

50376
1961
80



50376
1961
80

U N I V E R S I T E D E L I L L E

Faculté des Sciences - Institut de Physique

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES

DIVISEUR DE FREQUENCE A REACTION

Jury : Président : M. PEREZ

Examineurs : M. WERTHEIMER
M. BECART

Présenté à Lille, en Juin 1961

par Jean M E S S E L Y N

Ce travail a été effectué au Laboratoire de Spectroscopie Hertzienne de l'Institut de Physique de Lille sous la direction de Monsieur WERTHEIMER , Maître de conférences, à qui je tiens à exprimer mes sentiments de vive gratitude.

Je tiens à remercier également le Personnel Technique du Laboratoire et en particulier Monsieur ROSSEELS dont les conseils m'ont été précieux.

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE I -

- Mesure de la fréquence d'un oscillateur 5 MHz .

Chapitre II -

Principes des diviseurs de fréquence :

- diviseurs à multivibrateurs synchronisés
- diviseurs à réaction

Chapitre III

Réalisation du diviseur de fréquence :

- choix des tubes
- réalisation des circuits oscillants de plaque
- montage de la chaîne de division
- alimentation et chauffage des tubes
- mise au point définitive.

CHAPITRE I

MESURE DE LA FREQUENCE D'UN OSCILLATEUR 5 MHz.

Le laboratoire de Spectroscopie Hertzienne de l'Institut de Physique dispose, pour ses mesures de fréquences, d'un oscillateur étalon 5 MHz piloté par quartz, et d'une chaîne de multiplication pouvant fournir des fréquences étalons atteignant le domaine des hyperfréquences. Il importe de pouvoir mesurer avec précision la fréquence de l'oscillateur local, c'est dans ce but que nous avons réalisé un diviseur de fréquence qui nous donne finalement du 10 kHz servant à notre mesure de fréquence d'après le principe suivant.

PRINCIPE DES MESURES.

On réalise tout d'abord dans un récepteur un battement entre l'oscillateur local et l'émission de fréquence étalon 5 MHz de M.S.F.

On dispose d'un générateur basse-fréquence (DES de J.BELLET) donnant à la sortie deux tensions en quadrature que l'on applique aux plaques de déviation d'un oscillographe cathodique (fig.1) On obtient donc un cercle sur l'écran et en envoyant le battement sur le wehnelt, une partie du cercle sera illuminée et sera fixe si, f et F_e étant les fréquences du générateur BF et de l'étalon de fréquence, on a :

$$f = | F_e - 5 \cdot 10^6 | \text{ Hz}$$

PRECISION SUR F.

Nous avons F_e à 10^{-7} près, soit à 0,5 Hz ; prenons $f = 500$ Hz (en réalité les gammes de fréquences du générateur BF avoisinent 300 Hz) ; nous avons donc :

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta F_e}{f} \approx 10^{-3}$$

C'est dans le but de mesurer f avec toute la précision souhaitée que l'on utilise le dispositif suivant (fig.1) :

la tension de sortie de fréquence f du générateur BF est acheminée vers un compteur d'un type particulier ; en effet ce compteur divise f par 100 (à l'aide de deux divisions par 10 successives) ce qui donne des impulsions, séparées par un intervalle de temps égal à 100 fois la période du générateur BF, destinées à actionner les décades du compteur qui est alimenté par ailleurs à l'aide du 10 kHz résultant de la division par 500

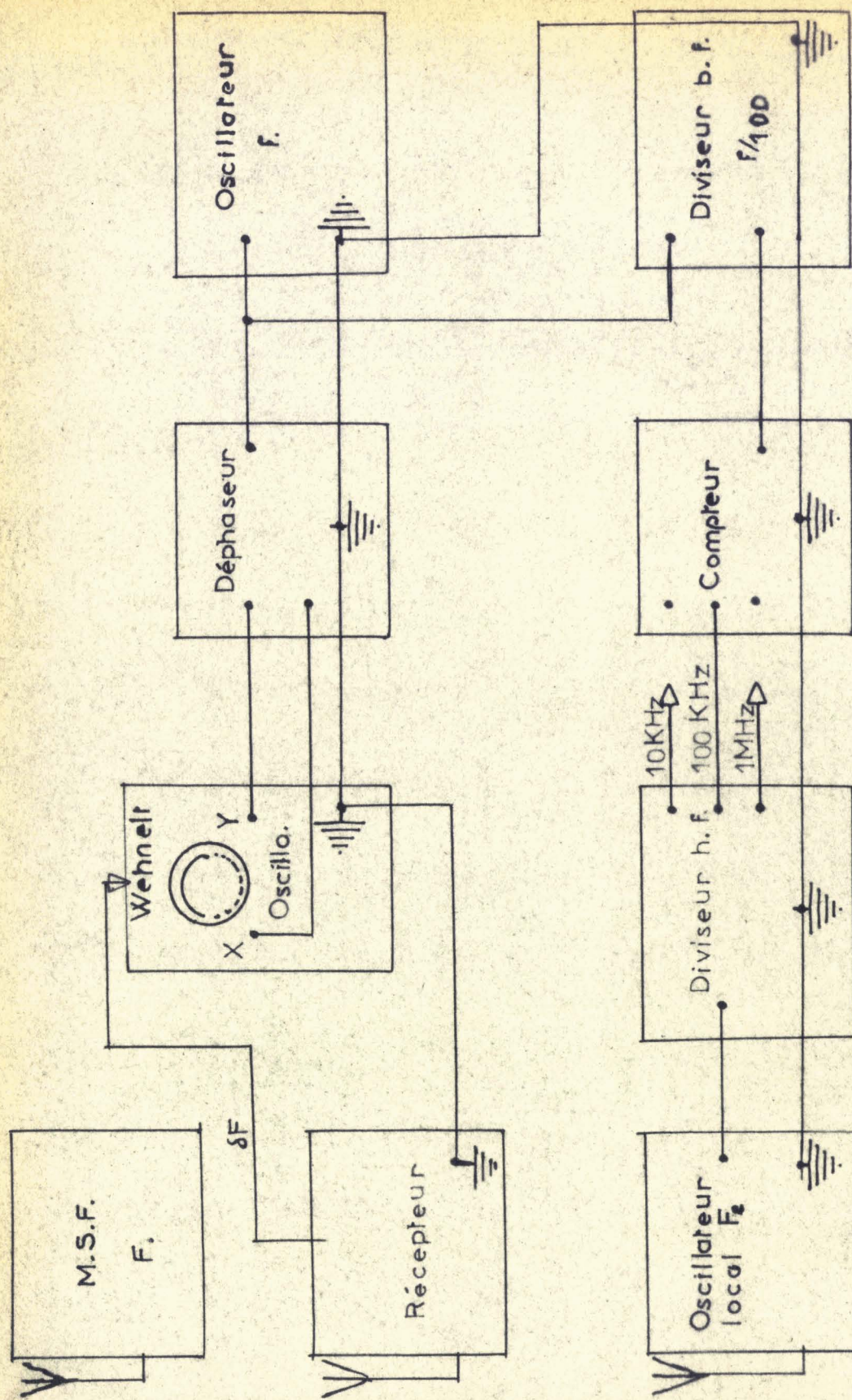


FIG. 1 Principe de la mesure

de la fréquence de l'étalon local.

Le compteur comporte 4 décades, en comptant pendant $\frac{1}{5}$ s on obtiendra $\frac{10.000}{5} = 2000 \pm 1$ coups (le terme ± 1 faisant intervenir une erreur systématique due au compteur, car celui-ci peut suivant le cas compter ou non les impulsions terminales). Nous obtenons donc une mesure à 10^{-3} près ; pour augmenter la précision nous pourrions utiliser le 100 kHz du diviseur . Toutefois, il convient de remarquer que les mesures expérimentales des fréquences d'absorption se faisant à 10^{-6} près, il n'est pas nécessaire de déterminer la fréquence F_e de l'étalon local avec une précision dépassant 10^{-7} .

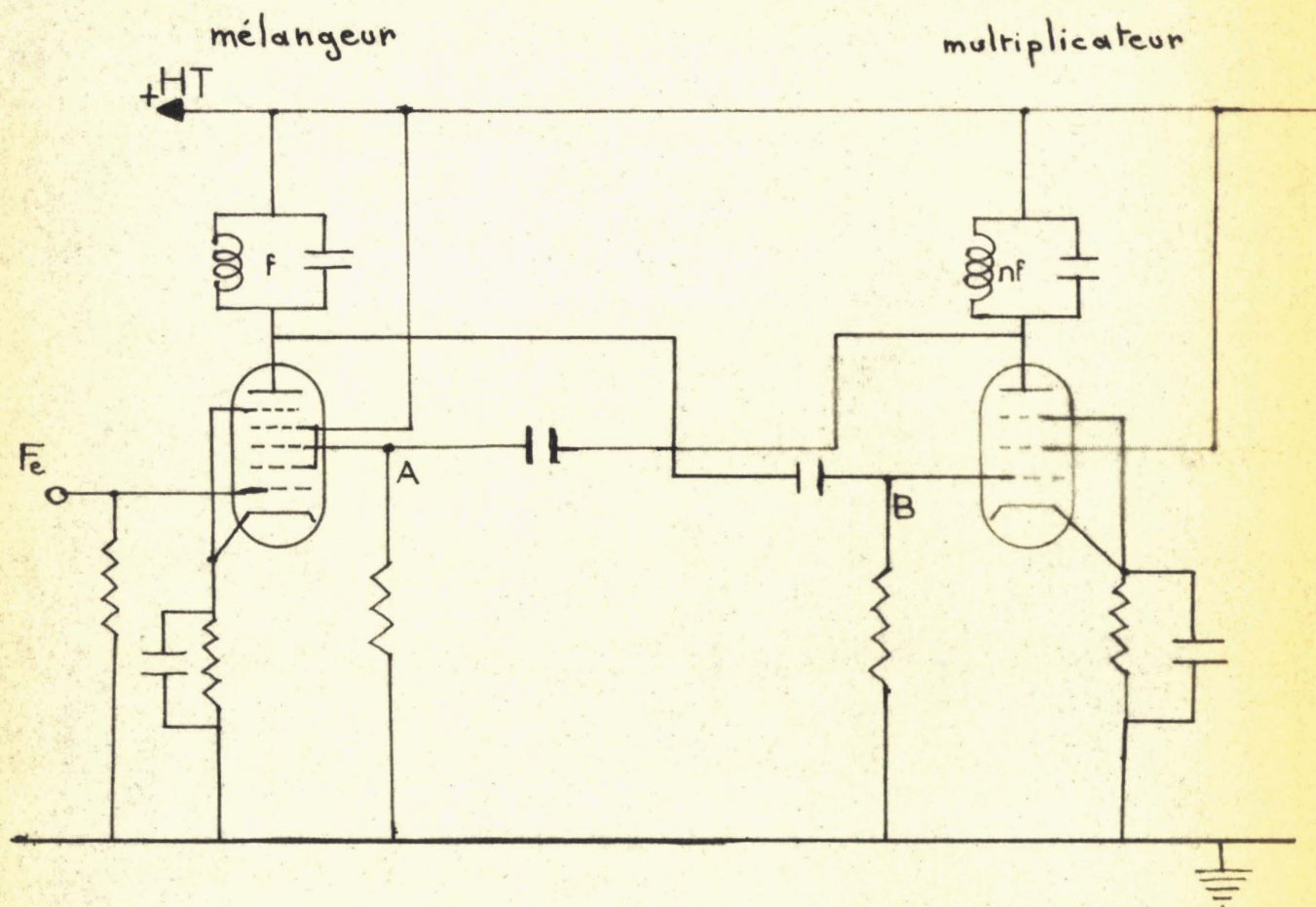


Fig.2 Schéma de principe d'un étage diviseur de fréquence à réaction.

CHAPITRE II

PRINCIPES DES DIVISEURS DE FREQUENCE

1) Diviseurs à multivibrateurs synchronisés.

Ces diviseurs sont d'un type courant ; nous ne les décrirons pas puisque nous ne les avons pas utilisés, et ceci pour la raison suivante : si l'oscillateur pilote se met en panne, le diviseur se comporte alors comme un oscillateur ce qui fait que l'on ne se trouve plus sur la fréquence étalon et que l'on risque de ne pas s'en apercevoir.

C'est pour pallier à cet inconvénient que nous avons utilisé le diviseur à réaction .

2) Diviseurs à réaction.

a) Principes généraux.

On utilise le schéma de base indiqué sur la figure 2.

Le premier tube est utilisé en mélangeur et le second est fortement polarisé de façon à pouvoir fonctionner en multiplicateur.

Les circuits oscillants de plaque sont accordés sur des fréquences f et nf respectivement et doivent posséder un coefficient de qualité assez élevé.

Supposons qu'il existe une tension de fréquence nf en A, en injectant la fréquence F_e de l'étalon local sur la première grille de commande de la convertisseuse, il se produit un battement de fréquence $(F_e - nf)$ à la sortie . On s'arrange pour que $F_e - nf = f$. En injectant ce battement en B sur la grille de commande du tube multiplicateur, nous n'obtenons à la sortie de ce dernier que des fréquences du type kf (k entier = 1, 2, ..., n , ...) ; on sélectionne alors l'harmonique d'ordre n à l'aide d'un circuit oscillant accordé dans le circuit plaque . Il faut donc accorder le circuit oscillant de plaque de la convertisseuse sur la fréquence du battement, donc il faut que :

$$F_e - nf = f \quad \text{donc à la sortie de l'étage la fréquence}$$

$$f \text{ est telle que } f = \frac{F_e}{n + 1}$$

b) Application à l'étalon 5 MHz.

Comme nous désirions obtenir du 10 kHz en fin de division, nous avons réalisé 3 étages diviseurs :

- Etage 1 MHz :

En divisant par 5 la fréquence F_e de l'oscillateur local nous obtenons 1 MHz (environ) ce qui nous fait prendre $n = 4$, donc les circuits de plaque seront accordés sur 1 MHz et 4 MHz. Nous obtenons ainsi une bonne sélection de l'harmonique 4 du 1 MHz relativement au 5 MHz (Alors que nous aurions des difficultés en divisant par 10 du fait de la présence de fréquences du genre 4 MHz - 4,5 MHz - 5 MHz, qu'il serait plus difficile de sélectionner : à ces fréquences le coefficient de qualité d'un C.O. n'est pas très élevé.)

- Etage 100 kHz :

Nous divisons la fréquence précédente par 10, donc il faut prendre $n = 9$ et cette fois les fréquences d'accord des circuits de plaque seront 100 kHz et 900 kHz.

- Etage 10 kHz :

C'est encore un diviseur par 10 du type précédent, les fréquences d'accord sont cette fois 90 kHz et 10 kHz.

CHAPITRE III

REALISATION DU DIVISEUR DE FREQUENCE .

1) Choix des tubes .

Nous avons choisi des tubes classiques, utilisés couramment dans les montages radio ; il a fallu les adapter au fonctionnement particulier que nous en attendions .

La mélangeuse est une heptode 6 BE 6 polarisée normalement afin de fonctionner en changeuse de fréquence . Toutefois il s'agissait dans notre cas d'un changement de fréquence avec oscillateur séparé et le meilleur comportement du tube a été obtenu en injectant sur la première grille de commande le signal de plus faible amplitude ; dans notre cas, il s'agissait : soit de la fréquence étalon, soit d'une des fréquences résultant de sa division (suivant l'étage considéré) .

Le tube fonctionnant en multiplicateur est une pentode 6AU6 fortement polarisée afin de permettre un générateur d'harmoniques de la fréquence d'entrée par un fonctionnement en classe C.

La sortie de chaque étage est faite sur une charge cathodique et nous avons utilisé pour cela des doubles triodes 12 AT7 .

2) Réalisation des circuits oscillants de plaque.

Il nous fallait des C.O. dotés d'un bon coefficient de qualité ($Q > 150$) avec toutefois une résistance équivalente à la résonance de l'ordre de 100 k Ω afin d'éliminer les risques d'accrochage dus à un niveau trop élevé de la tension.

- C O à 4 MHz .

Nous avons utilisé du fil de cuivre émaillé 14/10 ; en bobinant 37 tours sur un mandrin fileté en leucoflex nous avons obtenu $Q = 240$ et 91 pF pour la capacité d'accord à la résonance .

Il faut remarquer que l'on n'a pas intérêt à trop diminuer la capacité d'accord (par augmentation de la self donc du nombre de tours de fil) , car elle tend à devenir de l'ordre de la capacité répartie du bobinage et cette dernière étant sujette à de nombreuses fluctuations, il est difficile de réaliser un accord stable. (surtout en haute fréquence)

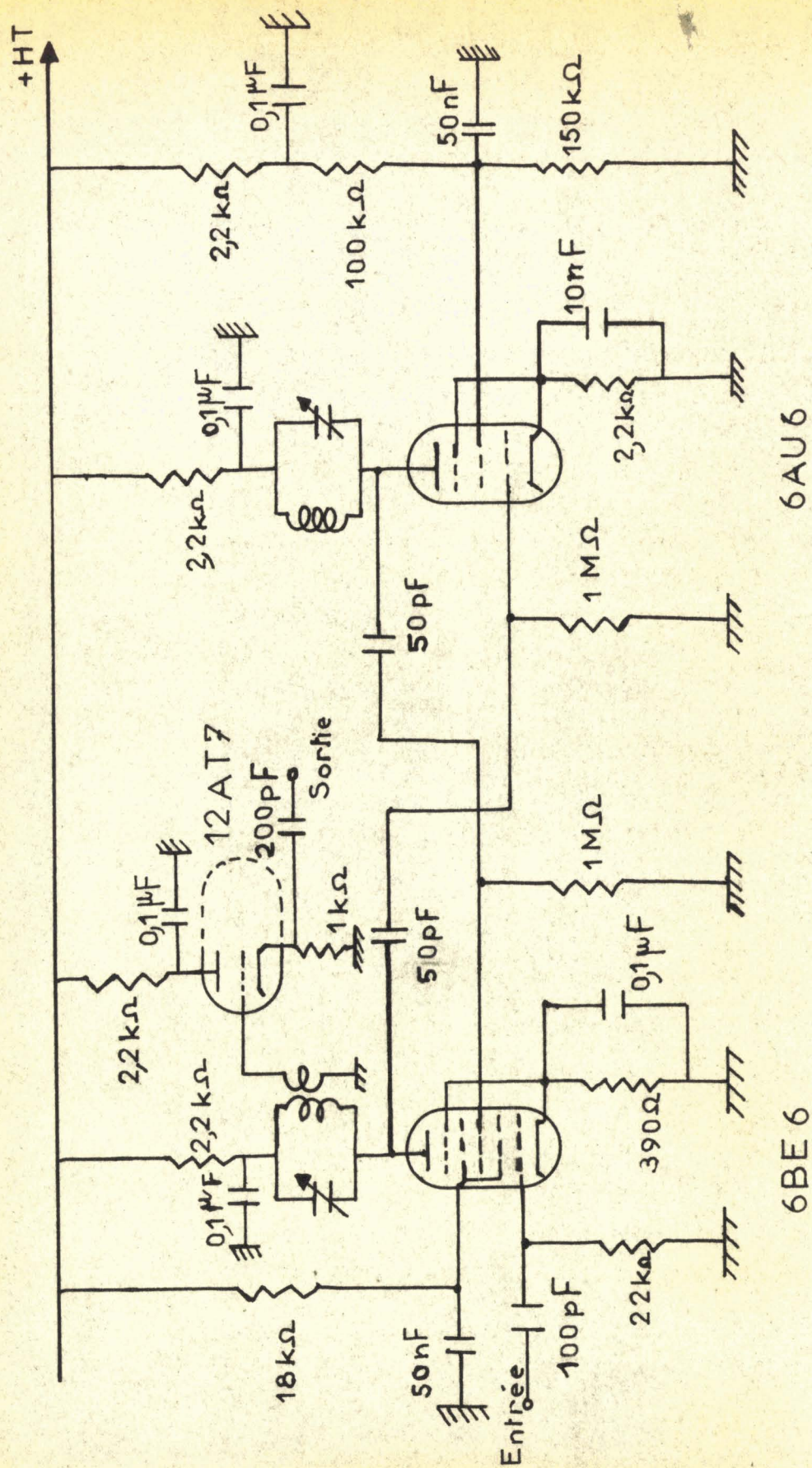


Fig.3

Etage diviseur 5 MHz/4 MHz

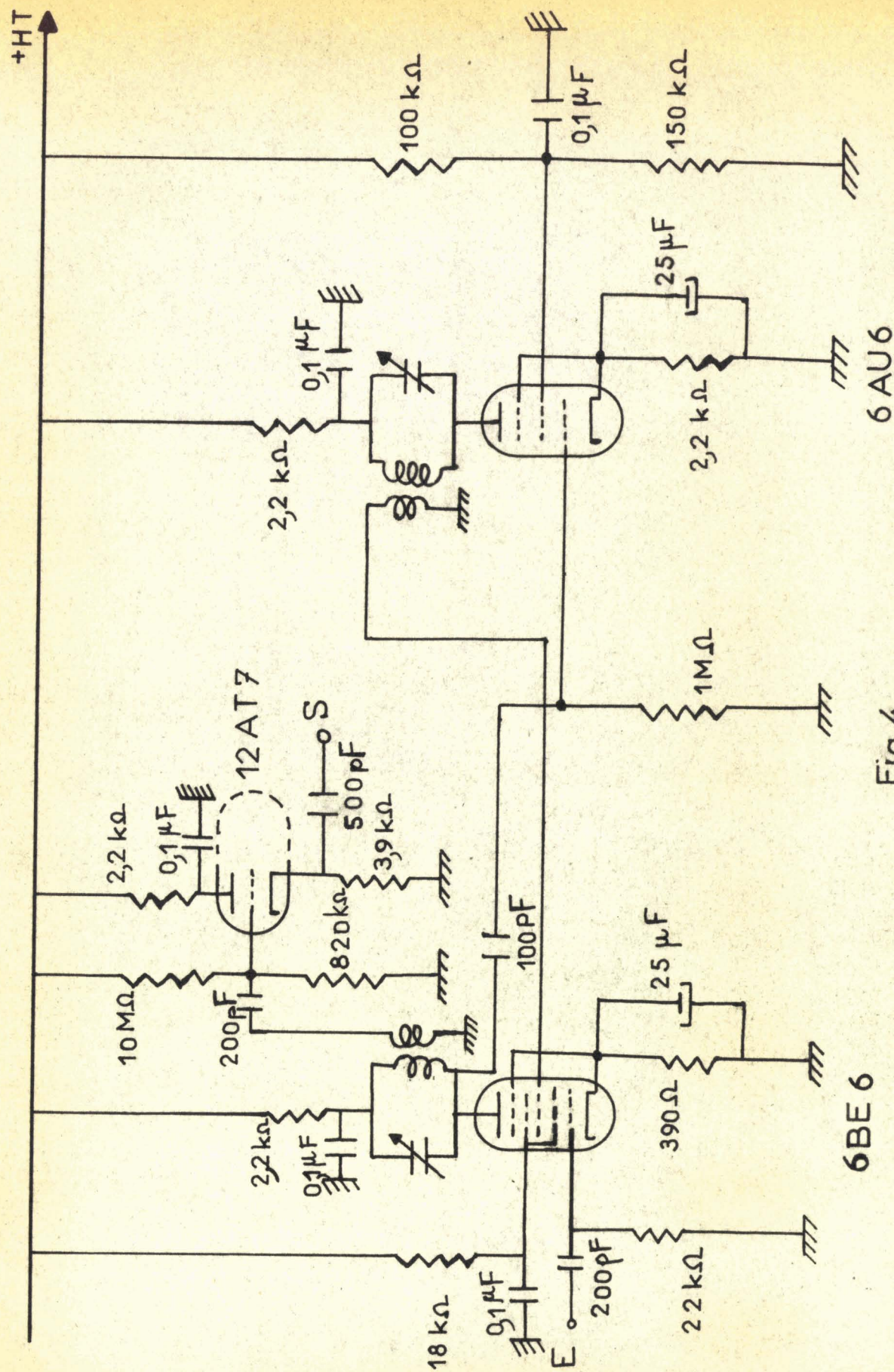


Fig. 4

Etage diviseur 1 MHz / 100 kHz

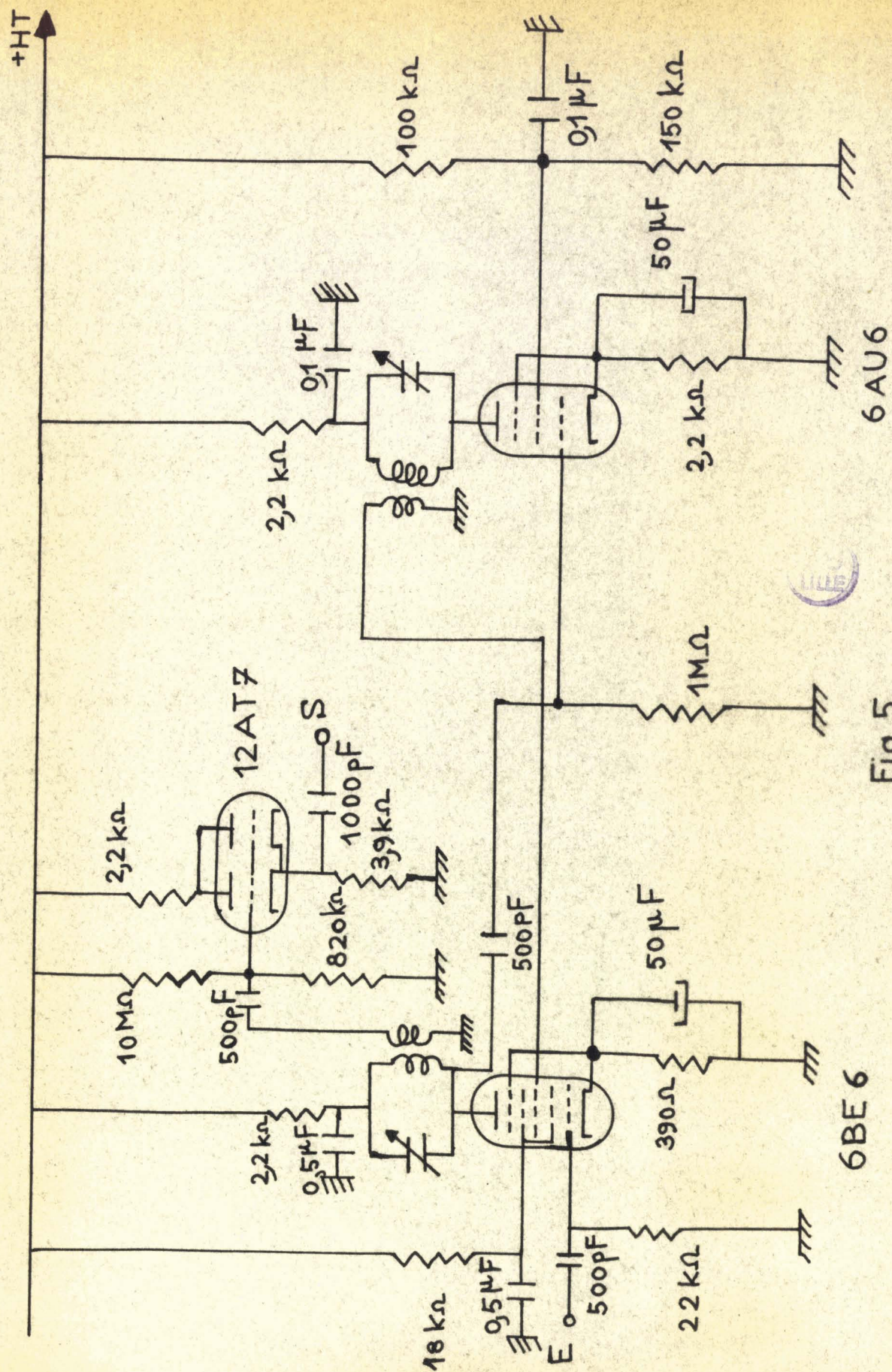


Fig. 5

Etage diviseur 100 kHz / 10 kHz

- C 0 à 1 MHz et 900 kHz.

Nous avons utilisé cette fois du fil divisé de Litz bobiné en nid d'abeille sur un mandrin du type métex ; ce dernier nous permet en effet d'introduire un noyau : ce qui facilite l'accord tout en donnant un coefficient de qualité notable (de l'ordre de 200).

- C 0 à 100 kHz - 90 kHz - 10 kHz

Nous les avons réalisés en pots fermés ferroxcube (type 3B) . Nous avons utilisé encore du fil divisé sauf pour le dernier C 0 où nous avons bobiné en spires jointives environ 400 tours de cuivre émaillé .

Nous avons adjoint à chaque bobinage (exception faite pour le premier C 0 à 4 MHz) un enroulement secondaire permettant les liaisons : multiplicateur-mélangeuse ou mélangeuse-charge cathodique suivant le cas. En effet ce mode de couplage entre tubes étant moins serré que dans le cas d'une liaison par capacité, il élimine des causes d'accrochage supplémentaires. De plus, en inversant les connexions de l'enroulement secondaire nous pouvions faire varier les conditions de phase des signaux appliqués aux entrées des différents tubes. Ces secondaires abaisseurs permettent de brancher des appareils de mesure en diminuant les perturbations : ce qui est très commode pour la mise au point.

3) Montage de la chaîne de division.

Nous avons reproduit les schémas des différents étages aux figures 3,4 et 5 ci-après .

Afin de pouvoir accorder les circuits oscillants de plaque sur leurs fréquences de résonance respectives, nous avons mis en parallèle une capacité variable Philips (60 pF) avec une capacité fixe de façon à pouvoir faire varier la capacité du bouchon autour de la valeur donnée par une mesure au Q-mètre.

La sortie du premier étage se fait sur une charge cathodique classique ; par contre, pour les deux autres étages, nous avons été obligés de polariser la grille de la 12AT7 à + 20 V afin d'obtenir un signal de sortie non déformé . En effet, nous avons utilisé des bobinages en pots fermés donnant des coefficients de qualité de l'ordre de 400 ; les tensions de sortie des deux derniers étages sont donc assez élevées

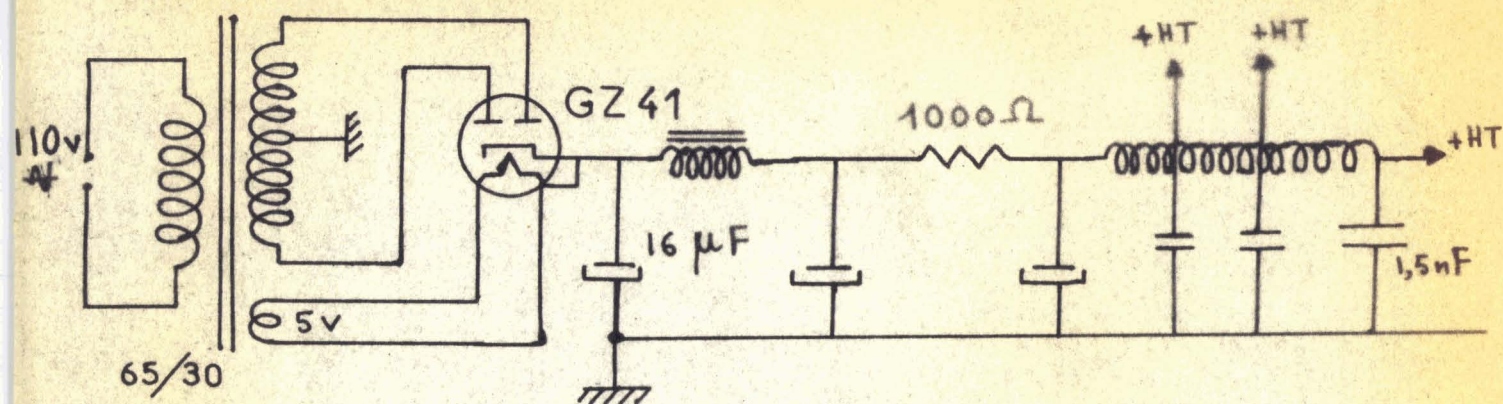


Fig. 6

Alimentation HT

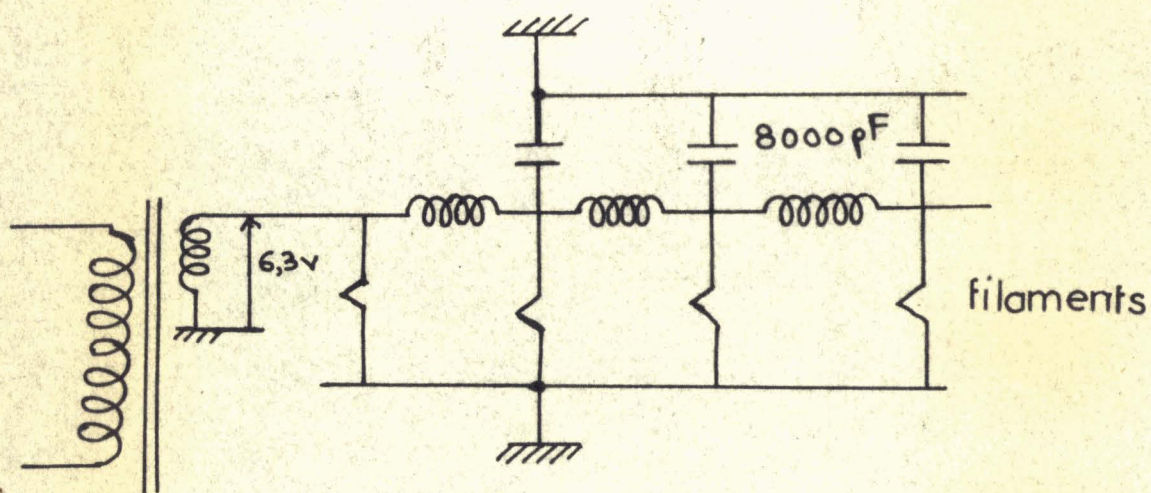


Fig. 7

Chauffage des tubes

(de l'ordre de 10 V) et en utilisant la triode de sortie comme nous l'avions fait pour le premier étage nous obtenions un signal sinusoïdal écrété vers le bas. Nous avons alors relevé le point de fonctionnement de la triode en portant sa grille à + 20 V (pont diviseur : 10 M Ω - 820 k Ω sur la H.T.) et nous avons augmenté la valeur de la résistance de cathode (3,9 k Ω).

4) Alimentation et chauffage des tubes.

Lors des essais de mise au point effectués sur la maquette nous avons pu constater que des accrochages H.F. étaient dus à un découplage insuffisant des H.T. entre étages successifs.

La haute tension alternative fournie par le transformateur (Tesa 65/30) est redressée par une valve biplaque GZ41 puis filtrée par une cellule en pont comportant une self à fer et deux condensateurs de 16 μ F ; la H.T. continue ainsi obtenue est amenée à environ 250 V au moyen de la chute de tension produite dans une résistance de 1000 Ω placée en série. Au lieu d'alimenter les divers étages à l'aide d'une simple ligne, nous avons bobiné ce fil sur un mandrin d'Ébonite afin de constituer une bobine d'arrêt pour la haute fréquence (fig.6). On découple alors par des condensateurs de 1500 pF entre les prises H.T. et la masse : ceci nous donne un filtrage supplémentaire de la H.T. entre les divers étages.

De même, nous avons pu constater que des accrochages étaient dus à la H.F. transportée par le courant de chauffage des filaments des tubes. Afin d'éviter ces couplages entre différents étages par l'intermédiaire de l'alimentation des filaments, nous avons relié ces derniers entre eux par l'intermédiaire de fils bobinés avec des découplages par capacité entre filament et masse à chaque étage (fig.7).

5) Mise au point définitive.

Lors de la mise au point du montage définitif du diviseur de fréquence, nous avons réglé les circuits résonants de plaque sur les fréquences désirées. Pour ce faire, nous avons injecté à l'aide de générateurs H.F. une tension alternative de fréquence choisie sur la grille de commande du tube et réglé la capacité du bouchon afin d'obtenir le maximum de tension de sortie (repérage à l'oscillographe cathodique ou au voltmètre électronique). Nous avons effectué ces réglages pour chaque tube fonctionnant individuellement.

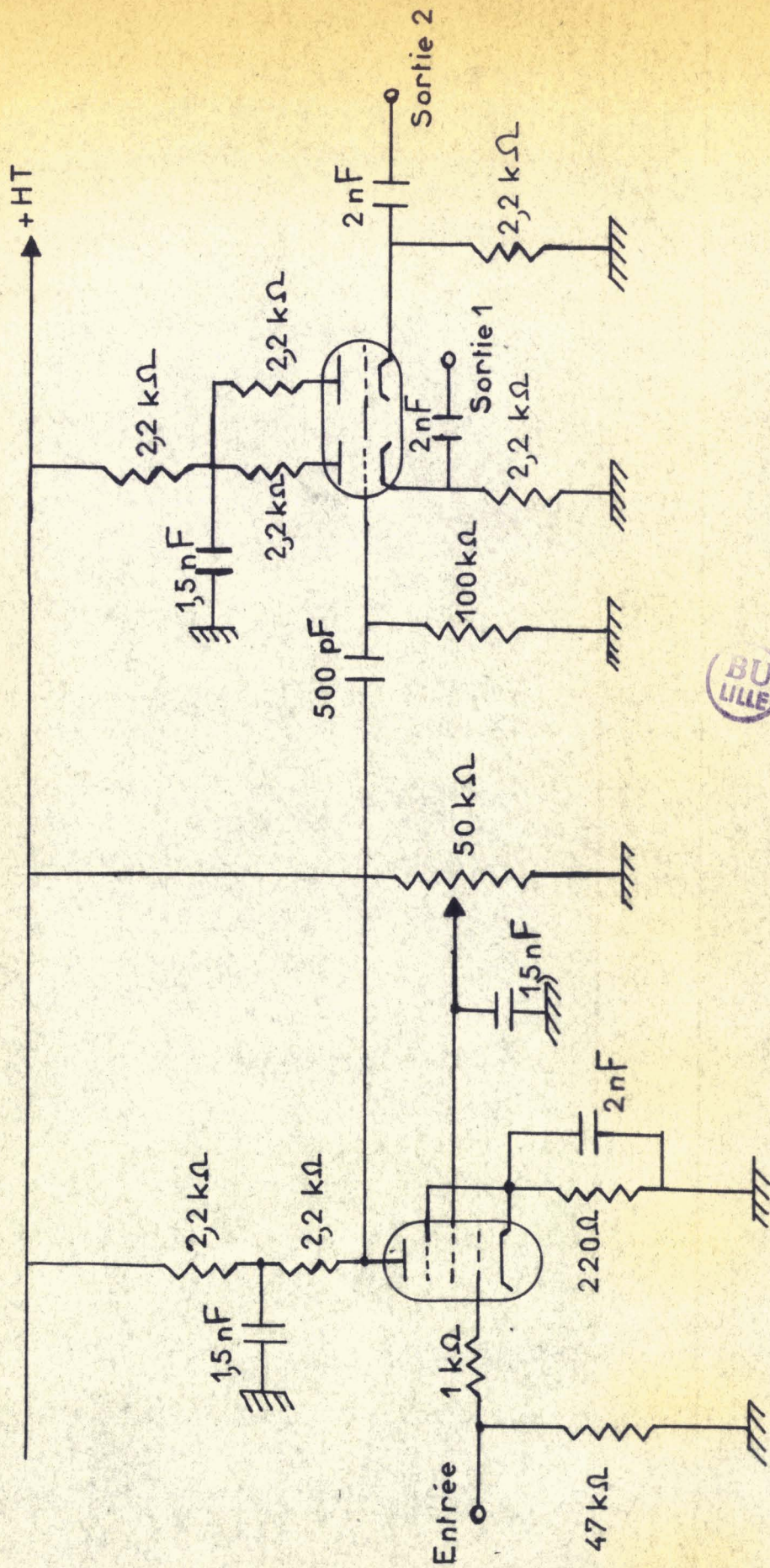


Fig. 8

Schéma de l'amplificateur à résistances

Ensuite, en connectant à l'entrée l'oscillateur étalon (dont la fréquence n'est pas tout à fait égale à 5 MHz), nous avons été amenés à retoucher un peu les différents accords afin d'obtenir des signaux de sortie d'amplitude maximum.

Nous avons pu effectuer ainsi un contrôle rapide de la fréquence de l'oscillateur à l'aide d'un compteur électronique Rochar, et le résultat obtenu en utilisant le 100kHz fut une fréquence de 4.999.720 Hz ; soit 280 Hz au-dessous de 5 MHz.

- Amplificateur 5 MHz .

Il faut aussi signaler que pour vérifier l'absence d'accrochages au cours du fonctionnement, il est nécessaire de pouvoir faire varier la tension du signal d'entrée.

Comme l'oscillateur pilote nous donne une sortie fixe (tension : 0,4 V environ), nous avons été conduits à construire un amplificateur à gain variable (fig.8) .

Le gain demandé étant faible (seules ses variations nous intéressent) nous avons réalisé un amplificateur à résistances à l'aide d'une pentode 6AU6 . Le réglage du gain s'effectue en faisant varier la tension écran du tube . Les sorties s'effectuent sur charges cathodiques utilisant une double triode 12AT7.



-11-

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

- Carol G. MONTGOMERY . Technique des mesures en micro-ondes.
Edition française . Chiron .Paris
- Regenerative frequency dividers ; G B WELLGATE, L J BATES, A.M ALLEN.
Royal Greenwich Observatory 23 Fév. 53.
- P. GRIVET - Physique des Circuits - Cours d'électronique générale
(Masson)
- F.E. Terman - Radio Engineering Handbook (Mc Graw Hill)