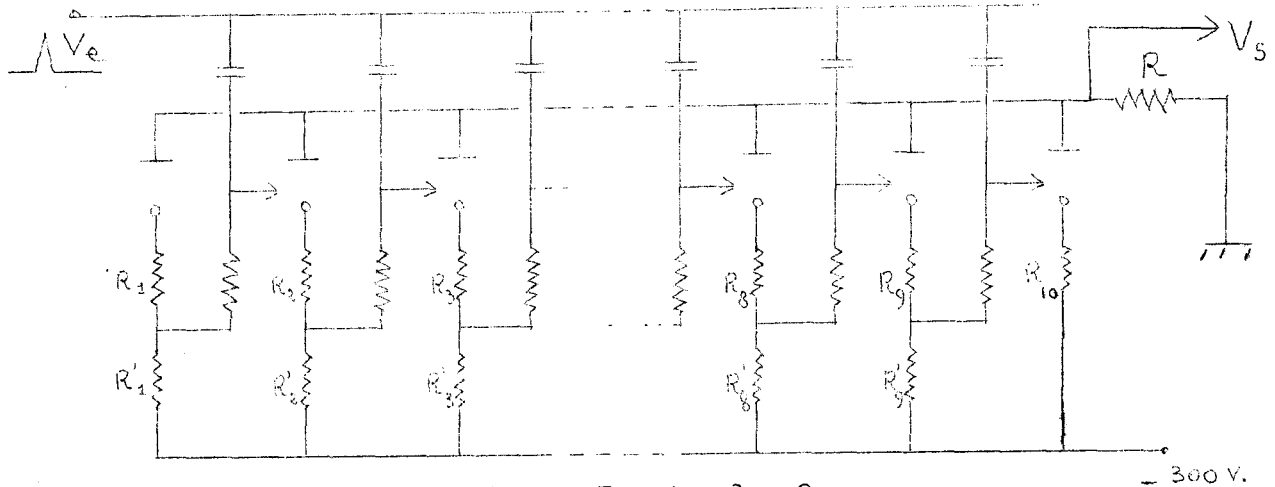


Figure I - 4 - 3 - 2

Puisque l'on veut faire 10 paliers, il faut 10 tubes et d'autre part, des ponts diviseurs de tension R_i, R'_i sont nécessaires pour ajuster à une valeur correcte les prépolarisations.

I - 4 - 3 - 3 Calcul des éléments

La variation de la tension d'anode entraîne la variation du courant dans les tubes allumés au cours d'un cycle. Ce fait entraîne la résolution de 10 équations à 10 inconnues qui sont les résistances des cathodes, établies à partir d'un système plus complexe de: 10 $\sum_{i=1}^i$ équations.

La résistance R est choisie de $6 \text{ k}\Omega$ afin de maintenir le courant des tubes entre $300 \mu\text{A}$ et 4 mA .

Afin de simplifier les écritures, nous avons établi les équations avec une haute tension de 300 v et les cathodes à la masse ce qui ne change évidemment rien au montage et revient à faire une translation des tensions.

Nous voulons que passe dans la résistance R des courants $i_0, 2 i_0, 3 i_0$ etc ... tels que $R i_0 = 10 \text{ volts}$.

La tension d'arc étant de 120 v, quand le premier tube est allumé :

$$1) (R_1 + R'_1) i_o = 170 \text{ volts}$$

$$Ri_o = 10 \text{ volts.}$$

Quand le deuxième tube est allumé :

$$2) (R_1 + R'_1) (i_o - \Delta_1 i_1) = 160$$

$$(R_2 + R'_2) (i_o + \Delta_1 i_1) = 160$$

$$2 Ri_o = 20$$

Le courant total est en effet $2 i_o$ et le courant dans le premier tube a diminué de $\Delta_1 i_1$ puisque la tension d'anode a diminué de 10 volts.

Quand le troisième tube est allumé :

$$3) (R_1 + R'_1) (i_o - \Delta_1 i_1 - \Delta_2 i_1) = 150$$

$$(R_2 + R'_2) (i_o + \Delta_1 i_1 - \Delta_1 i_2) = 150$$

$$(R_3 + R'_3) (i_o + \Delta_2 i_1 + \Delta_1 i_2) = 150$$

$$3 Ri_o = 30$$

Quand le nième tube est allumé :

$$n) (R_1 + R'_1) (i_o - \sum_{j=1}^{n-1} \Delta_j i_1) = 180 - (n+1) 10$$

$$(R_2 + R'_2) (i_o + \Delta_1 i_1 - \sum_{j=1}^{n-2} \Delta_j i_2) = 180 - (n+1) 10$$

$$(R_3 + R'_3) (i_o + \sum_{j=1}^2 \sum_{k=2} \Delta_k i_j - \sum_{j=1}^{n-3} \Delta_j i_3) = 180 - (n+1) 10$$

$$(R_n + R'_n) (i_o + \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{k=n-1} \Delta_k i_j) = 180 - (n+1) 10$$

Ce qui constitue en fait un système de 55 équations facilement résolubles par itération en calculant tous les $\Delta_k i_j$.

I - 4 - 4 MONTAGE

On trouvera page suivante le montage définitif réalisé. On remarquera que l'on a ajouté un onzième tube dont le circuit d'anode est indépendant. La première impulsion doit en effet commander le niveau zéro donc ne provoquer aucune chute de tension sur R. Son starter est prépolarisé par un simple pont diviseur.

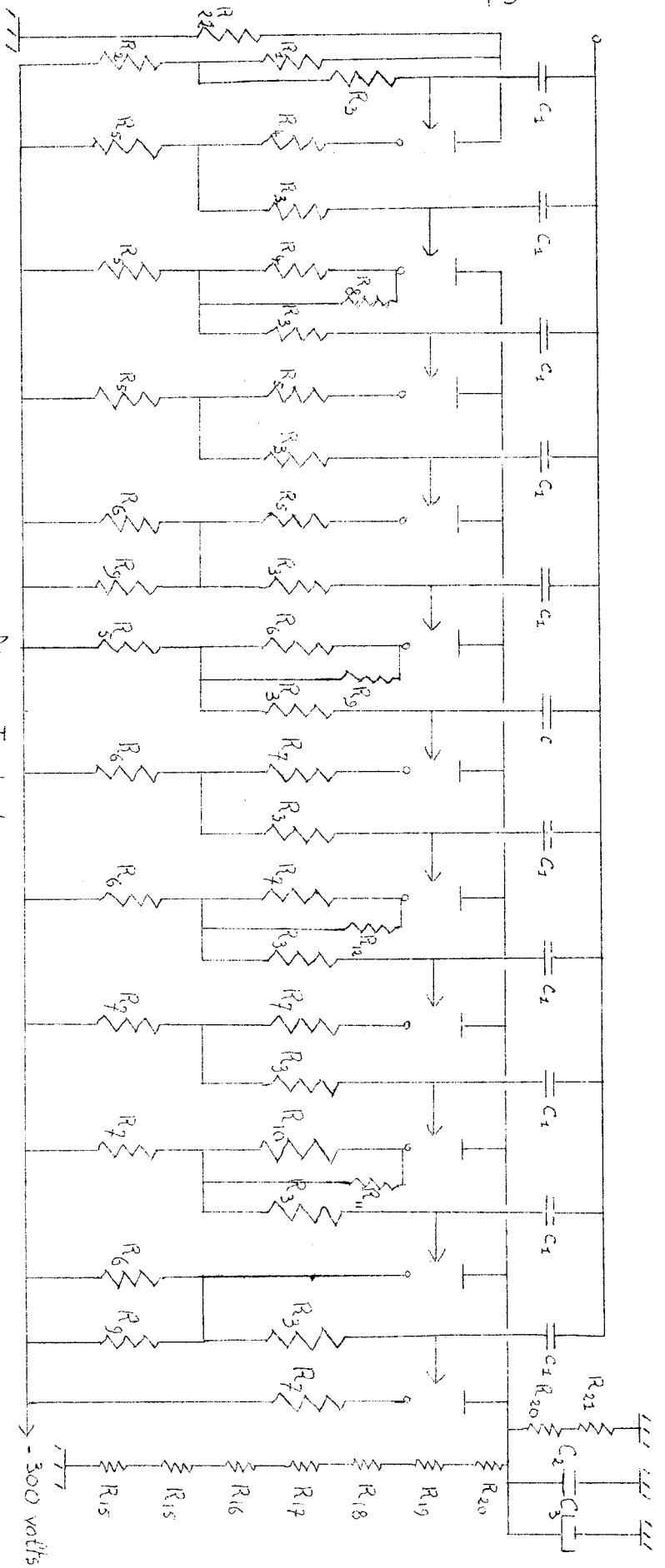


Fig. I-4-4

| | | | | | | | | |
|---------------------------|-------|---------|----------------------------|------|---------|------------------------------|------------|---------|
| R ₁ : 1 MΩ , | 20% , | 1/4 W . | R ₁₀ : 15 kΩ , | 5% , | 1/4 W - | R ₃₀ : 5 kΩ , | 5% , | 1 W . |
| R ₂ : 330 kΩ , | 20% , | 1/4 W - | R ₁₁ : 150 kΩ , | 5% , | 1/4 W - | R ₂₁ : 10 kΩ , | 5% , | 1 W - |
| R ₃ : 1.5 MΩ , | 20% , | 1/4 W - | R ₁₂ : 220 kΩ , | 5% , | 1/4 W - | R ₂₂ : 6,8 kΩ , | 5% , | 1 W - |
| R ₄ : 68 kΩ , | 5% , | 1/4 W - | R ₁₃ : 10 MΩ , | 5% , | 1/4 W - | | | |
| R ₅ : 47 kΩ , | 5% , | 1/4 W - | R ₁₄ : 100 Ω , | 5% , | 1 W - | C ₁ : 5000 p.F. , | Paperez , | 500 V . |
| R ₆ : 33 kΩ , | 5% , | 1/4 W - | R ₁₅ : 300 Ω , | 5% , | 1 W - | C ₂ : 0.1 p.F. , | Paperez , | 500 V . |
| R ₇ : 22 kΩ , | 5% , | 1/4 W - | R ₁₆ : 500 Ω , | 5% , | 1 W - | C ₃ : 16 p.F. , | Chimique , | 500 V . |
| R ₈ : 470 kΩ , | 5% , | 1/4 W - | R ₁₇ : 1 kΩ , | 5% , | 1 W - | Tubes emphoyes : | Z 70 U | |
| R ₉ : 330 kΩ , | 5% , | 1/4 W - | R ₁₈ : 3 kΩ , | 5% , | 1 W - | | | |
| | | | R ₁₉ : 3 kΩ , | 5% , | 1 W - | | | |

On obtenait parfois des oscillations parasites qui ont été supprimées par un système capacitif C_2 C_3 en parallèle sur R.

La précision de cette tension en escalier est liée directement à la précision sur la tension d'arc et à la précision sur les résistances de cathode. On corrige les erreurs sur la tension d'arc par l'ajustage des résistances de cathode.

Le grand intérêt de ce système est d'être entièrement électronique et de délivrer une tension de grande amplitude avec un montage relativement simple et robuste.

DEUXIEME PARTIE

REALISATION D'UN AUTOMATISME

A SEQUENCES ET MEMOIRE

POUR COMMANDE D'ASCENSEUR

Dans cette seconde partie, nous allons exposer l'étude d'un automatisme à séquences réalisé avec thyratrons à cathode froide. Après en avoir vu la conception générale et en particulier les sous-ensembles utilisés, nous verrons comment nous avons été conduits à y introduire la fonction mémoire qui a été réalisée également avec des thyratrons à cathode froide.

Chapitre II - 1AUTOMATISME POUR ASCENSEURII - 11 GENERALITESII - 11 - 1 Introduction

La réalisation d'un tel automatisme est habituellement faite par relais électromécaniques, solution robuste et qui a fait ses preuves.

Nous nous sommes donc tout d'abord attachés à ne trouver qu'une solution par tube à cathode froide d'un problème par ailleurs résolu afin d'étudier les possibilités d'emploi de cet élément pour des automatismes industriels.

II - 11 - 2 Etude d'une séquence

Le problème posé est celui d'un automatisme séquentiel c'est-à-dire que le déroulement d'une opération ou d'un cycle se fera toujours suivant le processus ainsi décrit :

- 1 Ordre d'appel à un étage.
- 2 Comparaison entre la position de la cabine et l'ordre d'appel.
- 3 Ordre de montée ou de descente de n étages.
- 4 Arrêt.

Et la séquence sera la même qu'il s'agisse d'un voyage de l'ascenseur à vide ou non. Donc, dans tous les systèmes, les boutons d'**appel** aux étages et les boutons d'ordre dans la cabine seront en circuit "ou".

Avant la commande de l'étage de puissance, viendra un circuit "ET" à plusieurs entrées reliées à diverses sécurités :

- . Fermeture des portes.
- . Capteur de dépassement de charge.
- . Sécurité interne à l'ascenseur etc ...

II - 12 SOUS-ENSEMBLES A THYRATRON A CATHODE FROIDE

Afin de donner à la solution possible toute sa généralité, nous nous sommes efforcés de n'utiliser que certains types de circuits mis sous forme de sous-ensembles, ce qui permettra toute extension que l'on voudra et leur utilisation pour tout autre problème d'automatismes à séquences.

Nous avons donc réalisé les sous-ensembles suivant qui ont suffi à la réalisation de cette commande. Tous ces circuits, réalisables évidemment en circuits imprimés, utilisent une tension d'alimentation de $300\text{ V} \pm 5\text{ volts}$ et une tension de polarisation de 100 v .

II - 12 - 1 Le circuit "générateur"

C'est le montage à relaxation décrit précédemment en I 314. Les polarisations de starter et les impulsions sont de 100 v calibrées ainsi qu'elles furent décrites en I 245.

II - 12 - 2 Le circuit "reformeur d'impulsion" R

C'est le circuit dérivé du précédent et décrit en I 315. Il servira très souvent à isoler deux circuits afin d'éviter les réactions de l'un sur l'autre.

II - 12 - 3 Le circuit "porte"

II - 12 - 3 - 1 Montage

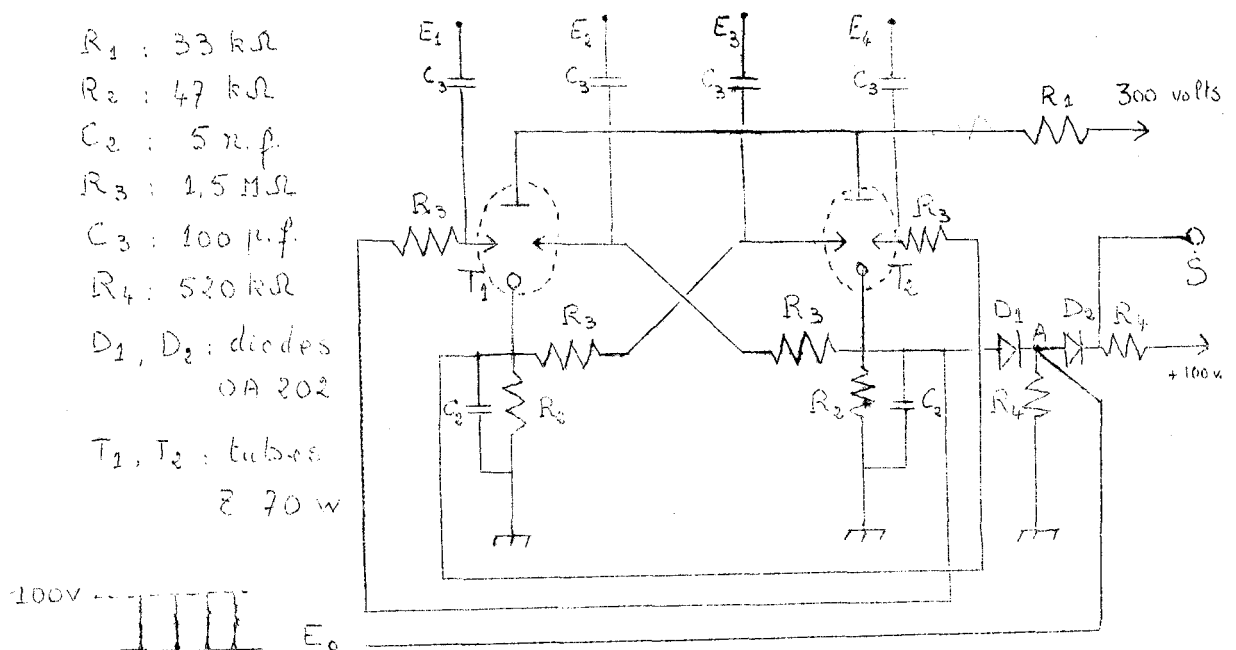


Fig: II 123

II - 12 - 3 - 2 Fonctionnement

Les 2 tubes $Z 70 w$ sont montés en compteur par 2, c'est-à-dire en bascule, suivant le principe et les valeurs numériques données en I. 32.

E_1 et E_2 : 2 entrées de fermeture de porte

E_3 et E_4 : 2 entrées d'ouverture de porte

E_0 entrées des impulsions de 100 volts

S sortie

Quand T_1 est conducteur, T_2 éteint maintient A à 0V et les impulsions de 100 V en E_0 ne passent par en S par suite de la présence de D_2 .

Quand par E_3 "ou" par E_4 , on allume T_2 , A est à 100 V et les impulsions en provenance de E_0 se retrouvent aux bornes de R_4 , donc en sortie. D_1 empêche ces impulsions de revenir sur la cathode de T_2 ce qui risquerait d'éteindre ce tube. Enfin, par E_1 "ou" E_2 , on allume T_1 et T_2 s'éteint. La tension du point A retombe à 0V et les impulsions ne passent plus à travers D_2 .

II - 12 - 3 - 3 Fonction logique

Le circuit logique qui représente ce sous-ensemble est donc le suivant :

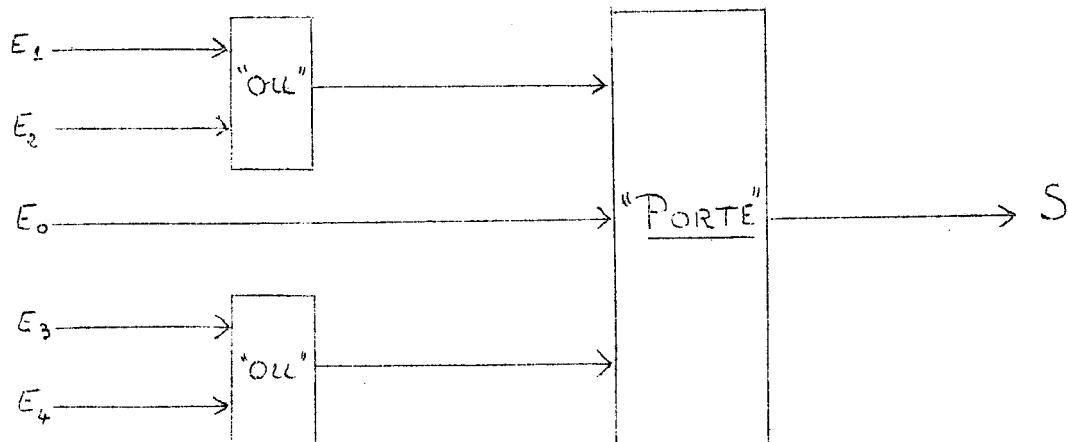


Figure II - 12 - 3 - 3a

Par ailleurs, en court-circuitant les entrées ou en les combinant, on peut réaliser la fonction logique schématisée ci-dessous :

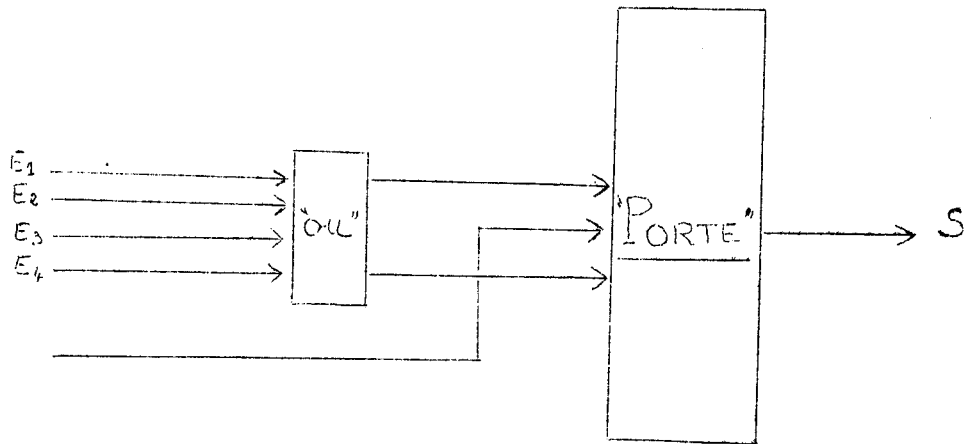


Figure II - 12 - 3 - 3b

La première impulsion ouvrira "la porte", la seconde la fermera. Ce circuit est donc souple par ses possibilités d'adaptations dues à ses multiples entrées qui peuvent être court-circuitées.

II - 12 - 4 Circuits "ou"

On réalisera en général le circuit "ou" par le montage classique à diodes. Cependant, quand on voudra isoler entrée et sortie, on pourra utiliser un relaxateur déclanché, monté avec un Z70 w donc à 2 entrées, susceptibles d'amorcer l'une "ou" l'autre le tube.

II - 12 - 5 Circuit compteur

Le circuit compteur classique décrit en I - 32, lorsqu'il est monté avec des tubes Z70 w, réalisera les fonctions suivantes :

- . Compteur décompteur, comme nous l'avons vu, donc à 2 entrées de décalage.
- . Compteur plus une entrée sur chacune des n entrées de positionnement en parallèle.

Les sorties se font sur les cathodes avec le plus souvent un "reformateur d'impulsion" car l'impulsion de sortie sur une cathode présente un front très "mou".

II - 13 PRINCIPE DU FONCTIONNEMENT

Dans les différentes réalisations, la difficulté est dans la réalisation du 2 de la séquence décrite en II 12, c'est-à-dire dans la comparaison entre la position de la cabine et l'ordre d'appel. Nous avons utilisé une méthode qui déterminera :

- . Le sens de marche.
- . Le nombre d'étages à franchir.

II - 13 - 1 Organes centraux

Supposons que nous ayons un ascenseur à 6 étages. La position de l'ascenseur est matérialisée sur un "registre de position cabine". Ce registre est un compteur par six à Z 70 w avec une entrée de décalage et 6 entrées indépendantes de positionnement sur chaque starter. Le tube correspondant à l'étage où est la cabine, est allumé. Par un contact au passage de chaque étage, une impulsion est envoyée au tube suivant ou précédant du registre selon que l'ascenseur monte ou descend.

Parallèlement, un registre identique au précédent matérialise les ordres, c'est le "registre d'appel". C'est un compteur par six en tous points semblable au "registre de position cabine" ayant donc une entrée de décalage, chacun des starters 2 des Z 70 w étant relié au bouton d'appel de chacun des étages. On comptera le nombre d'étages à monter ou à descendre dans un compteur décompteur par sept D.

II - 13 - 2 Schéma fonctionnel (voir page suivante)

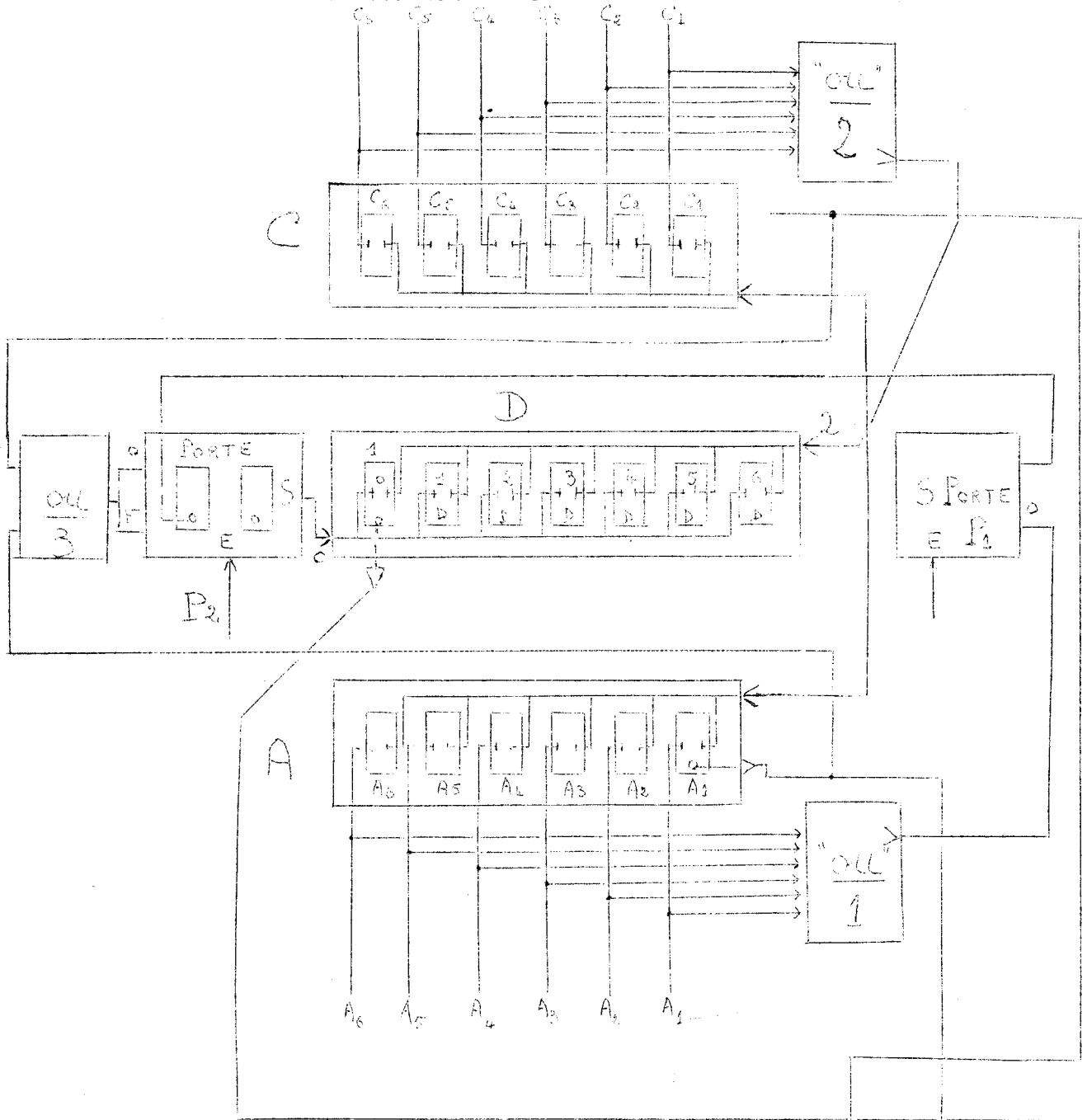
Ce schéma n'est que de principe. Les circuits réels sont plus complexes. En particulier, nous n'avons fait apparaître aucune contrainte de sécurité. On notera cependant que chacune des entrées A_i passe par un circuit "et" non représenté, dont l'autre entrée est reliée au C_i correspondant : ceci afin qu'un ordre ne soit effectivement inscrit sur un tube i du registre A que si la cabine n'est pas à cet étage i .

Ce circuit est réalisé très simplement par une butée de l'ascenseur ouvrant le circuit A_i lorsqu'il est à l'étage i .

De même, un circuit simple permet d'interdire l'accès aux tubes A pendant le déroulement d'une séquence.

Dans ce schéma n'apparaissent que des sous-ensembles tels que nous les avons décrits en II - 12, à l'exception du circuit "descente, montée, arrêt" que nous verrons plus loin.

Schéma fonctionnel : figure II 1 3 2



- A Registre d'appel
- C Registre de Position Cabine
- D Comparateur
 - c sens compteur
 - d sens décompteur
- E (aux circuits "Porte"): Venant de l'horloge
- R Réformeur

| | | |
|-------------|-------------|-------|
| Réformeur 1 | Réformeur 2 | R3 |
| Montée | Descente | Arrêt |

Dans les circuits "porte", E sont les entrées des impulsions et S les sorties ; la première impulsion sur l'entrée O, ouvre la porte, la suivante sur F la ferme.

Aucun des compteurs n'est bouclé. Des impulsions arrivant donc sur un compteur dont le dernier tube est allumé, n'aurait aucun effet sur lui.

II - 13 - 3 Description d'une séquence

Nous supposons que la cabine est à l'étage 5.

En position initiale :

- 0/ Le tube C_5 est donc allumé,
 - . Le tube D_0 est allumé,
 - . Toutes les "portes" sont fermées,
 - . Le tube A_1 par exemple est allumé.
- 1/ Sur l'étage 3 arrive un ordre d'appel, en provenance soit du palier n°3, soit du bouton 3, intérieur à la cabine. Sur le registre d'appel, le tube A_3 s'allume et la porte P_1 s'ouvre.
- 2/ Comparaison entre la position de la cabine et l'ordre d'appel.

Quand P_1 est ouvert, un train d'impulsion attaque les deux registres à la fois sur leur entrée compteuse montée dans le sens décroissant 6, 5, 4, etc ...

Au bout de 2 impulsions, le tube A_1 du registre d'appel s'allume, et ouvre par l'intermédiaire d'un circuit "ou" 3, la "porte" P_2 .
- 3/ Ordre de descente.

Cette même impulsion met en marche l'ascenseur dans le sens de la descente.

Le "compteur décompteur" comptera les impulsions en provenance de P_2 jusqu'à ce que cette "porte" soit fermée par une impulsion provenant du tube C_1 du registre de Position Cabine. Il comptera donc 2 impulsions, c'est-à-dire la différence entre le "registre d'appel" et le "registre de position cabine", D_0 étant initialement allumé, c'est finalement D_2 qui s'allumera, après 2 impulsions sur l'entrée de comptage.

L'ascenseur descend donc. Au passage à l'étage 4, le tube C_4 du "registre de position cabine" s'allume et par l'intermédiaire du circuit "ou" 2, le comparateur décompte de 1, donc, le tube D_1 s'allume.

4 Arrêt

L'arrivée à l'étage 3 allume C_3 et D_0 , ce qui déclenche l'arrêt.

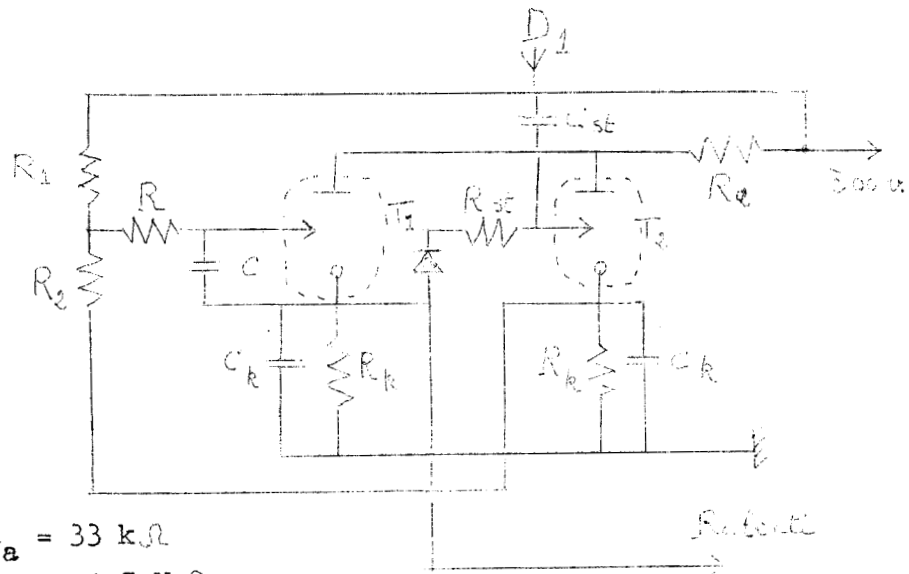
II - 13 - 4 RemarquesII - 13 - 4 - 1 Fermeture de P_1

On voit bien que, si en 2 de la séquence, C_1 s'était allumé avant A_1 , c'était que l'ascenseur était plus bas que l'endroit où il devait aller ; C_1 , s'il s'allume avant A_1 , en déclenchera la montée, dans le cas contraire comme on l'a vu, c'est la descente qui s'effectue.

La fermeture de la porte P_2 signifie que les deux registres sont en position C_2 et A_1 ; on déclenchera donc la fermeture de P_1 par l'intermédiaire de la fermeture de P_2 .

II - 13 - 4 - 2 Ralenti

Si l'on veut, on pourra aisément déclencher une position "ralenti" à l'ascenseur par l'intermédiaire de D_1 attaquant le monostable suivant :



$$R_a = 33 \text{ k}\Omega$$

$$R_{st} = 1,5 \text{ M}\Omega$$

$$R_k = 47 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 2 \text{ M}\Omega$$

$$R_2 = 1 \text{ M}\Omega$$

R à déterminer

C à déterminer

$$C_k = 5 \text{ nF}$$

$$C_{st} = 100 \text{ pF}$$

Figure II - 13 - 4 - 2

T_1 est allumé. Une impulsion sur D_1 allume T_2 . Le starter de T_1 qui est à 100 v, voit alors sa tension suivre la loi :

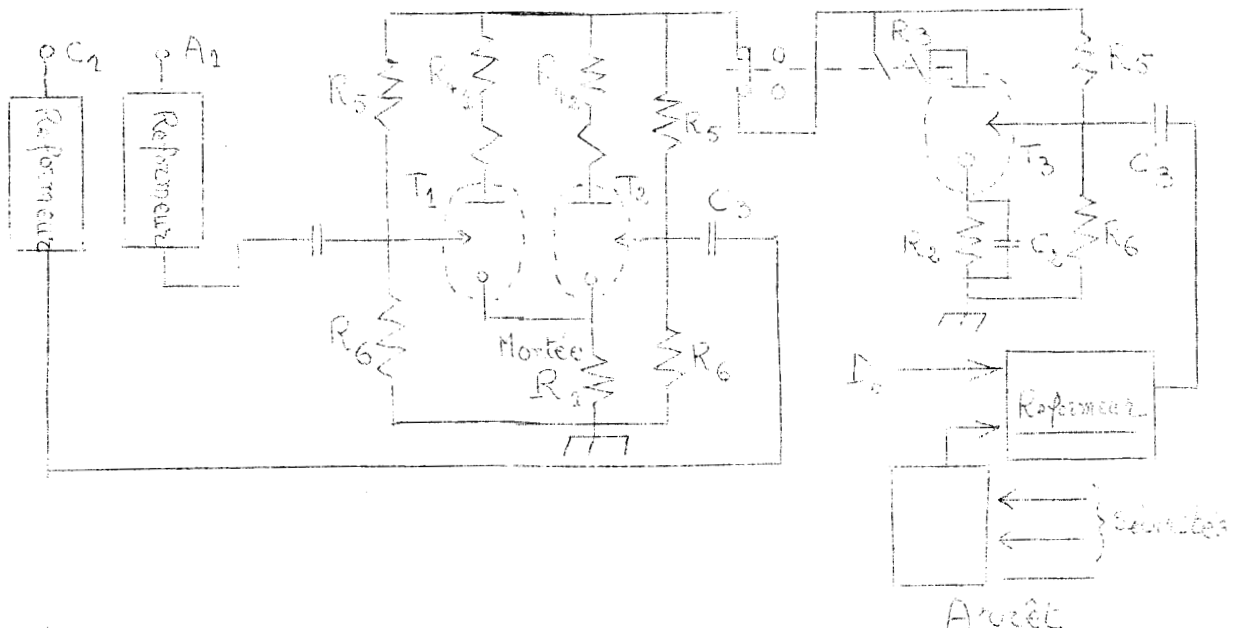
$$V_{st} = V_{KT_2} + (E - V_{KT_2}) e^{-t/\tau} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\tau = C \left(R + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

V_{KT_2} est à 100 volts. $V_{st}(T_1)$ tend donc vers 170 volts environ. Et donc T_1 se rallumera au bout d'un certain temps. Ce circuit joue donc le rôle d'un relais retardé. Ce retard est ajustable en particulier par R . On pourra le régler de telle sorte qu'il corresponde au franchissement de 3/4 d'un étage.

II - 13 - 4 - 3 Circuit "descente, montée, arrêt"

Ce circuit est réalisé suivant le schéma ci-dessous :



$C_1 = 0,1 \mu F$
 $C_2 = 680 \text{ pf}$
 $C_3 = 100 \text{ pf}$

$R_1 = 47 \text{ k}\Omega$
 $R_2 = 1,8 \text{ M}\Omega$
 $R_3 = \text{Relais } 16 \text{ k}\Omega$

$R_4 = 33 \text{ k}\Omega$
 $R_5 = 2 \text{ M}\Omega$
 $R_6 = 1 \text{ M}\Omega$

Les résistances R_4 représentent un relais sensible à 3 mA de $16\text{ k}\Omega$ avec une résistance additionnelle, shuntée par une capacité afin de coller énergiquement ce relais quand le tube s'allume.

Une impulsion en provenance de A_1 déclanchera, après passage dans un "réformeur d'impulsion" type II - 12 - 2, l'allumage de T_1 qui calera le relais R_4 de mise en "marche descente". Le potentiel des cathodes de T_1 et T_2 est alors de 100 volts. Toute impulsion de 100 volts ultérieure venant de C_1 ne pourra donc pas allumer T_2 .

L'arrêt est commandé par T_3 . Le relais dans l'anode de ce tube interrompra un court instant l'alimentation des tubes T_1 et T_2 , ce qui éteindra le tube allumé.

Note : Cette solution d'extinction est celle qui a été effectivement réalisée. Une solution électronique, particulièrement économique, se déduira aisément du montage que l'on verra plus loin, d'extinction d'un tube matriciel de la mémoire (cf § II 44). Cette solution économise un relais.

Toutes les sécurités d'arrêt attaqueront le "réformeur d'impulsions" R_3 par un circuit "cu".

II - 14 CONCLUSION

On voit donc que cet automatisme résoud élégamment le problème de la commande d'un ascenseur. On peut en particulier souligner les qualités suivantes :

- . Facilité de développement pour n étages.
- . Maintenance facilitée par la proximité des tubes.

Cependant, pour arriver à une exploitation optimale, il faudrait répondre aux appels dans leur ordre chronologique avec satisfaction de ceux qui se trouvent sur le parcours de l'ascenseur.

Ces deux contraintes :

- A . Satisfaction des appels dans leur ordre chronologique.
- B . Différentiation des appels de montée et de descente, et satisfaction éventuelle au passage, si l'ordre est de même nature que celui en cours d'exécution.

introduisent une assez grande complexité de l'automatisme dont une séquence serait la suivante :

o fin d'une séquence,

- 1 recherche de l'ordre chronologiquement suivant,
- 2 comparaison avec la position cabine,
- 3 montée ou descente
- 4 recherche à chaque passage de palier d'un appel de montée ou de descente
- 5 Arrêt ou poursuite
- 6 exécution de l'ordre 1 arrêt
- 7 enregistrement de l'ordre en provenance de l'arrêt 5 avec priorité chronologique,
- 8 exécution de ou des ordres 7
- 9 arrêt - fin.

On voit donc qu'une telle séquence avec ses 2 embranchements possibles nécessitera une logique complexe inhérente aux 2 seules contraintes supplémentaires introduites.

Il est enfin, parfois, nécessaire de tenir compte d'autres impératifs tels qu'appels prioritaires, descente au rez-de-chaussée en cas de pannes, etc ... qui viendront ajouter des fonctions à la logique générale.

Nous nous sommes attachés à la résolution de la contrainte A : satisfaction des appels dans leur ordre chronologique. Et pour se faire, nous avons étudié une mémoire capable de s'intégrer dans l'automatisme à cathode froide précédemment décrit.

Nous étudierons ensuite la possibilité d'intégrer à cet ensemble la contrainte

Chapitre II - 2PRINCIPE D'UNE MEMOIRE SEQUENTIELLEII - 21 MEMOIRE

On appelle mémoire, un organe capable d'enregistrer, le plus souvent sous forme binaire, une information et de la restituer au moment désiré.

Le grand développement des automatismes et notamment des machines à calculer numériques a introduit largement la fonction mémoire dans les ensembles.

Bien que les automatismes industriels et les machines à calculer soient des automatismes à séquences ceux-là utilisent plus fréquemment les mémoires séquentielles et ceux-ci des mémoires à accès aléatoire.

Une mémoire à accès aléatoire permet d'introduire une information à n'importe quel emplacement de la mémoire déterminé par un code ; à la lecture de même, on pourra à l'instant déterminé choisir l'information où elle se trouve quel que soit l'endroit et le moment où elle a été introduite. Ce sont les mémoires ordinaires des machines à calculer, à toques en ferrite, à bande magnétique, etc ...

Dans une mémoire séquentielle, au contraire, l'information aura sa place déterminée par le moment où elle est introduite. Les informations sont classées chronologiquement. A la lecture, la restitution des informations se fera dans leur ordre d'entrée, ordinairement, la première rentrée sera la première qui sortira.

On voit donc que le "degré de liberté" d'une mémoire séquentielle est moindre que celui d'une mémoire à accès aléatoire. A priori, dans notre automate d'ascenseur, ayant à satisfaire chronologiquement, les appels, nous utiliserons une mémoire séquentielle.

II - 22 PRINCIPEII - 22 - 1 Fonction logique

En fonction de ce qui précède, nous pouvons donc déterminer la fonction logique que doit réaliser cette mémoire. On peut la traduire à l'aide du schéma suivant :

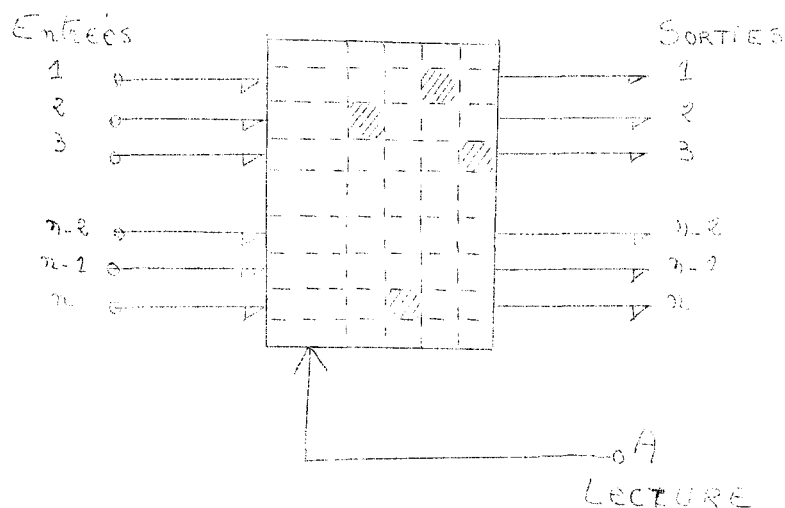


Figure II - 22 - 1

La mémoire est composée de n cellules capables de recevoir 1 digit, une information sous forme binaire. L'adresse de cette information sera déterminée :

- . Par l'état précédent de la mémoire.
- . Par la ligne sur laquelle on envoie l'information.

On ne pourra inscrire 2 informations dans une même colonne car cela signifierait qu'elles sont parvenues en même temps à la mémoire, ce qui n'est pas possible. Il ne peut y avoir coïncidence de deux phénomènes indépendants.

Supposons donc que l'on ait rempli la mémoire dans l'ordre chronologique 3 1 n 2. Lorsque l'on enverra une impulsion "de lecture" en A, on sortira une impulsion sur la ligne 3, à la seconde impulsion en A, on sortira un digit sur la ligne 1, etc ...

L'ordre chronologique sera donc l'ordre des colonnes et l'ordre des lignes, détermine la fonction ou la qualité de l'information. On en vient donc naturellement à une structure matricielle.

Notre idée d'application à un ascenseur nous interdit d'inscrire deux informations de même qualité c'est-à-dire dire deux appels au même étage. La capacité de la mémoire sera donc déterminée par le nombre de colonne de la matrice.

II - 22 - 2 Caractéristiques de la mémoire

De ce qui précède, on déduit le fonctionnement de la mémoire :

- 1 Entrée des informations suivant les lignes,
- 2 Classement chronologique suivant les colonnes,
- 3 Interdiction pour une information de s'inscrire sur une ligne où se trouve déjà une information,
- 4 Lecture dans l'ordre chronologique d'inscription,
- 5 Possibilité d'inscription et de lecture simultanées.

Pour que l'on puisse inscrire une information sur chacune des lignes, compte tenu de la caractéristique 3, il est nécessaire que la structure de la mémoire soit celle d'une matrice carrée.

II - 3 Conclusion

Ayant ainsi déterminé les caractéristiques essentielles de cette mémoire, on voit déjà qu'elle pourra dépasser dans ses applications le cadre de l'automatisme pour ascenseur. Nous verrons en particulier des utilisations possibles pour des machines outils ou machines transferts à fonctions multiples ou un circuit téléphonique.

CONSTITUTION THEORIQUEII - 3 - 1 DIAGRAMME FONCTIONNELII - 3 - 1 - 1 Notations

Afin d'avoir une écriture cohérente des diagrammes fonctionnels, nous avons convenu de représenter un thyatron à cathode froide sous forme d'un circuit "Et". C'est en effet par coïncidence d'une tension de polarisation P et d'une impulsion I que le thyatron s'allume.

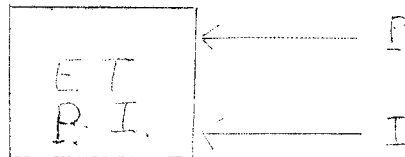


Figure II - 3 - 1 - 1 a

On voit cependant, qu'il sera nécessaire de distinguer les entrées et les sorties P de tensions continues de polarisation et I d'impulsions.

De même, un circuit "Et" de polarisation à n entrées sera représenté par le schéma de la figure III - 3 - 1 - 1 b.



Figure II - 3 - 1 - 1 b

Figure II - 3 - 1 - 1 c

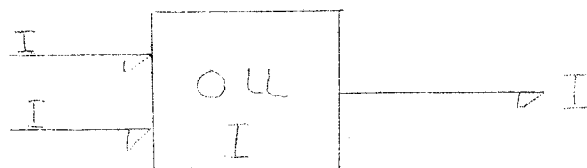


Figure II - 3 - 1 - 1 d

Circuit "Complement" de polarisation: fig. II 311c
 Circuit "ou" d'Impulsion: fig II 311d

Dans ces circuits, les entrées et les sorties sont des tensions continues de polarisation.

Dans le circuit "Et" ci-contre, il faut coïncidence entre la tension de polarisation P et l'impulsion I pour obtenir une impulsion en S.

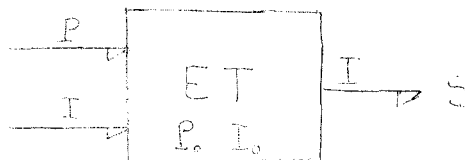


Figure II - 3 - 1 - 1e

II - 3 - 1 - 2 Diagramme de la mémoire

Nous allons étudier les fonctions de chacun des organes. Comme on le voit, on aura n entrées et n sorties, mais une seule entrée de lecture (cf § II -2 2 1).

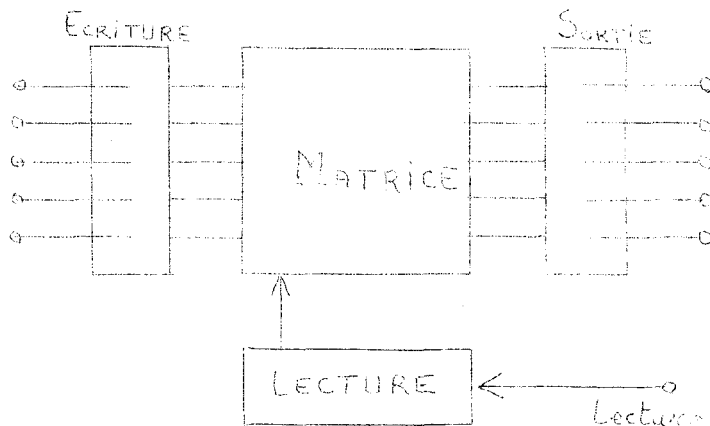


Figure II - 3 - 1 - 2

II - 3 - 2 ANALYSE

II - 3 - 2 - 1 La matrice (voir la figure page suivante)

L'élément constitutif de base de la matrice est le thyatron à cathode froide.

Pour qu'un élément de la matrice s'allume, il faut qu'il y ait coïncidence de P et I sur ce circuit. En colonne agissent les polarisations et en ligne les impulsions.

Supposons un élément de la colonne 3 allumé soit B 3. Tout élément de la ligne B ne peut plus s'allumer par suite de la présence du circuit "ou P" en A. De même, tout élément de la colonne 3 ne peut plus s'allumer par suite de l'intervention sur l'entrée P de cette colonne du circuit "ou P" en B complétement ensuite.

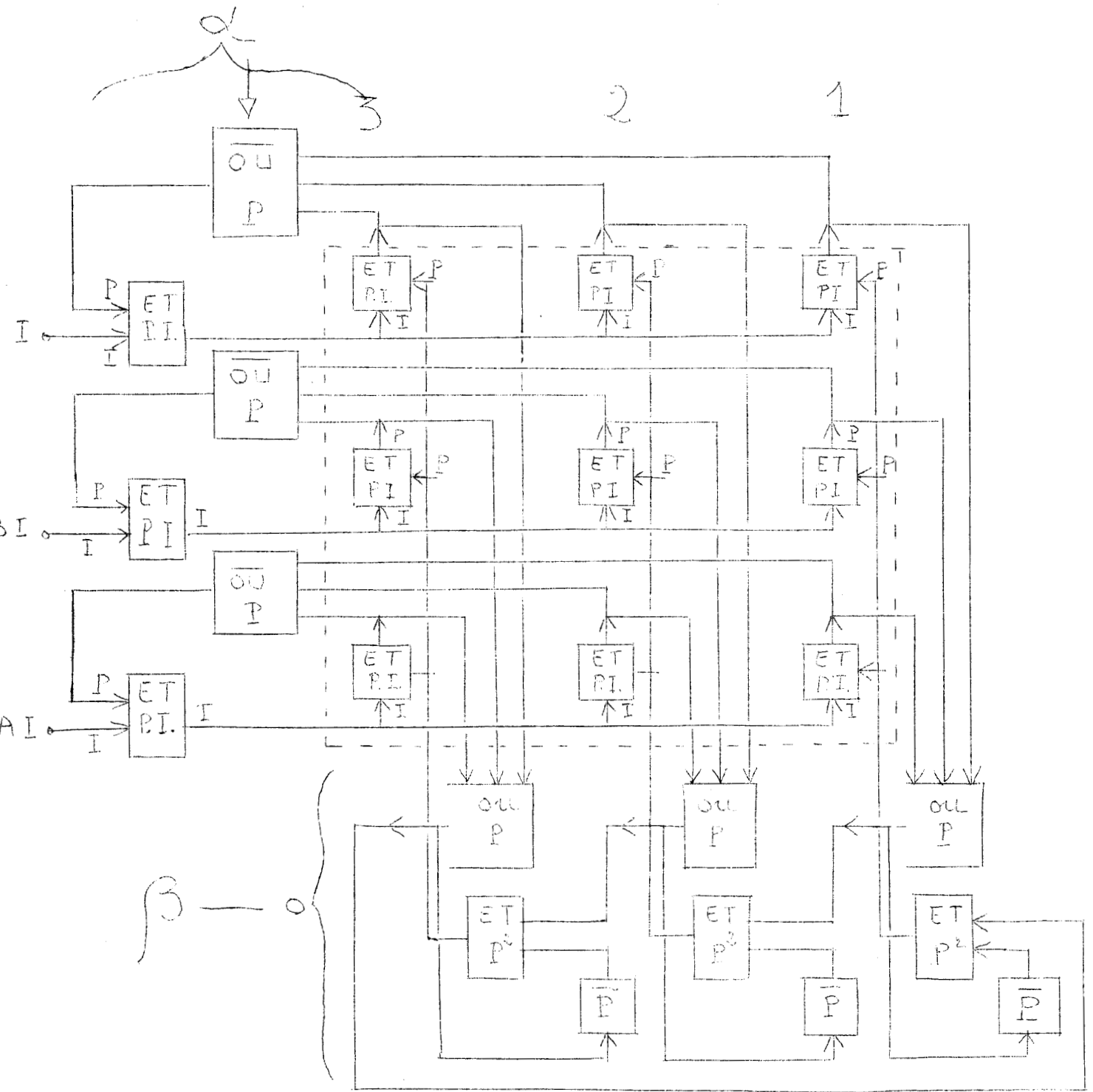


Figure II - 3 - 2 - 1

En bref, le tube C 2 ne l'allumera que si un tube est allumé en colonne 1 et aucun en ligne C

Une analyse Booléenne de la fonction agissant sur C₂ montre que :

$$C_2 = I_C \left[P_{C1} + P_{C2} + P_{C3} \right] \left[P_{A1} + P_{B1} + P_{C1} \right] \left[P_{A2} + P_{B2} + P_{C2} \right]$$

où I_C = 1 si une impulsion agit en ligne C.

les P_{mj} les polarisations agissant sur les starters.

Cette fonction, bien que complexe, nous a permis une simplification des circuits.

II - 3 - 2 - 2 Organe d'écriture

La fonction de cet organe est uniquement de fournir l'impulsion en I sur les lignes : ce sera donc un simple formateur d'impulsion.

II - 3 - 2 - 3 Organe de lecture

Cet organe, lorsqu'on lui fournit une impulsion, devra restituer sur une ligne la première information reçue.

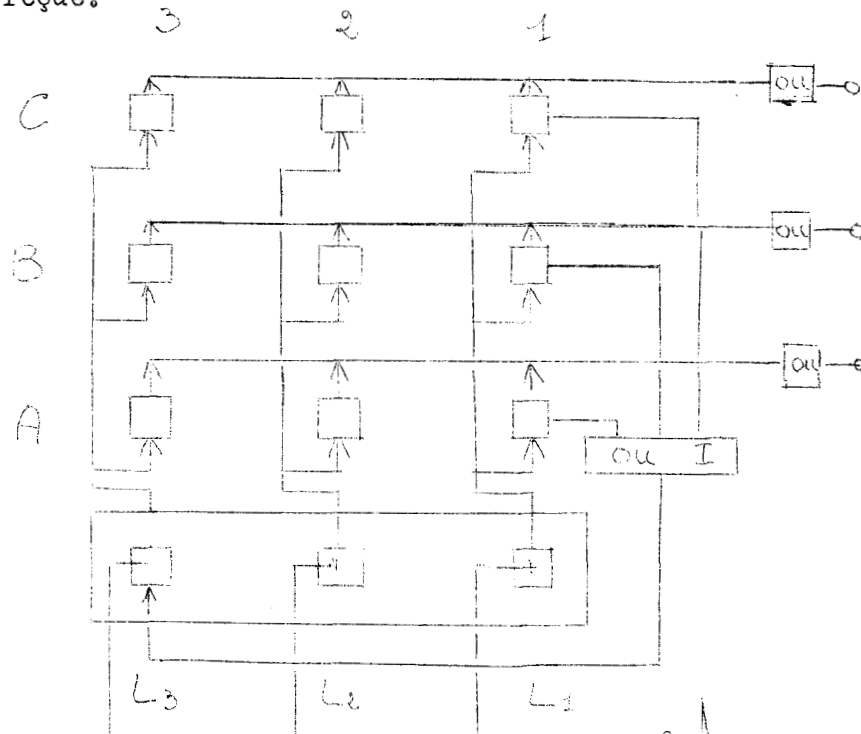


Figure II - 3 - 2 - 3

Supposons la mémoire vide.

Par un circuit annexe que nous étudierons par la suite, la première impulsion reçue sur une ligne allume un élément de la colonne 1. De ce fait, le circuit "ou" I, transmet une impulsion à l'élément L_3 du circuit de lecture. Et ce tube s'allume.

Ce circuit est monté en compteur tournant dans le sens 1, 2, 3. A la première impulsion de lecture, le tube L_1 s'allumera : le saut de tension produit sera transmis à la colonne 1, dont le tube allumé s'éteindra. On aura donc lecture par destruction de l'information.

Une impulsion produite par cette extinction sera ainsi fournie. A l'impulsion suivante de lecture, L_2 s'allumera et éteindra le tube allumé de la colonne 2, etc ...

II - 3 - 2 - 4 Organe de sortie

On collectera par ligne, les impulsions d'extinction au moyen d'un circuit "ou", puis un "reformeur" permettra d'attaquer l'utilisation.

II - 3 - 2 - 5 Conclusion

Tous les organes annexes à la matrice elle-même sont donc classiques.

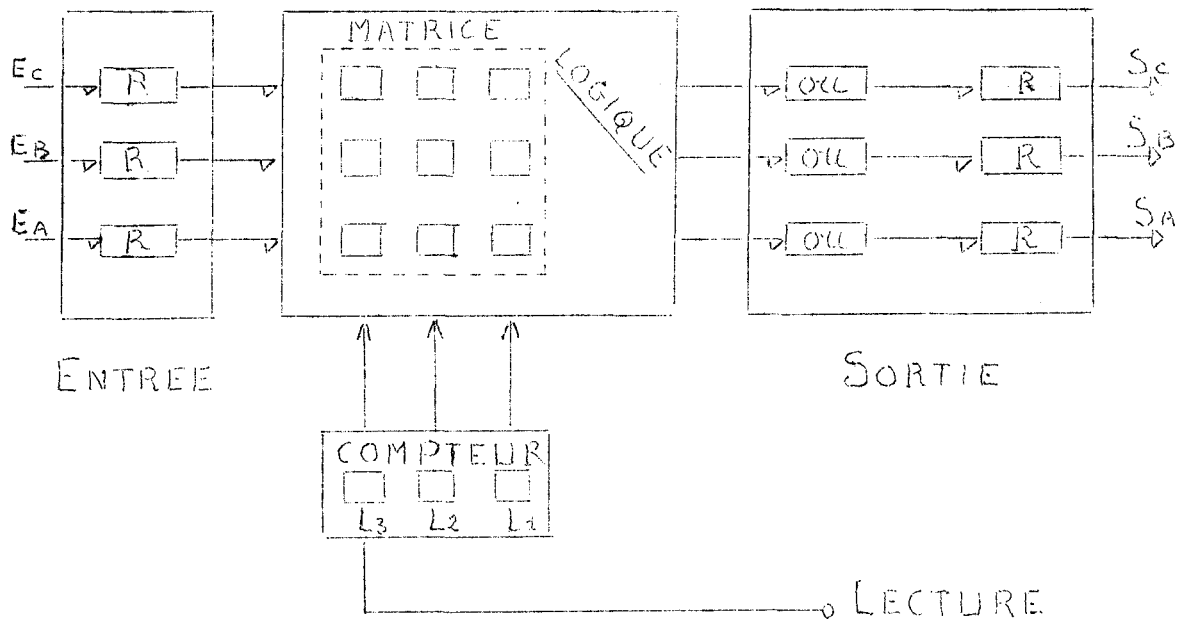


Figure II - 3 - 2 - 5

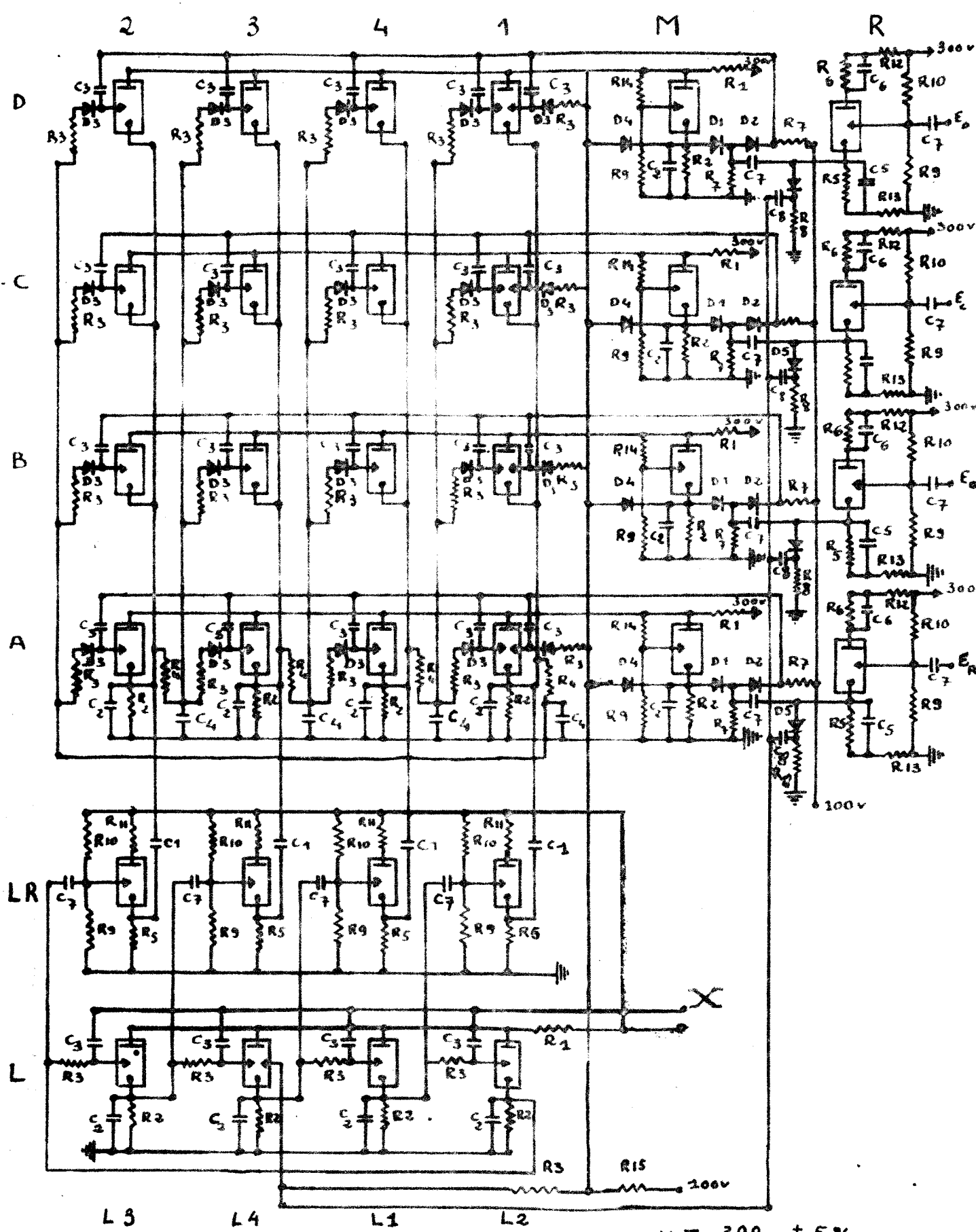
Seule, la partie logique de la matrice est indéterminée quant à sa constitution. Nous verrons qu'elle sera réalisée très simplement. Une seule colonne de tube supplémentaire suffira pour réaliser toutes les fonctions nécessaires au fonctionnement décrit de cette "partie logique". Elle nous fournira de plus les circuits "ou" de l'organe de sortie.

II - 3 - 3 EXTENSION

Par cette mémoire, nous réalisons donc une fonction séquentielle d'ordres imposés dans un ordre chronologique. Nous pouvons déjà analyser la possibilité de réaliser la deuxième condition dont nous avons parlé en II - 3 - 5 - 2 à savoir : différenciation des appels de montée et de descente et satisfaction éventuelle au passage si l'ordre est de même nature que celui en cours d'exécution.

La résolution du problème de différenciation des appels de montée et de descente pourra se faire en associant à chaque bouton d'appel une bascule à 2 positions.

Pour détecter s'il y a eu ordre d'arrêt à un étage donc à une ligne de la matrice, il suffira d'adapter un circuit "ou" sur tous les tubes d'une ligne. La présence ou l'absence d'un signal sur ce circuit commandant ou non l'arrêt. En fait, ces principes simples d'extension possible sont insuffisants pour satisfaire complètement la deuxième condition. Nous voyons cependant que c'est chose possible, et nous verrons plus loin comment ces circuits supplémentaires seraient réalisables.



H.T. : 300v ± 5%

Chapitre II - 4ETUDE DE LA REALISATIONII - 4 - 1 ANALYSE DU SCHEMA COMPLET

La mémoire réalisée comportait une matrice carrée 6 x 6. On a représenté sur le schéma une matrice 4 x 4 qui allège la représentation sans restreindre la généralité du problème.

Sur ce schéma :

- . La matrice 4 x 4 est représentée par les tubes A_i , B_i , C_i et D_i .
 - . Les 4 tubes en colonne M sont le circuit logique de Matrice.
 - . Les 4 tubes en colonne R sont les "reformeurs" du circuit d'entrée.
 - . Les tubes en ligne L constituent le compteur du circuit de lecture dont l'entrée est en X.
- Les tubes LR en ligne sont des tubes générateurs d'une impulsion, montage dérivé du "reformeur". Ils font partie du circuit de lecture.

II - 4 - 2 ORGANES DE LA MATRICEII - 4 - 2 - 1 Montage des éléments matriciels

Les tubes de la matrice sont couplés en ligne par l'anode et les résistances R_1 , en colonne par leur cathode et les résistances R_2 . Ils fonctionnent comme quatre compteurs par quatre mis en parallèle par ligne, la résistance R_2 des cathodes colonne i prépolarisant les starters de la colonne $i + 1$.

La présence des éléments $R_4 C_4$ et des diodes D_3 sera justifiée ultérieurement. Les valeurs des éléments sont donc celles du montage compteur classique.

II - 4 - 2 - 2 Logique de la matrice

Les tubes M ont leur anode reliée à chacune des résistances R_1 . Quand tous les tubes de la matrice sont éteints, tous les tubes M sont allumés.

En effet à l'application de la haute tension, le pont $R_{14} R_9$ porte le starter de ces tubes à plus de 160 volts.

Quand un tube de matrice est allumé, le tube M de sa ligne est éteint. En effet, la présence de $R_2 C_2$ dans la cathode de ces tubes les fait réagir en montage "compteur". Si D_4 s'allume le potentiel d'anode des tubes D tombe à 120⁴ volts et MD s'éteint, processus connu ; son starter se maintient alors à 120 volts par $R_{14} R_9$, ce qui est insuffisant pour rallumer le tube. Les tubes M réalisent bien la fonction \overline{OU} décrite en II - 2 - 2 - 1.

II - 4 - 3 SYSTEME D'ECRITURE

II - 4 - 3 - 1 Ecriture initiale

- Polarisation (voir figure page suivante)

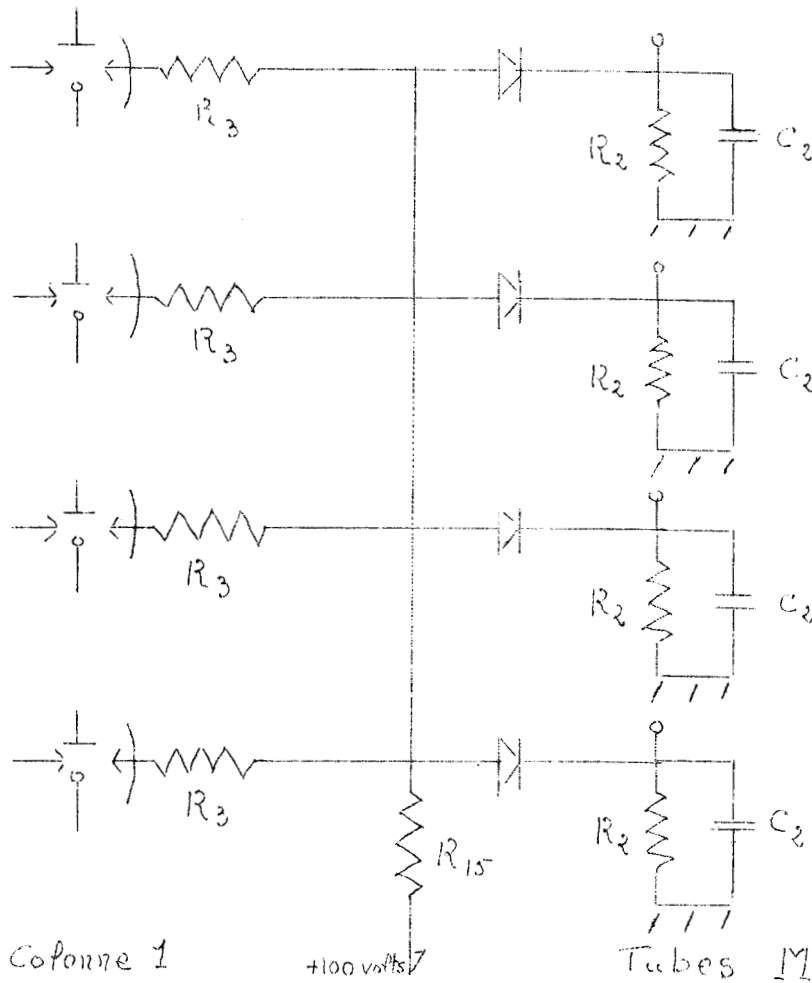
Lorsque tous les tubes M sont allumés, la matrice est vide. Les starters 2 des tubes Z 70 W de la colonne 1 sont prépolarisés à 100 v. Il est en effet nécessaire de prévoir un allumage initial des tubes de la colonne 1 car tous les autres tubes sont éteints. On emploie donc les tubes Z 70 W dont les starters 2 reçoivent une prépolarisation spéciale initiale quand la mémoire est vide.

Cette prépolarisation est réalisée par le circuit "EP" à droite de la figure II - 4 - 3 - 1 a.

Si tous les tubes M sont allumés, toutes les cathodes de ces tubes sont à 100 v, tension qui par R_3^{5e} est reportée sur les starters 2 des tubes de colonne 1.

Dès qu'un tube M est éteint, vu les valeurs de R_{15} et R_2 , 90 volts sont chutés dans R_{15} et les starters colonne 1 ne sont plus prépolarisés. C'est la réalisation du $\overline{OU.P}$ du § II - 3 - 2 - 1 avec :

$$Pc1 + Pc2 + Pc3 = Pc1 \cdot Pc2 \cdot Pc3.$$



$$R_3 = 1,8 \text{ M } \Omega$$

$$R_{15} = 470 \text{ k } \Omega$$

$$R_2 = 47 \text{ K } \Omega$$

- Impulsion

En ligne, l'application des impulsions d'entrée n'est appliquée au starter que si le tube M correspondant est allumé. C'est ce que réalise le circuit "ET" de la figure II - 4 - 3 - 1b. Nous avons déjà décrit son fonctionnement en II - 1 - 2 - 3. Le circuit réalise la fonction $Ic1 = Ic.Mc$ avec Ic impulsion d'entrée,
 $Mc = \sum C_i$ (1)

(1) On se reportera au § II - 3 - 2 - 1 pour l'étude théorique.

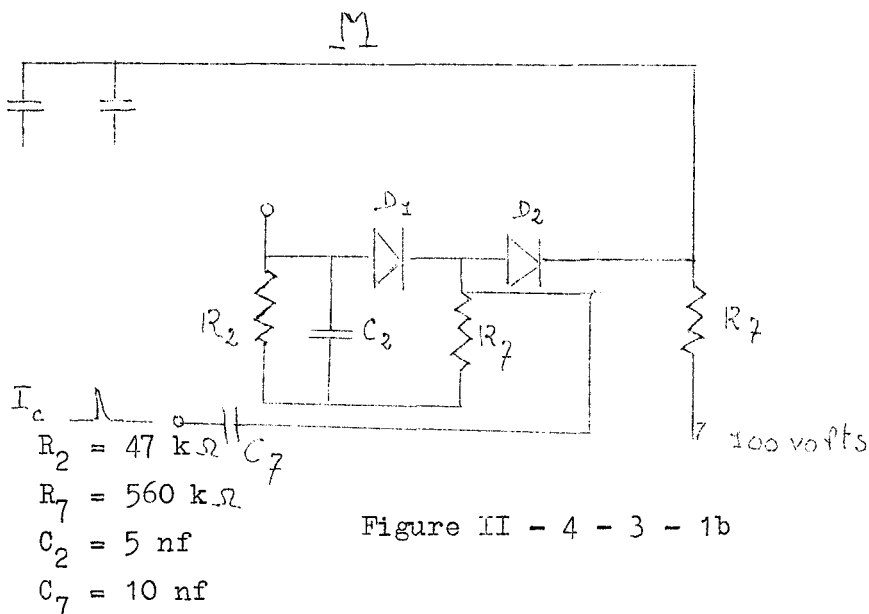


Figure II - 4 - 3 - 1b

- Organe d'entrée

Ceux sont les tubes R qui forment les impulsions d'entrée transmises aux tubes M par C_7 .

Ainsi donc, par exemple une impulsion sur E_c sera transmise par M_c à 1 C qui s'allumera.

II - 4 - 3 - 2 Ecritures ultérieures

Dès qu'un tube de la matrice est allumé en colonne 1, tous les tubes de la colonne 2 ont leur starter prépolarisé. Toutes les lignes qui ont leur tube M allumé, pourront recevoir une impulsion sur la ligne de starter. Puisqu'une seule colonne a ses starters prépolarisés, seul un tube de cette colonne peut s'allumer. Si sur E_A on envoie une impulsion, A 2 s'allumera. Et ainsi de colonne en colonne, un seul tube par ligne peut prendre l'information.

II - 4 - 4 SYSTEME DE LECTUREII - 4 - 4 - 1 Mise en marche initiale

Le circuit "Et" de la figure II - 4 - 3 - 1 a prépolarisé le starter 2 du seul tube Z 70 w des tubes L de lecture, L 4. La mémoire étant vide, on envoie la première impulsion d'écriture à ce tube par les systèmes D_5, C_8, R_8 en circuit "OU" d'impulsion déjà décrit en II - 3 - 5 - 2 - 3.

II - 4 - 4 - 2 Lecture

La mémoire étant alors remplie, on envoie en X la première impulsion de lecture, le tube L 1 s'allume et transmet une impulsion de 100 v au tube LR 1 dont le starter est prépolarisé par le pont $R_9 R_{10}$.

Les tubes LR 1 sont des relaxateurs déclenchés. La capacité équivalente de relaxation étant constitué par C_1 en série avec $C_2 R_2$ des cathodes des tubes matriciels. L'impulsion positive ainsi produite est transmise aux cathodes communes des tubes de la colonne 1. Afin d'en transmettre la plus grande énergie possible, pour être sûr d'éteindre le tube allumé de la colonne 1, C_1 est grand devant C_2 . La cathode colonne 1 étant déjà à 100 v et l'impulsion produite par LR 1 étant de 180 v, la sécurité d'extinction est bonne. R_{11} limite le courant de pointe dans les tubes LR. Cette impulsion d'extinction, transmise directement aux starters de la colonne suivante, rallumerait un tube de cette colonne. C'est la justification du découplage $R_4 C_4$ pour cette impulsion. L_1 s'étant allumé, à l'impulsion suivante L_2 s'allumera et LR_2 éteindra le tube allumé de la colonne 2 et ainsi de suite.

II - 4 - 5 ORGANES DE SORTIE

Supposons qu'on ait ainsi éteint le tube B 1. C'était le seul tube de la ligne B allumé et donc son extinction provoque l'allumage de MB.

- La "porte" d'inscription sur la ligne B s'ouvre
- On peut recueillir sur la cathode du tube MB une impulsion positive qui déclanchera un reformeur R utilisable en sortie. Avec cette impulsion, on couvrira un circuit "Porte" ou on déclanchera un relais ou les 2 à la fois.

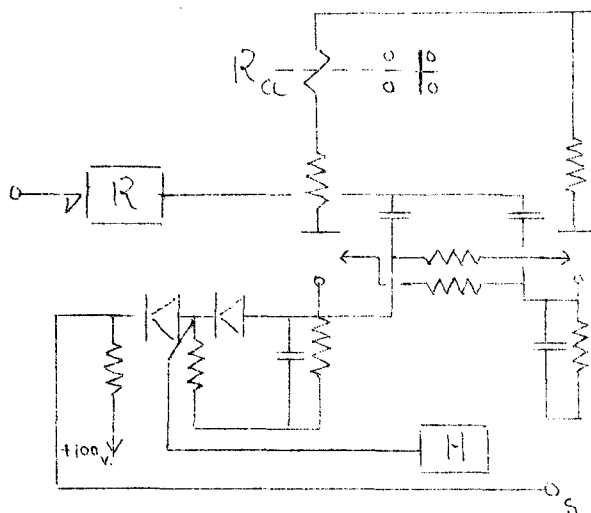


Figure II - 4 - 5

On a réalisé ce circuit comprenant le "reformeur" R, le circuit "Porte" avec dans une anode un relais R_1 , et une sortie S délivrant un train d'impulsions venant d'un Relaxateur H, permettant d'attaquer un compteur d'impulsion par exemple. C'est là un exemple, tout à fait gratuit. A partir de S un compteur à thyatron à cathode froide déclanchant à la n ième impulsion la lecture de la mémoire et la fermeture de la porte.

On en avait étudié le circuit imprimé, permettant de loger 2 circuits identiques sur une plaquette 13 x 18.

II - 4 - 6 DEROULEMENT D'UNE SEQUENCE

Décrivons brièvement l'état des tubes à partir de l'application de la haute tension.

- . Dès qu'on atteint 280 v de haute tension, tous les tubes M s'allument.
- . On applique une impulsion en E_B , C_7 de RB ayant une grande valeur susceptible de passer les fronts d'impulsion les plus "mous", il est possible que le tube relaxe plusieurs fois, tant que son starter reste au-dessus de 260 v environ. Seule la première impulsion sera efficace et allumera B1. Dès lors, la porte M ferme l'accès aux tubes B.
- . En même temps, le tube L 4 s'est allumé.
- . Successivement, on allume ainsi B 1, A 2, D3, C 4 par exemple. Tous les tubes M sont éteints, la mémoire est saturée.
- . La première impulsion de lecture en X, X allume L 1, éteint B 1 par relaxation de L R 1 et allume MB. La seconde allume L 2, éteint A 2 par L R 2 et allume MA.
- . Une impulsion sur EA allume A 1, classé ainsi chronologiquement après C 4.
- . On interroge ainsi successivement les colonnes 3, 4 et enfin 1. La mémoire est vide. Une nouvelle impulsion sur X allume L 2, L R 2 relaxe et n'a aucun effet. Tous les tubes M sont allumés.
- . Une impulsion sur ED, allume D 1 et L 4, une nouvelle séquence commence.

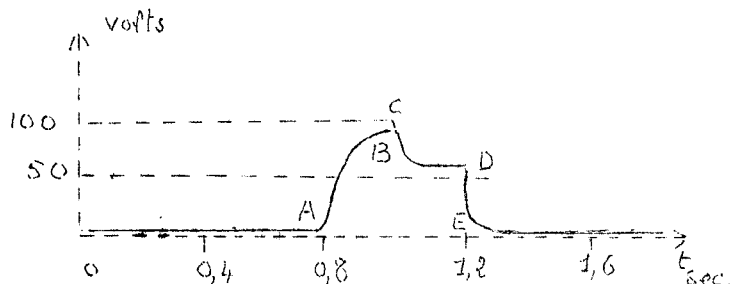


Figure II - 4 - 6

L'oscillogramme ci-contre représente au cours d'une séquence, la tension d'un starter. De O à A, tension nulle, de A à B, prépolarisation, le temps de montée est dû à $R_4 C_4$. En C, impulsion de déclenchement, de C en D conduction du starter du tube allumé, l'affaiblissement est dû à la présence d'une diode D_3 dont nous verrons la nécessité au paragraphe suivant. En D extinction.

II - 4 - 7 MESURESII - 4 - 7 - 1 Remarques générales

L'ensemble des circuits utilisés étant classique, ils sont susceptibles de fonctionner avec une grande sûreté. Néanmoins, 310 volts est une valeur maximale de haute tension pour le tube Z 70L¹ prévue par le constructeur. D'autre part, afin d'avoir un allumage franc des tubes M et une extinction sûre à l'interrogation, il ne faut pas descendre en dessous de 290 v. Il sera donc nécessaire d'utiliser une alimentation stabilisée à 3 % dont la réalisation ne doit pas faire de difficulté.

Malgré le grand nombre de circuits qui charge les tubes M, cette colonne fonctionne sans défaut.

II - 4 - 7 - 2 Oscillations sur le starter

Ce phénomène que nous avons déjà rencontré, s'est retrouvé ici et a nécessité les diodes D₃ qui limitent à une valeur acceptable tout courant négatif de starter.

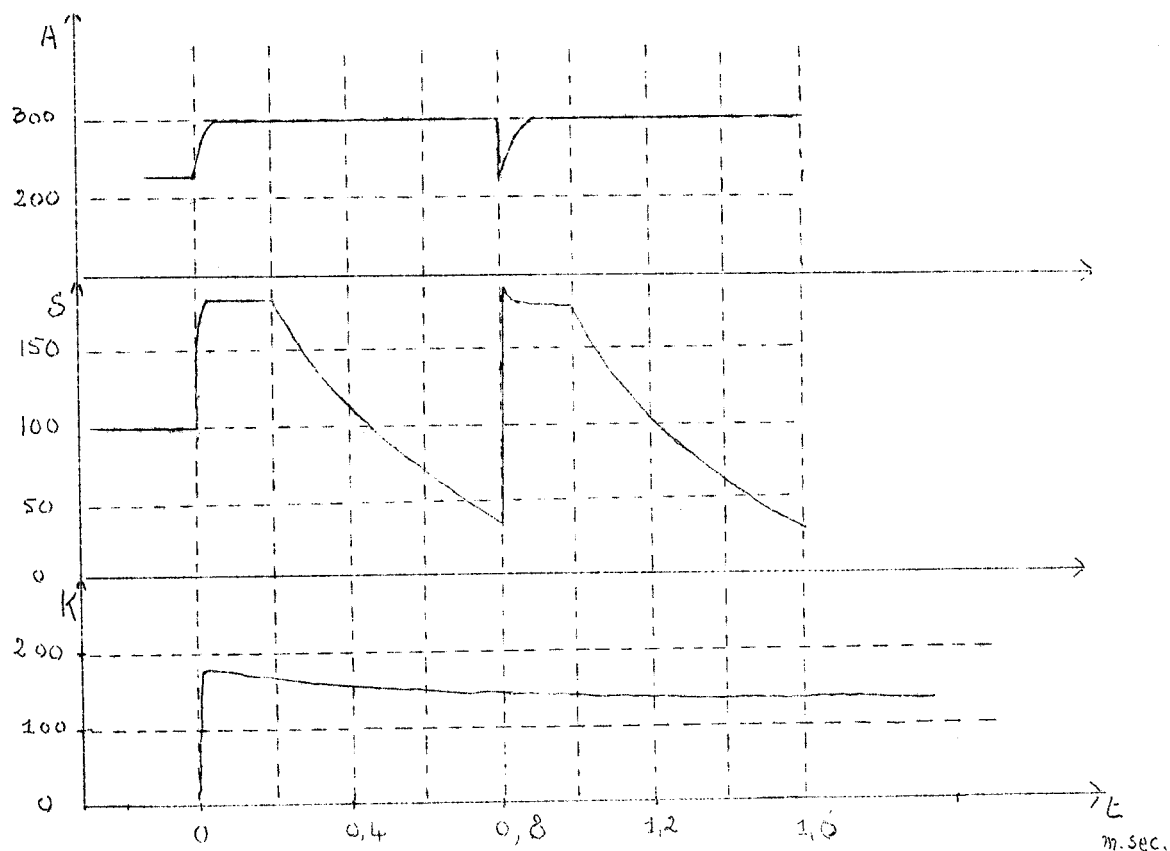


Figure II - 4 - 7 - 2 a

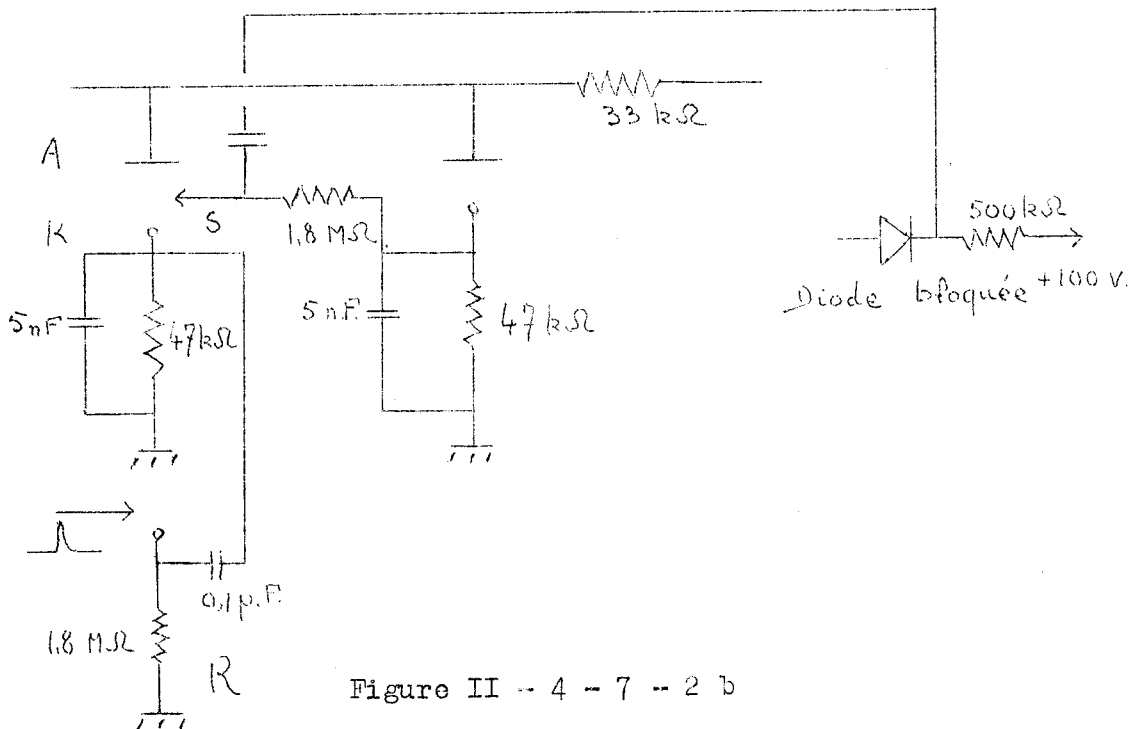


Figure II - 4 - 7 - 2 b

Avec le circuit de la figure II - 4 - 7 - 2 b, on a obtenu les courbes II - 4 - 7 - 2 a, lorsque l'on provoquait l'extinction du tube à l'anode du "reformeur" R. L'oscilloscope utilisé était un "Tectronix" avec une sonde d'impédance d'entrée $10\text{ M}\Omega, 2,5\text{ pf}$.

Sur la cathode, la tension décroît en $V_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ avec $\tau \sim 0,1\text{ }\mu\text{.F} \times 47\text{ k}\Omega = 5\text{ m.sec}$ donc très grande. Lorsque le tube est conducteur, le potentiel starter est tel qu'il n'y a pas arc cathode-starter. Le potentiel starter est le même que celui de la cathode. Le starter joue en effet alors le même rôle que la cathode. Puis, lorsque le tube est non conducteur, la tension décroît en $V_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ avec $\tau \sim 90\text{ pf} (1,8\text{ M}\Omega + 500\text{ k}\Omega) = 230\text{ }\mu\text{.sec}$. Contre toute attente, on s'aperçoit qu'il jaillit un arc entre starter et anode lorsque la tension de cathode est élevée et que le tube vient d'être déionisé. Statiquement, ce phénomène ne se produit pas.

Ce saut de tension de 150 v se retrouvait en partie sur les starters de la même ligne et provoquait un allumage parasite.

L'équation différentielle qui régit la variation de la tension starter a dans ces conditions une solution exponentielle.

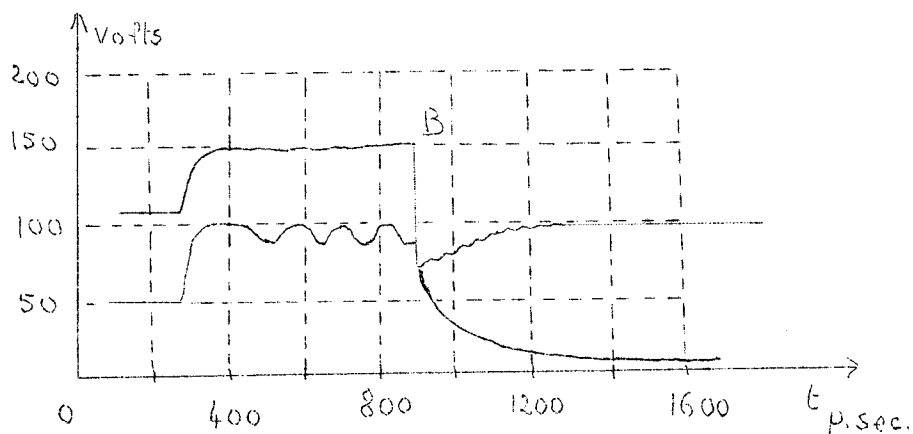


Figure II - 4 - 7 - 2 c

On a donc rajouté les diodes D_3 qui limitent ce courant d'arc anode-starter. On a alors obtenu l'oscillogramme II - 4 - 7 - 2 c. La courbe supérieure est la tension d'anode, courbe où l'on distingue de faibles oscillations ($R_{\text{anode}} = 33 \text{ k}\Omega$). Le saut négatif en B correspond à l'allumage d'un autre tube de la même ligne. La courbe inférieure est la tension starter dont la montée correspond à la montée de la tension de cathode. Puis le phénomène est ici oscillatoire. Sa nature dépend du circuit de charge de cette électrode.

Il faut noter les difficultés d'observations rencontrées causées par la haute valeur des impédances qui ne sont pas faibles devant celles des sondes d'oscilloscope. En tension continue, on observait sur 100 v un affaiblissement de 20 v lorsque l'on branchait la sonde.

Il semble donc que l'arc anode starter ne jaillisse que parce qu'il existe encore dans le gaz un nombre suffisant de porteurs pour provoquer un amorçage entre ces deux électrodes, alors que la tension entre anode et cathode est trop faible pour qu'un arc puisse jaillir.

Chapitre II - 5UTILISATIONSII - 5 - 1 PRINCIPES GENERAUX

L'utilisation de la fonction mémoire est nécessaire lorsque la séquence d'un automatisme dépend de phénomènes aléatoires extérieurs. C'est ainsi qu'elle trouve son application dans les ascenseurs ou comme nous le verrons dans certains circuits téléphoniques.

Mais l'utilisation de cette fonction peut se faire également lorsqu'un automatisme peut régir un certain nombre de séquences et que l'on veut une permutation aisée d'une séquence à une autre.

II - 5 - 2 APPLICATION A UN ASCENSEURII - 5 - 2 - 1 Introduction de la mémoire

L'introduction de la mémoire dans l'automatisme déjà décrit a pour première conséquence, la nécessité de différencier les appels de palier qui doivent être satisfaits chronologiquement et les ordres de cabines qui doivent s'exécuter immédiatement. Il est donc nécessaire d'introduire une fonction "de retard de lecture de mémoire", de temps t_0 , environ 20 sec, qui permet d'accorder la priorité à l'utilisateur qui est dans la cabine.

Le schéma fonctionnel sera donc celui indiqué en figure II - 5 - 2 - 1. Toute la partie logique interne non indiquée sera identique à celle décrite en II - 1 - 3 - 2. (voir schéma page suivante)

- Les ordres de cabine arrivent directement sur le registre d'appel A.
- La logique de lecture comporte :
 - . Un circuit "EE" Polarisation x impulsion
 - . Un circuit "complément de polarisation" P 1
 - . Un circuit retardateur de temps t_0 , déjà décrit en II - 1 - 3 - 3 - 4.
- Un circuit "Porte" en 2 : Les entrées O ouverture et F fermeture sont court-circuitées, la première impulsion l'ouvrira, la seconde la fermera.

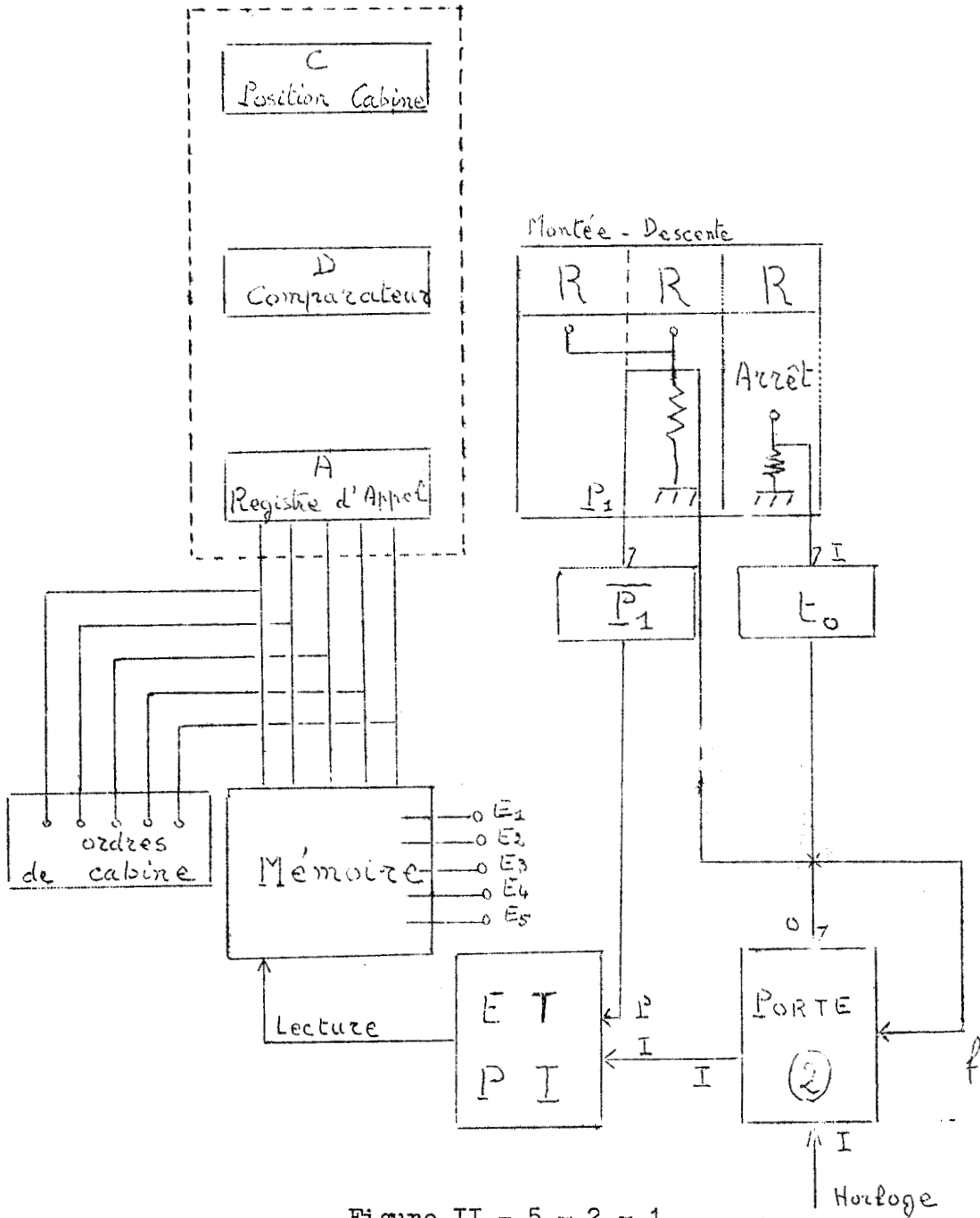


Figure II - 5 - 2 - 1

II - 5 - 2 - 2 Déroulement d'une séquence

On comparera cette séquence à celle décrite en II - 1 - 3 - 3, de l'automatisme sans mémoire.

- 0 La mémoire est vide, l'ascenseur est immobile. Les tubes "Montée - Descente" sont éteints. $P_1 = 0$
 $\overline{P_1} = 1$. La porte 2 est couverte et l'horloge interroge la mémoire.
- I) Un appel arrive en mémoire sur une entrée, immédiatement lu par une impulsion d'horloge. Donc suivant la séquence décrite en II - 1 - 3 - 3, l'ascenseur est mis en route $P_1 = 1$ $\overline{P_1} = 0$, il n'y a plus d'impulsion de lecture sur la mémoire.

Passer à 4 de la séquence II - 1 - 3 - 3.
 (2 Comparaison entre la position de la cabine
 et l'ordre d'appel.

3) Ordre de montée ou de descente.

4) Arrivée à l'étage, Arrêt.)

La séquence se poursuivra comme suit.

5) L'arrêt commande au temps t le retardeur.

a) Avant $t + t_0$, un ordre de cabine redéclenche
 la séquence en 1.

$P_1 = 1$. La porte (2) s'ouvre
 . $\overline{P_1} = 0$

Il n'y a donc pas d'interrogation mémoire à
 $t + t_0$, la porte (2) se ferme.

La séquence 1, 2, 3 se poursuit jusqu'à 4,
 nouvel arrêt.

b) Aucun ordre de cabine n'arrive

- $P_1 = 0$ $\overline{P_1} = 1$

- à $t + t_0$ la porte (2) s'ouvre et il y a lecture
 de mémoire

. Il y a appel sur A_i donc retour en 1 de la
 séquence et $P_1 = 1$, la porte (2) se ferme.

. Il n'y a pas appel, il y a interrogation
 permanente de la mémoire.

II - 5 - 2 - 3 Extension

Comme on l'a vu en II - 1 - 4, afin d'améliorer l'utilisation de cet automatisme, il convient de satisfaire au passage de l'ascenseur les appels venant d'un palier. Pour cela, on remarque que l'état des tubes M de la matrice nous renseigne sur les appels de palier. Le tube M, A, B ou C éteint, correspond en effet à un appel sur le palier A, B ou C correspondant. On pourra donc en particulier commander un arrêt par la tension nulle de cathode de ce tube M. Afin d'isoler les circuits, il sera alors utile de se servir d'une photo-résistance branchée en regard de chacun des tubes M, comme autre circuit de sortie déjà mentionné au § I - 3 - 3 - 3 - 2.

Il est alors nécessaire d'ajouter de nouvelles fonctions logiques :

. Commande d'arrêt à partir de ce signal.

. 1 registre nouveau type compteur de mémorisation d'un ordre de cabine qui ne sera exécuté que lorsque le tube D du comparateur aura commandé l'arrêt.

Pour atteindre l'optima, il faut alors différencier ordre de montée et de descente afin de n'interrompre l'exécution d'un ordre que si d'un palier un ordre de même nature est en attente.

La solution complète d'un tel automatisme n'est donc pas simple ; la mémoire telle qu'elle est, permet cependant d'introduire une contrainte supplémentaire qui permet de trouver des solutions nouvelles et d'entrevoir l'achèvement complet de l'automatisme.

II - 5 - 3 APPLICATION A UN CIRCUIT TELEPHONIQUE

La multiplication des circuits téléphoniques a rendu obligatoire une automatisation poussée des circuits téléphoniques. (1)

L'étude complète d'un tel automatisme différencie :

- les signaux de commande,
- les signaux de parole

qui nécessitent des circuits distincts.

Certains ont trouvé dans le thyatron à cathode froide l'élément capable de résoudre ces problèmes (2).

Ce paragraphe n'a cependant pour objet que d'évoquer une solution possible à un problème simple de circuit téléphonique.

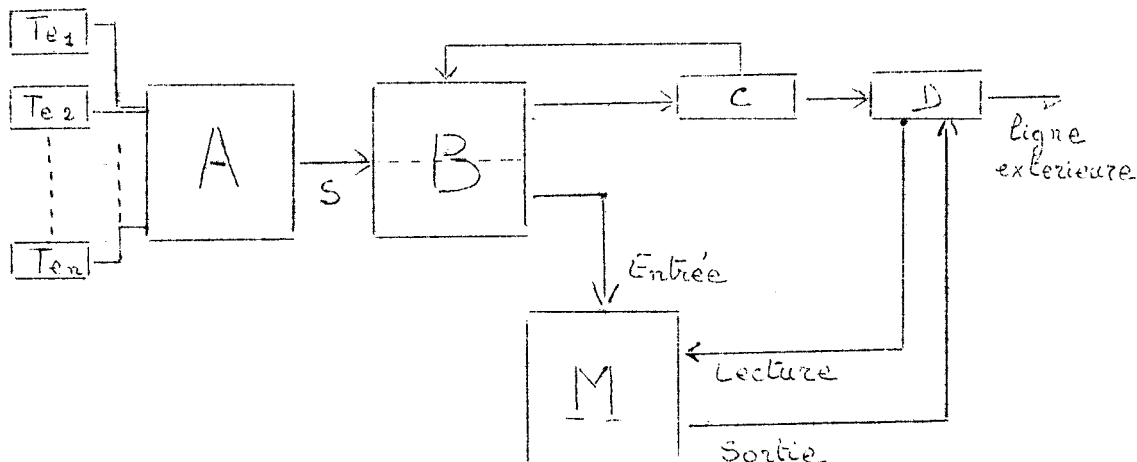
Il est courant que plusieurs postes téléphoniques ne disposent que d'un ou deux raccordements au central téléphonique. Ces postes communiquent entre eux mais doivent passer par un central secondaire pour un raccordement manuel avec l'extérieur. Il arrive donc que d'un poste donné une communication ne puisse être obtenue par suite de l'occupation de cette ligne extérieure.

On conservera donc en mémoire l'appel pour l'extérieur, appel qui sera branché dès que la ligne sera libre.

(1) On trouvera sur les automatismes téléphoniques un article de G.G. Oudet dans l'Onde Electrique n° 399 Juin 1960.

(2) Voir Electronique Industrielle - Téléphonie et électronique n°41 Février 1961 p. 53-55.

Le schéma fonctionnel sera le suivant



| | |
|----------|-----------------------|
| Tl i | Postes téléphoniques, |
| A.B.C.D. | Fonctions logiques, |
| M | Mémoire |

Figure II - 5 - 3 a

Les Tl i sont les postes téléphoniques.

Supposons un appel du Tl i. Le circuit A branche Tl i en S vers B et bloque les Tl j, $j \neq i$. C représente un circuit qui commute S par le circuit B si la ligne est occupée, vers la mémoire M.

Le circuit D lira la mémoire dès que la ligne extérieure est libre. La mémoire pourra être déduite de celle précédemment étudiée. Si les appels extérieurs sont de six chiffres, on mettra six mémoires en parallèle. On utilisera des mémoires rectangulaires de 10 lignes (autant que de chiffres) et de n colonnes si on veut conserver n appels en mémoire.

Voir schéma page suivante.

Les mémoires sont entassées horizontalement. Les barres horizontales représentent les colonnes 1 de chacune des six matrices. Les lignes sont donc représentées verticalement.

Si on veut conserver en mémoire le numéro téléphonique 57 24 77, on écrira le 5 sur la ligne 5 de la première matrice, la colonne étant déterminée par l'état antérieur de la mémoire. Le premier 7 s'écrira sur la ligne 7 de la deuxième matrice etc ...

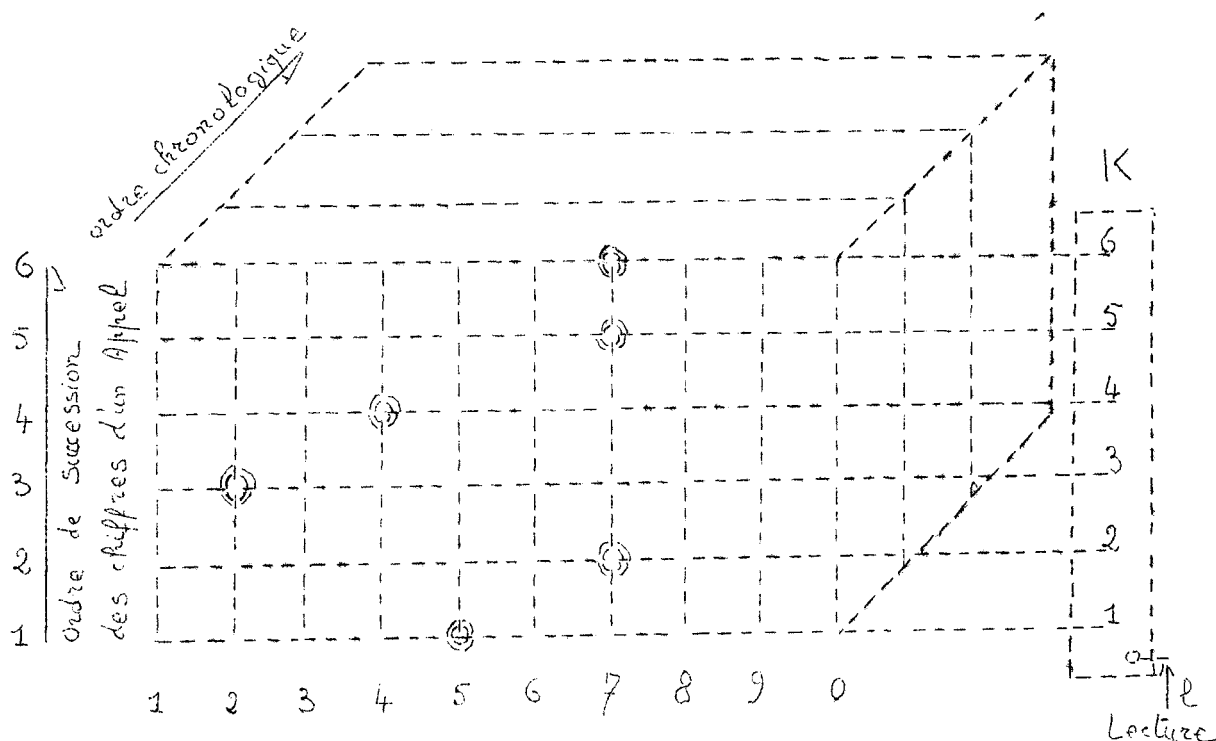


Figure II - 5 - 3 b

$n = 4$

N° à composer 57 24 77

Le circuit de lecture est composé d'un montage de 6 tubes K en compteur. Lorsqu'on enverra en L une impulsion, K 1 s'allumera et enverra une impulsion sur la première matrice qui sera lue ; par l'effet du circuit de lecture propre de la mémoire, on sortira une impulsion sur la ligne 5.

A la deuxième impulsion, K 2 s'allumera, lira la deuxième matrice et une impulsion sortira en deuxième chiffre d'appel sur la ligne 7 et ainsi de suite.

Le deuxième appel sera lu sur chacune des colonnes 2 de chaque matrice.

II - 5 - 4 CONCLUSION

Une telle mémoire sera donc utilisable chaque fois que l'on veut classer chronologiquement un certain nombre d'impulsions se produisant sur n circuits différents dans un ordre aléatoire.

Ces impulsions pourront également commander par exemple des manoeuvres de machines ; on pourra même se servir d'une ligne pour commander la réinscription d'un programme en mémoire.

Signalons enfin qu'une réalisation en circuit imprimé semble possible. Elle nécessiterait cependant des plaquettes dites "doubles faces" par suite des croisements ligne - colonne.

CONCLUSION

En nous inspirant de nombreux travaux concernant les applications multiples des thyratrons à cathode froide, nous avons amélioré un montage classique à relaxation qui nous a permis de nombreuses mesures. Nous avons conçu et réalisé un générateur de tension en escalier de grande amplitude dont l'élégance réside dans sa simplicité.

Enfin, nous avons apporté une solution complète à un problème difficile d'automatisme à séquence mémorisé, en utilisant uniquement des thyratrons à cathode froide. Son emploi comme élément de mémoire matriciel, emploi original à notre connaissance, nous a permis une simplification extrême des circuits annexes de lecture d'écriture et de sortie.

Nous avons enfin observé des oscillations dont la naissance se situe au niveau du starter. L'étude systématique de leur production permettrait d'éclairer sans doute quelques aspects du phénomène de l'ionisation dans les tubes à gaz. Nous avons d'ailleurs pris soin de donner ici toutes les conditions dans lesquelles nous avons observé l'apparition de ces oscillations.

ANNEXE 1THYRATRONS A CATHODE FROIDE CHEZ DIFFERENTS CONSTRUCTEURS1 ELESTA

Cette maison Suisse fournit les tubes :

- ER 1, ER 2, ER 3 étudiés pour fonctionner en montage relais, en tensions continues. Les courants admissibles sont de l'ordre de 15 à 20 m A.
- ER 32, ER 33 sont des tubes subminiatures à double starters.
- ER 21 A, ER 22. Ces tubes sont construits pour fonctionner en alternatif avec des circuits de 20 m A.

2 RADIOTECHNIQUE

Ce constructeur fabrique les tubes :

- Z 70 U tube dont la gamme de courant est de 0,5 à 4 m A, 16 m A de pointe ; on en trouvera les caractéristiques complètes en annexe 2.
- Z 70 W identique au Z 70 U, mais c'est un tube à deux starters identiques placés symétriquement par rapport à la cathode permettant une double commande.
- Z 71 U tube de faible puissance spécialement prévu pour une utilisation dans les circuits téléphoniques.
- Z 803 U, Z 804 U, Z 805 U dont la gamme de courcircuit est comprise entre 5 et 25 m A.
Z 803 U a deux starters.
Z 804 U, Z 805 U, S' utilisent avec des tensions alternatives avec redressement par une structure géométrique appropriée.
Le Z 804 U est fabriqué pour fonctionner avec un déclenchement négatif du starter par rapport à la cathode (cf fonctionnement)

3 Chez CERBERUS

- GR 15, GR 16, GR 17 ont une gamme de courant compris entre 15 et 20 m A.
- GR 18, GR 19, GR 20, GR 21 ont une gamme de courant comprise entre 8 et 3 m A. Le GR 21 a une présentation analogue au Z 70 U et sensiblement les mêmes caractéristiques.

4 chez R C A

- OA 4 G, IC 21, S 823. Tubes dont le courant moyen est de l'ordre de 25 m A.

REMARQUES

Pour tous ces tubes, nous avons indiqué le courant moyen. Le cou circuit de pointe peut être quatre fois plus important parfois davantage.

ANNEXE 2THYRATRON A CATHODE FROIDE SUBMINIATUREDARIO Z 70 UCARACTERISTIQUES1 CONDITIONS NORMALES D'EMPLOI

| | | |
|---|---------|--------------|
| Tension de l'anode | Va | = 250 V |
| Tension de l'anode auxiliaire (valeur d'amorçage) | Vah ign | = 137-153 V |
| Variation individuelle maximum de la tension d'amorçage | Vah | = \pm 5V |
| Courant de l'anode auxiliaire (valeur à l'amorçage) | Iah | = 20 μ A |
| Tension d'arc (anode auxiliaire - cathode) | | = 105 V |
| Tension d'arc (anode - cathode) | | = 113-121 V |
| Tension d'arc (électrode de préionisation - anode) | | = 175 V |
| Tension d'amorçage (électrode de préionisation - anode) | Vapr | = 210 V min |

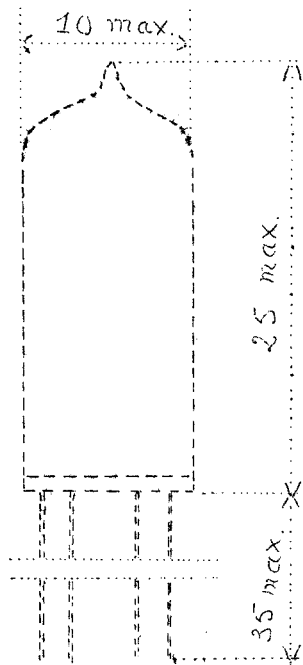
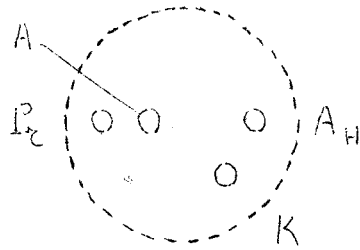
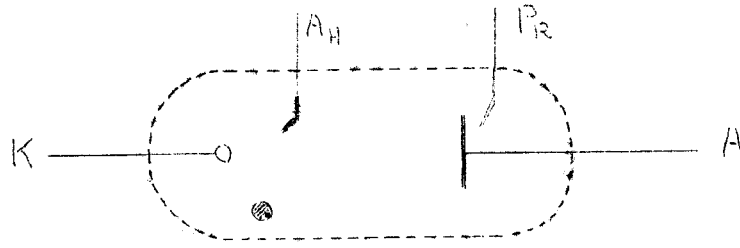
2 VALEURS A NE PAS DEPASSER

| | | |
|---|-----|------------------|
| Tension de l'anode | Va | max = 310 V |
| Courant anodique moyen | Ia | max = 3 m A |
| Courant anodique (valeur de crête) ... | Iap | max = 12 m A |
| Temps d'intégration | Ti | = 1 s |
| Courant de préionisation (Ipr usuel = 3 μ .A) | Ipr | max = 5 μ .A |

3 REMARQUES

- En fonctionnement, le tube peut servir de voyant indicateur. Il produit une luminescence rouge très brillante.
- Le fonctionnement du tube ne dépend pas de la lumière ambiante.
- L'électrode Pr de préionisation reçoit une tension positive et maintient l'ionisation préalable.
- Le tube peut être fixé au châssis à l'aide d'une patte métallique arrondie.

4 DISPOSITION DES ELECTRODES ET ENCOMBREMENT



BIBLIOGRAPHIE

- Les tubes à cathodes froides - Utilisations
HUBNER - Microtecnic 14 (1960)
15 (1961)
- The theory of the grid glow tubes D.D. KNOWLES
Electric - Journal V. 27 p.116
- New Trigger circuits for use with cold cathode counting tube
Journal of the British Institute of Radio Engineers
September 1952, Volume 12 n°9 page 497
- Ferroelectric storage devices
Electronic Engineering - December 1958
- Design factors for Industrial Cold-cathode timers
J.F. Young
Electronic Engineering - July 1959, pages 422-425
- A static switching system using cold-cathode tubes
R.W. Brierley
Electronic Engineering - November 1959
- Automatisation Electronique des ascenseurs
J.P. M. Seurot
Electronique et automatisme n°21 Juin 1962
- Téléphonie et Electronique
Electronique industrielle n°41 Février 1961
- Tubes à cathode - froide
Electronique industrielle n°42 Mars-Avril 1961
- Applications Industrielles des tubes relais
L. Vareille
Electronique et automatisme n°10 Mai 1961
- Commande électronique à tubes à cathode froide pour machines à souder
Cerberus Elektronik - Décembre 1960 n°14 F
- "Informations techniques" Edité par la Radiotechnique
Octobre 1959 IND 7
Janvier 1960 IND 8
Avril 1962 IND 11
Mai 1962 IND 12
- Tubes redresseurs à gaz et à vapeur métallique
Technique de l'ingénieur - Electronique E 880
- Décharge électrique dans les gaz M.LAPORTE
- Circuits à relais et automatismes à séquence. P.NASLIN
- Fundamentals of vacuum tubes EASTMAN

- Radio Engineers' handboob F.E. TERMAS
 - Radio Engineering F.E. TERMAN
 - Basic Electron tubes p.231-246 D.V. GEPPERT
 - Etude logique des circuits électri- et H.I. GONNET
ques. R. GREA
-

