

50376

1960

54

50376  
1960  
54



CARPENTIER Hubert

SCD LILLE 1



D 030 256648 1





50376  
1960

54 UNIVERSITE DE LILLE

FACULTE DES SCIENCES

---

50376  
1960  
54

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES  
DE SCIENCES PHYSIQUES

---

CONSTRUCTION D'UNE SOURCE  
DE HAUTE TENSION STABILISEE

Sous la direction de Monsieur le Professeur ARNAL

---

Membres du Jury : Monsieur ROIG, Président  
Monsieur BROCHARD  
Monsieur ARNAL

SOUTENU à LILLE, LE 22 FEVRIER 1960

par Hubert CARPENTIER

Ce travail a été effectué dans les Laboratoires de l'Institut de Physique de Lille, sous la direction de Monsieur le Professeur ARNAL à qui nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance pour les conseils et les suggestions qu'il nous a prodigués.

Que soit aussi remercié le personnel de l'Atelier de l'Institut de Physique, pour l'aide technique qu'il a bien voulu nous apporter pendant la construction de l'appareil.

SOURCE MODERNE DE HAUTE TENSION NEGATIVE

---

Dans les pages qui vont suivre, nous allons donner un aperçu du travail réalisé et nous essaierons d'expliquer les difficultés auxquelles nous nous sommes heurtés.

L'exposé a été scindé en plusieurs chapitres :

A - Principe de l'appareil

B - Schéma - Valeurs utilisées

C - Montage - Considérations techniques

D - Principaux problèmes posés lors de la réalisation

a) Multiplicateur redresseur

b) secondaire haute tension

c) couplage circuit primaire

d) chauffage des valves

e) stabilisation

f) amplificateur de puissance

E - Caractéristiques de l'appareil

## A - L E P R I N C I P E (Cf. Fig. 1)

---

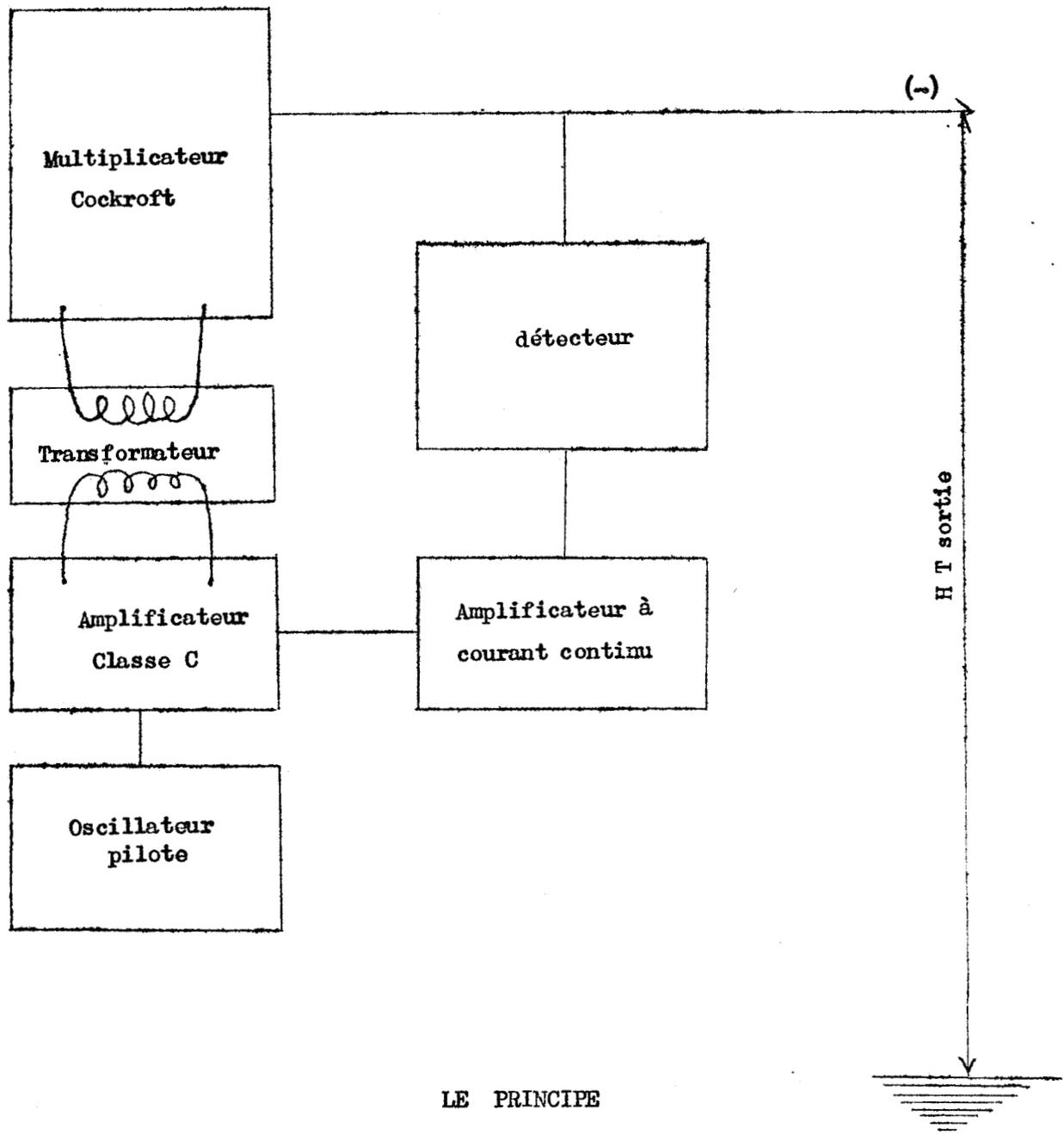
La source de tension sous faible débit est destinée à l'alimentation du filament du canon à électrons d'un diffractographe, microscope électronique que Mademoiselle KEDZIORA est chargée de réaliser et mettre au point.

La tension de sortie devra d'une part pouvoir varier de 20 à 30 KV continu et d'autre part être négative et stabilisée.

Cette alimentation comprend un étage de puissance comportant un oscillateur pilote, suivi d'un amplificateur Classe C, débitant au primaire d'un transformateur éleveur accordé. La tension obtenue au secondaire est redressée et multipliée à l'aide d'un montage de Cockroft.

La stabilisation de la tension de sortie est obtenue à l'aide d'une chaîne de contre-réaction, commandant les écrans des lampes de puissance de l'étage de sortie.

En plus du montage électronique Haute Tension, nous avons joint un oscillateur isolé pour alimenter les valves Haute Tension.



LE PRINCIPE

FIG. 1

B - SCHEMA - VALEURS UTILISEES

---

TRANSFORMATEUR : CHOIX DES LAMPES

Des problèmes de puissance et d'isolement se sont posés et ont guidé notre choix.

Nous devons disposer d'une tension de 500 V continu. Pour diminuer l'encombrement du transformateur éleveur, l'appareil est utilisé en 220 volts alternatifs.

Les valves de redressement sont des 5 Z 3 biplaques, montées en parallèle.

L'étage de puissance (oscillateur pilote + deux amplificateurs) est équipé de 6 DR 6 avec sortie d'anode reportée à la partie supérieure du tube (une anode incorporée au culot de la lampe comportait des risques de claquage). L'oscillatrice de chauffage des valves est aussi une 6 DR 6.

Les valves haute tension sont des EY 51, à la fréquence d'utilisation 50 k H Z ; elles supportent une tension inverse maximum de 17 kV, ce qui est amplement suffisant dans ce cas.

La contre-réaction comporte deux doubles triodes E C C 83 à fort coefficient d'amplification et une E L 41, tube de régulation final qui commande l'écran des amplificatrices de puissance 6 D R 6.

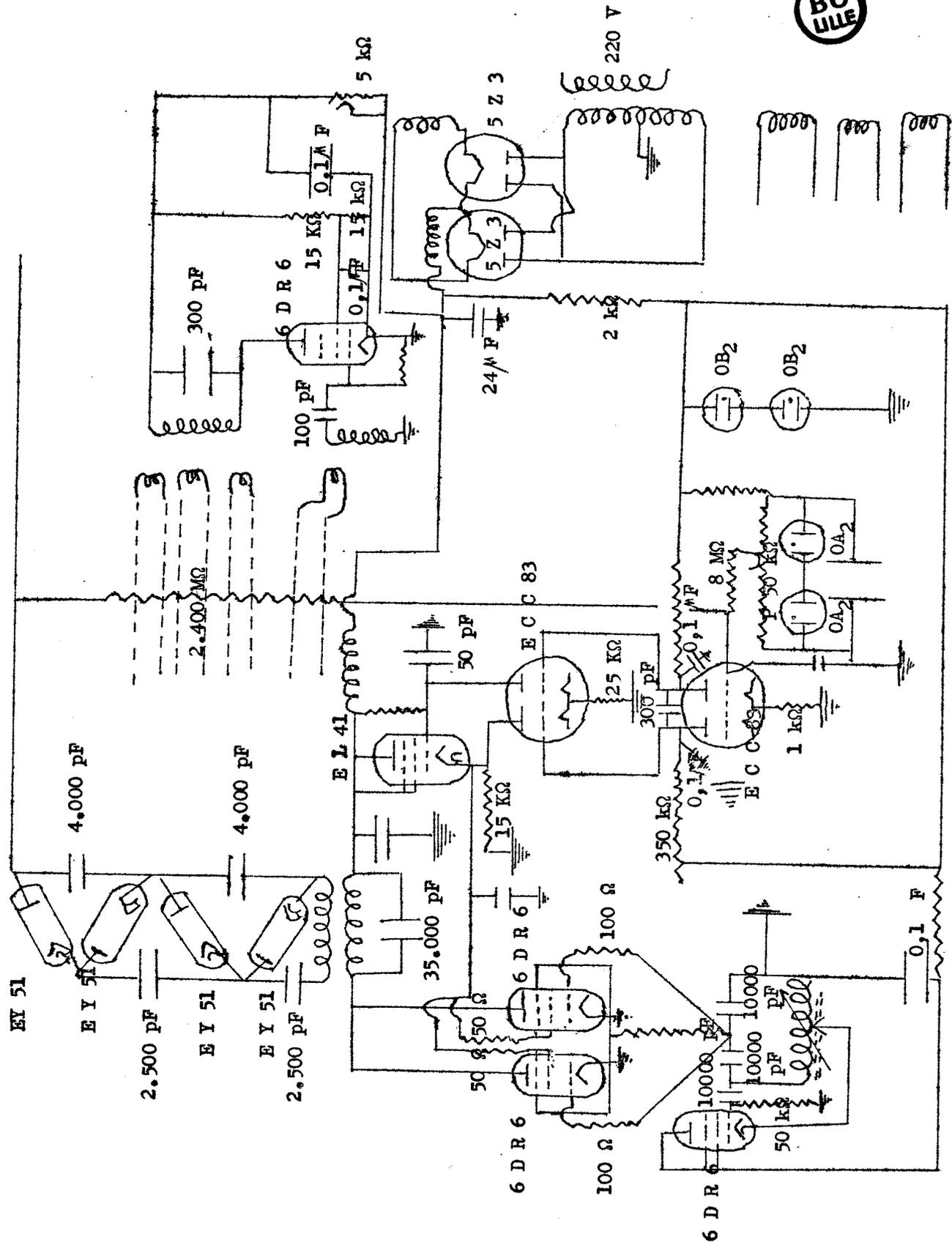
Enfin, les tensions de référence nous sont données par des tubes au néon O A 2 et O B 2.

Compte-tenu des tubes et valves et de leur comportement pour l'utilisation demandée, le transformateur devra être assez puissant : nous lui demanderons de fournir une tension redressée de 500 volts et de supporter un débit maximum de 500 mA ; il comportera, en outre, les bornes d'alimentation des lampes et valves 5 Z 3, ainsi qu'une sortie de 6 V 3 isolée à 250 volts pour E L 41.

Nous verrons ultérieurement quel moyen sera utilisé pour les alimentations des E Y 51 qui doivent être isolées respectivement à 0 V, 7.000 V, 14.000 V et 21.000 volts.

Pour les autres valeurs, se reporter au plan de câblage (Fig. 2).

SOURCE DE HAUTE TENSION SOUS FAIBLE DEBIT - FIG. 2



### C - MONTAGE - CONSIDERATIONS TECHNIQUES

---

La principale difficulté que nous avons rencontrée réside dans l'isolement.

Nous développerons ultérieurement le montage du doubleur de tension. Signalons simplement, ici, qu'il est fixé au châssis et que nous avons fait un montage vertical dans l'air.

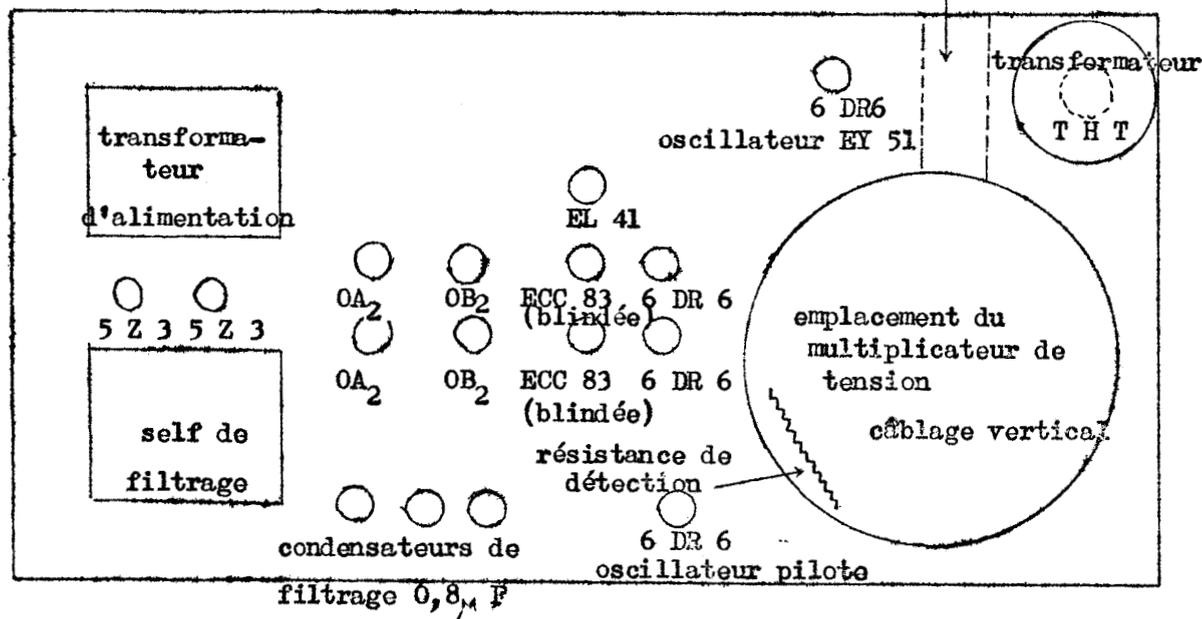
Le détecteur de la chaîne de régulation n'est autre qu'un diviseur de tension constitué par 2 résistances, l'une de 2.400 M $\Omega$ , et l'autre de 8 M $\Omega$ .

La résistance de 2400 M $\Omega$  est constituée d'unités de 22 M $\Omega$  câblées dans un plan vertical. Les soudures ont été soignées pour éviter les effluves.

Nous donnons, à titre indicatif, le plan du châssis (Fig. 3).



sous le châssis  
enroulements oscillateur EY 51



PLAN DU CHASSIS - Echelle 1/4  
Châssis laiton e = 2 mm 600 x 300

FIG. 3

## D - PRINCIPAUX PROBLEMES POSES PENDANT LA CONSTRUCTION

---

### I - LE MULTIPLICATEUR REDRESSEUR

Il est constitué par un montage de Cockroft (Fig. 1).

Afin de disposer d'une tension suffisante, on a associé deux doubleurs de tension en cascade. La principale difficulté technique a été la réalisation d'un bon isolement, la tension de sortie de l'ensemble étant de 25.000 volts.

Nous rappelons brièvement le matériel utilisé :

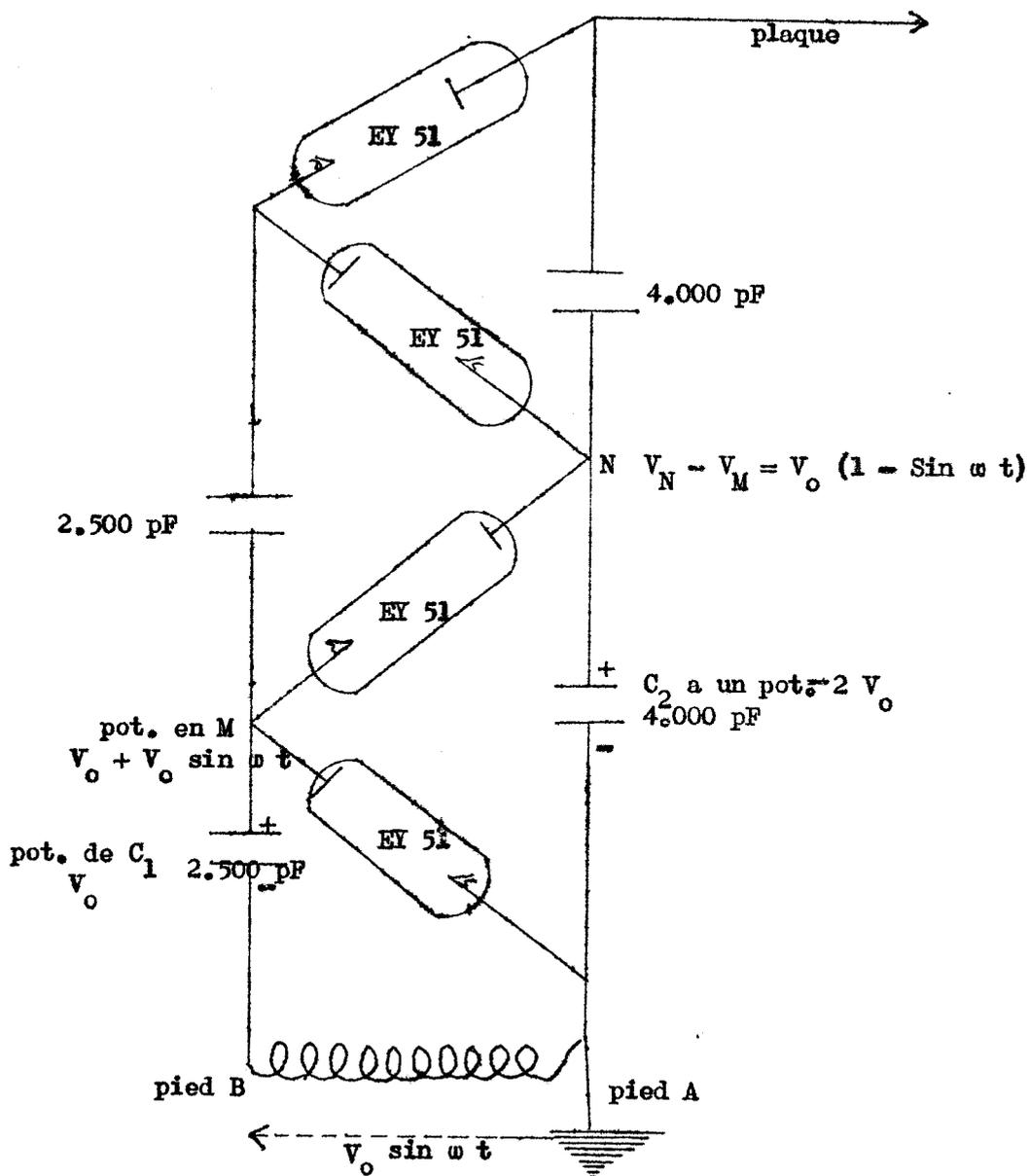
Les valves E Y 51

des condensateurs T H T L C C Tension essai 20 KV à 50 HZ

$\text{tg } \delta = 50 \cdot 10^{-4}$  ; capacité 1000 pF et 500 pF

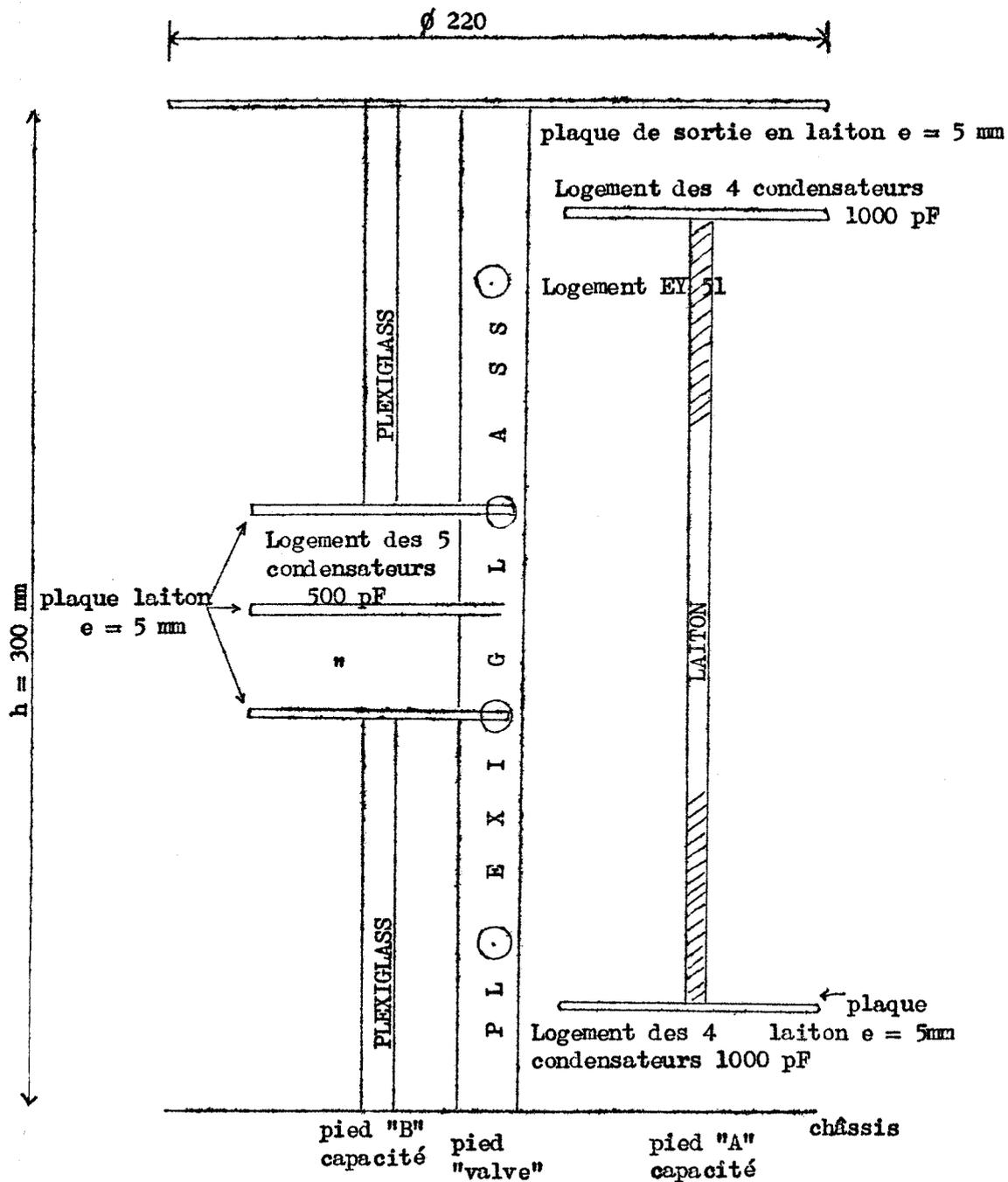
La masse de l'ensemble est celle du châssis reliée à une borne terre.

La tension de sortie est recueillie sur une plaque  $\phi$  200, dont les bords ont été arrondis pour éviter les effluves.



SCHEMA THEORIQUE DU MULTIPLICATEUR REDRESSEUR

FIG. 1



échelle 1/2

LE MULTIPLICATEUR DE TENSION  
REPRODUCTION GRAPHIQUE DU MONTAGE REALISE

FIG. 2

Cette plaque est soutenue par trois pieds (Fig. 2)

2 pieds "Capacité" A et B

1 pied "valve."

Le pied "A" est constitué par deux groupements de 4 condensateurs de 1.000 pF en parallèle, reliés par une tige de laiton  $\varnothing$  6. Le premier groupement a une de ses bornes à la H T, le deuxième groupement a, au contraire, une borne à la masse. Le pied "B" est constitué par deux groupements en série de 5 condensateurs de 500 pF en parallèle, isolés de la H T et de la masse par des pieds en plexiglass.

Le pied "valve" est en plexiglass  $\varnothing$  20, dans lequel on a percé 4 trous équidistants pour y loger les E Y 51 horizontalement.

Ce dispositif a l'avantage de placer les valves dans des zones à potentiel à peu près constant, ce qui évite les effluves, condition indispensable pour une H T stabilisée (on peut assimiler l'espace compris entre les plaques H T et la masse à un énorme condensateur dont les équipotentielles seraient à peu près horizontales).

## II - LE SECONDAIRE HAUTE TENSION

Pour réaliser un tel secondaire, il faut tenir compte des conditions particulières qui nous sont imposées. En résumé, il s'agit d'obtenir une tension aussi élevée que possible, avec une puissance suffisante, mais de se limiter quant à l'encombrement.

Pour réduire les pertes, il faut que l'impédance shunt au circuit accordé soit maximum.

Cette impédance  $Z = Q L \omega$  ; on voit donc que  $Q$  doit être le plus grand possible. Remarquons, pour être plus complet, qu'il faut tenir compte de la résistance  $r$  de la bobine et de sa capacité parasite  $C$  (Fig. 1):

$$Z = Q L \omega = \frac{L_2 \omega_2}{r^2}$$

varie peu avec la fréquence ;  $Z$  sera d'autant plus grand que  $\omega$  le sera ; mais  $L C \omega^2 = 1$  (en appelant  $C$  capacité répartie), il faut donc avoir  $C$  (répartie) très petite. On résoud le problème en construisant un secondaire dont le bobinage est en nid d'abeilles et comporte plusieurs galettes en série.

La multiplication des galettes nous permet de diminuer assez fortement la capacité répartie et nous assure d'un bon isolement du secondaire.

Le secondaire construit comprend 8 galettes.

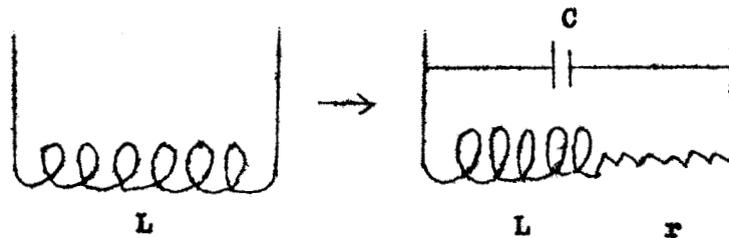
Chaque galette comporte 250 spires exécutées en fil divisé 20 brins de 5/100.

La largeur d'une galette est de 7 mm, son épaisseur est de 5 mm environ. L'espace inter-galette mesure 7 à 8 mm et permet ainsi l'établissement d'un champ moyen d'environ 3 KV entre deux galettes consécutives (Fig. 2).

Le support n'est autre qu'un tube en papier bakérisé de  $\phi$  50 ; bien qu'il présente des pertes diélectriques importantes, le papier baké-

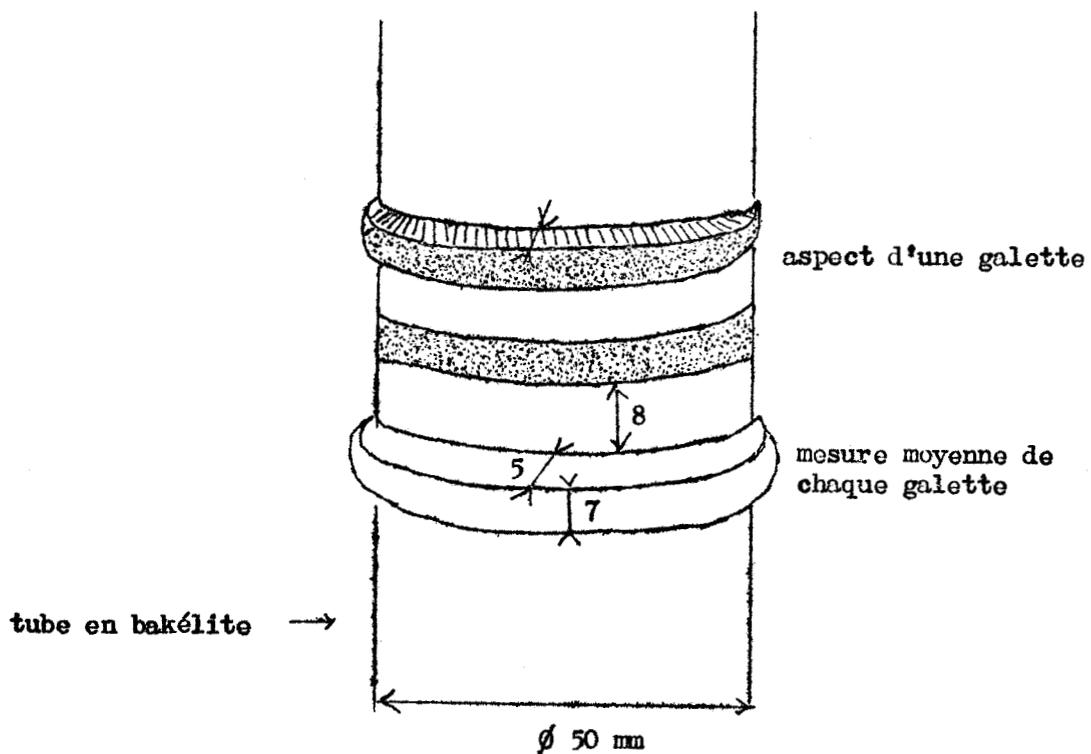
ETUDE DU SECONDAIRE

Capacité répartie



$$Z = Q L \omega = \frac{L_2 \omega_2}{r}$$

FIG. 1



ASPECT DU SECONDAIRE -- MONTAGE

FIG. 2

lisé a l'avantage d'avoir des propriétés mécaniques intéressantes : rigidité et bonne résistance à la chaleur.

Le secondaire HT dissipe, en effet, dans le milieu ambiant une quantité de chaleur non négligeable.

Caractéristiques de la bobine "secondaire" :

$$Q > 100 \text{ pour } 50 \text{ k H Z } < F < 100 \text{ k H Z}$$

Q a été mesuré au Qmètre

$$R = 80 \Omega$$

### III - COUPLAGE DU CIRCUIT PRIMAIRE

Contrairement à l'usage, le circuit secondaire a été construit avant le circuit primaire. En voici la raison : mécaniquement, il était impossible d'ajuster le secondaire décrit précédemment. Il était plus intéressant de se l'imposer et de lui adapter un primaire convenable.

Notre primaire comporte une bobine de 35 tours en gros fil enroulé sur un tube  $\varnothing$  100 mm en papier bakéliné. L'accord primaire secondaire est obtenu par une capacité qui shunte la bobine primaire. L'accord est difficile à réaliser parce qu'il nous faut trouver le couplage entre primaire et secondaire capable de transmettre une puissance suffisante.

Notre circuit est relié directement, d'une part aux anodes des tubes de puissance, et d'autre part à la masse (Fig. 1).

COUPLAGE CIRCUIT PRIMAIRE

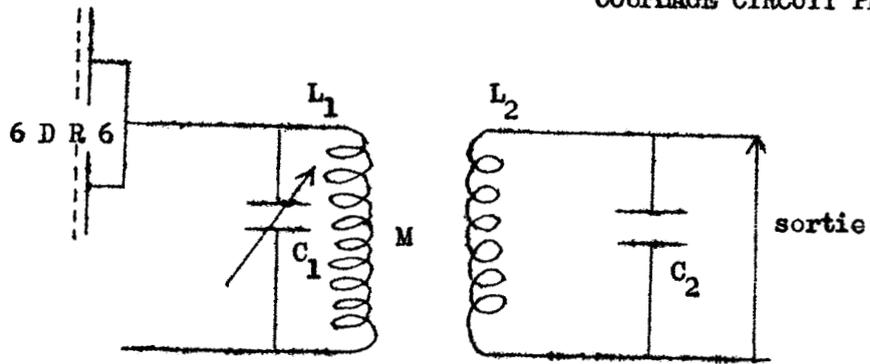


FIG. 1

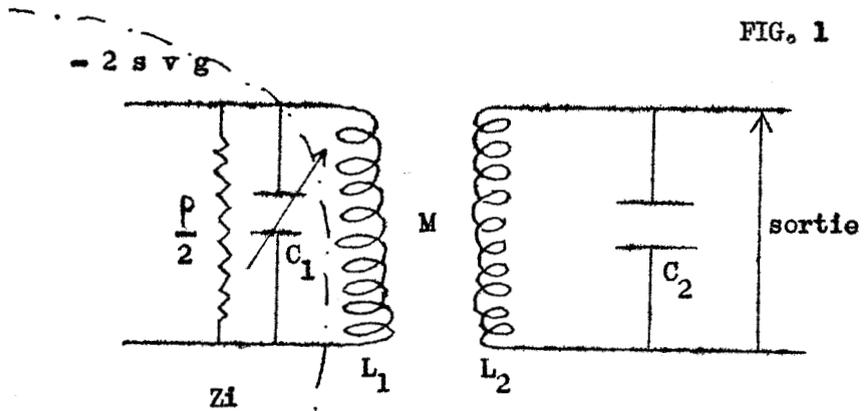


FIG. 2

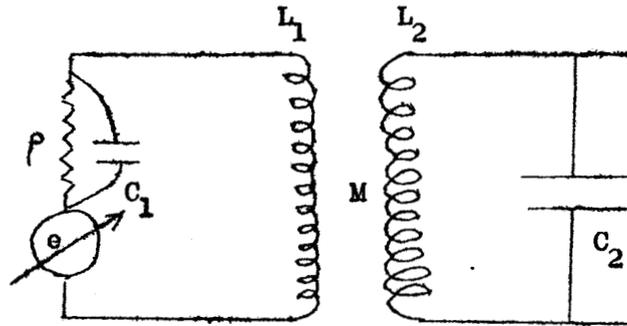


FIG. 3

Notons que  $C_2$  est la capacité équivalente au multiplicateur de tension.



Remplaçons les deux tubes par leur schéma équivalent (Fig. 2).  
Nous pouvons remplacer le générateur de courant constitué par un générateur de tension (Fig. 3).

$$\text{Il vient alors } e = z_1 J = \frac{1}{g + j \omega C_1} (-s v g)$$

$$\text{mais } g \ll j \omega C_1 \quad \text{d'où} \quad e = \frac{-s v g}{j \omega C_1}$$

On voit de suite que l'on a avantage à prendre  $C_1$  le plus petit possible pour que  $e$  ait une valeur convenable.

Simplifions encore le schéma pour montrer de quelle manière les recherches de bon couplage ont été effectuées (Fig. 4).

L'étude des circuits couplés nous conduit à la relation :

$$\frac{e}{i_2} = \frac{\sqrt{R_1 R_2}}{p} \left[ -D_1 + D_2 + j (1 + p^2 - D_1 D_2) \right]$$

$$\begin{aligned} \text{en posant } Z_1 &= R_1 + j X_1 & \frac{X_1}{R_1} &= D_1 & \frac{X_2}{R_2} &= D_2 & \text{et } p &= \frac{\omega M}{\sqrt{R_1 R_2}} \\ Z_2 &= R_2 + j X_2 \end{aligned}$$

Si primaire et secondaire sont accordés sur la même fréquence, l'équation précédente montre que la courbe représentative de  $i_2$  en fonction de la fréquence présente 2 pics symétriques de la fréquence de résonance  $F_0$  des circuits séparés (Fig. 5).

Si nous adoptons pour fréquence celle qui correspond à l'un ou l'autre des pics, on peut concevoir que nous transmettrons le maximum de puissance. Mais n'existe-t-il pas d'autres fréquences qui nous permettraient de transmettre une puissance supérieure ?  $R_1$  et  $R_2$  sont ici nettement différents ;  $X_1$  et  $X_2$  de même. Par conséquent, si nous désaccordons

# COUPLAGE CIRCUIT PRIMAIRE

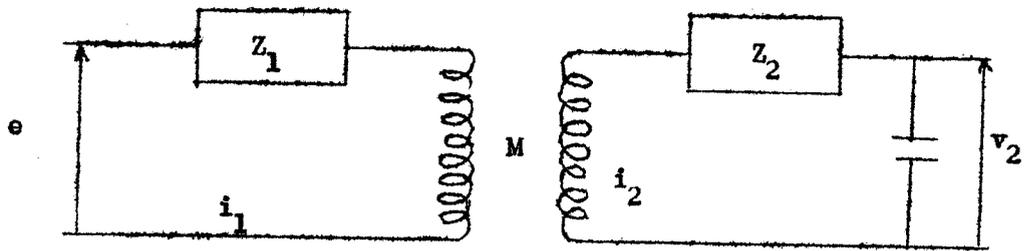


FIG. 4

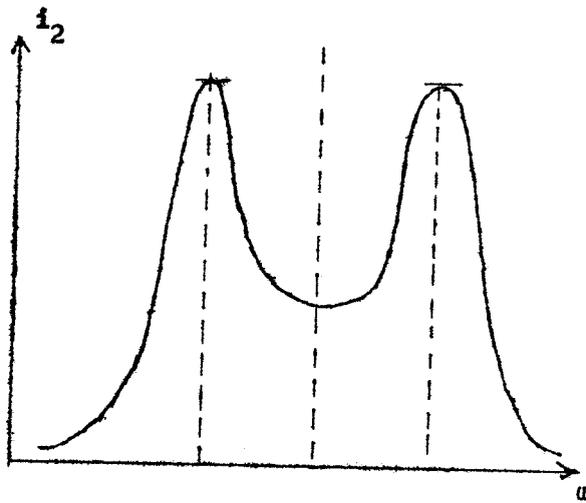


FIG. 5

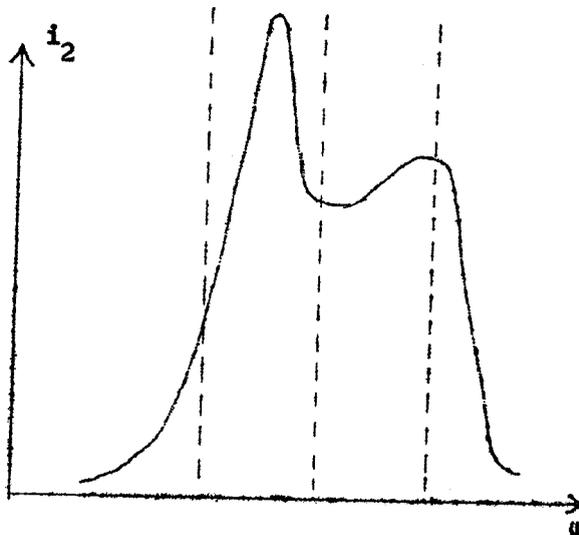


FIG. 6

légèrement le primaire, les 2 pics cités précédemment se traduisent parallèlement à eux-mêmes et, de plus, nous constatons que l'un des pics voit son amplitude croître et l'autre voit la sienne diminuer (Fig. 6).

Le pic maximum est le plus rapproché de  $F_0$ , si nous désaccordons en faisant  $F = F_0 - \Delta F$ , et il correspond à la fréquence la plus basse (Courbe I, Fig. 7). Si nous faisons  $F = F_0 - F$ ,  $i_2 = f(\omega)$  qui est représentée par la courbe II, Fig. 7.

Nous avons vu que la capacité  $C_1$  doit être la plus basse possible. En effet, plus elle sera faible :

- plus  $e$  sera grand,
- plus le courant primaire sera faible.

La seconde conclusion a son importance car, plus l'intensité du courant sera petite, moins il y aura de pertes et, par conséquent, moins d'échauffement du transformateur.

### La Réalisation

Nous avons pris  $C_1$  variable et nous avons fait croître progressivement sa capacité ; pour chaque valeur de  $C_1$ , nous avons ajusté la fréquence de l'oscillateur pilote jusqu'à ce que la tension de sortie soit maximum.

Nota - La tension de sortie est très élevée, plusieurs KV ; les voltmètres usuels ne peuvent donc être utilisés. Nous avons mesuré la tension de sortie avec un microampèremètre étalonné : 1 division = 3 KV (nous avons fermé le circuit de sortie sur la résistance de 2.400 M $\Omega$  de contre-réaction à laquelle a été incorporé le microampèremètre (Fig. 8).

COUPLAGE CIRCUIT PRIMAIRE

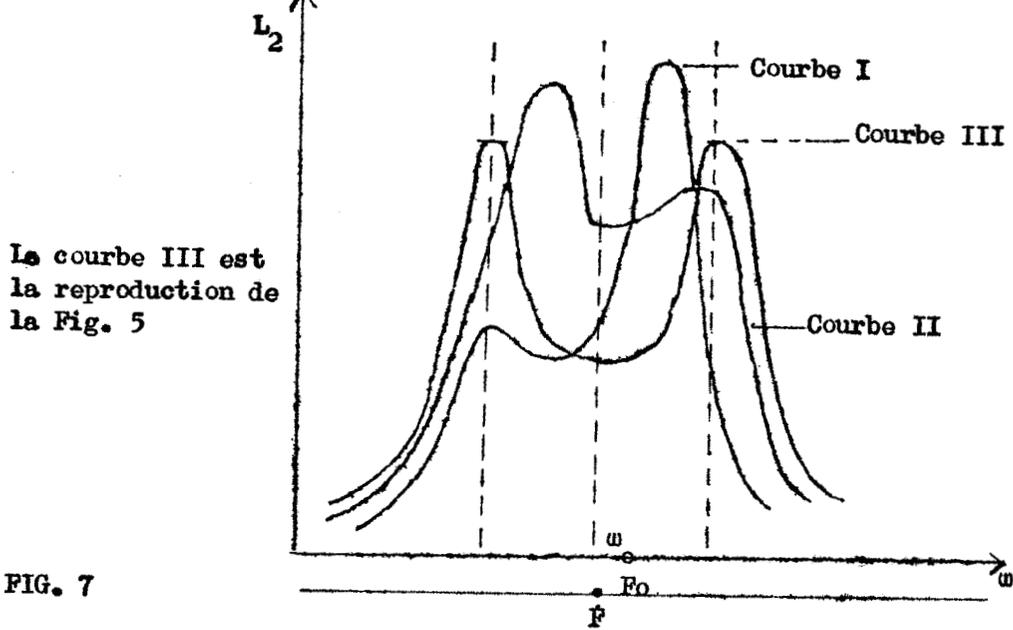


FIG. 8

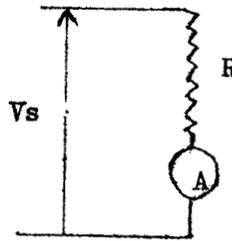
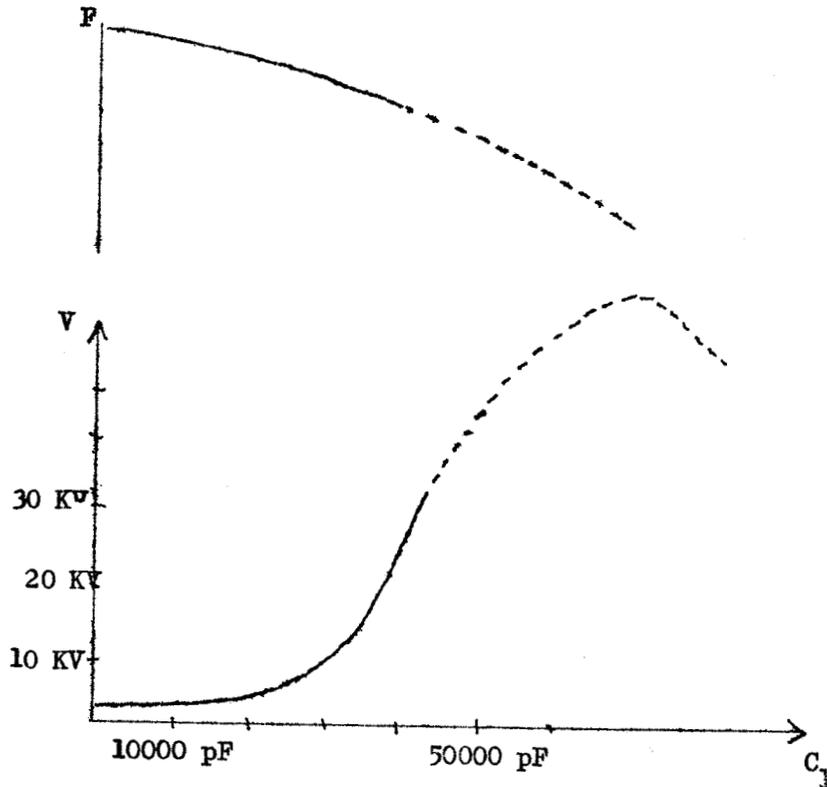


FIG. 9



Nous avons relevé graphiquement les variations de la fréquence de sortie en fonction de  $C_1$  (Fig. 9).

S'il nous avait été possible d'élever la tension, nous aurions pu décrire les courbes complètement et vérifier que  $V = f(C)$  passait par un maximum (pointillé).

Il faut noter que le couplage varie rapidement avec la distance des enroulements primaires et secondaires. Le primaire est mobile provisoirement ; il convient donc de le fixer solidement dès qu'un couplage satisfaisant est obtenu.

Le transformateur HT ayant été étudié complètement, voici les résultats obtenus :

Tension de sortie  $v_2 = 24.000$  volts (2 divisions)

Bornes du primaire  $v_1 \simeq 240$  volts

$$\text{Rapport de transformation réel} \quad \frac{\frac{24.000}{4}}{240} = 25$$

$$\text{Rapport théorique} \quad \frac{2.000}{35} = 57$$

On voit qu'il y a beaucoup de pertes.

Elles sont dues :

- au support de bobines (mauvais diélectrique),
- au primaire qui aurait dû être en gros fil multibrin et non monobrin.

#### IV -- LE CHAUFFAGE DES VALVES E Y 51

La tension du générateur HF de sortie est susceptible de variations ; de plus, on doit tenir compte de la régulation et aussi de l'isolement. Il est donc impossible de prélever l'énergie nécessaire au chauffage des valves E Y 51 sur l'étage de puissance.

Nous avons donc construit une alimentation autonome pour ces valves. On est amené à utiliser un oscillateur séparé, entièrement indépendant du montage électronique "Haute Tension". La fréquence de l'oscillateur a peu d'importance. Toutefois, il est préférable qu'elle soit supérieure à 500 K H Z.

L'oscillateur utilisé est un oscillateur à couplage inductif. La pulsation des oscillations est  $\omega = \frac{1}{\sqrt{L C}}$  et celles-ci seront entretenues si  $M \ll - \left( \frac{C r P + I_1}{k} \right)$  (Fig.1).

Les selfs  $L_1$  et  $L_2$  en fil de cuivre émaillé sont bobinées sur un tube en papier bakélinisé  $\phi$  50 mm.

L'alimentation de chaque E Y 51 se fait au moyen d'un circuit couplé à  $L_1$  et  $L_2$  ; chaque circuit couplé doit être parfaitement isolé (l'isolement devant tenir 10.000 volts, afin d'éviter tout claquage destructif, nous avons utilisé des câbles supportant 50 KV).

La puissance de chauffage de chaque E Y 51 est de  $P = 6,3 \times 0,09$ , soit 0,57 watt environ.



Il est inutile de stabiliser la tension d'alimentation de l'oscillateur, bien que les cathodes des valves pour haute tension supportent mal les variations de la puissance de chauffage. On évite l'instabilité en n'accordant pas le secondaire alimentant les cathodes.

Nota - Il existe peu de moyens pour contrôler les puissances des alimentations des E Y 51. La méthode la plus sûre consiste à réaliser l'éclairage normal d'une lampe de puissance identique et de comparer.

#### V - STABILISATION

La chaîne de stabilisation comporte 3 tubes :

2 : E C C 83

et 1 : E L 41.

La régulation est quasi instantanée ; elle compense les variations de courant ou de tension qui donneraient naissance à des variations  $\Delta V_s$  de la tension de sortie. Par conséquent, elle se fait automatiquement ; elle est conçue de telle sorte que la tension de sortie  $V_s$  reste constante dans le temps. Il est à noter que de petites variations de la tension aux bornes du primaire ( $V_p$ ) de notre transformateur élèveur perturberaient fortement la tension de sortie  $V_s$ .

Si  $\Delta V_p = 1$  volt       $\Delta V_s = 100$  volts

soit une variation relative de  $\frac{\Delta V_s}{V_s} = \frac{100}{25.000} = 0,4 \text{ ‰}$ .

Le détecteur de la chaîne de régulation est constitué par deux très grosses résistances, l'une de 2.400 M $\Omega$  et l'autre de 8 M $\Omega$  ; elles forment entre elles un diviseur de tension qui commande l'une des grilles d'un tube E C C 83 monté en amplificateur symétrique, la grille opposée étant à la masse. (La tension divisée étant naturellement la tension Vs).

Avant d'étudier en détail les principaux éléments de la chaîne de régulation, nous allons de suite en indiquer le fonctionnement et le principe.

La différence entre la tension prélevée sur le potentiomètre P et la chute de tension dans la résistance de 8 M $\Omega$  est amplifiée par un tube E C C 83 monté en amplificateur symétrique. La différence des tensions "plaque" est directement transmise aux grilles d'un tube identique E C C 83 monté comme le précédent. La nouvelle tension plaque est appliquée sans intermédiaire à l'espace cathode-grille du tube E L 41 monté en triode ; ce tube commande les écrans des lampes E L 81 de l'amplificateur de puissance.

Les deux premiers tubes de la chaîne de régulation sont montés en amplificateurs de tension continue. Les difficultés de conception des amplificateurs de ce type proviennent du couplage inter étages des tubes (ampli élémentaire) et du fait que l'on dispose souvent d'une source unique d'alimentation. La sortie d'un étage est donc sous tension par rapport à la masse et le couplage entre la sortie et l'entrée de deux étages consécutifs implique l'annulation relative de la tension la plus élevée. Ces amplificateurs souffrent énormément des variations des tensions d'alimen-

tation, qui peuvent modifier fortement le courant grille des tubes et son impédance d'entrée  $z_e$ . Il est donc recommandé d'avoir  $I_g$  faible et  $z_e$  constant.

Le premier amplificateur est câblé, comme l'indique la Fig. 1. Les deux cathodes subissent le même traitement "électrique" ; la tension de sortie est prise différentiellement entre les plaques. Il est évident que  $V_p - V_p'$  sera égal à 0 pour toutes variations  $\Delta E$ ,  $\Delta E'$  des tensions grille dues au chauffage égal des tubes. La résistance  $R_K$  commune introduira une contre-réaction stabilisant les autres causes de variations ; de plus, en rendant  $R_K$  variable, on a la possibilité d'obtenir un gain plus ou moins important pour l'amplificateur et de régler, dans une certaine mesure, la chaîne de régulation sur la sensibilité désirée.

#### Calcul du gain de l'amplificateur

Tube 1 : équation caractéristique du tube :

$$i_1 = g_1 v_1 + s_1 u_1$$

$$\text{avec } v_1 = v_{p_1} - v_k \quad g_1 : \text{conductance du tube}$$

$$u_1 = v_{e_1} - v_k \quad s_1 : \text{pente du tube}$$

$$i_1 = g_1 (v_{p_1} - v_k) + s_1 (v_{e_1} - v_k)$$

Tube 2 : il est identique en remplaçant l'indice 1 par 2. On a :

$$i_2 = g_2 (v_{p_2} - v_k) + s_2 (v_{e_2} - v_k)$$

$$\text{mais } i_1 = -\frac{v_{p_1}}{R_{p_1}} \quad i_2 = -\frac{v_{p_2}}{R_{p_2}}$$

d'où

$$\text{Tube 1} \quad -v_{p_1} \left( g_1 + \frac{1}{R_{p_1}} \right) = s_1 v_{e_1} - v_k (g_1 + s_1)$$

$$\text{Tube 2} \quad -v_{P_2} \left( g_2 + \frac{1}{R_{P_2}} \right) = s_2 v_{e_2} - v_k (g_2 + s_2)$$

E C C 83 est une double triode  $g_1 = g_2 = g$  ;  $s_1 = s_2 = s$

On a choisi  $R_{P_1} = R_{P_2} = 500.000 \Omega = R_a$   $\frac{1}{R_a} = G_a$

$$(v_{P_2} - v_{P_1}) (G_a + g) = (v_{e_1} - v_{e_2}) s$$

$$\frac{v_{P_2} - v_{P_1}}{v_{e_1} - v_{e_2}} = \frac{s}{g + \frac{1}{R_a}} \quad v_{e_2} = 0$$

$$k = \frac{v_{P_2} - v_{P_1}}{v_{e_1}} = \frac{s}{g + \frac{1}{R_a}} \quad s = 1,5 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{1}{g} = \rho = 60.000 \Omega$$

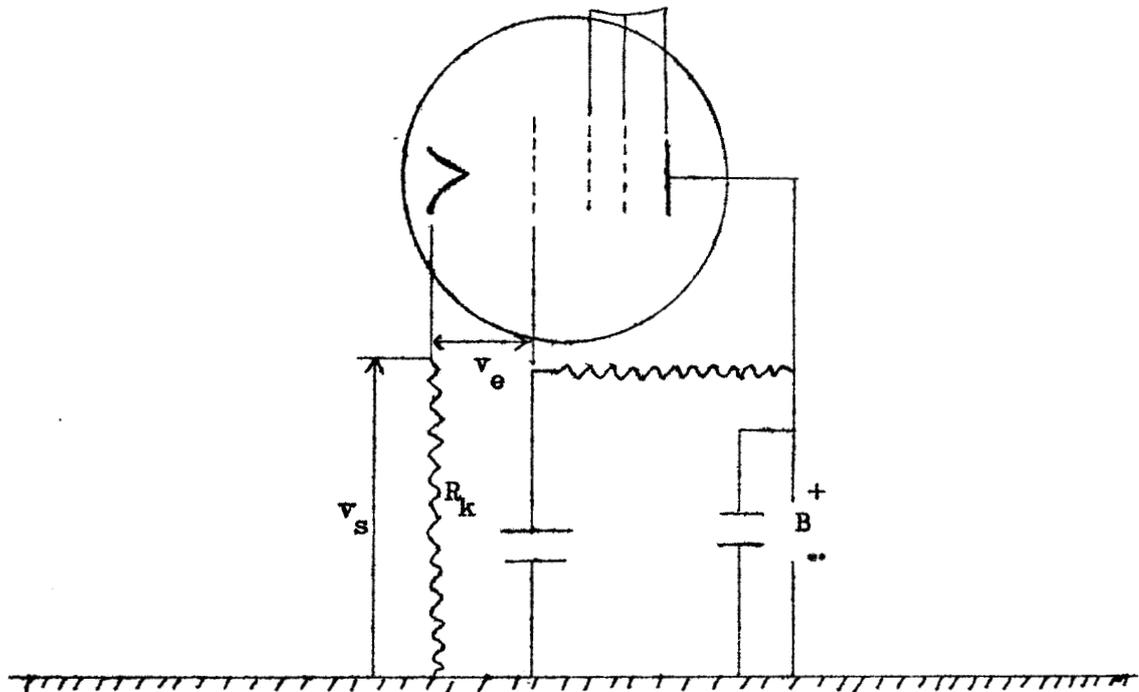
$$k = \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{\frac{1}{60.000} + \frac{1}{500.000}} \approx 85 \quad \text{dans les conditions les plus favorables.}$$

Les conditions d'emploi étant, somme toute, ici, assez exceptionnelles, le gain du premier tube n'est que de 30 ; le deuxième a un gain de 50 environ.

Le montage du tube suivant est identique au précédent ; toutefois, il est bon de signaler comment nous avons réalisé l'alimentation de ce tube. La cathode K est portée à une tension d'environ 50 V par l'intermédiaire de  $R_k$  (résistance reliant la cathode à la masse). L'espace entre la cathode et les filaments est suffisant ; cette tension n'entraîne pas encore à l'intérieur une décharge destructive pour la lampe.

Quant aux plaques, elles sont reliées à la haute tension du transformateur d'alimentation générale par l'intermédiaire d'impédances équivalentes qui limitent leur tension. Le calcul du gain de cet ampli-

Pour la valeur des éléments,  
se reporter au plan de câblage



STABILISATION  
MONTAGE DU TUBE E L 41

FIG. 2

ateur est analogue au précédent.

Passons à l'étude du dernier tube, l'E L 41. Il est monté en triode. La tension d'entrée est appliquée entre la grille et la cathode ; cette tension est continue et croît instantanément.

(Se reporter au schéma pour avoir la signification des symboles)

Nous avons donc :  $\Delta v_g = \Delta v_e$  (Fig. 2)

$$\Delta v_p = - R_k \Delta I_p$$

La relation caractéristique du tube s'écrit :

$$\rho \Delta I_p = \mu \Delta v_g - R_k \Delta I_p$$

$\rho$  résistance int. du tube  
 $\mu$  coeff. d'amplification

$$\Delta I_p = \frac{\mu \Delta v_g}{\rho + R_k}$$

Donc  $\Delta V_k = R_k \Delta I_p$

Le gain est donc  $G = \frac{\Delta V_k}{\Delta v_e} = \frac{\mu \Delta v_e R_k}{\rho + R_k \Delta v_e} = \frac{\mu R_k}{\rho + R_k} = \frac{\mu}{1 + \frac{\rho}{R_k}}$

pour E L 41 utilisé dans les conditions normales.

$$\rho = 22 \quad \rho = 40.000 \Omega$$

Nous avons  $R_k = 15.000 \Omega$  donc  $G = \frac{22}{4} \approx 6$

Nous constatons que la tension  $V_k$  varie considérablement. Cette tension  $V_k$  commande les grilles  $G_2$  des lampes de l'amplificateur de puissance. Si la tension de sortie  $V_s$  varie de 1/10.000, c'est-à-dire  $v_{e1} = 0,008$  volt, le gain de l'ensemble de la chaîne de stabilisation est de 9000 soit une variation de  $v_k$  de 72 volts, d'où modification possible du gain de l'étage de sortie. Des précautions ont été prises dans le montage de toute la chaîne de régulation. Les deux E C C 83 fortement sensibles à toute variation ont été blindées. La tension d'alimentation a

été stabilisée par des  $OA_2$  et  $OB_2$  et découplée soigneusement. Il faut noter qu'une faible ondulation résiduelle sur la ligne de 500 V n'a que peu d'influence sur la régulation, la correction se faisant dans le premier tube E C C 83.

## VI - ETUDE DE L'ETAGE DE PUISSANCE

Cet étage de puissance comprend un amplificateur de puissance excité par un oscillateur pilote de Hartley.

L'oscillateur est construit de manière à fournir une fréquence stable, car la tension de sortie finale lui est intimement liée. Nous avons donc choisi :

- 1) d'alimenter la plaque de la 6 D R 6 par une tension stabilisée, obtenue grâce à des tubes néon  $OA_2$ ,  $OB_2$  ;
- 2) de faire fournir par l'oscillateur sa puissance sans modifier le courant dans l'inductance ; c'est pour cette raison qu'il excite directement les deux tubes amplificateurs de puissance 6 D R 6 ;
- 3) de limiter l'amplitude des oscillations. Nous avons polarisé le tube automatiquement ; on évite ainsi une distorsion qui nuirait à l'obtention d'une oscillation pure.

Pour réaliser cette nouvelle amélioration, nous avons intercalé entre la grille et le circuit oscillant, la capacité  $C_P$ , dite de fuite, et relié la grille à la masse à travers une résistance  $R_P$  assez élevée : 50 k $\Omega$ .

La tension de polarisation n'est autre que  $R_F \overline{I_G}$  moyen ( $I_G$  courant grille).  $I_g$  moyen est le courant redressé par la diode que constitue l'espace inter-électrodes cathode grille de la 6 D R 6. Il est évident que  $I_G$  moyen, nul d'abord, croît avec l'amplitude des oscillations.

La fréquence des oscillations du tube est approximativement la fréquence propre du circuit oscillant  $\frac{1}{2 M \sqrt{L C}}$  avec  $L = L_1 + L_2$  (voir figure 1).

La condition d'oscillation s'écrit :

$$s \frac{\mu r L C}{(L_2 + M) [(L_1 + M) - (L_2 + M)]}$$

s : pente du tube

$\mu$  : coefficient d'amplification

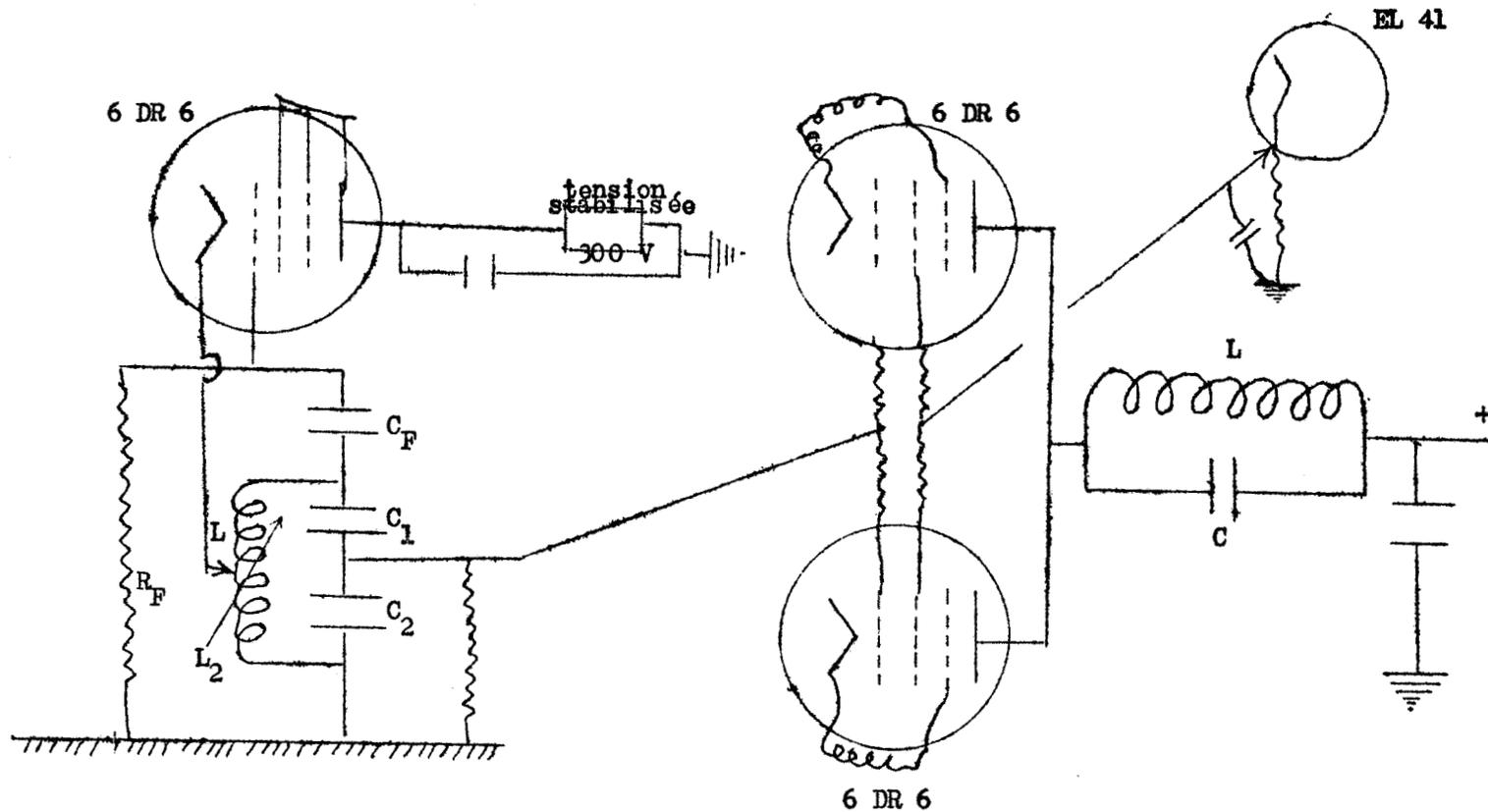
On remarque que l'oscillateur peut fonctionner avec M nul ; on se souciera donc fort peu du couplage. On obtient un bon rendement lorsque  $\frac{L_2}{L_1}$  est compris entre 0,6 et 1.

Le rapport adopté est  $\frac{120}{180} \simeq 0,7$ , si nous admettons que L est rigoureusement proportionnelle au nombre de spires.

#### L'amplificateur de puissance

Cet amplificateur fonctionne en classe C, afin d'augmenter le rendement. La fréquence de fonctionnement est de 50 k H z.

La charge des tubes placée entre anode et masse n'est autre qu'un circuit oscillant L C, accordé, dont on va utiliser certaines propriétés. Le circuit L C est accordé sur la fréquence F de l'oscillateur pilote. La polarisation grille est négative ; elle est obtenue automati-



Pour les valeurs,  
se reporter au plan  
de câblage.

ETAGE DE PUISSANCE

FIG. 1



quement par l'introduction dans la grille d'une résistance R shuntée par un condensateur C (10.000 pF).

La grille est assez fortement négative, de façon à ce que le courant anodique  $I_A$  passe par impulsions brèves de fréquence F dans le circuit L C.

Par conséquent, à chaque période de la tension alternative de grille (tension d'entrée), le circuit L C est excité pendant un temps très court par une impulsion de courant plaque. Le circuit L C étant peu amorti, ces impulsions sont suffisantes pour l'entretien des oscillations.

Il est bon de rappeler que le gain de l'amplificateur est variable. Nous avons la possibilité de faire varier de façon continue la tension écran des 6 D R 6 par action sur le potentiomètre P (voir Chapitre Stabilisation).

**F -- CARACTERISTIQUES DE L'APPAREIL**

---

Tension de sortie : 18.000 à 25.000 volts à variation continue.

Variation du secteur  $\pm 5 \%$  : variation de la tension délivrée non mesurable par la méthode de contrôle utilisée. Si nous supposons que l'oeil peut distinguer le  $\frac{1}{10}$  de division du microampèremètre, la variation  $V_s$  est inférieure au  $\frac{1}{80}$  de  $V_s$ , soit à 300 volts.

Consommation sur secteur : environ 300 watts.

B I B L I O G R A P H I E

---

- VASTEL J. Sources modernes à haute tension sous faible débit.  
Extrait des Annales de Radioélectricité, Tome VI, n° 23,  
Janvier 1951.



Imprimerie Coopérative de l'A.G.E.L.  
49, rue de Valmy - LILLE

101026420