

ETUDE SUR MODELE ET PLAN POUR UN OSCILLATEUR HF DE 20 MW
POUR LA STABILISATION DU THETA-PINCH

M. Geiger et A. Lietti

Abstract

An examination of the problem leads to the conclusion that actually only a self-oscillating tube generator will be able to satisfy all requirements.

The magnitude of the needed output power is such that a combined operation of several high power tube units must be provided. A model of a multi-power-tube-oscillator is investigated to answer questions connected with : tube selection, type of electrical circuit, pulsed operation of that circuit, rise time and unwanted modes of oscillations.

The design of a 4-tubes push-pull oscillator at 7 Mc using standard RS 1041 tubes and a mainly air-coaxial type of circuit with concentrated capacities (mica condensers) is described. The maximum rf-voltage will be 50 kV peak. The pulsed power supply will be realised using triggered spark gaps. A certain automaticity is provided for the timing system, switching and interlock.

Etude sur modèle et plan pour un oscillateur HF de 20 MW
pour la stabilisation du theta-pinch

M. GEIGER et A. LIETTI

Introduction

La stabilisation du plasma devrait se faire sous l'action d'un champ magnétique de haute fréquence (de 1 à 10 Mc/s). Dans le cas présent, on se propose de produire un champ circulaire B_y autour de la colonne de décharge, entre les deux électrodes, en faisant en sorte que cette colonne forme le conducteur intérieur d'une ligne coaxiale. La grandeur qui importe est alors le courant longitudinal à la surface de la colonne de plasma. On aimerait produire un courant aussi grand que possible, de manière que le champ B_y devienne de l'ordre de grandeur du champ de constriction qui sera réalisé par la bobine de compression.

Or la nécessité d'un courant maximum oblige à faire appel à l'effet de résonance, en faisant fonctionner le bout de ligne-plasma comme un circuit oscillant, de préférence symétrique, de sorte que le maximum du courant distribué se trouve en son milieu.

Etant donné que les tensions sur une telle ligne imposent, pour ce procédé, des valeurs limites, on tâchera de les maintenir au strict minimum par l'apport de capacités concentrées aux deux extrémités de la colonne. Pourtant, si l'on prend comme base la tension HF admise technologiquement, la puissance HF est déterminée par le facteur Q du circuit ligne résonnant plasma.

Dans le cas de l'expérience theta-pinch envisagée, on s'est limité à des tensions HF aux bouts de la ligne-plasma, de l'ordre de 50 kV crête, tension encore supportable par les meilleurs condensateurs disponibles. La résistance HF de la colonne plasma de 60 cm de longueur est estimée à $R = 0,1 \Omega$. Le facteur Q du circuit contenant le plasma sera de 50 environ, à la fréquence de 7 Mc/s ($\lambda = 43$ m) choisie comme fréquence stationnaire HF quand le plasma pinch s'est établi. On aura alors à l'entrée de la ligne la résistance parallèle $R_p = Q^2 R = 125 \Omega$, d'où l'on obtient la puissance HF consommée dans le circuit (par le plasma

principalement)

$$P = \frac{1}{2} \frac{\hat{U}^2}{R_p} \cdot 2 = 20 \text{ MW}$$

et le courant qui est pratiquement constant le long de la ligne courte par rapport à la longueur d'onde

$$I = I_{\max} = \sqrt{\frac{P}{R_s}} = 20 \text{ KAm.}$$

Cependant, avec ces données, seul un point important du cahier des charges n'a pas été mentionné. C'est la variabilité de la fréquence propre du circuit lors du rétrécissement du diamètre de la colonne plasma au moment de la formation du pinch, où la haute fréquence devrait déjà être appliquée.

Cela signifie qu'il ne s'agit pas simplement de faire livrer 20 MW par un amplificateur pour une fréquence donnée. Il s'agit plutôt de livrer cette puissance, toujours à la fréquence propre du circuit ligne-plasma. C'est-à-dire que l'on doit construire un oscillateur qui oscille dans tous les cas à la fréquence propre du circuit ligne-plasma. Cet auto-oscillateur sert à produire 10^9 KVA ($Q.20$) dans le circuit en premier lieu, les 20 MW absorbés par le circuit étant considérés comme une circonstance secondaire inévitable.

On voit très clairement l'avantage du système auto-oscillateur par rapport au système à fréquence fixe. Considérons l'exemple suivant : On produit un courant maximum à la fréquence propre du circuit ligne-plasma, puis, la fréquence restant fixe, l'inductivité de la charge varie de 10 %. Par suite de cette variation, le courant tombe presque à la moitié de sa valeur maximum initiale.

Pour résumer, les valeurs suivantes ont été admises comme base de l'étude :

Puissance réelle efficace	:	20 MW
Puissance réactive	:	1000 MVA
Tension crête symétrique	:	2 x 50 kV
Courant crête	:	20 KA
Durée de l'impulsion	:	20 µsec
Fréquence base	:	7 MHz
Energie totale par impulsion	:	400 Joule

Bien que l'énergie totale en jeu soit limitée, la production d'une telle puissance pose de nombreux problèmes techniques. On estime toutefois, à la suite de cette étude, qu'il est possible de résoudre le problème au moyen d'un oscillateur à tubes électroniques de puissance.

A première vue, il peut sembler que des dispositifs plus simples et plus primitifs qu'un générateur à larges tubes de puissance pourraient apporter une solution convenable. En effet, il n'y a pas d'obligation à avoir des oscillations entretenues. On pourrait tolérer une répétition de périodes d'oscillations amorties, de telle sorte que l'amplitude ne dépasse pas une valeur minimum.

En fait il existe une variété de procédés d'excitation d'oscillations, basés sur la décharge d'un condensateur dans un circuit oscillant par le moyen d'éclateurs. De tels dispositifs ont été réalisés, il y a long temps déjà, en T.S.F. Il faut mentionner surtout la méthode des "Löschfunken" de M. Wien. Cette méthode utilise l'effet de battement d'oscillations dans des circuits couplés, donnant lieu à des oscillations très peu amorties et, par conséquent, d'un bon rendement. En poussant la technique des "Löschfunken" à l'extrême, L. Chaffee est arrivé en 1911 à produire des oscillations presque continues jusqu'à des fréquences supérieures à 10 Mc/s, en rechargeant le condensateur primaire à une sous-période très rapide.

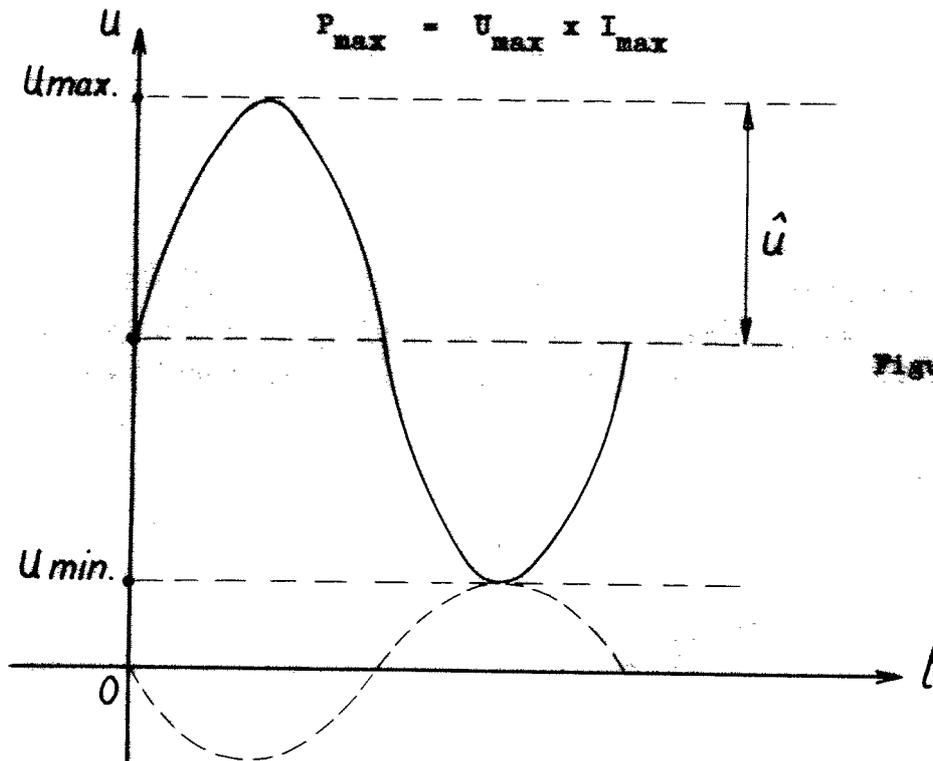
Mais l'examen de ces anciens montages montre leur inaptitude pour obtenir de grandes puissances en haute fréquence : on ne dispose pas d'éclateurs à très haute puissance, ayant la faculté de s'éteindre suffisamment rapidement.

On a également considéré le principe du générateur à arc utilisant la caractéristique négative. Mais les réalisations d'autrefois prouvent que les générateurs fonctionnant d'après ce principe ne peuvent pas livrer la puissance et la fréquence exigées pour notre but.

A la suite de notre étude présentée ci-dessous, nous sommes d'avis que sur la base des tubes actuels et futurs, nous serons toujours en mesure de produire la puissance maximum applicable à un circuit ligne-plasma, compte tenu des tensions limites supportables.

Cheix des tubes

Une première étude a été faite pour le choix des tubes. Pour certains tubes conçus pour le fonctionnement en impulsien, la puissance de commutation (switching power) est souvent donnée. Cette puissance est le produit de la tension maximum que le tube peut supporter et du courant maximum que le tube peut débiter :



La tension minimum anodique est limitée par la tension de grille, cette condition est représentée sur la figure 1.

L'amplitude utile de la tension est :

$$\hat{U} = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2}$$

L'amplitude du courant est reliée d'autre part au courant maximum par la relation :

$$K I_{\max} = \hat{I}$$

où K est un facteur déterminé par l'angle de circulation.

Une première estimation peut être faite en prenant les valeurs suivantes :

$$U_{\min} = 0,06 U_{\max} ; \quad \theta = 140^\circ \quad \text{d'où} \quad K = 0,42; \quad \hat{U} = 0,47 U_{\max}$$

$$P = \frac{\hat{U} \cdot \hat{I}}{2} = \frac{0,42 \times 0,47}{2} U_{\max} \cdot I_{\max} = 0,1 U_{\max} \cdot I_{\max} = 0,1 P_{\max}$$

La relation entre P (puissance effective HF) et P_{\max} (puissance de commutation) est donc la suivante :

$$P = 0,1 P_{\max}.$$

Il serait nécessaire de connaître les valeurs que peuvent atteindre U_{\max} et I_{\max} dans les conditions prévues pour notre expérience. Malheureusement, il n'est pas toujours possible d'obtenir tous les renseignements nécessaires auprès des fabricants de tubes. En effet, les limites d'utilisation prévues pour les tubes dans les catalogues se rapportent à des conditions de fonctionnement en général très éloignées des nôtres. Par exemple, on donne des limites au courant cathodique pour garantir une durée raisonnable des tubes. Cependant, dans notre cas, une minute d'application de la tension anodique aux tubes correspond à quelques 50'000 expériences, c'est-à-dire que l'on peut essayer d'obtenir du tube un courant plus élevé que le courant maximum prévu en régime continu. En principe, il faut considérer les cathodes qui présentent le courant de saturation le plus élevé. Les filaments à tungstène thorié sont les meilleurs à ce point de vue pour la puissance et la fréquence envisagées. On peut admettre pour ces filaments une émission d'environ 0,1 Ampère par watt de chauffage; ainsi il est possible d'obtenir presque 600 Amp. avec des grands tubes, si l'on considère le problème uniquement en ce qui concerne l'émission.

En fait l'émission cathodique n'est pas toujours le paramètre critique; pour chaque cas particulier il est nécessaire de vérifier que les tensions de grille et d'anode suffisantes pour obtenir l'émission prévue soient encore possibles.

L'autre valeur qui nous intéresse, U_{\max} , est déterminée par la constitution géométrique du tube. Le degré du vide joue aussi un rôle très important et lorsqu'en arrive à de hautes tensions, il faut considérer le chemin possible de la décharge sur la surface isolante (verre ou céramique) à l'extérieur du tube. Il arrive parfois que ce soit justement ce chemin qui limite la tension applicable, bien que cette limite puisse être augmentée si les tubes sont plongés dans l'huile ou dans un gaz comprimé.

En résumé, on peut ranger les différents types de tubes selon un barème déterminé par le produit :

$$P_f \times U_o$$

(Puissance de chauffage x tension anodique)

Etant donné qu'on aimerait utiliser les tubes au-delà des limites des caractéristiques données, il sera nécessaire d'employer une méthode d'extrapolation pour une évaluation préalable des paramètres électriques du projet.

Sur la base d'expériences déjà faites au CERN sur des tubes à puissance moyenne, on a employé une méthode d'extrapolation linéaire.

Pour des tubes Siemens RS 1041, avec une tension de 15 KV, on obtient normalement 0,36 MW par tube et en classe C. Donc pour obtenir 20 MW, il serait nécessaire d'employer 4 tubes avec une tension anodique de 56 kV.

Générateurs à plusieurs tubes

D'une manière générale, nous avons étudié, avec l'aide de modèles, la possibilité d'employer plusieurs tubes pour atteindre des puissances plus élevées.

Les résultats de l'étude sont les suivants :

- Branchement en parallèle : la chose est possible (on a fait des essais jusqu'à dix tubes), il suffit de prendre soin d'établir un réglage indépendant des tensions de polarisation pour pouvoir équilibrer les différences inévitables entre les caractéristiques de chaque tube. Avec des groupes RC d'autopolarisation indépendants pour chaque tube, la puissance de sortie pour n tubes est presque n fois la puissance donnée pour un seul tube (les expériences faites sur des modèles n'ont pas montré de différences appréciables).

Le schéma de principe du modèle est donné par la figure 2.

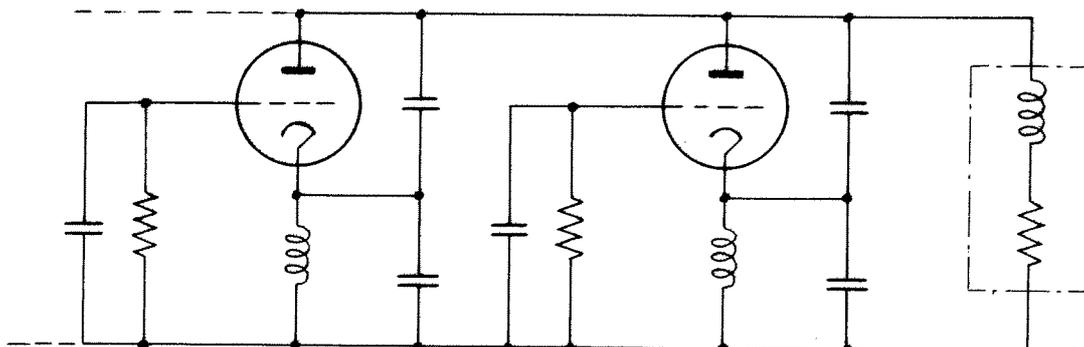


Figure 2

- Il est aussi possible d'employer des systèmes symétriques (push-pull). Des modèles ont été construits, la méthode donne de bons résultats en régime entretenu, tandis qu'en régime impulsif, on doit tenir compte d'une augmentation du temps de montée.
- Système de couplage : la possibilité de couplage de la charge à l'oscillateur au moyen d'une ligne a tout d'abord été examinée.

La théorie générale des lignes donne pour l'admittance l'expression suivante :

$$Y_s = Y_c \frac{Y_R + jY_c \operatorname{tg} \theta}{Y_c + jY_R \operatorname{tg} \theta} \quad (1)$$

avec

Y_c admittance caractéristique de la ligne
 Y_R " de terminaison de la ligne
 Y_s " d'entrée de la ligne
 θ longueur électrique de la ligne ($\theta = \frac{2\pi l}{\lambda}$).

En général Y_R est une valeur complexe :

$$Y_R = \rho - j\eta$$

Dans notre cas, la charge est très inductive, du fait que la relation suivante est valable :

La formule (1) peut alors être simplifiée et l'on obtient :

$$Y_s = Y_c a \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \theta}{(1 + b \operatorname{tg} \theta)^2} - j Y_c b \frac{1 - \frac{\operatorname{tg} \theta}{b}}{1 + b \operatorname{tg} \theta}$$

avec $a = \frac{\rho}{Y_c}$

$$b = \frac{\eta}{Y_c}$$

Si $b \rightarrow \operatorname{tg} \theta$, la composante imaginaire, disparaît, on a :

$$\operatorname{tg} \theta = \sqrt{\frac{\rho}{Y_s} - 1} \quad (2)$$

et $Y_c = \frac{\eta}{\operatorname{tg} \theta} \quad (3)$

C'est-à-dire que si l'on effectue le couplage avec une telle ligne, nul autre élément réactif de compensation est nécessaire.

ρ et η sont connus

Y_g est déterminé par les tubes

les formules (2) et (3) donnent la longueur et l'admittance caractéristique de la ligne.

Malheureusement, ces méthodes de couplage tout à fait satisfaisantes lorsque le tube fonctionne comme amplificateur, ne sont pas toujours applicables dans le cas d'un oscillateur.

En fait, si la charge anodique d'un tube oscillateur est constituée par une ligne, il peut arriver que plusieurs fréquences d'oscillation soient possibles. Si la ligne est chargée sur une charge inductive, le danger d'oscillation du système sur une fréquence supérieure est encore plus grand parce que l'impédance de la charge croît avec la fréquence. Il est alors nécessaire de raccourcir la ligne et de mettre des condensateurs pour accorder le système.

Plusieurs modèles de lignes ont été étudiés et testés et l'on est arrivé aux conclusions suivantes :

Pour des puissances relativement faibles, il est possible d'employer des lignes de quelques mètres de longueur. La ligne assure aussi l'adaptation d'impédance nécessaire entre la charge et les tubes.

Pour les puissances élevées (10 à 20 MW), les tensions aux deux extrémités de la ligne sont peu différentes, une longue ligne n'est alors plus nécessaire du point de vue de l'adaptation de l'impédance, et les essais sur les modèles ont montré que l'emploi de longues lignes n'est pas à conseiller. En effet, les modèles ont parfaitement fonctionné avec des lignes inférieures à $0,1 \lambda$, tandis qu'avec des lignes plus longues le système peut osciller à une fréquence supérieure. Une solution simple consiste à placer l'oscillateur le plus près possible du plasma. La ligne se réduit alors à un raccord très court et la compensation des courants réactifs peut être faite au moyen de condensateurs.

C'est cette solution qui a été prévue pour la construction de l'oscillateur.

On avait tout d'abord estimé qu'il serait préférable d'avoir une ligne de couplage de quelques mètres pour laisser le plus de place possible autour du tube de décharge. Puis l'on s'est aperçu qu'il suffirait de laisser un côté du tube libre et l'on en est venu à la solution la plus simple de placer l'oscillateur près du tube.

Réalisation des modèles

La réalisation des modèles ne présente pas de difficultés particulières si les modèles diffèrent de l'original par la puissance et par les impédances.

Les tubes émetteurs de grande puissance présentent une conductance mutuelle bien plus élevée que les tubes de réception employés sur les modèles.

Pourtant si le modèle a le même nombre de tubes que l'original, il faut prévoir une échelle d'impédance élevée (1/10; 1/20).

Si l'on préfère maintenir la même impédance (échelle d'impédance 1/1), il faut employer pour le modèle plusieurs tubes en parallèle.

Prenons l'exemple d'un tube d'émission ayant une conductance mutuelle de 250 mA/V : il sera nécessaire de le remplacer par 5 petits tubes de 50 mA/V en parallèle.

Essais en régime pulsé

Des modèles ont été construits en échelle d'impédance 1/20 et, après une série d'essais en régime continu, un système d'essai en régime pulsé a été préparé. Pour faciliter les observations sur les modèles, un générateur d'impulsions d'alimentation a été construit au moyen d'un thyatron et d'une ligne de retard (fig. 3).

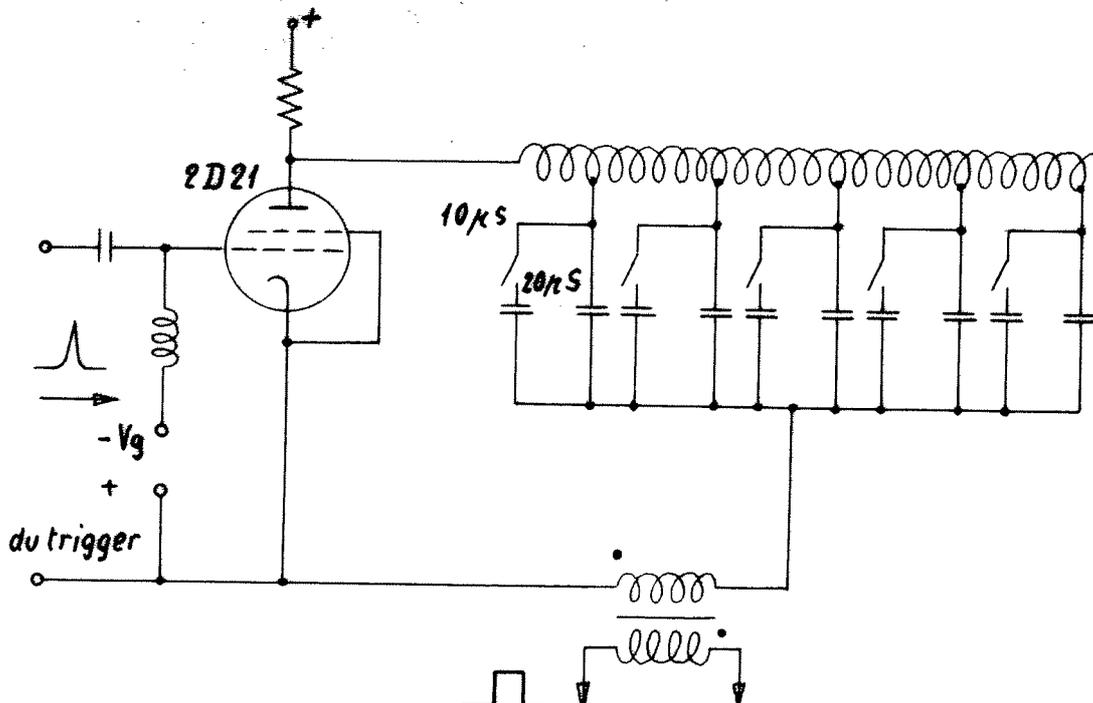


Figure 3

Les caractéristiques de l'appareil sont les suivantes :

Durée de l'impulsion	10 ± 20 μs
Temps de montée	0,3 μs
Fréquence de répétition	100 Hz

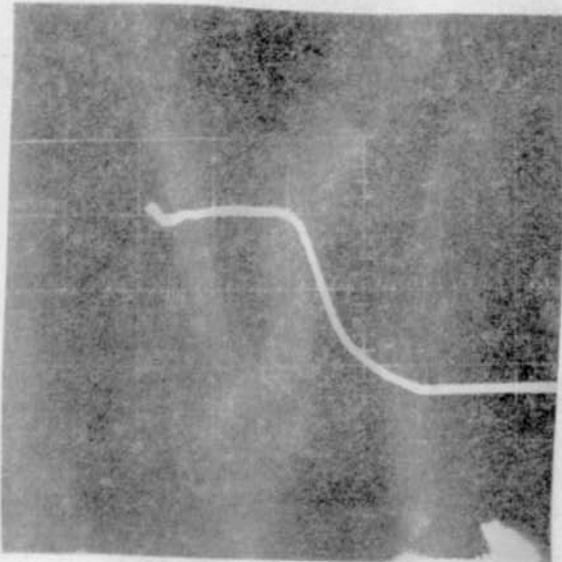


Figure 4

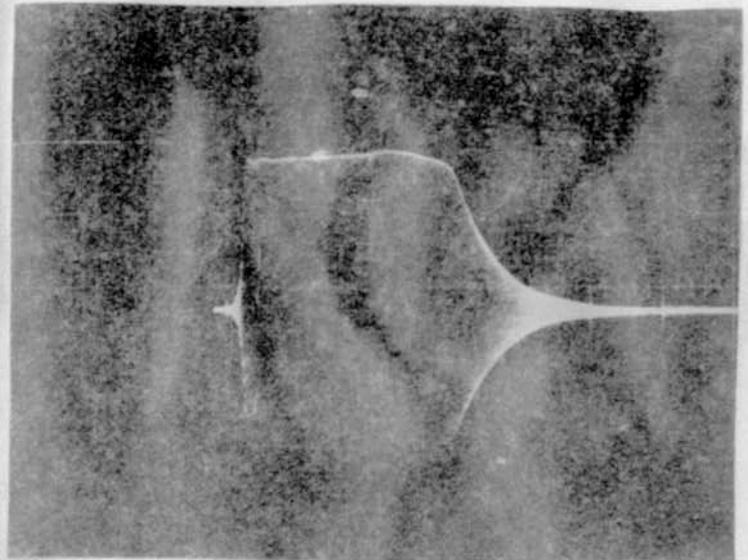


Figure 5

5 μs/cm

Les photos (fig. 4 et 5) indiquent l'impulsion obtenue et la haute fréquence pulsée.

Cette méthode, moyennant une synchronisation auxiliaire, rend possible une présentation continue sur l'oscilloscope, très utile pendant les essais sur les modèles, surtout pour l'étude du temps de montée des oscillations.

Le temps d'amortissement d'une oscillation :

$$Ae^{(-d+j\omega) t}$$

est bien déterminé par le $Q = \frac{\omega L}{R}$ du circuit, en fait $d = \frac{\omega}{2Q}$.

Après un temps $\tau = \frac{1}{d} = \frac{2Q}{\omega} = \frac{Q}{\pi f}$, l'amplitude des oscillations est réduite à $\frac{1}{e} A$, cela arrive après $N = \frac{Q}{\pi} = \frac{f}{d}$ oscillations.

Pour calculer ce temps pour l'oscillateur, il faut considérer l'amortissement total, constitué par la charge, par les pertes du circuit de couplage et par la résistance intérieure du tube. Pour un oscillateur de 10 MW, un temps τ d'environ 1,5 μs a été calculé; il correspond à une dizaine d'oscillations.

Le temps de montée de l'oscillation est de même en relation avec l'amortissement du circuit, mais dépend aussi d'autres facteurs. Il est nécessaire de considérer d'abord les conditions initiales.

Si l'on imagine un condensateur chargé qui se décharge sur une bobine au moyen d'un interrupteur idéal, l'oscillation commence tout de suite parce que l'énergie réactive est déjà présente au temps $t = 0$ dans le condensateur chargé.

La chose se passe d'une façon très différente dans le cas d'un oscil- lateur, si l'oscillation commence à un niveau énergétique zéro et si l'énergie réactive doit être délivrée par le tube. La contribution due au front de l'impulsion anodique d'alimentation n'est pas considérée ici, mais on estime que cette contribution doit être réduite dans les conditions réelles de travail, à cause du temps de montée de l'impul- sion, long par rapport à la période de l'oscillation.

$$\text{Soit } A = A_0 e^{(a+j\omega)t}$$

l'expression de l'oscillation qui monte, on a, d'après MILLER

$$a = K d = K \frac{\omega}{2Q}$$

où ω et K se réfèrent au circuit oscillant et le terme K est dû à la contribution du tube.

K est une fonction des caractéristiques dynamiques du tube et du de- gré de rétroaction, il augmente si on augmente le couplage.

Les photographies (fig. 6 et 7) montrent des variations du temps de montée qui ont été observées sur le modèle en fonction du couplage (condensateur de couplage doublé).

Les considérations faites sur le temps de montée se réfèrent aux sim- ples circuits R, L, C; des contrôles ont également été effectués pour évaluer le fonctionnement d'un oscilateur couplé à la charge par une ligne. On a observé que les temps de montée se rapprochent des cas déjà examinés si la ligne est très courte, tandis que pour des lignes plus longues, on remarque une augmentation de ces temps. Des augmentations ont aussi lieu si l'on ne prend pas soin d'éliminer tout couplage para- site.

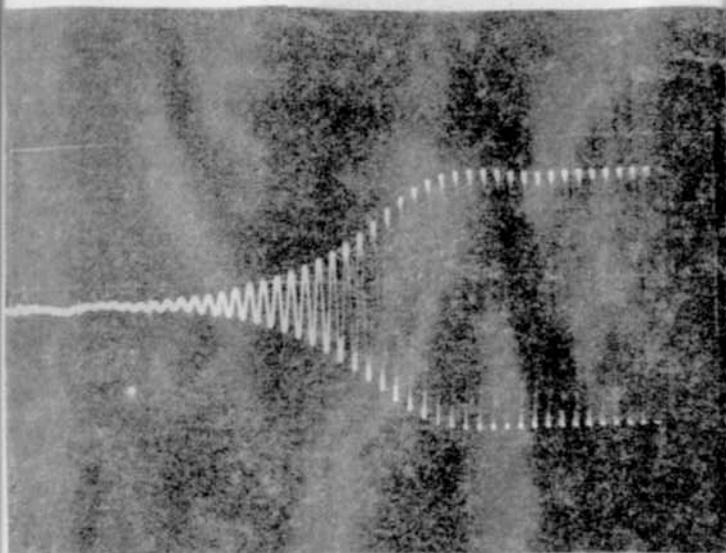


Figure 6

$0,5 \mu s / cm$

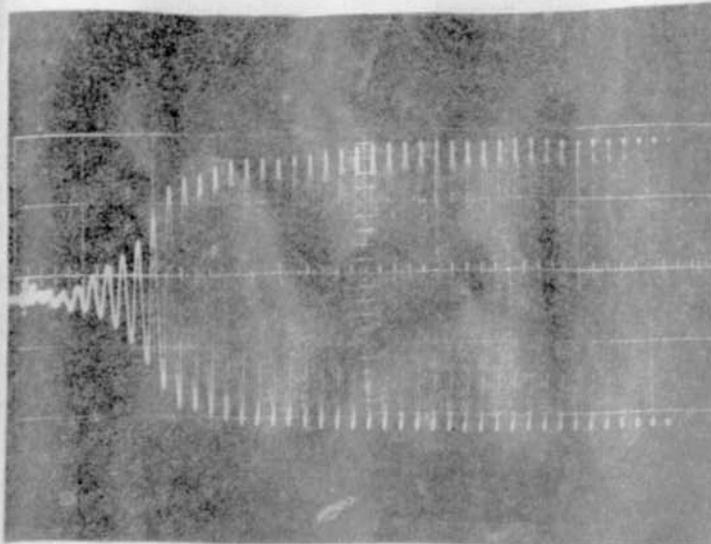


Figure 7

Montages push-pull

Les expériences sur modèles ont montré que les circuits push-pull donnent des retards au démarrage des oscillations. Pour éviter cette difficulté il est nécessaire d'introduire des éléments asymétriques dans le circuit push-pull. On a obtenu des améliorations en employant sur un modèle des bobines de découplage différentes pour les deux tubes. Des essais ont été aussi faits au moyen d'une série d'impulsions de préexcitation envoyées sur les grilles des tubes. On arrive ainsi à éliminer tout délai de démarrage et à raccourcir les temps de montée. De bons résultats ont été obtenus par cette méthode avec une ligne de couplage très courte. Un dernier modèle en échelle d'impédance 1/1 a été construit (push-pull 2 x 5 tubes).

On a tout spécialement étudié la question du temps de montée parce que l'on a estimé nécessaire de connaître entre quelles limites il est possible de fixer d'avance le moment où la puissance HF est donnée au plasma et de quelle façon l'amplitude monte avec le temps. Si, pour les recherches, il est nécessaire d'avoir des montées plus ou moins rapides, il est préférable de prévoir une construction donnant la possibilité de changer la rétroaction sans difficulté.

Développement du projet de construction de l'oscillateur

Pour le développement détaillé d'un plan de réalisation de l'oscilla-

teur, il faut tenir compte également de certaines considérations constructives.

Les très hautes tensions et puissances nécessaires portent à considérer des structures très étendues dans l'espace; même si les dimensions sont encore limitées par rapport à la longueur d'onde, la situation n'est sans doute pas exactement la même que pour les modèles.

Une étude supplémentaire a été faite en tenant spécialement compte des facteurs suivants, qui ont paru très importants au point de vue de la conception finale.

Premièrement, il a fallu considérer la nécessité de la préionisation indépendante du plasma, c'est-à-dire qu'il a été nécessaire de prévoir des connexions auxiliaires pour l'introduction des courants de préionisation sur le plasma.

Deuxièmement, on a cherché à assurer une distribution symétrique du courant HF sur le plasma.

Troisièmement : possibilité d'une observation optique du plasma et possibilité de connecter le système de pompage.

Dans le développement du projet, il a encore été tenu compte de deux choix de base, à savoir : les condensateurs au mica pour haute tension (Condensateurs Fribourg S.A.) et les tubes d'émission (Siemens RS 1041 V

Les condensateurs susmentionnés, de par leurs dimensions et leurs caractéristiques électriques, ont bien résolu, dans notre cas, le problème de l'emplacement.

De même les tubes Siemens ont permis de résoudre le problème de la puissance nécessaire par l'emploi de tubes standard de haute qualité.

Détermination du schéma.

On désire obtenir le plus grand courant haute fréquence possible à la surface du plasma, tout en prévoyant nécessairement une construction symétrique de la ligne qui contient le chemin de décharge du plasma, de manière que le courant de résonance maximum soit justement délivré au plasma. Cette ligne doit être excitée de façon symétrique.

Elle est raccourcie et symétrisée par rapport à la terre au moyen de condensateurs placés aux deux extrémités, dans deux cavités ("tambours"). Les anodes des tubes oscillateurs sont placées le plus près possible de ces tambours.

Le schéma est prévu (voir fig. 8) de telle façon que le système oscillant peut être excité symétriquement au moyen de deux tubes en parallèle (introduction d'une ligne de rétroaction de symétrisation).

Moyennant l'utilisation de deux unités de deux tubes en parallèle, on arrive à utiliser quatre tubes en système symétrique (push-pull).

Les inductivités de découplage L_4 pour les deux unités ont une différence de 30 %. D'après les essais sur les modèles, on estime que le temps de montée, avec cet élément asymétrique, sera de l'ordre de quelques microsecondes, durée convenable pour l'expérience de confinement.

La rétroaction a été conçue au moyen d'une répartition capacitive, qui donne la possibilité de découpler le circuit plasma du courant continu, rendant ainsi possible la connexion du système de préionisation à l'aide de bobines de découplage. En outre, un tel système de rétroaction a l'avantage de compenser facilement les capacités très élevées des tubes.

Le bout de ligne entre le plasma et le condensateur du tambour (réalisé en structure coaxiale de grand diamètre) peut servir de pièce de transformation.

Etant donné que l'excitation est faite dans un point neutre, on pense que le danger d'engendrer des oscillations parasites dans la cavité est très réduit.

Pendant la conception du projet, on a essayé de minimiser l'effet des parasites et la disponibilité d'un modèle d'oscillateurs en échelle permettra des essais dès que la construction des tambours sera achevée.

En principe, étant donné qu'il y a un second point de terre sur le retour de la haute tension, il existe deux circuits couplés dont les inductivités sont formées par la self de couplage; les essais sur le modèle ont montré que des oscillations parasites ne s'excitent pas. Par contre, les essais ont prouvé qu'il fallait faire attention à la

possibilité d'exciter des oscillations de fréquence plus élevée sur le circuit qui a, comme capacité, les capacités des tubes, et comme inductivité, les connexions à la charge.

On s'est efforcé pourtant de réduire ces chemins au minimum et les essais sur modèle ont également montré qu'il est possible d'éliminer ces oscillations parasites, moyennant l'introduction d'un déphasage supplémentaire sur la ligne de rétroaction pour les fréquences indésirables.

Plan de construction

Les points essentiels suivis pour la conception du plan de construction sont les suivants :

- 1) Les connexions haute tension sont faites pour la plupart en structure coaxiale avec l'air comme diélectrique.
- 2) On a pris soin de placer les connexions haute fréquence du plasma de manière à laisser la place libre pour les observations d'optique d'un côté et pour la pompe de l'autre côté.
- 3) On a essayé de concevoir la structure d'entrée de la HF sur le plasma, de façon à assurer une répartition du courant dans le plasma, qui soit azimutale et aussi homogène que possible.
- 4) L'oscillateur comprend deux parties identiques, qui lui permettent de fonctionner en push-pull, avec deux tubes en parallèle pour chaque partie.
- 5) Le système de rétroaction est, dans tous les cas, symétrique. Si une seule partie de l'oscillateur est utilisée, la symétrie est retenue au moyen d'un fantôme.

Pour la détermination des distances, compte tenu des hautes tensions (50 kV crête HF, 130 kV crête sur l'anode), les résultats du système pulsé de haute puissance du CERN ont été considérés.

La construction de l'ensemble se compose de cinq parties (voir fig. 9) :

- I. Chemin de décharge du plasma et connexions au système HF.
- II. Ligne de rétroaction.
- IIIa, b. Tubes oscillateurs avec transformateurs de chauffage et éléments de connexion.
- IV. Système semi-automatique d'enclenchement, sécurités et transformateurs de réglage. Le système d'enclenchement est automatisé à un degré pouvant assurer le synchronisme avec les autres processus de l'expérience (préionisation, champ magnétique de compression, observations photographiques, etc).
- Va, b. Générateur d'impulsions anodiques pour 70 kV maximum (schéma fig. 10). Il contient l'alimentation THT, les condensateurs de décharge, les éclateurs, le système de trigger et les sécurités THT.

$C_1 = 1000/100 \text{ KV}$
 $C_2 = 810/100 \text{ KV}$
 $C_4 = 5000/100 \text{ KV}$
 $C_{40} = 2500/50 \text{ KV}$

$C_b = (2300)$
 $C_n = 260/100 \text{ KV}$
 $C_m = (3600 = 2000 + 1600)$

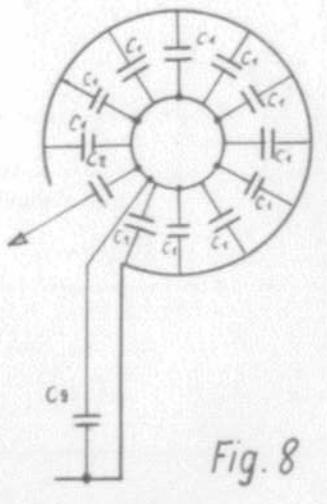
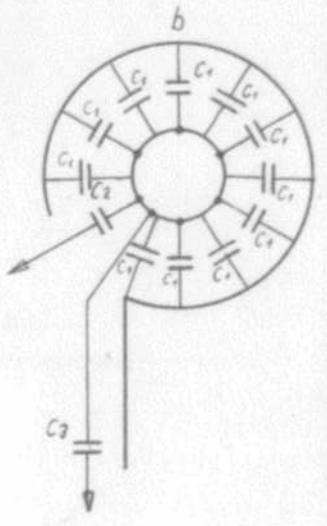
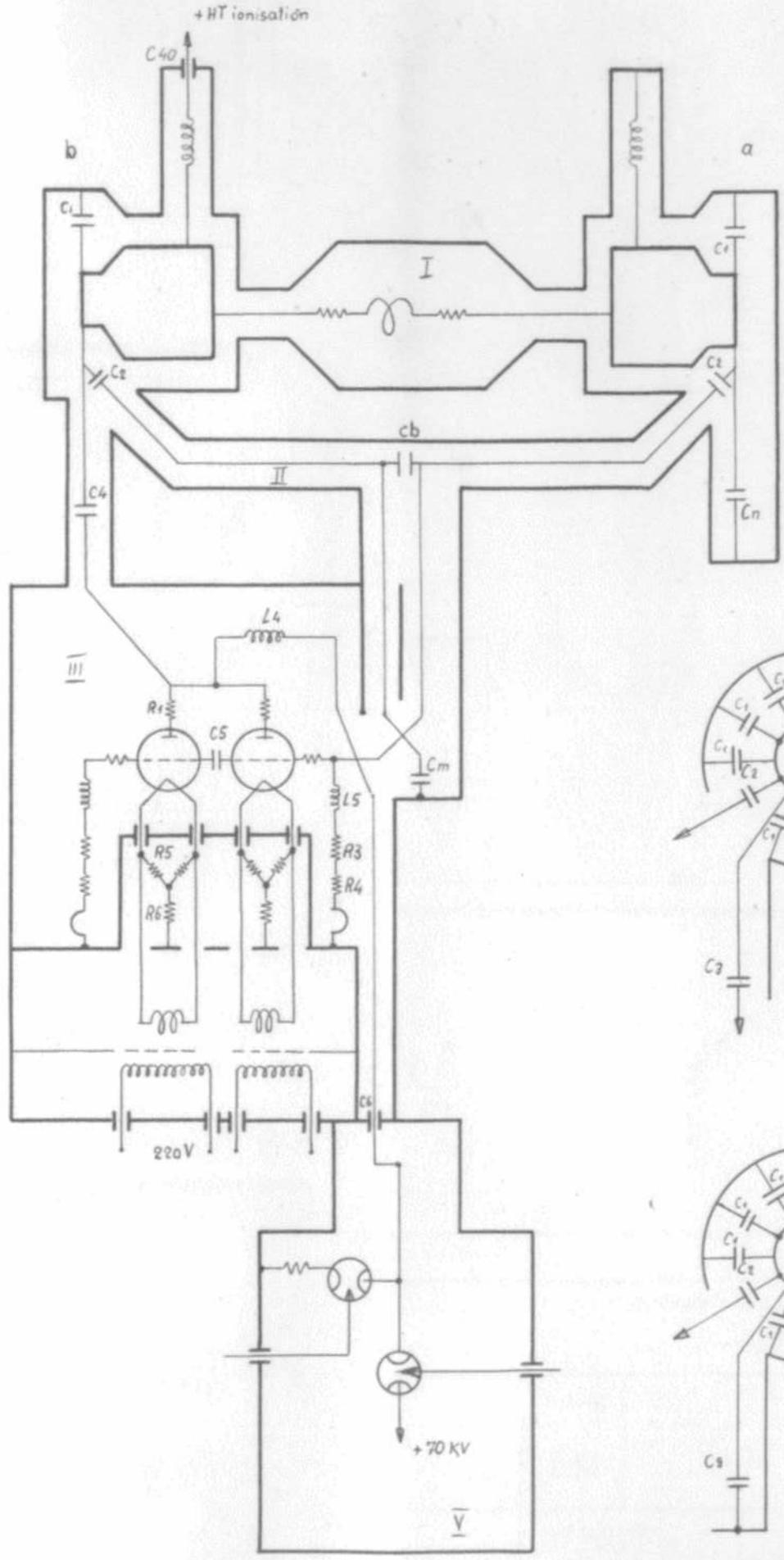


Fig. 8

I Tube de décharge
 II Ligne de rétroaction
 III Tubes oscillateurs
 IV Appareils auxiliaires
 V Alimentation

B Groupes de décharge
 C Caméra
 D Groupe de pompage

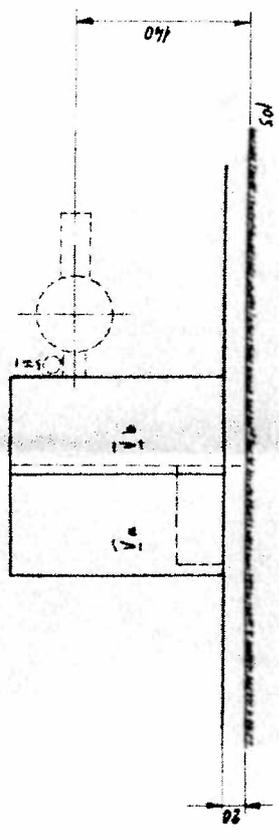
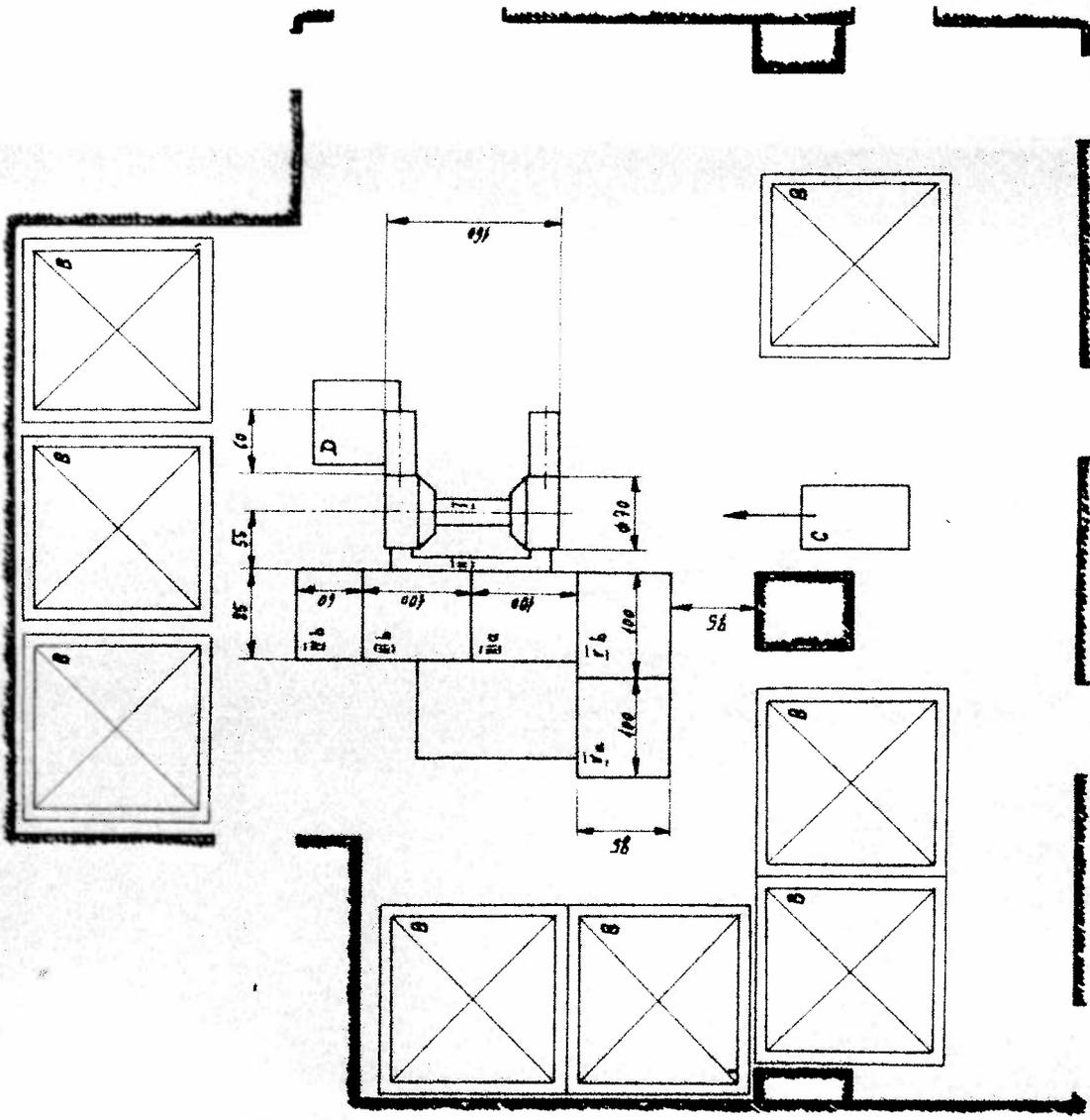


Fig. 9

cotes en cm.

Spécification	Rep.	Matériau	Observations
Modifications : 3089 a / disp. changée			
Remplacé par			
Remplace 3089 de 20.11.62			
Echelle		Date	11.9.63
1:50		Coût	
		V.	
Disposition des appareils			n° 3089 a
PHYSIQUE DES PLASMAS			Fonds National
			10

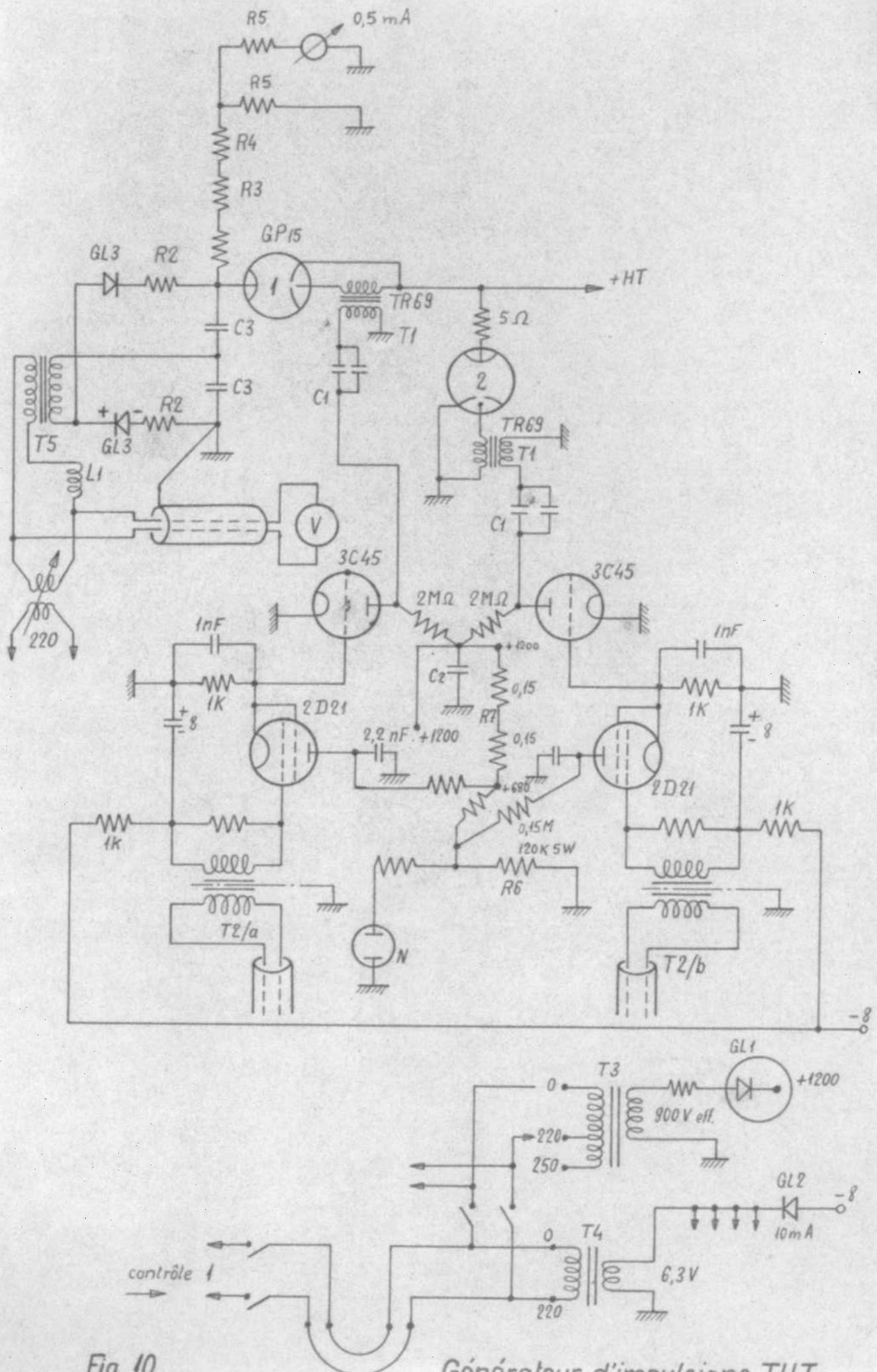


Fig. 10

Générateur d'impulsions THT