

Tubes cathodiques pour oscillographie jusqu'à 1 GHz

MESURE

L'onde électrique
 1976, vol. 56, n° 5
 pp. 247-255



par A. ALBERTIN,

Ingénieur Arts et Métiers et Institut Polytechnique de Grenoble, Section Radio-Électricité, Ingénieur d'Étude et Développement à la Division Tubes Electroniques Thomson-CSF.

Thomson-CSF, Division Tubes Électroniques, 38, rue Vauthier, 92100 Boulogne-Billancourt.

L'étude des phénomènes rapides récurrents ou non à l'oscillographe, a connu ces dernières années des développements importants. Les oscillographes à échantillonnage ou à enregistrement direct classiques cèdent

progressivement la place à des appareils équipés de tubes cathodiques spéciaux offrant à l'utilisateur une surface utile plus importante et de meilleures performances.

1. INTRODUCTION

Le développement des oscillographes « haut de gamme » destinés à l'observation et à la mesure de phénomènes rapides conduit à concevoir des tubes cathodiques présentant simultanément une grande sensibilité de déviation et une bande passante très élevée.

En fait, le temps de montée est une caractéristique plus importante que la bande passante qui ne rend pas compte des dispersions de phase. Dans les tubes cathodiques avec déviateur vertical à ligne à retard, réalisé sous forme d'hélice ou de ligne plate à méandres, le temps de montée rencontre des limitations par suite des couplages entre spires avant celles de la bande passante.

Ainsi, la relation :

$$\Delta F \cdot \tau = 0,35 \quad (1)$$

exprimant le produit de la bande passante par le temps de montée intrinsèque n'est généralement pas exacte pour les tubes à ligne à retard. On pourra néanmoins l'utiliser pour exprimer sous forme de bande passante équivalente le temps de montée intrinsèque.

Lorsqu'il s'agit essentiellement de mesurer des phénomènes rapides uniques dans le temps, on utilise actuellement le plus souvent l'enregistrement photographique (cependant des solutions mettant en œuvre à la place du film photographique des tubes de prise de vue à haute sensibilité comme le Nocticon* s'avèrent des plus utiles notamment pour le traitement immédiat du signal enregistré). Les caractéristiques du tube cathodique les plus importantes sont alors :

- La résolution qui peut être exprimée en nombre de spots pour la déviation utile verticale.
- La vitesse d'inscription en nombre de spots par seconde.
- La sensibilité de déviation en nombre de spots par volt.

(*) Marque déposée Thomson-CSF.

Les tubes cathodiques existant dans ce domaine possèdent une bande passante jusqu'à 4 ou 5 GHz et une déviation utile verticale de 1 à 2 cm maximum. Le déviateur vertical, constitué généralement d'une ligne à retard asymétrique d'impédance caractéristique 50 ou 100 Ω est commandé directement par le signal à analyser.

Lorsqu'il s'agit d'oscillographes d'usage plus général, destinés à l'observation et à la mesure de phénomènes rapides, répétitifs ou uniques, la surface utile du tube cathodique devient une caractéristique essentielle, la vitesse d'inscription doit alors être compatible avec le temps de montée de l'oscillographe. La déviation verticale est assurée par des amplificateurs à très large bande, imposant pratiquement les caractéristiques de sensibilité et d'impédance du déviateur vertical du tube cathodique.

L'obtention d'une surface utile importante et d'une grande vitesse d'inscription nécessite alors obligatoirement l'emploi d'un système d'amplification de déviation et d'une post-accélération élevée.

Nous nous proposons de décrire les systèmes d'amplification de déviation, de post-accélération et de déviation en vue de la réalisation d'un tube cathodique à grande surface utile et de bande passante supérieure à 1 GHz.

2. LES CARACTÉRISTIQUES RECHERCHÉES

2.1. Les caractéristiques essentielles du point de vue de l'utilisateur de l'oscillographe

Ce sont essentiellement les caractéristiques de l'image formée sur l'écran :

- Luminance élevée afin de voir les signaux rapides à faible récurrence ou d'enregistrer un signal unique bref. Elle est caractérisée par la vitesse d'inscription maximale dans des conditions photographiques définies.
- Temps de montée du signal t_m que l'on peut

visualiser avec une erreur définie par rapport au temps de montée du signal réel. A titre d'exemple, si la précision recherchée est 2 %, le temps de montée de l'oscilloscope, en admettant l'addition quadratique, doit être $T_m \leq 0,2 tm$. Le temps de montée intrinsèque du tube cathodique, compte tenu des limitations prépondérantes des amplificateurs, devra donc être nettement inférieur à tm .

— Résolution suffisante, au moins 200 points suivant l'axe vertical, afin de ne pas réduire la précision de mesure et de détecter le maximum d'informations contenues dans le signal. Le contraste présente également un grand intérêt pour une bonne lisibilité des signaux.

— Surface utile importante, caractéristique sur laquelle il n'est pas nécessaire d'insister, les dimensions $80 \times 100 \text{ mm}^2$ étant actuellement les plus répandues, avec un développement vers le format $100 \times 125 \text{ mm}^2$.

— Précision de mesure, limitée par la distorsion géométrique (tube) et par la distorsion de linéarité (tube + amplificateur), l'objectif se situant autour de 2 à 3 %.

En outre, l'encombrement, le poids et le coût sont des éléments de plus en plus importants.

2.2. Les caractéristiques essentielles du point de vue du constructeur de l'oscilloscope

Le constructeur d'oscilloscopes ajoute un certain nombre de caractéristiques à celles demandées par l'utilisateur, en tenant compte des performances possibles des composants utilisés pour la réalisation des amplificateurs de déviation.

— La sensibilité de déviation et l'impédance caractéristique du déviateur « y » sont les deux caractéristiques les plus importantes. Elles sont pratiquement imposées par les performances des composants disponibles, compte tenu de la bande passante recherchée.

La nécessité de décadrer l'image verticalement d'une quantité égale à la hauteur de l'écran conduit à tripler la tension de sortie des amplificateurs par rapport à la tension correspondant à la déviation verticale utile.

Pour un oscilloscope à bande passante de 500 MHz, on peut envisager la réalisation d'amplificateurs symétriques donnant une tension crête-crête de l'ordre de 30 V sur une impédance de $2 \times 150 \Omega$ environ, soit 10 V pour la déviation verticale utile. Le facteur de déviation « y » pour un tube à écran $80 \times 100 \text{ mm}^2$ doit ainsi être voisin de 1 à 1,5 V/cm.

— La bande passante et le temps de montée intrinsèque de tube cathodique sont des caractéristiques qui doivent être nettement meilleures que celles de l'oscilloscope afin de ne pas réduire sensiblement les performances des amplificateurs verticaux.

— La sensibilité de déviation « x », bien que moins critique que celle de la déviation verticale est une caractéristique qui ne doit pas être négligée, une sensibilité supérieure à 1 mm/V permet de réaliser des circuits plus économiques.

— Les tensions d'alimentation et les consommations

des différentes électrodes, les stabilités nécessaires, particulièrement celles des hautes tensions sont des paramètres se répercutant sur la fiabilité et le coût des appareils. Cependant les progrès des composants ont permis d'atteindre un haut niveau de sécurité de fonctionnement.

— L'encombrement du tube cathodique est une caractéristique importante pour les oscilloscopes compacts, essentielle pour les oscilloscopes portables.

Deux types d'améliorations techniques ont permis un gain important dans ce domaine : l'emploi de systèmes d'amplification de déviation et l'augmentation de la densité de courant crête sur la cathode afin de compenser l'augmentation de diamètre de spot résultant de l'amplification de déviation.

3. L'AMPLIFICATION DE DÉVIATION

L'amplification de déviation procure un gain à la fois sur la sensibilité et la surface utile et permet par conséquent de réduire l'encombrement des tubes. Elle est toujours associée avec la post-accélération pour les tubes performants à écran classique.

Dans le cas général le système d'amplification réalise une lentille divergente placée entre le canon et l'écran et agit simultanément sur les déviations « y » et « x » ; cependant, compte tenu de l'importance évidente de la sensibilité « y », il peut être placé également à la sortie du déviateur « y ».

L'inconvénient majeur de l'amplification de déviation réside dans l'augmentation du diamètre de spot qui en résulte et par conséquent de la vitesse d'inscription à tension et courant de faisceaux égaux. Cet inconvénient est compensé dans toute la mesure du possible de deux façons :

— Par augmentation de la tension de post-accélération V_2 ; au lieu des 10 à 15 kV des tubes à post-accélération à hélice, des tubes à amplification de déviation fonctionnent couramment dans la plage 15 à 25 kV.

— Par action au niveau de la formation et de la focalisation du faisceau : réduction de la dimension du cross-over (augmentation de la charge de cathode) et réduction du grandissement (allongement de l'espace d'accélération g_2).

L'amplification de déviation, malgré ses imperfections, est indispensable pour les tubes à bande passante élevée.

Deux systèmes d'amplification de déviation sont utilisés, l'un utilise une grille de champ, l'autre une lentille quadripolaire.

3.1. Amplification de déviation par grille de champ

Il s'agit en fait d'une lentille divergente créée par la tension de post-accélération, la grille séparant deux zones de potentiels différents.

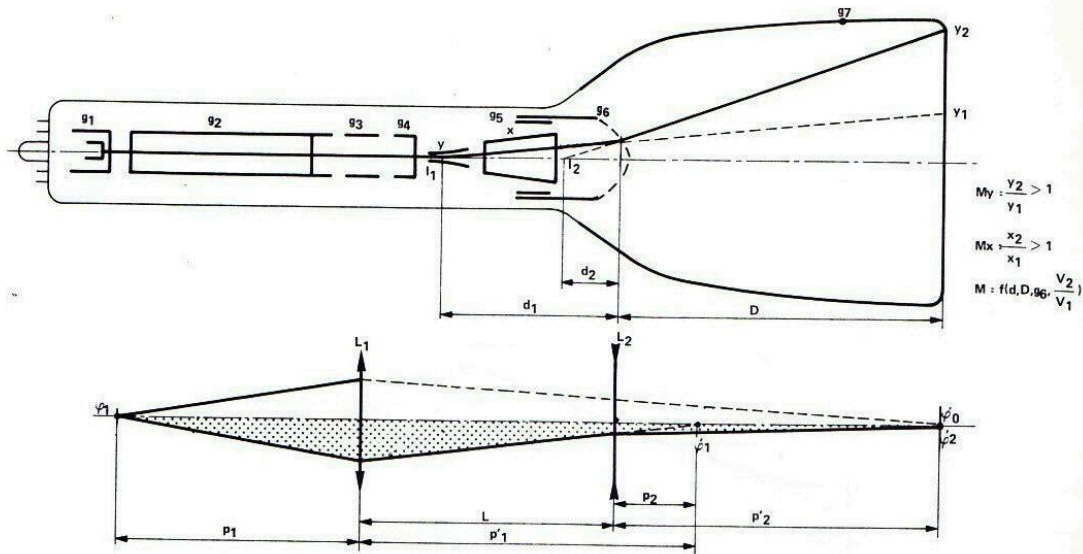


Fig. 1. — Tube cathodique à amplification par grille bombée.

Si la grille est plane, la divergence est due essentiellement à la configuration de l'électrode de post-accélération; elle ne croît que faiblement en fonction du rapport : $\frac{V_1 + V_2}{V_1}$.

Dans le cas de la figure 1, la grille est bombée et la divergence est due essentiellement à la courbure de grille. Elle est également croissante avec le rapport de post-accélération.

A partir des éléments cardinaux, le coefficient d'amplification est donné par la relation :

$$M = \frac{y_2}{y_1} = \frac{d_1}{d_2} \cdot \frac{D + d_2}{D + d_1} \quad (3)$$

avec :

$$\text{avec } \frac{f'}{d_2} - \frac{f}{d_1} = 1 \quad \text{et} \quad \frac{f'}{f} = \left(1 + \frac{V_2}{V_1}\right)^{1/2} \quad (4)$$

toutes les longueurs étant prises en valeur absolue avec la disposition qu'indique la figure 1.

En pratique, les coefficients d'amplification, pour un rapport de post-accélération de 6 à 8, varient de 1 à 1,5 pour la lentille à grille plane et de 2 à 3,5 pour la lentille à grille bombée.

La figure 1 montre la structure générale d'un tube cathodique à amplification de déviation par grille bombée et le schéma optique équivalent pour la formation du spot dans l'hypothèse de lentilles minces.

Il est intéressant d'évaluer le grossissement du spot dû à la lentille d'amplification L_2 .

Dans l'hypothèse du tube sans post-accélération, on peut exprimer le grandissement de la lentille L_1 seule, rapport des diamètres ϕ'_0 du spot au diamètre ϕ_1 du cross-over, par :

$$G_1 = \frac{\phi'_0}{\phi_1} = \frac{L + p'_2}{p_1} \quad (5)$$

Dans le cas du fonctionnement normal, en supposant la convergence de la lentille L_1 ajustée pour que l'image du cross-over se forme toujours sur l'écran, on a :

$$G_2 = \frac{\phi'_2}{\phi_1} = \frac{\phi'_2}{\phi'_1} \frac{\phi'_1}{\phi_1} = \frac{p'_2 f (L + p_2)}{p_2 f' (L + p'_2)} \quad (6)$$

En tenant compte de :

$$\frac{f}{p_2} - \frac{f'}{p'_2} = 1 \quad -\frac{f}{d_1} + \frac{f'}{d_2} = 1 \quad p'_2 = D$$

on a finalement pour le grossissement du spot dû à la post-accélération :

$$G = \frac{f}{f'} + \left(M - \frac{f}{f'}\right) \frac{1 + \frac{D}{d_1}}{1 + \frac{D}{L}} \quad (7)$$

Avec les valeurs usuelles des paramètres de construction de ce type de tube, on a en général :

$$d_1 < L \text{ et } G > M$$

avec une valeur de M généralement comprise entre 2 et 3,5.

Les facteurs de déviation sont alors de l'ordre de 2 V/cm et 10 V/cm pour les déviations « y » et « x » respectivement.

3.2. Amplification de déviation par lentille quadrupolaire

La figure 2 représente une lentille quadrupolaire à électrodes cylindriques et section hyperbolique.

En appliquant des tensions $V_1 + V$ et $V_1 - V$ respectivement aux deux paires d'électrodes, le potentiel à l'intérieur du système est donné par la relation :

$$U = V_1 + \frac{V}{a^2} (x^2 - y^2) \quad (8)$$

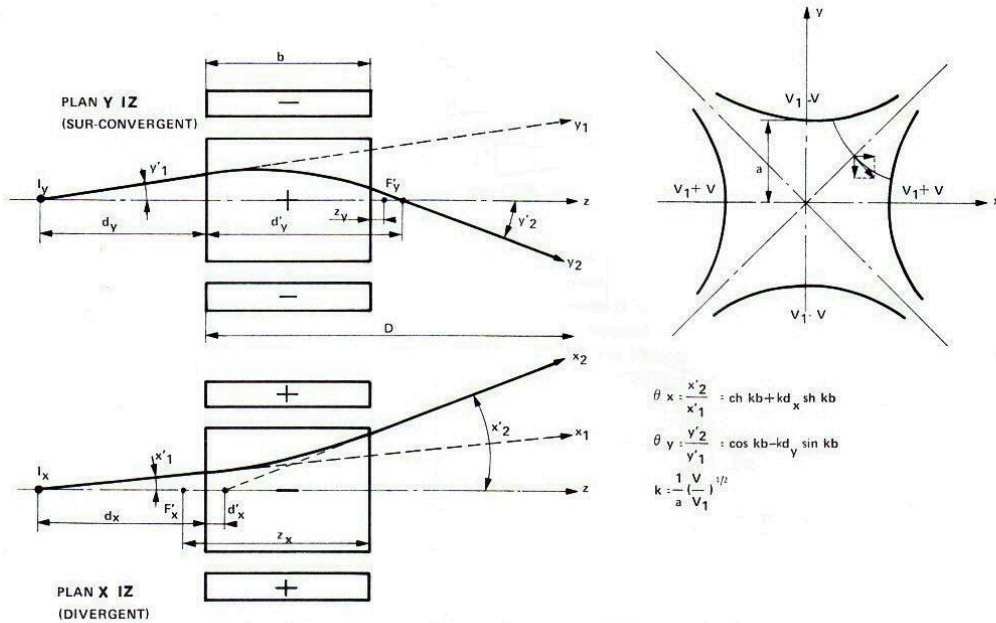


Fig. 2. — Amplification de déviation par lentille quadrupolaire.

Les composantes du champ électrostatique sont de la forme :

$$\begin{cases} E_x = -K_x x \\ E_y = +K_y y \end{cases} \quad \text{avec} \quad K = \frac{2V}{a^2} \quad (9)$$

Les forces agissant sur les électrons sont donc :

$$\begin{cases} F_x = +K_1 x \\ F_y = -K_1 y \end{cases} \quad \text{avec} \quad K_1 = eK \quad (10)$$

Elles sont proportionnelles à l'élongation, F_x est une force divergente et donne aux électrons une trajectoire de type exponentiel, F_y est une force de rappel et donne aux électrons une trajectoire de type sinusoidal.

En supposant que la longueur d'action de la lentille est strictement limitée à la longueur b des électrodes et que le champ est à répartition longitudinale rectangulaire, on peut déterminer l'amplification de déviation d'un tel système dans les deux plans x_1z et y_1z .

Exprimée par le rapport des tangentes des angles d'entrée et de sortie, l'amplification est :

dans le plan x_1z :

$$\theta_x = \frac{x'_2}{x'_1} = ch kb + kd_x sh kb$$

dans le plan y_1z :

$$\theta_y = \frac{y'_2}{y'_1} = \cos kb - kd_y \sin kb \quad (11)$$

avec :

$$k = \frac{1}{a} \left(\frac{V}{V_1} \right)^{1/2}$$

La première relation montre une amplification positive (axe divergent). La seconde relation peut donner une amplification négative et de forte valeur, en particulier lorsque kb tend vers $\pi/2$ (axe surconvergent).

Les coefficients d'amplification mesurés sur l'écran sont obtenus par les relations :

$$\begin{cases} M_x = \frac{x_2}{x_1} = \theta_x \times \frac{D - d'_x}{D + d_x} \\ M_y = \frac{y_2}{y_1} = \theta_y \times \frac{D - d'_y}{D + d_y} \end{cases} \quad (12)$$

Dans la pratique, les valeurs de M sont choisies entre 2 et 3,5.

La figure 3 montre une structure générale de tube cathodique utilisant deux lentilles quadrupolaires.

Dans le plan y_1z (partie supérieure de la figure 3), le faisceau subit une première amplification positive dans la lentille j_1 et une seconde amplification négative dans la lentille j_2 .

On peut calculer aisément des coefficients d'amplification correspondants en appliquant deux fois les formules 11 ou 12, la lentille j_2 voit un faisceau issu du point I_{y_2} ce qui augmente le coefficient d'amplification M_y .

Dans le plan x_1z (partie inférieure de la figure 3), le faisceau subit une seule amplification positive par la lentille j_2 .

À la suite du quadrupôle j_2 , les trajectoires de la déviation verticale croisent le plan horizontal x_1z suivant un segment de courbe, ce qui permet de placer une électrode g_5 de forme sphérique et présentant une

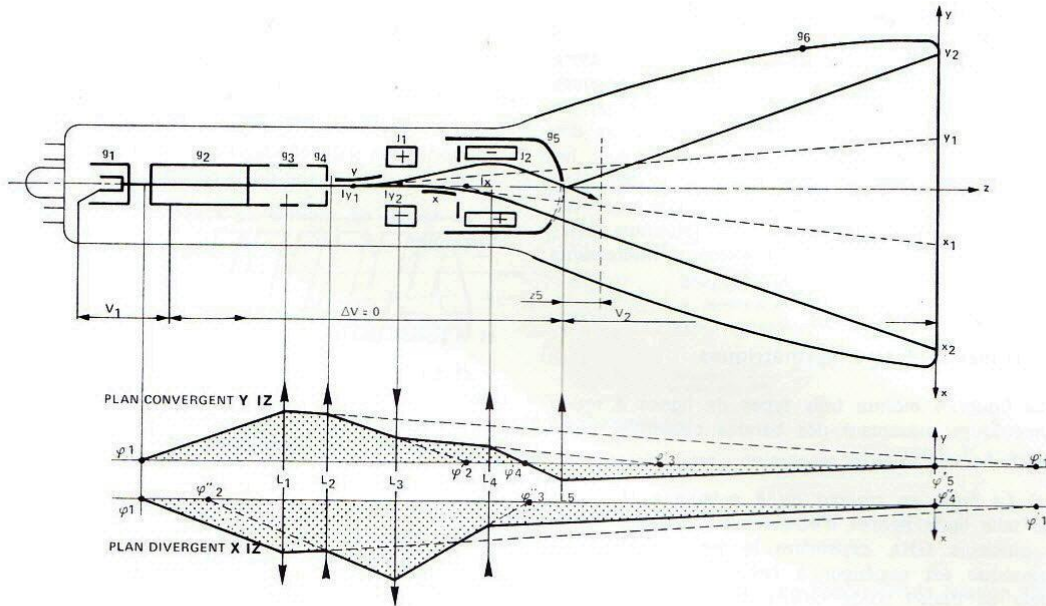


Fig. 3. — Tube cathodique à amplification de déviation par lentilles quadrupolaires.

fente d'axe horizontal. Cette électrode réalise l'équipotentielle V_1 de la post-accélération. La figure 3 représente également le schéma optique équivalent en lentilles minces du tube pour la formation du spot dans les deux plans de déviation.

Le calcul du grandissement s'effectue à partir des éléments cardinaux des différentes lentilles en tenant compte du fait que la lentille f_2 est déterminée essentiellement en fonction des caractéristiques d'amplification recherchées.

Les distances focales des lentilles quadrupolaires (fig. 2) sont respectivement :

$$\begin{aligned} \text{dans le plan } xz : f_x &= \frac{1}{k \operatorname{sh} kb} \\ \text{dans le plan } yz : f_y &= \frac{1}{k \sin kb} \end{aligned} \quad (13)$$

avec :

$$k = \frac{1}{a} \left(\frac{V}{V_1} \right)^{1/2}$$

et la position des foyers images par rapport à la sortie des quadrupôles est donnée par les relations :

$$\left. \begin{aligned} z_x &= -\frac{1}{k} \operatorname{coth} kb \\ z_y &= \frac{1}{k} \operatorname{cotg} kb \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

La lentille de post-accélération L_5 est équivalente à une lentille cylindrique fortement convergente dans le plan yz et à un dioptré cylindrique dans le plan xz .

La distance focale dans le plan yz est approximativement :

$$f_5 = 2z_5 \frac{V_1}{V_2} \quad (15)$$

où z_5 est la distance de la fente au plan fictif porté au potentiel $V_1 + V_2$ et donnant un champ constant équivalent au champ réel.

Les lentilles de focalisation L_1 et d'astigmatisme L_2 sont de type classique, cependant dans la conception du canon, on recherche pour L_1 une faible convergence, la focalisation étant assurée le plus possible par les lentilles L_2 et L_3 , ce qui permet d'améliorer la résolution.

En pratique, le grandissement global spot/cross-over varie de 15 à 20 selon les types de tubes.

Les coefficients d'amplification élevés obtenus : M_x et $M_y = 3$ à 3,5 permettent d'atteindre des facteurs de déviation « x » et « y » intéressants : respectivement 1 à 2 V/cm et 6 à 7 V/cm pour une surface utile $80 \times 100 \text{ mm}^2$. Ces caractéristiques sont importantes pour réaliser des tubes cathodiques à bande passante élevée.

Les angles de déviation étant relativement grands, les tubes ainsi réalisés présentent un encombrement réduit, caractéristique particulièrement importante pour les oscilloscopes portables.

L'électrode de post-accélération n'interceptant pas le faisceau, le contraste et la luminance sont améliorés.

4. LA DÉVIATION VERTICALE

Les plaques de déviation classiques sont généralement utilisées jusqu'à des fréquences de 100 MHz, voire 200 MHz si elles sont très courtes; au-delà, la déviation décroît comme :

$$\frac{\sin \pi f T}{\pi f T} \quad (16)$$

(T temps de transit des électrons dans le déviateur)

On utilise alors un déviateur à ligne à retard, conçu de telle sorte que la vitesse de propagation du signal suivant l'axe z soit égale à la vitesse des électrons du faisceau. Les lignes à retard peuvent être asymétriques ou symétriques, cependant, compte tenu de la grande surface utile nécessaire dans le cas présent et des problèmes liés à la réalisation des amplificateurs, les lignes symétriques sont généralement utilisées. Les études réalisées sur les lignes asymétriques pour des tubes à très grande bande passante (plusieurs GHz) peuvent néanmoins fournir des éléments intéressants pour la réalisation de lignes symétriques.

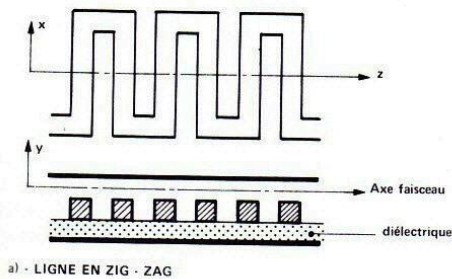
4.1. Lignes à retard asymétriques

La figure 4 montre trois types de lignes à retard asymétriques présentant des bandes passantes supérieures à 1 GHz.

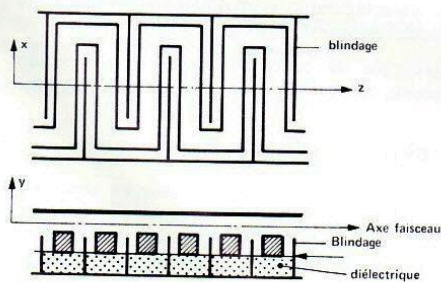
a) *La ligne en zig-zag ou à méandres (fig. 4a).* Une telle ligne permet d'obtenir une bande passante de plusieurs GHz, cependant le temps de montée intrinsèque est supérieur à celui correspondant au temps de transit d'une cellule élémentaire par suite du couplage important existant entre les cellules successives.

Une expression du temps de montée en fonction du nombre de cellules n est :

$$\tau = \frac{0,8 T}{\sqrt{n}} \quad (T \text{ temps de transit total}) \quad (17)$$



a) - LIGNE EN ZIG - ZAG



b) - LIGNE EN ZIG - ZAG AVEC BLINDAGE

La bande passante équivalente, déduite de la relation :

$$\Delta F \cdot \tau = 0,35$$

permet cependant de dépasser 1 GHz.

b) *La ligne en zig-zag avec blindage (fig. 4b).* L'introduction d'un blindage dans les méandres permet de réduire le couplage entre cellules.

Le temps de montée se rapproche de l'expression théorique :

$$\tau = \frac{0,8 T}{n} \quad (18)$$

et la bande passante atteint plusieurs GHz.

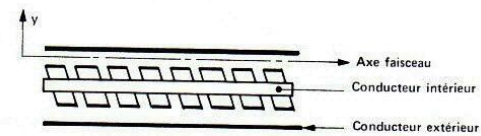
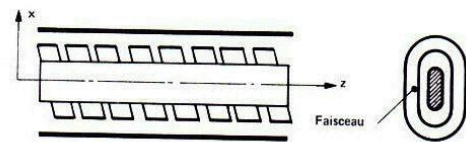
c) *La ligne en hélice (fig. 4c).* Cette ligne possède des caractéristiques intéressantes, le couplage entre spires étant réduit par la présence de conducteurs de retour à l'intérieur et à l'extérieur de l'hélice.

Le temps de montée intrinsèque est pratiquement celui correspondant au temps de transit d'une spire (expression 18) et la bande passante est de l'ordre de 4 à 5 GHz.

Cette structure ne peut cependant pas être utilisée directement en version ligne symétrique par suite de la présence de conducteur extérieur.

4.2. Ligne à retard à hélices symétriques (fig. 5)

La ligne est constituée de deux hélices symétriques, la distance entre celles-ci étant croissante de l'entrée vers la sortie.



c) LIGNE EN HELICE

Fig. 4. — Lignes à retard asymétriques.

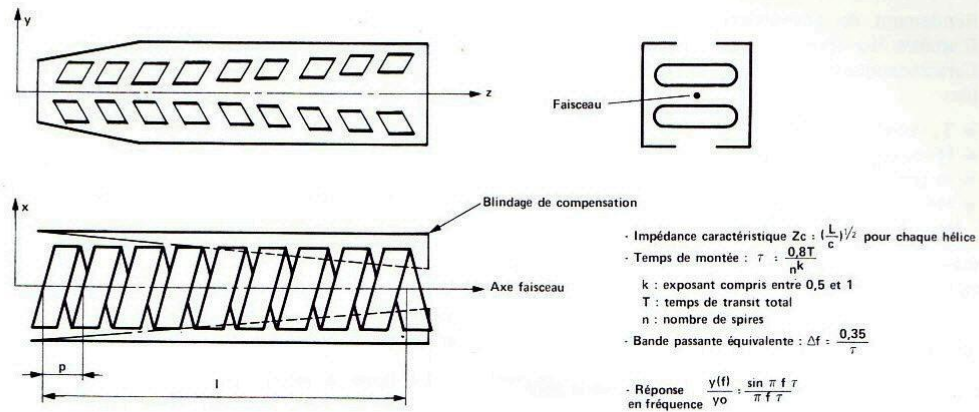


Fig. 5. — Ligne à retard à hélices symétriques.

Le temps de montée intrinsèque de la ligne est de la forme :

$$\tau = \frac{0,8 T}{n^k} \quad (19)$$

avec $0,5 < k < 1$ fonction du couplage entre spires.

La bande passante équivalente peut être supérieure à 1 GHz. La réponse en fréquence de la ligne est exprimée par la relation :

$$\frac{y(f)}{y_0} = \frac{\sin \pi f \tau}{\pi f \tau} \quad (20)$$

avec τ donné par la relation (19)

En supposant que la ligne est équivalente à n cellules LC (filtre passe-bas) la réponse peut être exprimée par une autre relation :

$$\frac{y(f)}{y_0} = \left(\frac{\sin \pi f \tau_1}{\pi f \tau_1} \right)^n \quad \text{avec} \quad \tau_1 = \frac{0,8 T}{n} \quad (21)$$

Cette expression ne tient pas compte du couplage entre spires successives, elle est donc légèrement optimiste.

L'application de ces formules à la ligne à retard du tube TH 8203 Thomson-CSF donne les valeurs

suivantes du temps de montée et de la bande passante à 3 dB.

$$\tau = 0,274 \text{ à } 0,066 \text{ ns pour } k = 0,5 \text{ à } 1.$$

$$n = 17 \text{ spires.}$$

$$T = 1,41 \text{ ns.}$$

$$\Delta F = 5,2 \text{ à } 1,3 \text{ GHz en appliquant la relation (20).}$$

$$\Delta F = 1,4 \text{ GHz en appliquant la relation (21).}$$

Il convient de remarquer que cette bande passante est insuffisante s'il s'agit d'utiliser des amplificateurs possédant eux-mêmes une bande passante de 1 GHz à 3 dB.

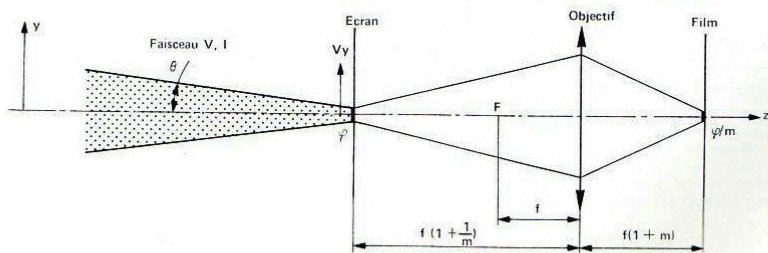
Dans ce cas, l'amélioration de la bande passante de la ligne à retard en hélice nécessite l'augmentation du nombre de spires en réduisant le pas et la longueur des spires pour conserver une vitesse de propagation correcte.

5. LA VITESSE D'INSCRIPTION

La vitesse d'inscription est une caractéristique importante pour les tubes cathodiques rapides.

La figure 6 montre qu'elle dépend de nombreux paramètres que nous nous bornerons à citer brièvement :

— Puissance du faisceau V_l .



$$\text{Vitesse d'inscription maximale théorique : } V_m : k V_l^{1/2} \theta^{-1/2} \varphi^{-1} \text{ (limitation charge d'espace)}$$

Vitesse d'inscription réelle :

$$V_y : K V_l \varphi^{-1}$$

$$V_y : 1/4 R V_l \varphi^{-1} T_o N^{-2} (1+m)^{-2} H_e^{-1}$$

- K : Coefficient caractérisant l'écran, la caméra et le film
- R : Rendement de conversion de l'écran
- T_o : Coefficient de transmission de l'objectif
- N : Ouverture numérique de l'objectif
- m : Grandissement
- H_e : Exposition énergétique minimale nécessaire sur le film

Fig. 6. — Vitesse d'inscription.

- Rendement de conversion de l'écran R.
- Diamètre du spot φ .
- Caractéristiques de la caméra d'enregistrement et du film :

- T_0 coefficient de transmission de l'objectif,
- N ouverture numérique de l'objectif,
- m grandissement,
- H_e exposition énergétique minimale nécessaire sur le film.

Limitée par la seule charge d'espace, la vitesse d'inscription maximale est :

$$V_M = kV^{5/2} \theta^{3/2} \varphi^{-1} \quad (22)$$

(θ demi-angle du faisceau arrivant sur l'écran)

Les expressions de la vitesse d'inscription réelle sont :

$$V_y = kVI\varphi^{-1} \quad (23)$$

Et en introduisant les paramètres cités :

$$V_y = \frac{1}{4} RVI\varphi^{-1} T_0 N^{-2} (1+m)^{-2} H_e^{-1} \quad (24)$$

Précisons qu'il existe une valeur optimale du grandissement m en fonction du rapport diamètre de spot/dimension du grain du film : $\frac{\varphi}{\phi}$

La valeur $m = 0,5$ est la plus couramment employée elle est optimale pour un rapport : $\frac{\varphi}{\phi} = 3$ à 5 .

6. DESCRIPTION ET CARACTÉRISTIQUES DU TUBE CATHODIQUE TH 8203 THOMSON-CSF

La structure générale et les dimensions du tube TH 8203 sont données sur la figure 7.

La lentille de focalisation g_3 est une lentille mince.

La lentille d'astigmatisme g_4 devant avoir une action importante est réalisée par un diaphragme à ouverture rectangulaire afin de ne pas faire intervenir l'entrée de ligne dans cette lentille.

Les lentilles quadrupolaires ont été décrites précédemment, cependant le premier quadrupôle, n'intervenant que dans le plan vertical, présente des électrodes à section rectiligne.

La correction de la distorsion géométrique est réalisée au moyen d'une électrode g_5 placée entre les plaques X et le second quadrupôle.

La ligne à retard est constituée de deux hélices symétriques avec blindage de compensation, comme l'indique la figure 5.

Les caractéristiques et les performances électro-optiques du tube sont résumées sur le tableau de la figure 8.

7. CONCLUSION

La réalisation d'un tube cathodique présentant simultanément :

- Une bande passante de 1 GHz pour un affaiblissement inférieur à 1 dB,
- Un temps de montée intrinsèque de 0,2 ns,
- Un facteur de déviation « y » de 1 à 1,5 V/cm,
- Une surface utile de $80 \times 100 \text{ mm}^2$,
- Une longueur totale de 40 cm environ,

est possible à partir de la solution utilisée pour le tube

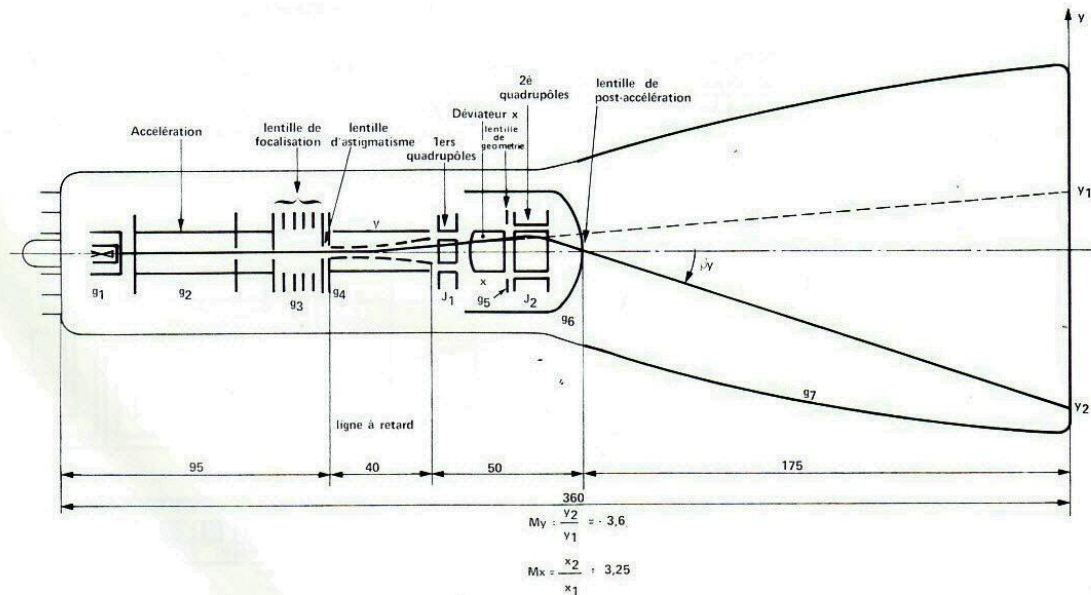


Fig. 7. — Tube cathodique TH 8203.

POINT DE FONCTIONNEMENT (Vg2 : 0)

Tension d'accélération $V_k : -V_1 : -2 \text{ kV}$ Tension de post-accélération $V_{g7} : V_2 : 22 \text{ kV}$

Tensions moyennes d'excitation des lentilles :

Focalisation $V_{g3} : 1,8 \text{ kV}$
 Astigmatisme $V_{g4} : 250 \text{ V}$
 Géométrie $V_{g5} : 0 \text{ V}$

Premier quadrupôle $\begin{cases} V_{j1x} : 125 \text{ V} \\ V_{j1y} : 0 \text{ V} \end{cases}$ Second quadrupôle $\begin{cases} V_{j2x} : 675 \text{ V} \\ V_{j2y} : -125 \text{ V} \end{cases}$

CARACTERISTIQUES NOMINALES

Facteurs de déviation $\begin{cases} k_x : 6 \text{ V/cm} \\ k_y : 1,2 \text{ V/cm} \end{cases}$ Coefficients d'amplification $\begin{cases} M_x : 3,25 \\ M_y : 3,5 \end{cases}$ Impédance caractéristique $Z_y : 2 \times 130 \Omega$ Temps de transit total $T : 1,4 \text{ ns}$ Temps de montée intrinsèque $\tau : 0,28 \text{ ns}$ Bande passante équivalente $\Delta F : \begin{cases} 1,25 \text{ GHz à } 3 \text{ dB} \\ 0,8 \text{ GHz à } 1 \text{ dB} \end{cases}$ Vitesse d'inscription * $\rho : 3 \text{ cm/ns}$ Résolution $\varphi : 0,3 \text{ à } 0,4 \text{ mm}$ Angles de déviation $\begin{cases} 2\beta_x : 30 \\ 2\beta_y : 26 \end{cases}$ Surface utile $2X_0 \times 2Y_0 : 100 \times 80 \text{ mm}^2$ Encombrement $L : 370 \text{ mm}$

* Film 10000 ASA - N : 1,2 - m : 0,5 - Ecran P11

Fig. 8. — Caractéristiques du tube TH 8203.

TH 8203 par action sur un certain nombre de paramètres :

| Actions | Gains escomptés |
|--|-------------------------------------|
| 1. Augmentation des tensions d'accélération et de post-accélération | Vitesse d'inscription $\times 2$ |
| 2. Augmentation de la longueur du tube, augmentation des coefficients d'amplification, réduction des angles de déviation | Facteurs de déviation maintenus |
| 3. Augmentation du nombre de spires de la ligne à retard, réduction du pas et de la longueur des spires | Bande passante $\times 1,5$ environ |

Nous terminerons en mentionnant d'autres types de tubes cathodiques plus spécialement destinés à l'enregistrement photographique :

— Le tube équipé d'une sortie sur fibre optique qui permet un couplage optique direct tube-film,

— Le tube équipé d'un multiplicateur d'électrons à microcanaux. Cette structure de tube procure un gain en vitesse d'inscription élevé, mais sa mise en œuvre est complexe et le coût d'un multiplicateur de grandes dimensions est actuellement très élevé.

Il existe enfin d'autres solutions, consistant à remplacer le film par un senseur plus sensible (télécaméra à tube Nocticon, tube à mémoire, etc.).

RÉSUMÉ

L'observation et la mesure de phénomènes rapides nécessitent, jusqu'à une période récente, l'utilisation de deux types d'oscilloscopes suivant qu'il s'agit de phénomènes récurrents (oscilloscope à échantillonnage) ou uniques dans le temps (oscilloscope à enregistrement utilisant un tube cathodique à grande vitesse d'inscription mais faible surface utile).

L'intérêt pour des oscilloscopes visualisant, sur écran normal 60×100 ou $80 \times 100 \text{ mm}^2$, des phénomènes rapides répétitifs ou non étant de plus en plus marqué, le développement d'amplificateurs, pour la voie signal, à bande passante élevée (plusieurs

centaines de MHz) mais ne donnant que de faibles tensions, a entraîné la recherche de solutions particulières pour le tube cathodique.

Des performances telles que : bande passante 1 GHz, facteur de déviation de l'ordre de 1 V/cm, surface utile $80 \times 100 \text{ mm}^2$, sont possibles en utilisant des systèmes d'amplification de déviation à gain élevé, en particulier au moyen de lentilles quadrupolaires électrostatiques. La bande passante est obtenue en utilisant un déviateur vertical à ligne à retard constitué d'hélices symétriques, dont l'impédance caractéristique est adaptée aux caractéristiques des amplificateurs.

Les différents systèmes d'amplification de déviation, les caractéristiques de divers types de lignes à retard, sont examinés en fonction de leur capacité à atteindre les performances requises.

SUMMARY

Cathode-ray tubes for 1 GHz oscilloscopes

by A. ALBERTIN (Thomson-CSF).

Until recently, two types of oscilloscope were used to display and measure rapid signals : sampling oscilloscopes for recurrent signals, and recording oscilloscopes (using tubes with high writing speeds and small screens for single-shot signals).

The demand for oscilloscopes enabling both types of signal to be displayed on a normal screen (60×100 or $80 \times 100 \text{ mm}^2$) is increasing. The amplifiers developed for the signal channel have large bandwidths (several hundred MHz) but only give low output voltages. For this reason, special high-performance tubes have had to be designed.

Performance figures such as 1 GHz bandwidth, 1 V/cm bandwidth, and $80 \times 100 \text{ mm}^2$ useful screen area can be obtained by using a high-gain deflection amplification system, electrostatic quadrupolar lenses being particularly suitable. The bandwidth is obtained by using a symmetrical helix transmission line for the vertical deflection.

The ability of various types of deflection amplification and transmission lines to give the desired performance are discussed.

Bibliographie

- A. SEPTIER et J. VAN ACKER. — *Les lentilles quadrupolaires électrostatiques*. Faculté des Sciences de Paris, Fontenay-aux-Roses, 1961.
 J. HASKER. — *Philips Research Reports*, 1966, 21.
 C. LOTY. — Les tubes à rayons cathodiques à propagation d'onde à très large bande. *Acta Electronica*, 1966, n° 4.
 J. DESCHAMPS. — Tubes cathodiques courts. *Rapport technique* n° 523 T, Thomson-CSF, 1967.
 T. TAKAGI and I. YAMADA. — A new type of traveling wave deflection system Kyoto University-Japan. *11th Symposium on Electron, Ion, and Laser Beam Technology* University of Colorado, Boulder, USA, 1971.
 E. BLIAMPTIS. — *Coupled lenses and their combinations*. Air Force Cambridge Research Laboratories, Bedford, Mass., 1972.