

MICROWAVE TUBES

Tubes Hyperfréquences

VOLUME II

MICROWAVE TUBES

Tubes Hyperfréquences

PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONGRESS
ON MICROWAVE TUBES

Paris 1956

VOLUME II



ELSEVIER PUBLISHING COMPANY
AMSTERDAM LONDON NEW YORK PRINCETON

1958

SOLE DISTRIBUTORS
FOR THE UNITED STATES OF NORTH AMERICA:

D. VAN NOSTRAND COMPANY, INC.

*120 Alexander Street, Princeton, N.J. (Principal Office)
257 Fourth Avenue, New York 10, N.Y.*

SOLE DISTRIBUTORS FOR CANADA:

D. VAN NOSTRAND COMPANY (CANADA), LTD.

25 Hollinger Road, Toronto 16

SOLE DISTRIBUTORS
FOR THE BRITISH COMMONWEALTH EXCLUDING CANADA:

D. VAN NOSTRAND COMPANY, LTD.

358 Kensington High Street, London W. 14

原书缺页

原书缺页

原书缺页

原书缺页

RÉPERTOIRE DES CHAPITRES

<i>Chapitre 5</i>	Tubes de Conception Diverses	p. 9
<i>Chapitre 6</i>	Accélérateurs Linéaires	p. 93
	6-1 Accélérateurs d'Électrons	p. 94
	6-2 Accélérateurs de Particules Lourdes	p. 107
<i>Chapitre 7</i>	Génération d'Ondes par Rayonnement Electronique Direct	p. 131
<i>Chapitre 8</i>	Optique et Focalisation	p. 151
<i>Chapitre 9</i>	Déchargé dans les Gaz et Tubes T.R.	p. 233
	9-1 Phénomènes Fondamentaux	p. 233
	9-2 Tubes T.R.	p. 249
<i>Chapitre 10</i>	Bruit	p. 317
<i>Chapitre 11</i>	Appareillage de Mesure	p. 367
<i>Chapitre 12</i>	Technologie	p. 421
<i>Chapitre 13</i>	Divers	p. 445

REPERTOIRE DES CHAPITRES

p. 9	Chapitre 1. Table de composition livres
p. 23	Chapitre 2. Incidences fiscales
p. 24	Chapitre 3. Assurances sociales
p. 107	Chapitre 4. Assurances sociales (suite)
p. 131	Chapitre 5. Contribution d'Etat par rapport
p. 151	Chapitre 6. Contribution d'Etat (suite)
p. 133	Chapitre 7. Contribution d'Etat (suite)
p. 233	Chapitre 8. Contribution d'Etat (suite)
p. 240	Chapitre 9. Contribution d'Etat (suite)
p. 317	Chapitre 10. Contribution d'Etat (suite)
p. 307	Chapitre 11. Contribution d'Etat (suite)
p. 421	Chapitre 12. Contribution d'Etat (suite)
p. 445	Chapitre 13. Contribution d'Etat (suite)

CHAPITRE V

TUBES DE CONCEPTION DIVERSES

5.01. — Recherches sur un tube à ondes progressives avec structures extérieures d'onde lente interchangeables ⁽¹⁾

Investigation of a traveling wave tube with interchangeable external slow-wave structures ⁽¹⁾

A.R. MATTHEWS et K.R. SPANGENBERG,
Stanford University, California (U.S.A.)

Introduction.

The purpose of this investigation is to determine the feasibility of traveling wave tube operation utilizing a controlling portion of the slow wave structure external to the vacuum envelope. Lumped element filter circuits were initially selected and tested. Filter helices were also examined.

Comparison of lumped filter-type and helix-type TWT's shows that within the VHF and UHF frequency regions there are advantages and disadvantages for each type tube. However, the tube described herein has the unique feature of permitting interchange of the slow wave structure while using the same vacuum envelope. This feature permits the selection of a structure most suited to the desired operation — oscillator or amplifier, narrow band or wide band. In addition, the external circuit properties can be varied while the tube is in operation. Furthermore, combinations of external circuits can be readily obtained for particular types of operation, such as cascade slow structures for BWA operation. [2]

The internal part of the slow wave structure was selected to give beam coupling. A series of coaxial cylinders was selected to provide the interaction between external circuit wave and electron beam. Such a configuration also provides a series of electrostatic lenses that make periodic electrostatic focusing possible. Furthermore, the spacing of the cylinders can be modified during tube construction in order to permit advantageous operational results such as mode interference reduction or increased efficiency.

Tube design, Construction and Beam focusing.

Figure 1 shows a photograph of the experimental tube. The vacuum envelope and its sub-assemblies will be described separately.

THE ELECTRON GUN.

The electron gun is a Pierce type electrostatically focussed gun. The gun employed a Philips type BPIA tungsten pellet impregnated with barium aluminate and had a diameter of 0.120 inch. A standard 6.3 volt heater was used. The measured gun perveance was 2.8×10^{-6} . The current was controlled by the anode voltage. A special gun mounting was designed to center the gun coaxial with the interaction cylinders.

(1) Publié dans I.R.E. Convention-Record 1956. Part. 3. p.3 à 10.

Introduction.

Le but de ces recherches est de déterminer la possibilité d'un fonctionnement de tube à ondes progressives utilisant pour le contrôle une portion de la structure d'onde lente située à l'extérieur de l'ampoule du tube. Des circuits filtres à éléments localisés ont été tout d'abord choisis et essayés. Des filtres à hélices ont aussi été examinés.

La comparaison entre les filtres du type localisé et ceux du type à hélice utilisés dans le T.P.O. montre qu'à l'intérieur des régions de fréquences UHF et VHF il y a des avantages et des désavantages pour chaque sorte de tube. Cependant, le tube que l'on décrit ici a la caractéristique de permettre le changement de la structure d'onde lente en utilisant la même ampoule à vide. Cette possibilité permet le choix d'une structure plus adaptée au fonctionnement souhaité, oscillateur ou amplificateur, à large bande ou à bande étroite. De plus, les propriétés du circuit extérieur peuvent être modifiées pendant que le tube fonctionne. En outre, des réglages du circuit extérieur peuvent être rapidement obtenus pour des types de fonctionnement particuliers, par exemple, le fonctionnement BWA avec structure d'onde lente en cascade [2].

On a choisi la partie interne de la structure d'onde lente pour donner le couplage au faisceau. On a choisi une série de cylindres coaxiaux pour fournir l'interaction entre l'onde de circuit externe et le faisceau d'électrons. Une telle configuration fournit aussi une série de lentilles électrostatiques qui rendent possible une focalisation électrostatique périodique. En outre, la distance entre les cylindres peut être modifiée pendant la construction du tube dans le but d'améliorer les performances du fonctionnement, par exemple, la réduction de l'interférence entre modes ou l'accroissement du rendement.

Projet du tube, construction et focalisation du faisceau.

La figure 1 montre une photographie du tube expérimental. On décrira séparément son enveloppe et ses différentes parties.

LE CANON ÉLECTRONIQUE.

Le canon à électrons est un canon focalisé électrostatiquement du type Pierce. Le canon utilise une pastille de tungstène Philips du type BPIA imprégnée d'aluminate de baryum et a un diamètre de 0,120 pouce. On utilise un filament standard chauffé à 6,3 volts. La pervéance du canon mesurée était $2,8 \times 10^{-6}$. Le courant de faisceau était contrôlé par la tension d'anode. On a prévu un montage spécial du canon afin de centrer l'axe du canon avec ceux des cylindres d'interaction.

(1) Published in I.R.E. Convention-Record 1956. Part. 3. pp. 3 to 10.

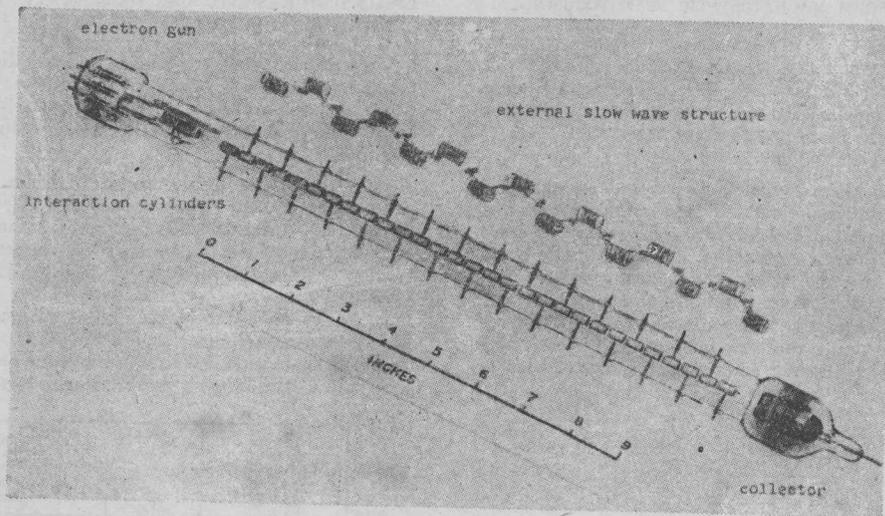


Fig. 1

THE COLLECTOR.

An anode of the type used in the Eimac 75 T tube was modified by the addition of a molybdenum disc welded inside the cylindrical surface and used as a collector. Heat dissipation of approximately 75 watts was achieved by using an Eimac HR-3 heat dissipator external to the vacuum.

LE COLLECTEUR.

On a modifié par l'addition d'un disque de molybdène soudé à l'intérieur de la surface cylindrique une anode du même type que celle employée dans le tube Eimac 75 T et on l'a utilisée comme collecteur.

Une dissipation thermique d'environ 75 Watts a été atteinte en utilisant un radiateur extérieur à l'enceinte à vide.

INTERACTION CYLINDERS.

The interaction cylinders were made of thin wall molybdenum tubing and had solid tungsten rod leads brazed thereto. Nicoro wire (gold-nickel-copper alloy) was used for the braze. The cylinders were 0.162 inch inside diameter and 0.315 inch long. The uniform spacing between cylinders was 0.078 inch. These dimensions were selected on the basis of giving a minimum reduction in beam-circuit interaction and a convenient tuning voltage range for the circuit to be tested. The modulation coefficient reduction factor for a solid beam not filling the cylinders is the order of 0.98. The reduction factor for finite time of electron travel across the interaction gap is numerically larger than 0.9. The mechanical periodicity of the cylinder plus gap is approximately one cm. It should be noted that the external circuit connection can give an effective electrical periodicity which is a multiple of the mechanical periodicity.

CYLINDRES D'INTERACTION.

Les cylindres d'interaction sont constitués de tube de molybdène à paroi mince et des conducteurs en forme de tiges de tungstène massif y sont soudés. On a utilisé du fil Nicoro pour la brasure (alliage or-nickel-cuivre). Les cylindres ont 0,162 pouce de diamètre intérieur et 0,315 pouce de longueur. La distance uniforme entre les cylindres est de 0,078 pouce. Ces dimensions ont été choisies dans le but de donner une réduction minimum à l'interaction faisceau-circuit et une gamme convenable de tensions d'accord pour le circuit à essayer. Le facteur de réduction du coefficient de modulation pour un faisceau plein ne remplissant pas complètement les cylindres est de l'ordre de 0,98. Le facteur de réduction pour un temps défini du trajet des électrons à travers l'espace d'interaction est numériquement plus grand que 0,9. La périodicité mécanique du cylindre plus l'espace est approximativement 1 cm. On peut observer que la connexion de circuit extérieur peut donner une périodicité électrique effective qui soit un multiple de la périodicité mécanique.

TUBE ASSEMBLY.

The cylinders and leads were mounted in a jig and brazed in a hydrogen furnace.

Twenty-nine cylinders with leads were then assembled onto a mandrel with the pre-brazed leads extending through previously prepared holes in the glass envelope. The cylinders were accurately spaced by means of stainless steel ground spacers. The mandrel was accurately located in side of and coaxial with the 3/4 inch ID precision glass by means of temporary precision carbon bearings. Each lead was then sealed to the glass envelope.

Other methods of mounting cylinders inside of a glass envelope have since been demonstrated to offer certain advantages, although the method used for this report appears practical once the technique is mastered.

ASSEMBLAGE DU TUBE.

Les cylindres et les conducteurs sont placés dans un montage et soudés dans un four à hydrogène.

Vingt neuf cylindres sont alors soudés aux conducteurs à l'aide d'un mandrin dans lequel ces conducteurs ont été préalablement placés ; ils se prolongent à travers des ouvertures prévues à cet effet dans l'ampoule de verre. Les cylindres sont espacés au moyen d'entretoises taillées dans l'acier inoxydable. Le mandrin a été placé exactement et coaxialement dans un tube de verre de 3/4 de pouce de diamètre intérieur au moyen d'entretoises provisoires de graphite de dimensions précises. Chaque connexion est alors scellée à l'ampoule de verre.

D'autres méthodes de montage des cylindres à l'intérieur d'une ampoule de verre ont depuis montré qu'elles offraient certains avantages mais la méthode utilisée dans ce rapport semble la plus pratique une fois la technique maîtrisée.

D-C TESTS WITH UNIFORM MAGNETOSTATIC BEAM FOCUSING.

An experimental electromagnet was used to focus the electron beam. Magnetic field strengths from 400 to 1100 gauss were used to obtain beam transmission the order of 90 percent over a range of beam currents from one to sixty mA.

Periodic electrostatic beam focusing was tested and gave 90 percent transmission for beam currents the order of one ma. Fig. 2. shows an oscillogram of percent beam transmission versus the focusing voltage between interaction cylinders for a beam velocity corresponding to 600 volts. The focusing voltage was actually a 60 cps voltage between cylinders and superimposed upon the d-c beam voltage. The average beam voltage is therefore the voltage of a point midway between cylinders. The voltage [3] between this point and an adjacent cylinder is

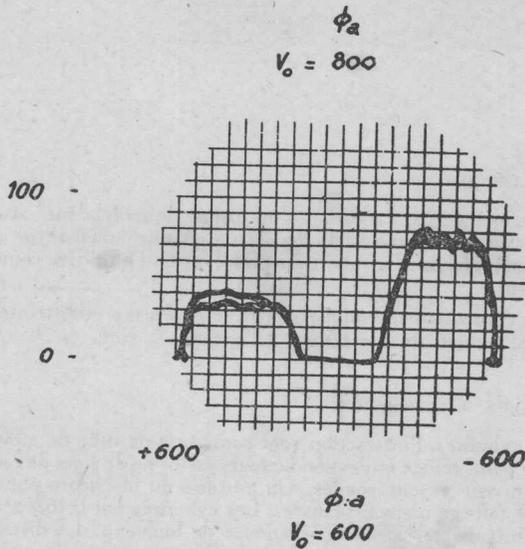


FIG. 2

designated Φ_a . The total voltage between cylinders is designated V_{FO} and is twice Φ_a . Note in particular (Fig. 2) that the focusing action is symmetrical, flat topped, and has critical voltages at which the percent transmission becomes zero. The symmetry of maximum transmission is adjustable by altering the beam entrance conditions. Fig. 3 shows a plot of critical focusing voltage versus beam voltage. The largest magnitude critical voltage is defined by

$$\Phi_a = V_0 \quad (1)$$

The lowest magnitude critical voltage is defined by a more complex theory discussed in the basic report [1]. Note the close agreement between theory and experiment. Also, note that there is a fixed ratio between beam voltage and focusing voltage to achieve optimum focusing.

The slow wave structure.

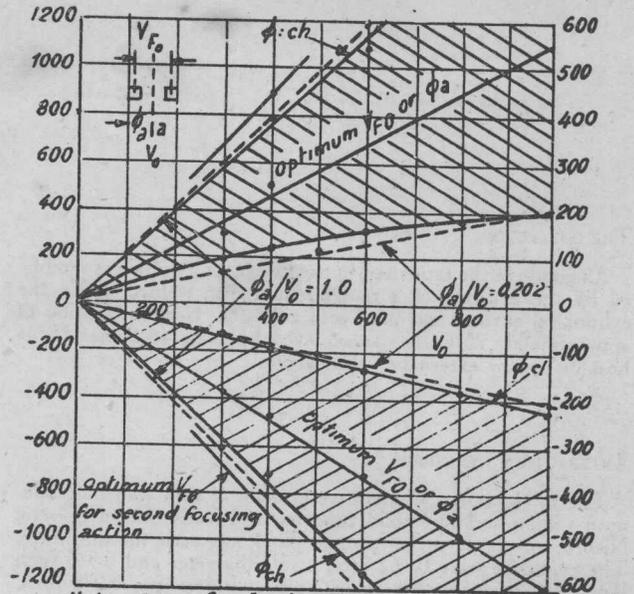
PHYSICAL DESCRIPTION.

The individual coils for the external part of the slow wave structure are connected in series, and with tube socket pressure contacts at each junction. The coil assembly can then be plugged onto the tube.

ESSAIS STATIQUES AVEC UNE FOCALISATION DE FAISCEAU MAGNETOSTATIQUE UNIFORME.

On a utilisé un électro-aimant pour focaliser le faisceau d'électrons. On a utilisé des champs magnétiques allant de 400 à 1100 gauss pour obtenir une transmission de faisceau de l'ordre de 90 % sur une gamme de courants de faisceau comprise entre 1 et 60 mA.

On a essayé une focalisation de faisceau électrostatique périodique et obtenu une transmission de 90 % pour des courants de faisceau de l'ordre de 1 mA. La figure 2 montre un oscillogramme du pourcentage de transmission de faisceau en fonction de la tension de focalisation entre les cylindres d'interaction pour une vitesse de faisceau correspondant à 600 volts. La tension de focalisation était en réalité une tension de 60 cycles par seconde entre cylindre superposée à la tension continue du faisceau. La tension de faisceau moyenne est donc la tension d'un point situé à mi-chemin entre les cylindres. La tension (3) entre



Note: Same for $I_0 = 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5$ and 10 mA

FIG. 3

ce point et un cylindre adjacent est désignée par Φ . La tension totale entre les cylindres est désignée par V_{FO} et vaut 2 fois Φ . Il faut observer en particulier (figure 2) que le processus de focalisation est symétrique, présente un palier plat et possède des tensions critiques pour lesquelles le pourcentage de transmission devient nul. La symétrie de la transmission maximum est réglable en modifiant les conditions d'entrée du faisceau. La figure 3 donne une courbe de tension de focalisation critique en fonction de la tension de faisceau. La plus grande valeur de la tension critique est définie par

La valeur la plus faible est définie par une théorie très complexe discutée dans le rapport fondamental (1). Nous devons observer l'accord étroit entre la théorie et l'expérience. Il faut noter également qu'il y a un rapport constant entre la tension de faisceau et la tension de focalisation pour obtenir la focalisation optimum.

La structure d'onde lente.

DESCRIPTION.

Les bobines individuelles de la partie extérieure de la structure d'onde lente sont reliées en série, et des contacts par pression sont réalisés à chaque jonction sur le culot du tube.

Fig. 4 shows the schematic circuit consisting of the external and internal parts of the slow wave structure. The individual electrical elements that comprise the circuit are noted in Fig. 4.

L'assemblage des bobines peut alors être mis en place dans le tube.

La figure 4 montre le circuit schématique comprenant les parties externe et interne de la structure d'onde lente. Les éléments

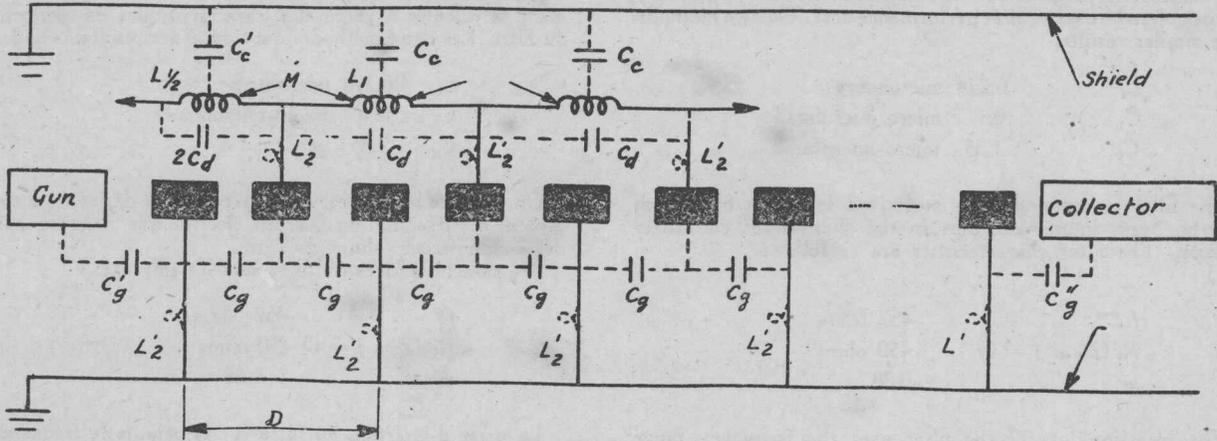


FIG. 4a

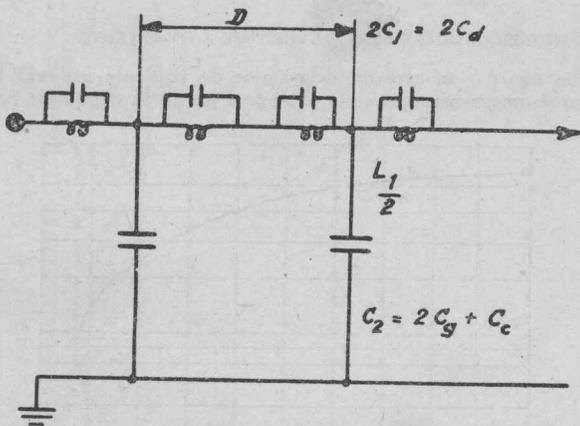


FIG. 4b

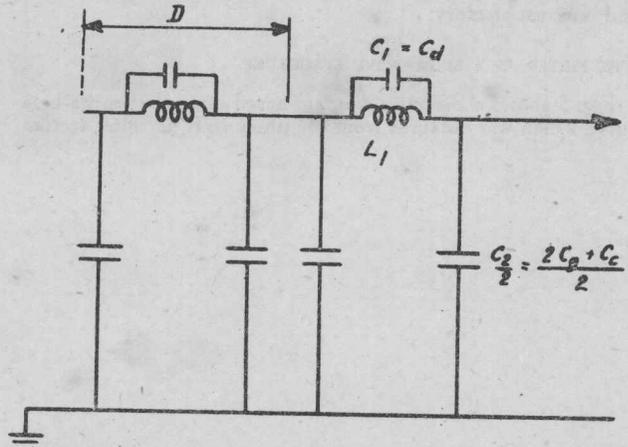


FIG. 4c

The inductance (L_1) and distributed capacitance (C_d) of each coil are critical controlling parameters along with the capacitance (C_g) between adjacent cylinders. In addition, the capacitance (C_c) of the coil to ground must be considered. The mutual inductance (M) between adjacent coils was found to be almost negligible and was reduced by staggering or right angle mounting of the coils in the external assembly. The inductance of the leads (L_2) was not negligible and had some noticeable effect on the filter performance. Either pi or tee filters can be obtained by use of appropriate end coils.

électriques individuels que comprend le circuit sont mentionnés sur la figure 4. L'inductance (L_1) et la capacité distribuée (C_d) de chaque bobine sont des paramètres de contrôle critiques ainsi que la capacité (C_g) entre les cylindres adjacents. De plus, la capacité (C_c) de la bobine par rapport à la masse doit être prise en considération. On a trouvé l'inductance mutuelle (M) entre les bobines adjacentes presque négligeable et on l'a réduite en décalant les bobines de l'assemblage externe ou en les montant à angle droit. L'inductance des conducteurs (L_2) n'est pas négligeable et a un effet perceptible sur les performances du filtre. On peut obtenir des filtres en π ou en T en utilisant des terminaisons de bobines adéquates.

ELECTRICAL FILTER CHARACTERISTICS.

The performance of the filter was experimentally determined by measuring the input impedance when the filter was terminated by an open or a short circuit. The characteristic impedance was determined from these measurements.

CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES DU FILTRE.

On a déterminé expérimentalement les performances du filtre en mesurant l'impédance d'entrée lorsque le filtre est terminé par un circuit ouvert ou court. On a obtenu l'impédance caractéristique à partir de ces mesures.

$$Z_0 = \sqrt{Z_{oc} Z_{sc}} \quad (2)$$

The phase shift per filter section was determined from a plot of frequency for short-circuit impedance versus the pole number and agreed with theory as calculated from the filter parameters.

The electrical parameters of the filter were measured separately and calculated from the filter performance data. The two methods gave similar results.

L_1	0.274 microhenry
C_1	0.1 micro-microfarad
C_2	1.35 micro-microfarad

The filter is seen to be a m -derived low pass filter with electron beam interaction gaps in the shunt filter condenser position. The filter characteristics are as follows:

f_c	457 Mc/s
$R_c (Z_o \text{ at } f = 0)$	450 ohms
m	0.88

The insertion loss of the filter over the frequency range 250 to 450 Mc/s was the order of 0.3 dB per filter section.

Broadband impedance matching of the filter to a 50 ohm line presented some difficulties. A tapered helix was ultimately used and was satisfactory.

THE FILTER AS A SLOW-WAVE STRUCTURE.

Fig. 5 shows a Brillouin diagram based upon the omega-beta curve which was obtained from the phase shift per filter section

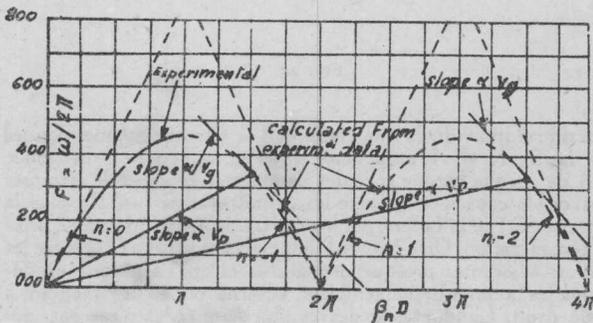


FIG. 5

On a déterminé le déphasage par section de filtre à partir d'une courbe de fréquence pour une impédance court-circuitée en fonction du nombre de pôles et on est tombé en accord avec la théorie comme si on l'avait calculé à partir des paramètres du filtre.

Les paramètres électriques du filtre ont été mesurés séparément et calculés à partir des caractéristiques de performance du filtre. Les deux méthodes ont donné des résultats similaires.

L_1	0,274 microhenry
C_1	0,1 micro-microfarad
C_2	1,35 " "

On voit que le filtre est un filtre passe-bas dérivé en m avec les espaces d'interaction du faisceau électronique dans la position des condensateurs shunt du filtre.

Les caractéristiques du filtre sont les suivantes :

f_c	457 Mc/s.
$R_c (Z_o \text{ à } f = 0)$	450 ohms
m	0,88

La perte d'insertion du filtre sur la gamme de fréquences de 250 à 450 Mc/s est de l'ordre de 0,3 dB par section de filtre. L'adaptation à large bande du filtre à une ligne de 50 ohms présente quelques difficultés. Ultérieurement on a utilisé une hélice conique et on a obtenu satisfaction.

LE FILTRE CONSIDÉRÉ COMME STRUCTURE A ONDE LENTE.

La figure 5 montre un diagramme de Brillouin utilisant la courbe oméga-béta qui a été obtenue à partir du déphasage par

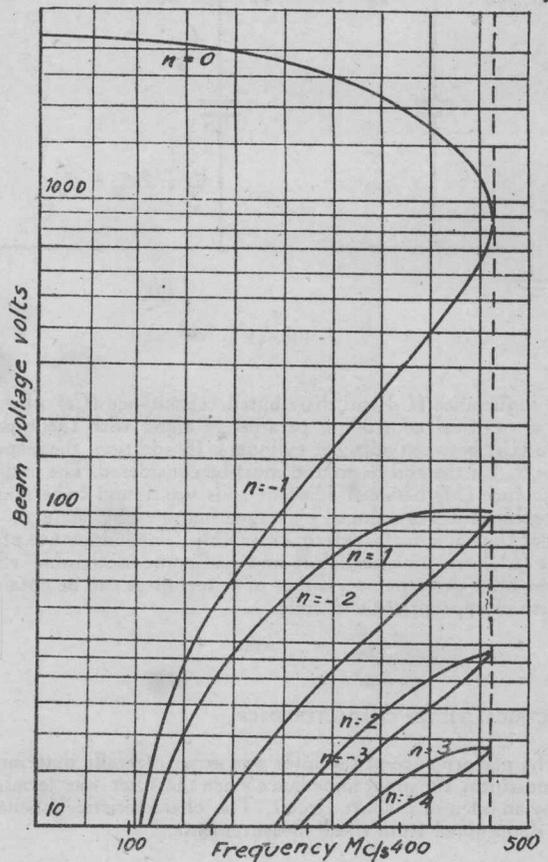


FIG. 6

versus frequency data of the filter cold test. The backward wave modes of TWT operation are evident by the negative slope of the line representing circuit wave group velocity.

Fig. 6 shows a theoretical tuning curve versus frequency for the fundamental ($n = 0$) and higher order modes of TWT operation. The curve is on semi-log paper in order to display adequately the higher order modes. It can be noted that beam voltages from 100 to 1 000 volts permit single frequency BWO operation from 250 to 457 Mc/s.

The interaction impedance (K) can be calculated and agrees with theory as will be shown later. The theory for this derivation is included in Reference 1. The interaction impedance is a function of the circuit characteristic impedance and increases from approximately $1/4$ or $1/8$ (depending upon the mode) of R_0 at zero frequency to infinity at the filter cut-off frequency.

Backward Wave Oscillator Operation.

BWO OPERATION.

Fig. 7 shows an oscillogram of BWO power output as a function of beam voltage. The oscillator frequency is noted on Fig. 7. This oscillogram was obtained using conventional d-c circuits with a 60 cps sweep voltage superimposed on the d-c beam voltage and uniform magnetic field beam focusing. Note that the upper oscillation frequency approximately agrees with the filter cold test cut-off frequency. The non-linear variations in power output as a function of frequency are the result of variations in impedance matching between the slow wave structure and the 50 ohm output cable. At very low beam voltage there is evidence of additional higher order mode oscillations which have been examined in detail [1].

TUNING CURVES.

Fig. 8 is an experimental tuning curve of beam voltage versus

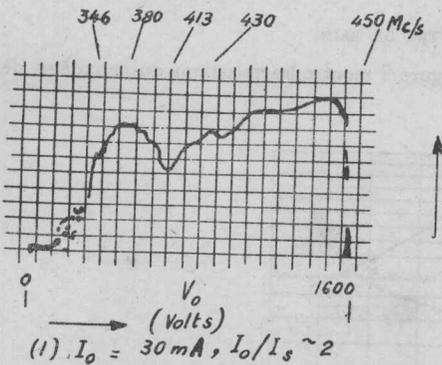


FIG. 7a

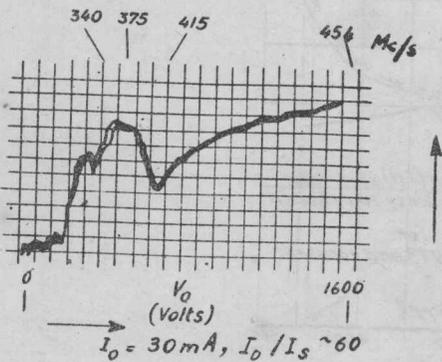


FIG. 7b

section of filter in fonction des caractéristiques de fréquence de l'essai à froid du filtre. Les modes de fonctionnement en TPO à onde inverse sont mis en évidence par la pente négative de la courbe représentant la vitesse de groupe de l'onde de circuit.

La figure 6 montre une courbe d'accord théorique en fonction de la fréquence pour les modes d'ordre fondamental ($n = 0$) et d'ordre élevé du fonctionnement en TPO. La courbe est tracée sur du papier semi-logarithmique pour donner convenablement les modes d'ordre élevé. On peut observer que les tensions de faisceau de 100 à 1 000 volts permettent un fonctionnement BWO à fréquence unique de 250 à 457 Mc/s.

On peut calculer l'impédance d'interaction (K) et constater qu'on est en accord avec la théorie comme on le montrera plus loin. La théorie de ce calcul est comprise dans la référence 1. L'impédance d'interaction est une fonction de l'impédance caractéristique du circuit et augmente d'environ $1/4$ ou $1/8$ de R_0 (selon le mode) à la fréquence 0 à l'infini à la fréquence de coupure du filtre.

Fonctionnement de l'oscillateur à onde inverse.

FONCTIONNEMENT BWO.

La figure 7 montre un oscillogramme de la puissance de sortie BWO en fonction de la tension de faisceau. On peut observer la fréquence de l'oscillateur sur la figure 7. Cet oscillogramme a été obtenu en utilisant des circuits en courant continu conventionnels avec une tension en dents de scie de 60 cycles par seconde superposée à la tension continue du faisceau et un champ magnétique uniforme pour focaliser le faisceau. Il faut observer que la fréquence d'oscillation supérieure est à peu près en accord avec l'essai à froid du filtre à la fréquence de coupure. Les variations non-linéaires de la puissance de sortie en fonction de la fréquence sont dues aux variations de l'adaptation d'impédance entre la structure d'onde lente et le câble de sortie de 50 ohms. Avec une tension de faisceau très faible il y a manifestement un mode additionnel d'oscillations d'un ordre plus élevé qu'on a examiné en détail [1].

COURBE DE RÉSONANCE.

La figure 8 est une courbe de résonance expérimentale de la

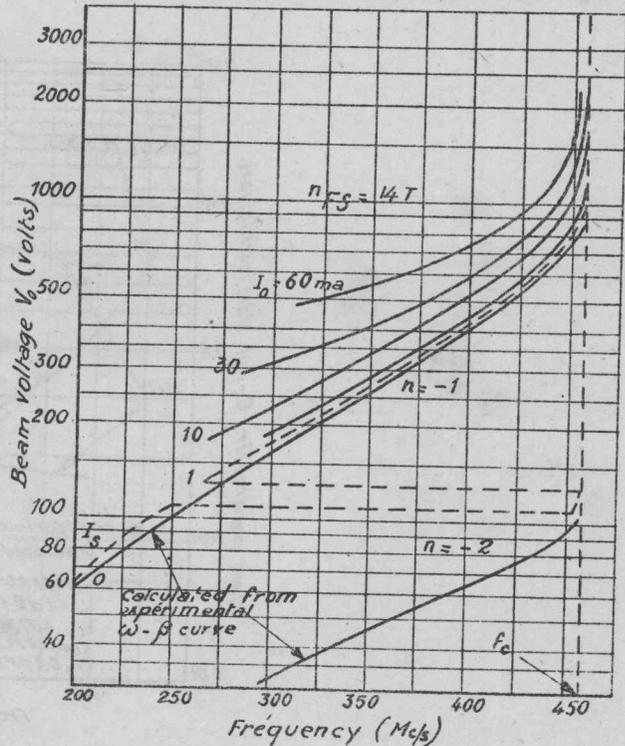


FIG. 8

frequency for constant magnitude of beam current. There is close agreement between the low beam current (approximately 1 ma for start oscillation) curve and the theoretical curve based upon cold tests of the filter. A small higher order mode interference is shown. This interference is the result of a higher order mode having a larger gain parameter (c) than the lower order mode [1].

FREQUENCY PUSHING.

The amount of frequency pushing is also evident from Fig. 8. A detailed experimental study of this effect [1] indicates that the amount of pushing for a fixed beam current is independent of the length of the slow wave structure or the beam current relative to start oscillation current. The beam voltage as a function of beam current for constant frequency operation can be accurately determined theoretically [1] but the relation between frequency and beam current for constant voltage is not as easily derived. An empirical relation was obtained from the experimental data.

$$\frac{f_0 - f}{f_0} = \frac{106}{V_0^{5/4}} (1 - I_0^{1/3}) \text{ percent} \quad (3)$$

where f_0 is the frequency at zero beam current and the other notation is standard (volts and milliamperes). In all cases, the frequency decreased with increased beam current.

START OSCILLATION CURRENT.

Extensive data of start oscillation current (I_s) versus frequency and circuit length was obtained and agreed with theory. For example, I_s was found to be proportional to the inverse cube of the number of filter sections.

GAIN PARAMETER.

Fig. 9 shows the variations of the gain parameter C versus

tension de faisceau en fonction de la fréquence pour une valeur constante du courant de faisceau. Il y a une relation étroite entre la courbe du courant de faisceau faible (approximativement 1 mA pour l'oscillation d'amorçage) et la courbe théorique tracée à l'aide des essais à froid du filtre. On constate un petit mode d'interférence d'ordre élevé. Cette interférence est le résultat d'un mode d'ordre élevé ayant un paramètre de gain (C) plus grand que le mode d'ordre inférieur [1].

« PUSHING » DE FRÉQUENCE.

La valeur du « pushing » de fréquence apparaît aussi sur la figure 8. Une étude expérimentale détaillée de cet effet indique que le taux de « pushing » pour un courant de faisceau fixé est indépendant de la longueur de la structure d'onde lente ainsi que du courant de faisceau nécessaire pour faire démarrer le courant d'oscillation. La tension de faisceau en fonction du courant de faisceau pour un fonctionnement de fréquence constante peut être déterminée théoriquement avec précision, mais le rapport entre la fréquence et le courant de faisceau pour une tension constante n'est pas obtenu aussi aisément. On a obtenu une relation empirique avec les caractéristiques expérimentales

$$\frac{f_0 - f}{f_0} = \frac{106}{V_0^{5/4}} (1 - I_0^{1/3}) \text{ pour cent} \quad (3)$$

où f_0 est la fréquence pour un courant de faisceau nul ; et les autres notations sont classiques (volts et milliampères). Dans tous les cas, la fréquence décroît en même temps que le courant de faisceau augmente.

COURANT DE L'OSCILLATION D'AMORÇAGE.

On a obtenu des renseignements détaillés sur le courant de l'oscillation d'amorçage (I_s) en fonction de la fréquence et de la longueur du circuit et on les a trouvés en accord avec la théorie. Par exemple, on a trouvé qu' I_s était proportionnel au cube inverse du nombre de sections de filtre.

PARAMÈTRE DE GAIN.

La figure 9 montre les variations du paramètre de gain C en

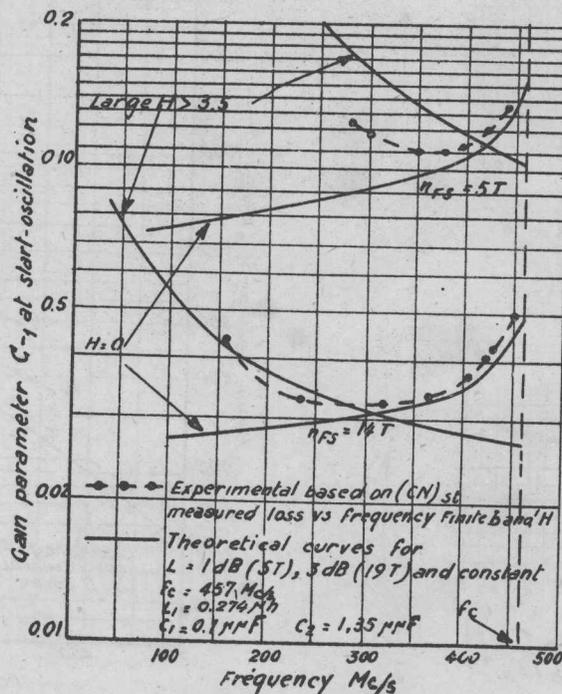


Fig. 9