Informations électroniques

N° 25

BULLETIN TECHNIQUE ÉDITÉ PAR LE DÉPARTEMENT DE DOCUMENTATION "ELECTRONIQUE" DE LA MANUFACTURE BELGE DE LAMPES ET DE MATÉRIEL ÉLECTRONIQUE S. A.

1958

BATONNETS "FERROXCUBE" POUR SELFS D'ARRÊT ET ANTIPARASITAGE VHF

DANS les équipements radio, télévision et radar, les conducteurs d'alimentation présentent généralement un couplage entre la sortie et l'entrée d'un même étage. Un découplage par capacité et self-induction n'est pas toujours efficace étant donné les résonances parasites possibles. Celles-ci peuvent être atténuées par la résistance d'amortissement.

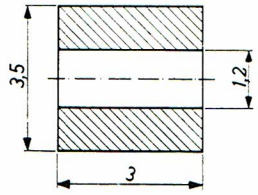


Fig. 1. — Dimensions d'une perle Ferroxcube.

Cette dernière remarque a été mise à profit avec l'emploi de petits bâtonnets Ferroxcube (perles), dont les dimensions approximatives sont indiquées par la figure 1. Ces perles sont simplement enfilées sur les connexions susceptibles de conduire les courants HF parasites. Il en résulte, pour ces courants, une augmentation de l'inductance et surtout de la résistance d'amortissement des conducteurs. En effet, le Ferroxcube est un matériau dont la perméabilité élevée décroît fortement dans la gamme des ondes métriques tandis que les pertes augmentent. Il faut compter à une fréquence de l'ordre de 80 Mc/s sur une résistance d'amortissement de 30 Ω par perle. L'inconvénient habituel des pertes élevées en ondes métriques est ici un avantage. Si l'on emploie plusieurs perles, on augmente l'amortissement proportionnellement au nombre de perles.

Aux fréquences supérieures à 10 Mc/s environ, l'impédance est suffisamment élevée pour que l'on puisse considérer cette partie de conducteur perlé comme une self d'arrêt très efficace.

Les procédés actuels d'antiparasitage des moteurs, des appareils électro-ménagers sont souvent inefficaces et de mise au point difficile en ce qui concerne les perturbations aux émissions radio-électriques de fréquences élevées. L'utilisation de ces perles Ferroxcube, insérées sur les conducteurs du secteur apporte, comme dans le cas des selfs d'arrêt ou de découplage, une solution pratique et économique à ce problème d'antiparasitage en constituant en même temps, un effet de blindage au rayonnement magnétique du conducteur.

Ces perles ne nuisent pas à l'isolement par suite de la résistivité élevée de certaines variétés de Ferroxcube (FXC 4).

On a également réalisé en Ferroxcube des perles avec deux trous axiaux (doubles perles) et des bâtonnets avec plusieurs trous axiaux dans lesquels passent quelques spires constituant ainsi des selfs d'arrêt complètes.

I. — PERLES FERROXCUBE

1 - Calcul de l'augmentation de self-induction ΔL et de résistance effective de pertes ΔR d'une perle Ferroxcube sur un conducteur rectiligne.

Cette augmentation peut être calculée de la façon suivante. L'équation de dimension de la self-induction L est :

$$L = \frac{\varphi}{I}$$

(L est exprimé en henry, φ en weber et I en ampères).

I est le courant traversant le fil conducteur et φ le flux magnétique total couplé à la partie du conducteur considéré.

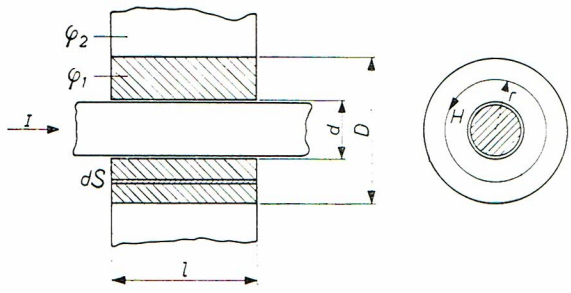


Fig. 2. — Le flux magnétique dû au courant I peut être divisé en deux parties ; φ_1 dans la perle et φ_2 à l'extérieur de la perle.

Pour une partie droite de ce conducteur avec une perle Ferroxcube, ce flux φ peut être considéré comme étant composé du flux φ_1 traversant la section de Ferroxcube et du flux φ_2 extérieur au Ferroxcube (fig. 2).

Par conséquent :

$$L = L_1 - L_2 = \frac{\varphi_1}{I} - \frac{\varphi_2}{I} \qquad (1)$$

Mais

$$L_1 = \frac{\varphi_1}{I} = \frac{1}{I} \int \mu H \, dS = \frac{\mu}{I} \int_{r=d/2}^{r=D/2} \frac{I}{2\pi r} l \, dr \qquad (2)$$

donc

$$L_1 = \frac{\mu l}{2\pi} \log_e \frac{D}{d} \qquad (3)$$

L'augmentation de l'inductance peut facilement être déduite en se rappelant que l'espace occupé par la perle (air) avait une perméabilité de 1 :

$$\Delta L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} (\mu' - 1) \log_e \frac{D}{d} \qquad (4)$$

avec dans le cas du système d'unités Giorgi

$\mu = \mu_0 \mu'$

$\mu_0 = 0{,}4\pi \cdot 10^{-6}$ H/m (perméabilité absolue du vide appelée « constante d'induction »)

μ' = partie réelle de la perméabilité effective du Ferroxcube (c'est la perméabilité relative du milieu ferro-magnétique représenté ici par la perle Ferroxcube).

Pour le calcul de l'augmentation de résistance effective de pertes ΔR, nous emploierons la notion de perméabilité complexe.

$$\mu_r = \mu' - j\,\mu'' \qquad (5)$$

Pour une bobine utilisant un noyau fermé :

$$X = \mu' \omega L_0 = \omega L \qquad (6)$$

$$R = \mu'' \omega L_0 \qquad (7)$$

X est la réactance et R la résistance effective série.

L_0 est la self-induction sans noyau ferro-magnétique.

μ' et μ'' sont les composantes réelle et imaginaire de la perméabilité complexe μ_r.

Si le circuit magnétique n'est pas fermé, μ' et μ'' sont les composantes de la perméabilité complexe effective.

Comme les pertes sans Ferroxcube sont négligeables, l'augmentation de résistance effective est :

$$\Delta R = \omega \frac{\mu_0 \mu''}{2\pi} l \log_e \frac{D}{d} \qquad (8)$$

D'après les relations (4) et (8) les dimensions appropriées des perles peuvent être calculées, par exemple, celles pour lesquelles les valeurs optimum de ΔL et ΔR sont obtenues avec le minimum de volume de Ferroxcube.

Naturellement les considérations précédentes sont valables pour autant que la longueur totale de l'ensemble des perles enfilées est petite comparée à celle de la longueur d'onde du courant H.F.

La longueur des perles n'a pas d'importance puisqu'un bâtonnet long a le même effet qu'une série de bâtonnets courts. Cependant on choisit de préférence des perles de courte longueur en prévision de l'utilisation éventuelle de connexions de faible longueur ou présentant beaucoup de courbures. De plus, comme d est surtout déterminé par le diamètre du conducteur utilisé, le rapport optimum D/d fixe le diamètre extérieur. Compte-tenu de la loi de variation logarithmique, le rapport D/d sera le plus souvent choisi aux environs de 2,7 à 3. Un rapport plus élevé n'est pas intéressant parce qu'une valeur double du logarithme n'est obtenue que pour un rapport de D/d = 7,4 à 9. Par conséquent, les dimensions de la perle de la figure 1 sont très favorables.

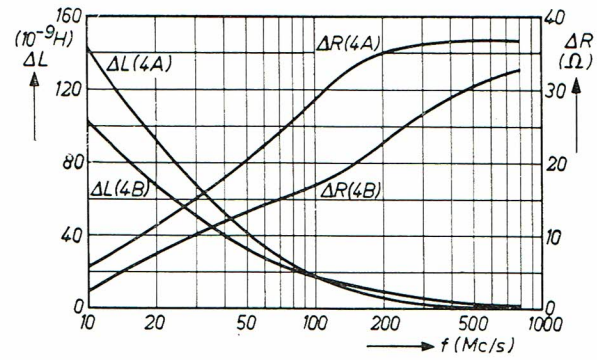


Fig. 3. — Augmentations calculées de la self-induction ΔL et de la résistance de pertes ΔR dûes à l'introduction d'une perle Ferroxcube.

En utilisant les relations (4) et (8) les valeurs de ΔL et de ΔR ont été calculées pour des fréquences comprises entre 10 et 1 000 Mc/s (fig. 3). Les valeurs de μ' et μ'' sont données par la figure 4 (courbes mentionnées dans l'article de H.P.J. WIJN, M. GEVERS et C.M. van der BURGT : Note on the High Frequency Dispersion in Nickel Zinc Ferrites, Review of Modern Physics 25 N° 1, pages 91-92, 1953).

2 - Résultats de mesures

Les valeurs de ΔL et ΔR ont été mesurée aux fréquences de 10 à 600 Mc/s pour des perles de Ferroxcube 3B, 4A et 4B. Les résultats sont donnés par les figures 5 et 6. Afin de permettre de faire une comparaison, les résultats sont donnés pour un conducteur rectiligne de 50 mm de longueur et de 1 mm de diamètre: $R = 1.10^{-3}\ \Omega$ et $L = 50 \times 10^{-9}$ H. On constate une bonne reproduction des courbes calculées.

Notons que le matériau utilisé pour les mesures était pris dans différents lots de fabrication et avait des valeurs μ' et μ'' comparables à celles de la figure 4. Il faut ajouter que les tolérances dimensionnelles et magnétiques peuvent influer sur les résultats. Dans le calcul des courbes, on a, de plus, négligé l'influence des pertes diélectriques.

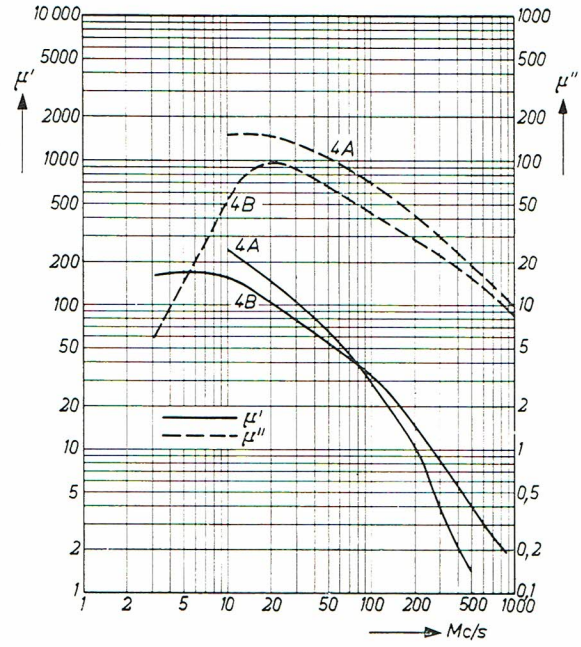


Fig. 4. — Composantes réelle μ' et imaginaire μ'' de la perméabilité initiale du Ferroxcube 4A et 4B en fonction de la fréquence.

D'après un article de F.G. Brockman, P.H. Dowling et W.G. Stenek (Dimensional effects resulting from a high dielectric constant found in a ferromagnetic ferrite - Phys. Rev. 77, N° 1, January 1950) on montre que l'influence de la constante diélectrique élevée des ferrites peut produire aux hautes fréquences un effet de résonance dimensionnelle. Cet effet se traduit par des modifications des valeurs apparentes de perméabilité, lesquelles sont fonction de la forme et des dimensions de l'échantillon.

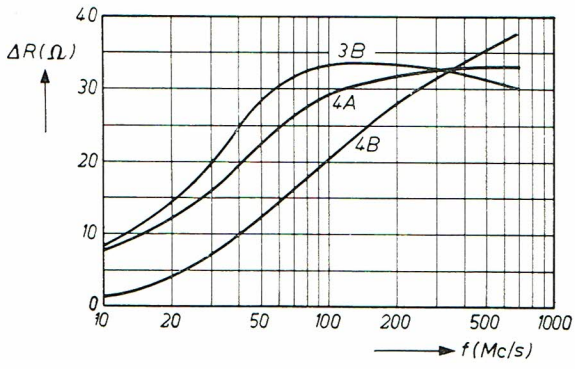


Fig. 5. — Augmentation mesurée de la résistance de pertes ΔR dûe à l'introduction d'une perle Ferroxcube 3B, 4A et 4B placée sur un conducteur.

Un aperçu de ces modifications sur les courbes de perméabilité apparente (composantes de la perméabilité complexe), est donné figure 7 pour laquelle:

μ'_{eff} = partie réelle de la perméabilité apparente
μ''_{eff} = partie imaginaire de la perméabilité apparente
μ_i = partie réelle de la perméabilité à basse fréquence (1 Mc/s).

D'abord μ'_{eff} augmente et décroît ensuite rapidement; au-dessus de la fréquence de résonance dimensionnelle elle prend même une valeur légèrement négative. La courbe de ΔL (f) pour le FXC 3 B de la figure 6 reproduit de façon identique la courbe μ'_{eff} (f).

Cette augmentation initiale n'apparaît pas au-dessous de 10 Mc/s; elle est compensée par d'autres effets qui influent sur la perméabilité vraie en fonction de la fréquence.

La courbe μ''_{eff} μ_i accuse un maximum accentué près de la résonance dimensionnelle. Ce maximum n'apparaît que très atténué pour la courbe mesurée ΔR (f) pour le Ferroxcube 3B (fig. 5).

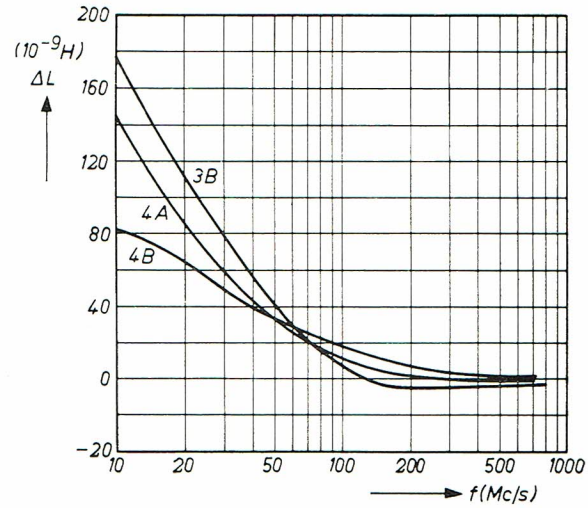


Fig. 6. — Augmentation mesurée de la self-induction ΔL dûe à l'introduction d'une perle Ferroxcube 3B, 4A et 4B placée sur un conducteur.

Le Ferroxcube 4A montre également ce maximum de résonance mais de façon moins évidente et à des fréquences plus élevées, ceci par suite d'une perméabilité et surtout d'une constante diélectrique plus faible.

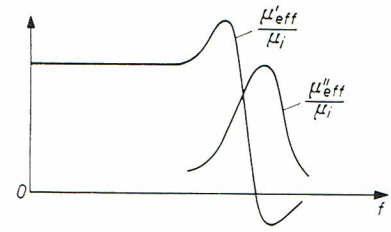


Fig. 7. — Variation de μ' et de μ'' avec la fréquence.

Si les perles sont utilisées comme bobine d'arrêt, il est important de connaître l'augmentation d'impédance ΔZ. Cette augmentation est égale à :

$$\Delta Z = Z_f - Z_o \qquad (9)$$

avec

Z_f : impédance de la partie du conducteur de 3 mm de long avec perle Ferroxcube;

Z_o : impédance du même conducteur sans Ferroxcube.

Les graphiques précédents montrent que pour toute la gamme de fréquence, Z_0 peut être négligé devant Z_f puisque la résistance d'un conducteur de 3 mm de long est apparemment très petite comparée à l'augmentation de résistance résultant de l'utilisation d'une perle. De plus, pour des fréquences en dessous de la fréquence de résonance dimensionnelle on a : $\Delta L > L_0$; L_0 désignant la self-induction du conducteur sans perle.

Par conséquent, nous pouvons écrire :

$$\Delta Z \approx Z_f \approx \sqrt{(\Delta R + R_0)^2 + \omega^2 (\Delta L - L_0)^2} \quad (10)$$

Puisque pour les fréquences en dessous de la résonance dimensionnelle $\Delta R > R_0$ et $\Delta L > L_0$, la relation (10) devient :

$$\Delta Z \approx \sqrt{\Delta R^2 + \omega^2 \Delta L^2} \quad (11)$$

Il faut remarquer qu'au voisinage de la fréquence de résonance, ΔL diminue; il devient même très légèrement négatif et se trouve partiellement compensé par L.

Dans ce cas, $\Delta R^2 > \omega^2 (\Delta L - L)^2$ et par conséquent pour cette zone:

$$\Delta Z \approx \Delta R \quad (12)$$

La variation de ΔZ en fonction de la fréquence est donnée figure 8 pour le Ferroxcube 3B, 4A et 4B.

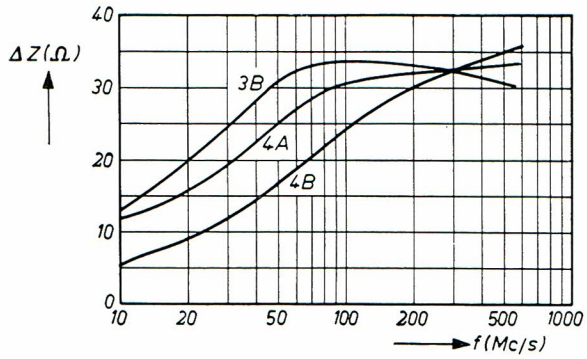


Fig. 8. — Augmentation mesurée de l'impédance ΔZ dûe à l'introduction d'une perle Ferroxcube 3B, 4A et 4B placée sur un conducteur.

Si l'on compare le graphique de la figure 8 avec celui de la figure 5, on voit que pour la bande de fréquence considérée, l'impédance est principalement composée par la résistance effective. Au-dessus de 60 à 80 Mc/s environ, l'impédance est sensiblement égale à la résistance effective et de plus pratiquement constante pour le Ferroxcube 3B et 4A. Elle est de l'ordre de 25 à 35 Ω par perle. Une augmentation du nombre de perles conduit à une augmentation proportionnelle de l'impédance, pourvu que la longueur totale des perles enfilées soit petite par rapport à celle de la longueur d'onde du courant traversant le conducteur. Ce dernier point a été vérifié par des mesures complémentaires.

Le conducteur employé peut être isolé ou nu. Seulement si le Ferroxcube 3B est utilisé avec un conducteur nu, sa résistivité plus basse ($\varrho > 60$ Ω cm) peut produire une baisse (8 % maximum) de la valeur de la résistance à des fréquences au-dessus de 200 Mc/s.

Notons enfin que la température des perles doit être inférieure à celle du point de Curie du Ferroxcube, condition à surveiller particulièrement si les perles sont utilisées à l'intérieur d'un tube électronique.

3 - Doubles perles

Pour des connexions bifilaires il est préférable d'utiliser des perles avec deux trous axiaux. Dans ce cas, les valeurs mesurées de ΔL et de ΔR sont beaucoup plus élevées que celles relevées pour une perle avec un simple trou. En effet, les dimensions de ces perles sont plus importantes et, en outre, l'induction-mutuelle qui en résulte accentue l'effet recherché. Le Ferroxcube 4 est recommandé, il permet d'ailleurs un isolement suffisant si l'on utilise des conducteurs nus. La figure 9 montre les variations de ΔL et de ΔR pour des fréquences variant de 10 à 300 Mc/s dans le cas d'une double perle en Ferroxcube 4B de diamètre extérieur: 5,6 ± 0,3 mm avec deux trous de diamètre 0,75 ± 0,15 mm et de longueur 12 ± 0,4 mm (perle non standard mais pouvant être fournie à la demande par quantité importante).

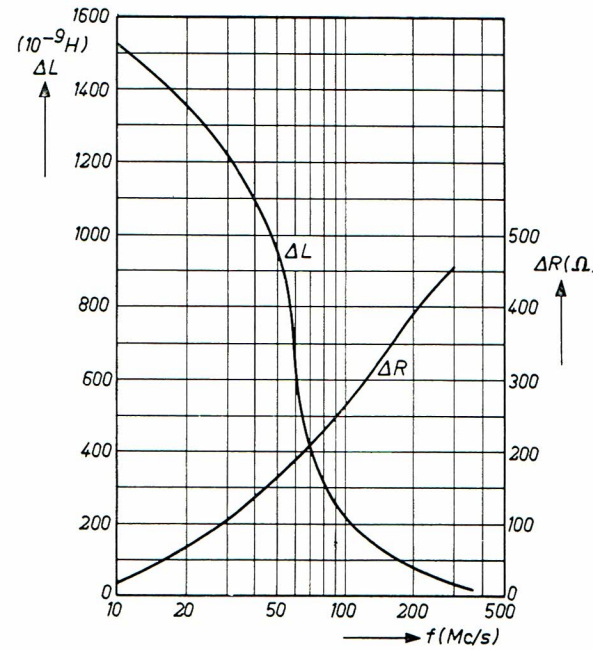


Fig. 9. — Augmentations mesurées de la self-induction ΔL et de la résistance de pertes ΔR pour une double perle 5,6 × 0,75 × 12/4B enfilée sur une connexion bifilaire.

4 - Cellule d'atténuation composée de perles Ferroxcube et d'une capacité céramique

La figure 10 montre une demi-cellule de filtre passe-bas constituée par trois perles Ferroxcube représentant la branche série L d'impédance $Z\omega$ et une capacité céramique représentant la branche parallèle C. R_L est la résistance de charge.

Très simplement nous voyons que si

$$Z\omega > \frac{1}{C\omega} \text{ et } R_L > \frac{1}{C\omega}$$

l'atténuation est :

$$\frac{V_1}{V_2} = Z\omega \times C\omega \quad (13)$$

soit en décibels

$$A = 20 \log_{10} Z\omega \, C\omega \quad (14)$$

Cette expression est valable seulement si la fréquence est bien au-dessous de la fréquence de résonance série de la capacité avec la self-induction de ses connexions placées entre les points A et B. Si la fréquence se rapproche de cette fréquence de résonance, l'impédance est plus petite que $1/C\omega$ et prend sa plus basse valeur exactement à la fréquence de résonance. Sa valeur est déterminée par les pertes dans ce circuit résonnant. L'atténuation ne peut plus alors être calculée par la relation (14), mais elle sera plus élevée et son maximum sera atteint pour la fréquence de résonance.

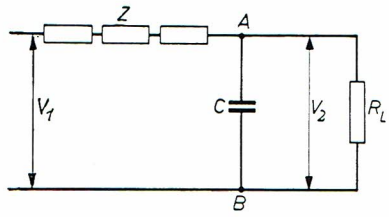


Fig. 10. — Cellule composée d'une capacité céramique et de trois perles Ferroxcube.

Pour des fréquences plus élevées l'impédance deviendra inductive et augmentera à nouveau. L'atténuation cependant diminuera. La relation donnant l'atténuation deviendra:

$$A = 20 \log_{10} \frac{Z\,\omega}{R_s + \frac{1}{C\,\omega}\left(\frac{\omega^2}{\omega_0^2} - 1\right)} \qquad (15)$$

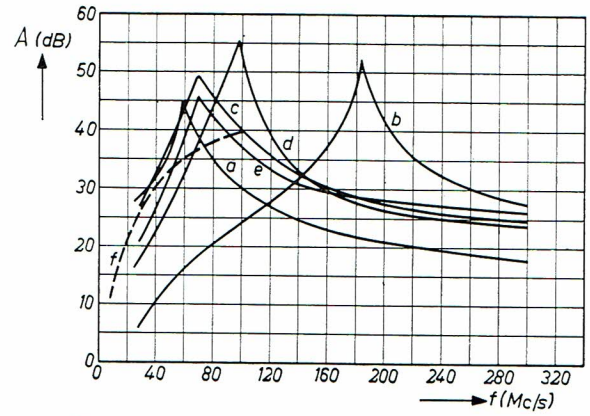


Fig. 11. — Courbes d'atténuation de la cellule figure 10.
a — C = 1500 pF capacité tubulaire
b — C = 190 pF capacité tubulaire
c — C = 1500 pF capacité disque
d — C = 550 pF capacité disque
bâtonnet Ferroxcube 3,5 × 1,2 × 3 — 3B
e — C = 1500 pF capacité disque
bâtonnet Ferroxcube 3,5 × 1,2 × 3 — 4B
f — C = 1500 pF atténuation calculée d'après la relation (14) avec un bâtonnet Ferroxcube 3,5 × 1,2 × 3 — 3B (les fils de connexion AB ont un ∅ = 0,6 mm et 2 × 2,5 mm de long).

La figure 11 montre des atténuations mesurées avec différentes perles Ferroxcube et différentes valeurs de capacités.

La pointe de ces courbes indique la fréquence de résonance de la capacité avec ses connexions comme nous venons de l'expliquer. Aux fréquences plus basses il existe une bonne reproduction de la relation (14). Cette relation a été reproduite figure 11 (courbe f) pour un cas seulement.

II. — SELFS D'ARRÊT VHF AVEC NOYAU FERROXCUBE

I - Self d'arrêt sans noyau et avec noyau ouvert Ferroxcube.

Généralement on demande à une self d'arrêt de posséder une self-induction élevée qui fixe son impédance. Cependant, chaque self d'arrêt constitue un circuit résonnant parallèle avec sa capacité propre C (voir fig. 12).

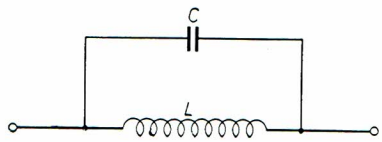


Fig. 12. — Circuit équivalent d'une self d'arrêt L avec capacité répartie C.

Pour les applications en ondes longues ou moyennes, la fréquence de travail de ces selfs d'arrêt sera bien au-dessous de leur fréquence de résonance parallèle, donnant ainsi une inductance suffisamment élevée. Aux ondes courtes et plus spécialement en VHF et UHF, ceci n'est pas le cas. La capacité répartie ne peut être réduite car elle est limitée par les dimensions géométriques, les connexions et le fil du bobinage. Une telle self d'arrêt travaille alors au voisinage de la fréquence de résonance. Il est même souhaitable de choisir les dimensions de la bobine de telle façon que la fréquence de résonance soit atteinte, car on obtient ainsi le maximum d'impédance. Ainsi que le montre la courbe de résonance, il faut remarquer que cette zone d'impédance élevée sera relativement étroite. Il est donc facile de désaccorder cette self d'arrêt, par exemple si d'autres selfs d'arrêt sont utilisées dans le circuit avec des capacités réparties différentes.

Cependant dans beaucoup de cas, une gamme de fréquence plus large est utilisée, comme dans les amplificateurs, lorsqu'une bande complète de fréquence a été supprimée à l'aide de plusieurs selfs d'arrêt en série. L'impédance d'un circuit résonnant parallèle ainsi que le schématise une self d'arrêt avec sa capacité répartie est donnée par :

$$Z = \frac{R_{res}}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R_{res}^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}} \qquad (16)$$

si $\omega\, C\, R_{res}$ est plus grand que l'unité. Dans cette équation :

R_{res} = L/CR = impédance à la résonance
L = self-induction de la self d'arrêt
C = Capacité répartie de la self d'arrêt
ω_0 = $1/\sqrt{L\,C}$ = fréquence de résonance parallèle.

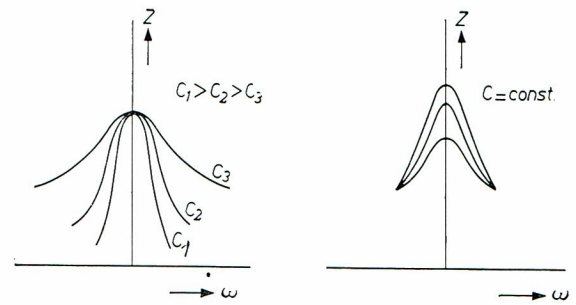


Fig. 13. — a) Avec une capacité décroissante, l'impédance en dehors de la résonance augmente.
b) Une augmentation des pertes donne, avec une capacité constante, une plus petite impédance hors de la résonance.

D'après la figure 13 on voit qu'une diminution de capacité se traduit hors de la résonance par une augmentation de l'impédance. Ainsi que nous l'avons dit cette diminution de capacité a une limite.

Par contre, l'augmentation des pertes dans la bobine diminue la résistance à la résonance. Si la capacité est constante, on obtient de cette façon une diminution de l'impédance, mais celle-ci est plus uniforme en fonction de la fréquence.

Des mesures ont été faites avec ces selfs d'arrêt ayant presque les mêmes fréquences de résonance et les mêmes dimensions. L'impédance et la résistance effective série sont données en fonction de la fréquence (fig. 14). La courbe C représente une self d'arrêt sans noyau ferro-magnétique, on obtient dans ce cas l'impédance la plus élevée. La capacité répartie est très basse. Comme les pertes dans la bobine sont basses l'impédance est presque une réactance pure, sauf dans une bande étroite près de la fréquence de résonance. Il est évident que cette self d'arrêt sera très influencée par de petites modifications de la capacité du bobinage et ceci en limite l'emploi.

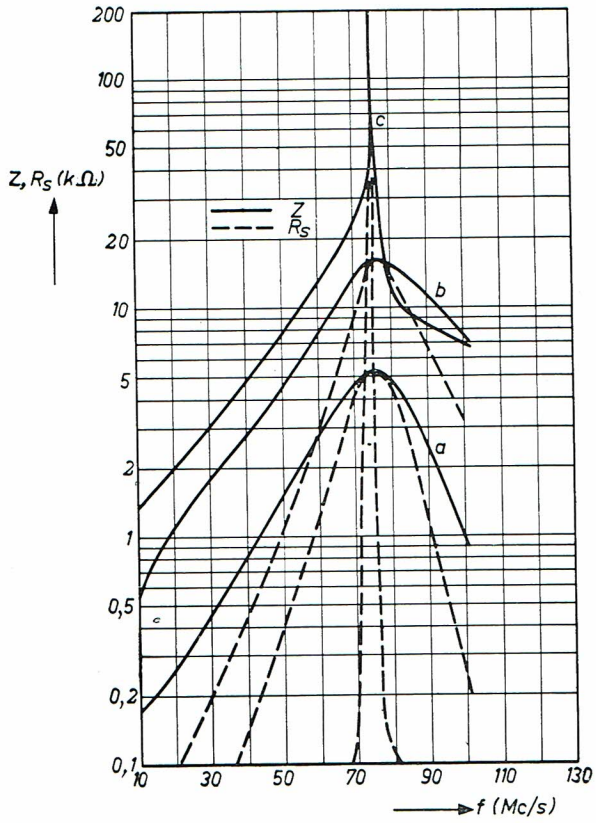


Fig. 14. — Impédance Z et résistance de pertes R. pour trois selfs d'arrêt différentes : a - avec noyau Ferroxcube 3B;
b - avec noyau Ferroxcube 4B;
c - sans noyau.

Les courbes a et b sont d'un intérêt plus pratique. Elles représentent des selfs d'arrêt avec noyau Ferroxcube placé dans l'axe de la bobine. Comme les pertes ferro-magnétiques sont élevées, les impédances sont pour une bonne part représentées par les résistances effectives. Il en résulte que ces selfs d'arrêt sont moins sensibles aux différences de capacités du bobinage. La perméabilité élevée du noyau conduit cependant à un nombre de spires un peu plus faible. Donc les dimensions de cette self d'arrêt peuvent être plus petites que celles sans noyau Ferroxcube et un fil plus gros peut être utilisé.

2 - Self d'arrêt VHF avec noyau fermé Ferroxcube.

La perméabilité d'un noyau fermé Ferroxcube correspond à la perméabilité initiale μi. Elle est beaucoup plus élevée que la perméabilité effective du bâtonnet. Au-dessus d'une certaine fréquence critique la perméabilité dépend beaucoup de la fréquence. Ceci est d'autant plus vrai pour un circuit fermé sans entrefer.

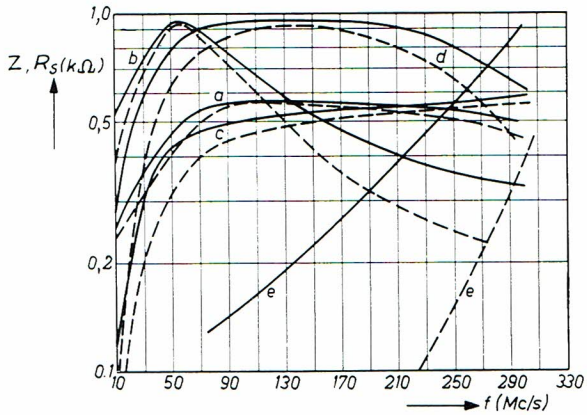


Fig. 15. — Impédance Z et résistance de pertes R. pour différentes selfs d'arrêt complètes Ferroxcube :
a - VK 200 09/3B;
b - VK 200 10/3B;
c - VK 200 09/4B;
d - VK 200 10/4B;
e - Ferroxcube 4B avec encoches;
———— Z;
— — — — R.

Avec quelques approximations, on peut dire que pour une certaine bande de fréquence au-dessus de la fréquence critique, la diminution de perméabilité du Ferroxcube est proportionnelle à $1/f$. Pour des fréquences suffisamment élevées, les deux composantes de la perméabilité complexe μ' et μ'' diminuent considérablement (voir fig. 4). D'après ces considérations, il en résulte que, pour cette bande de fréquence, la réactance $X = 2\pi f \mu' L_0$ avec la résistance effective $R = 2\pi f \mu'' L_0$ sont pratiquement constantes.

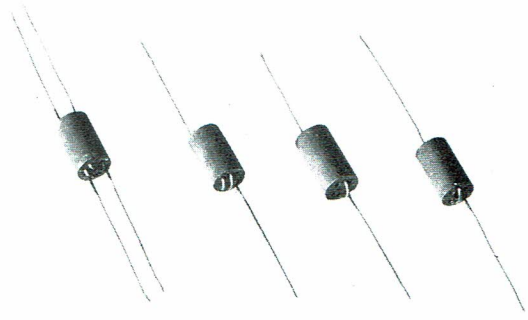


Fig. 16. — Quelques réalisations de selfs d'arrêt complètes Ferroxcube. A gauche, une double self avec deux enroulements de un tour et demi chacun.

Les résultats de mesure (fig. 15) confirment une impédance constante sur une large bande de fréquence. Pour de plus hautes fréquences, l'impédance décroît parce que l'influence de la constante diélectrique devient primordiale. D'après ces courbes on voit également que l'impédance est en partie représentée par la résistance effective.

Les selfs d'arrêt complètes sont faites de petits bâtonnets Ferroxcube avec trois ou six trous axiaux percés avant frittage, et par lesquels passent quelques tours en gros fil. La figure 16 montre quelques exemples de réalisation.

Afin d'établir une comparaison, une self d'arrêt spéciale a été réalisée; à la place des trous, des encoches ont été meulées axialement directement le long de la surface. Dans une encoche, 2 1/2 tours de fil de cuivre ont été placés et ces mesures ont été faites dans ces conditions. Le résultat de mesure a été reporté sur la figure 15 (courbe e) et la comparaison est immédiate.

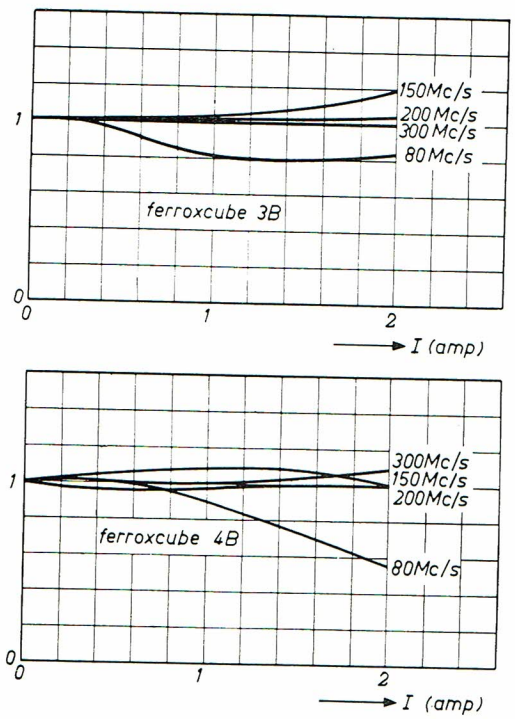


Fig. 17. — Influence d'un courant 50 c/s sur l'impédance d'une self d'arrêt complète Ferroxcube :
a - VK 200 10|3B;
b - VK 200 10 4B.

Les bobines d'arrêt complètes Ferroxcube ont des caractéristiques constantes sur une large bande de fréquence. Leur impédance est peu influencée par les variations de capacité du circuit parce que les pertes ferro-magnétiques en constituent la plus grande partie. Les lignes de force principales sont concentrées dans le Ferroxcube, il en résulte une très faible flux de fuite, c'est-à-dire qu'elles se comportent comme un écran magnétique (effet de blindage). Il faut ajouter que ces selfs d'arrêt n'ont seulement que quelques tours de gros fils, leur résistance en courant continu et basses fréquences est très faible. Elles s'imposent donc dans les chaînes filament des tubes électroniques.

A l'exception des récepteurs batterie, les récepteurs actuels utilisent presque exclusivement un chauffage des tubes sur le secteur 50 c/s. Afin de déterminer l'influence de ce courant 50 c/s, quelques essais ont montré que pour des intensités inférieures à 0,5 A, constituant pratiquement une limite, la variation d'impédance est très faible (fig. 17). Les courbes se rapportent à des selfs d'arrêt avec 2 1/2 tours; s'il s'agit de 1 1/2 tour, les variations d'impédance sont évidemment plus petites.

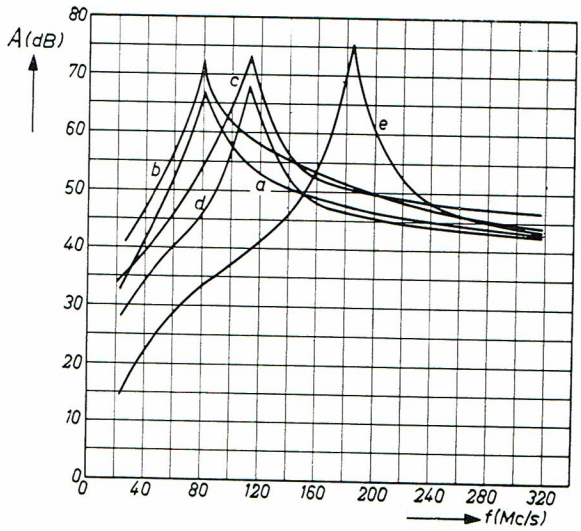


Fig. 18. — Atténuation d'un circuit composé d'une self d'arrêt complète Ferroxcube et d'une capacité céramique :
a - VK 200 09 4B et C = 1500 pF capacité disque;
b - VK 200 10 4B et C = 1500 pF capacité disque;
c - VK 200 10 4B et C = 550 pF capacité disque;
d - VK 280 09 4B et C = 550 pF capacité disque;
e - VK 200 09 4B et C = 200 pF capacité disque.
Fil de connexion A-B : ∅ extérieur 0,6 mm et 2×2,5 mm de long.

3 - Atténuation d'un circuit composé d'une self d'arrêt complète Ferroxcube et d'une capacité céramique.

Comme dans le paragraphe I - 4 (page 00), des mesures d'atténuation résumées par la figure 18 donnent des résultats pratiques. L'allure des courbes est la même que celle indiquée au sujet des perles, sauf que l'atténuation en dB est beaucoup plus élevée, spécialement aux hautes fréquences.

III. — ANTIPARASITAGE EN VHF

1 - Solutions actuelles.

L'antiparasitage en VHF, d'un appareil électro-ménager par exemple, est avant tout empirique. La difficulté vient de ce qu'aux fréquences supérieures à 40 Mc/s, l'inductance propre des condensateurs et la capacité répartie des bobines d'arrêt se comportent, ainsi que nous l'avons dit, comme des circuits accordés permettant de mieux rayonner les perturbations parasites. On constate d'ailleurs qu'aux fréquences de quelques centaines de Kc/s, la propagation en ondes stationnaires par des circuits magnétiques ouverts constitue l'essentiel de la perturbation.

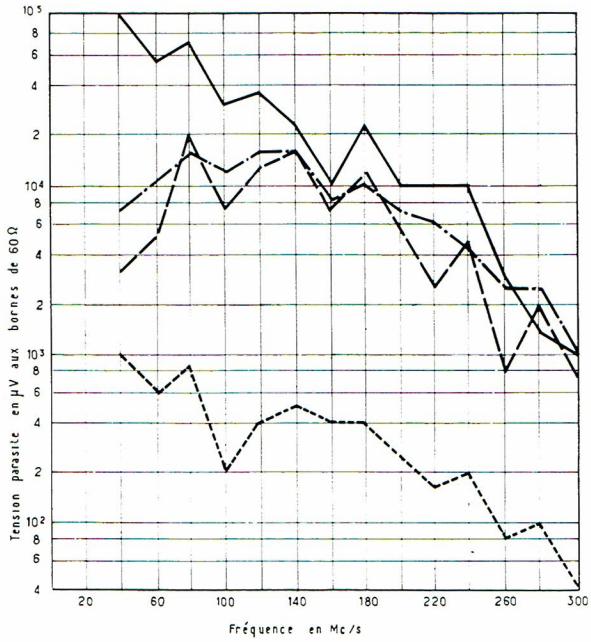
On connait bien de nouveaux procédés d'antiparasitage sur large bande présentant à ces fréquences élevées une certaine efficacité. Ce sont, par exemple, les condensateurs anti-inductifs bobinés incorporés dans un blindage. Mais ces condensateurs ne peuvent pas toujours être insérés à proximité suffisante de la source de parasites et leurs dimensions demeurent assez encombrantes. Les appareils sous capot

plastique sont souvent doublés d'un blindage intérieur relié à la masse. De tels blindages se comportent alors comme des inductances non-négligeables et le niveau de parasite reste encore appréciable.

On emploie cependant avec plus de succès des dispositifs antiparasites simples, comprenant de petits condensateurs céramiques et de petites bobines d'arrêt sur noyau ouvert Ferroxcube comme nous venons d'en donner la description. Dans ce cas, il se produit un renforcement du rayonnement assez souvent en dehors de la bande de fréquence où les parasites ont été affaiblis.

2 - Solution avec perles Ferroxcube.

L'effet de blindage joint à l'effet de self d'arrêt confère aux perles Ferroxcube dont nous avons parlé, des caractéristiques d'anti-parasitage efficaces. On utilise donc un condensateur céramique en parallèle et un certain nombre de perles Ferroxcube en série. La capacité du conducteur chargé de perles Ferroxcube est pratiquement celle des conducteurs non protégés, et la fréquence de résonance de l'ensemble est si élevée que l'on peut, sans crainte, augmenter si l'on veut le nombre de perles et abaisser encore le niveau des parasites. La solution reste économique par suite du prix relativement bas de ces perles.



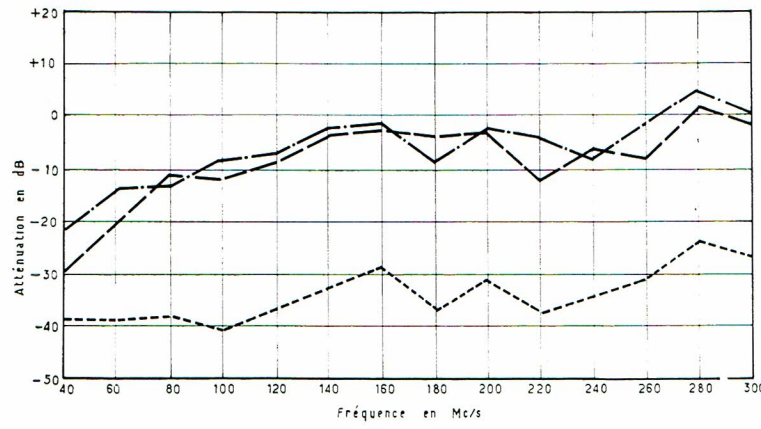


Fig. 19. — Antiparasitage d'un moteur de séchage à cheveux :
Niveau O dB ——— sans dispositif antiparasites;
—·—·—·— avec un condensateur au papier de 20000 pF;
— — — — — avec un condensateur céramique de 1000 pF;
- - - - - - - - avec perles Ferroxcube selon le schéma de la figure 20.

On obtient un effet de blindage et d'amortissement qui, à proximité des sources parasites, s'étend à une longueur plus grande que la protection par bobines d'arrêt ordinaires. Ce procédé a été décrit par Hausel dans la Revue allemande « *Funkschau* », N° 22 (Novembre 1956), p. 939-940: Zusäteiche U K W - Entstörung unit Perlen aus FXC 3B.

Le nombre de perles ne peut être déterminé que dans chaque cas particulier. Pour ses essais, Hausel utilise de 30 à 120 perles. Un premier exemple traité est celui d'un séchoir à cheveux à air chaud. On a mesuré, en fonction de la fréquence, la tension de perturbation. La figure 19 reproduit les résultats. Le niveau 0 dB correspond au séchoir sans dispositif anti-parasites. Avec un condensateur antiparasite au papier de 20 000 pF aux bornes des balais du moteur, on a relevé une courbe permettant de voir qu'à 280 Mc/s le dispositif d'anti-parasitage introduisait une résonance, ce qui se traduisait par un niveau de parasites plus élevé qu'avant. Une légère amélioration avait été obtenue en remplaçant le condensateur papier par un modèle céramique de 1 000 pF moins encombrant. On a constaté, avec ces anti-parasitages une gêne importante dans les réceptions radio en ondes métriques et télévision.

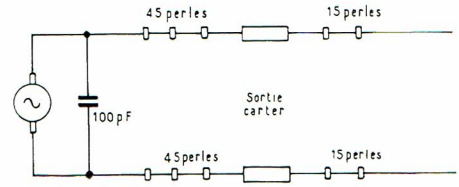


Fig. 20. — Exemple d'antiparasitage d'un séchoir à cheveux.

Ensuite on a mis sur les conducteurs reliant les balais aux enroulements du stator 120 perles en Ferroxcube (fig. 20) et on a obtenu un affaiblissement des parasites de plus de 30 dB. Après ce déparasitage, on pouvait utiliser ce séchoir électrique à 0,60 m de l'antenne d'un récepteur de télévision sans constater sur l'image la moindre perturbation. Un léger perfectionnement a encore été apporté par adjonction sur les connexions de l'élément chauffant de perles Ferroxcube. Mais il s'agit là d'une amélioration superflue. La réception de télévision donnait cependant une tension élevée à l'antenne (800 µV sur 240 Ω vers 50 Mc/s). Les résultats obtenus sur la bande de 150 à 200 Mc/s sont encore plus favorables.

On peut citer aussi l'exemple d'un moteur de machine à coudre. Ce moteur est muni d'un condensateur spécial non inductif et blindé de 40 000 pF en parallèle sur les balais et, à ses bornes extérieures, d'un double condensateur de 2 × 2 500 pF avec mise à la masse au point milieu. On a alors remplacé ce dispositif par un condensateur céramique de 4 000 pF entre les charbons et 30 perles Ferroxcube entre balais et excitation. Les parasites sont alors pratiquement supprimés.

Une solution mieux adaptée à ce procédé d'anti-parasitage pourrait être apportée si l'on pouvait disposer de câbles électriques flexibles avec tresse extérieure en perles Ferroxcube.

TYPES STANDARD DE PERLES ET DE SELFS D'ARRÊT COMPLÈTES FERROXCUBE

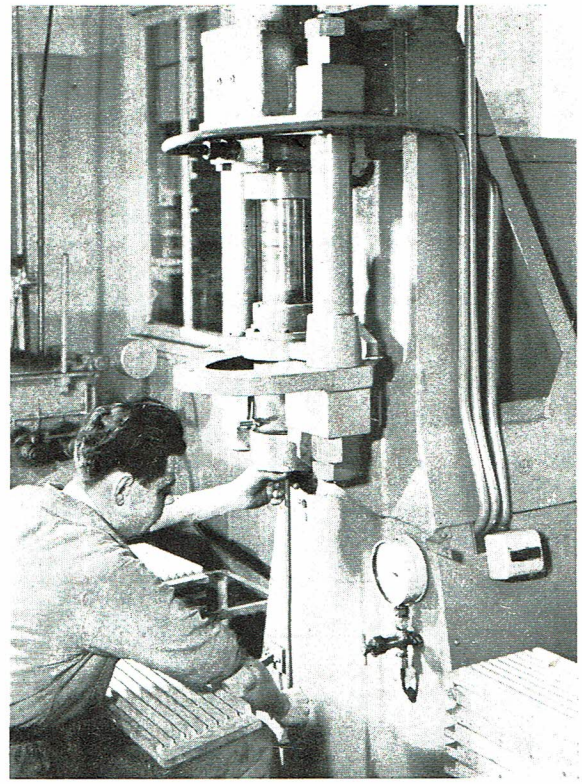
Perles et doubles perles

APPELLATION	DIAMÈTRE EXTÉRIEUR mm	DIAMÈTRE INTÉRIEUR mm	LONGUEUR mm
Bâtonnet 3,5 × 1,2 × 3 - 3B	3,5 ± 0,2	1,2 ± 0,2	3 ± 0,5
— — - 4A	3,5 ± 0,2	1,2 ± 0,2	3 ± 0,5
— — - 4B	3,5 ± 0,2	1,2 ± 0,2	3 ± 0,5
— 4,1 × 2 × 3 - 3B	4,1 ± 0,2	2 ± 0,2	3 ± 0,5
— 5,6 × 0,9 × 12 - 4B	5,6 ± 0,3	0,9 ± 0,15 (2 trous)	12 ± 0,4
— 6,3 × 1,2 × 12 - 4B	6,3 ± 0,3	1,2 ± 0,15 (2 trous)	12 ± 0,4

Selfs d'arrêt complètes

APPELLATION	NOMBRE DE TOURS	IMPÉDANCE MAX.		DIMINUTION DE L'IMPÉDANCE DANS UNE GAMME DE FRÉQUENCE	
		Z max (kΩ)	à f (Mc/s) environ	Δf (Mc/s)	(dB)
VK 200 09/3B	1 1/2	0,35 ± 20 %	120	10 - 300	7
VK 200 09/4B	1 1/2	0,45 ± 20 %	250	80 - 300	3
VK 200 10/3B	2 1/2	0,75 ± 20 %	50	10 - 220	7
				30 - 100	3
VK 200 10/4B	2 1/2	0,85 ± 20 %	180	50 - 300	6
				80 - 220	3
VK 200 11/3B	2 × 1 1/2	0,9 ± 20 %	50	10 - 220	7
				30 - 100	3
VK 200 11/4B	2 × 1 1/2	1 ± 20 %	110	50 - 300	7
				80 - 220	3

FABRICATION DES BATONNETS " FERROXCUBE "



Presse à filer (extrusion des bâtonnets).

Les différents oxydes composant le Ferroxcube sont préalablement broyés et mélangés dans des broyeurs à billes. La forme de bâtonnet est ensuite obtenue par extrusion à travers une filière. Après séchage, le bâtonnet subit un frittage de plusieurs heures à température élevée (1 200° C environ) dans un four à fonctionnement automatique. Durant cette cuisson, s'opère sur toutes les dimensions un retrait assez important (20 % environ). On obtient ainsi une pièce de couleur brun-lilas dont les propriétés mécaniques sont celles de la céramique.

Après sciage à la longueur voulue, les bâtonnets subissent un contrôle mécanique (aspect, dimensions, flèche) et par prélèvement un contrôle électrique (perméabilité, pertes).

" INFORMATIONS ÉLECTRONIQUES "

AFFILIÉ A L'ASSOCIATION DES JOURNALISTES PÉRIODIQUES BELGES ET ÉTRANGERS
(Union professionnelle reconnue)

M. B. L. E

Division "ÉLECTRONIQUE"

80, RUE DES DEUX GARES, BRUXELLES. TÉL. : 21.82.00 (20 LIGNES)

Éditeur responsable : J. Dewèvre, rue Philippe-de-Champagne, 36, Bruxelles

Imprimé en France