

# 装荷によるインダクタンスの効果

林 憲 一

## Evaluation de l'Effet de l' Augmentation d' Inductance sur des Câbles Chargés

Ken-ichi HAYASHI

Résumé : Nous cherchons en détail la variation de l'affaiblissement du câble en augmentant l'inductance et clarifions les caractéristiques. Ainsi que nous expliquons les points à fonctionner aux pratiques systèmes chargés en obtenant les rapports à varier des affaiblissement par le changement des valeurs l' inductance. En outre, le mécanisme de diminution des affaiblissement s'explique clairement. La fréquence est toujours un kilohertz.

### Introduction

On emploie la formule d'affaiblissement à haute fréquence pour expliquer l'effet de diminution d'affaiblissement sur des câbles chargés<sup>1)</sup>. Mais, sur les câbles non-chargés à la fréquence de voix la condition ( $\omega L \gg R$ ) n'est pas satisfaisante, c'est-à-dire il faut qu'on utilise deux différentes expressions approches avant et après le chargement.

Nous calculons donc des valeurs numériques de l'effet de l'augmentation d'inductance sur la formule générale et examinons la variation de l'affaiblissement ainsi que figurons les resultats. Les autres caractéristiques…… l'impédance caractéristique et la vitesse de propagation…… s'indiquent encore.

Ensuite, nous commentons intelligiblement le phénomène en faisant la diminution d'affaiblissement. La fréquence est toujours un kilohertz.

### 1. Formule generale

En mettant des paramètres primaires de câble en R, L, G et C, ceux deuxièmes se donnent suivant:

$$\Gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (1)$$

En cas de  $R \ll \omega L$  et  $G \ll \omega C$  (En cas de haute fréquence ou des câbles chargés)

$$\Gamma_{\text{haut}} = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} + j\omega \sqrt{LC} \quad (2)$$

En cas de  $R \gg \omega L$  et  $G \ll \omega C$  (En cas des câbles non-chargés pour transmettre la fréquence vocale)

$$\Gamma_{\text{bas}} = \sqrt{j\omega CR} = (1+j) \sqrt{\frac{\omega CR}{2}} \quad (3)$$

Séparant la formule (1) en partie réelle et imaginaire, on obtient deux expressions en Decibel et en Radian.

$$\alpha = 8.686 \sqrt[4]{(R^2 + \omega^2 L^2)(G^2 + \omega^2 C^2)} \cos \frac{1}{2} \times \left( \tan^{-1} \frac{\omega L}{R} + \tan^{-1} \frac{\omega C}{G} \right) \quad [\text{dB/km}] \quad (4)$$

$$\beta = \sqrt[4]{(R^2 + \omega^2 L^2)(G^2 + \omega^2 C^2)} \sin \frac{1}{2} \times \left( \tan^{-1} \frac{\omega L}{R} + \tan^{-1} \frac{\omega C}{G} \right) \quad [\text{Rad/km}] \quad (5)$$

L'impédance caractéristique  $Z_0 \angle \phi_c$  et le rapport sur la vitesse de propagation  $\bar{v}_c = v/c$  se donnent:

$$Z_0 \angle \phi_c = \sqrt[4]{\frac{R^2 + \omega^2 L^2}{G^2 + \omega^2 C^2}} \angle \frac{1}{2} \times \left( \tan^{-1} \frac{\omega L}{R} + \tan^{-1} \frac{\omega C}{G} \right) \quad [\Omega] \quad (6)$$

<sup>1)</sup> Par exemple, R. Croze et L. Simon, "Transmission Téléphonique", Editions Eyrolles, Paris, traduit en japonais par K. Hayashi,

$$v_c = v/c = \omega / (\beta \cdot c) \quad (7)$$

## 2. Formule pour les câbles chargés

En mettant l'intervalle entre bobines de charge en  $s$ , la valeur d'inductance de bobine en  $l_b$ , celle attachée au système de charge en  $l_s$ , la résistance de bobine à l'inductance  $l_s$  en  $R_b$ , et les paramètres primaires aux câbles non-chargés en  $R_0$ ,  $L_0$ ,  $G_0$  et  $C_0$ , nous obtenons les formules de paramètre primaire comme suivant.

$$R = \left( R_0 + \frac{R_b}{s} \frac{l_b}{l_s} \right) [\Omega/\text{km}], \quad G = G_0 [\Omega/\text{km}] \quad (8)$$

$$L = \left( L_0 + \frac{l_b}{s} \right) \times 10^{-3} [\text{H}/\text{km}], \quad C = C_0 [\text{F}/\text{km}]$$

Ici, l'unité d'inductance pour  $l_b$  et  $L_0$  est en  $[\text{mH}]$  et la fréquence opérative est  $1 [\text{kHz}]$ . Ainsi que la valeur de résistance est linéaire à celle d'inductance, en supposant.

L'expression d'affaiblissement se donne d'après en remplir la formule (4) de celle (8).

$$\begin{aligned} \alpha &= 8.686 \sqrt{\left\{ \left( R_0 + \frac{R_b}{s} \frac{l_b}{l_s} \right)^2 + (2\pi)^2 \left( L_0 + \frac{l_b}{s} \right)^2 \right\}} \\ &\times \sqrt{\left\{ G_0^2 + (2\pi)^2 \times 10^6 \times C_0^2 \right\}} \times \cos \left\{ \frac{1}{2} \left( \tan^{-1} \right. \right. \\ &\left. \left. \frac{2\pi \left( L_0 + \frac{l_b}{s} \right)}{R_0} + \tan^{-1} \frac{2\pi \times 10^3 \times C_0}{G_0} \right) \right\} [\text{dB}/\text{km}] \quad (9) \end{aligned}$$

L'impédance caractéristique et le rapport sur la vitesse de propagation se donnent pareillement.

Pour obtenir le rapport à varier l'affaiblissement, on fait la formule (4) en logarithme.

$$\begin{aligned} \ln \alpha &= \ln 8.686 + \frac{1}{4} \ln \left\{ \left( R_0 + \frac{R_b}{s} \frac{l_b}{l_s} \right)^2 + (2\pi)^2 \right. \\ &\times \left. \left( L_0 + \frac{l_b}{s} \right)^2 \right\} + \frac{1}{4} \ln \left\{ G_0^2 + (2\pi)^2 \times 10^6 \times C_0^2 \right\} \\ &+ \ln \cos \left\{ \frac{1}{2} \left( \tan^{-1} \frac{2\pi \left( L_0 + \frac{l_b}{s} \right)}{R_0 + \frac{R_b}{s} \frac{l_b}{l_s}} + \tan^{-1} \frac{2\pi \times 10^3 \times C_0}{G_0} \right) \right\} \end{aligned}$$

En suite on différencie la formule ci-dessus.

$$\frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{1}{2} \frac{\left( R_0 + \frac{R_b}{s} \frac{l_b}{l_s} \right) \frac{R_b}{s} \frac{1}{l_s} + (2\pi)^2 \left( L_0 + \frac{l_b}{s} \right) \frac{1}{s}}{\left( R_0 + \frac{R_b}{s} \frac{l_b}{l_s} \right)^2 + (2\pi)^2 \left( L_0 + \frac{l_b}{s} \right)^2}$$

$$\begin{aligned} & - \frac{\pi}{s} \frac{R_0 - R_b \frac{l_b}{l_s}}{\left( R_0 + \frac{R_b}{s} \frac{l_b}{l_s} \right)^2 + (2\pi)^2 \left( L_0 + \frac{l_b}{s} \right)^2} \\ & \times \tan \frac{1}{2} \left\{ \tan^{-1} \frac{2\pi \left( L_0 + \frac{l_b}{s} \right)}{R_0 + \frac{R_b}{s} \frac{l_b}{l_s}} + \tan^{-1} \frac{2\pi \times 10^3 \times C_0}{G_0} \right\} \quad (10) \end{aligned}$$

## 3. Exemple numérique

(A) Paire dans une quatre-étoile urbaine du conducteur  $0.65 \text{mm}\phi$ . Les valeurs de la paire sont:

$$\begin{aligned} s &= 0.915 [\text{km}], \quad l_b = \text{variable} [\text{mH}], \\ l_s &= 100 [\text{mH}], \quad R_b = 16 [\Omega], \\ R_0 &= 105 [\Omega/\text{km}], \quad L_0 = 0.7 [\text{mH}/\text{km}], \\ G_0 &= 1.8 [\mu\text{S}/\text{km}], \quad C_0 = 50 [\text{nF}/\text{km}] \end{aligned}$$

Par conséquent,

$$R = \left( R_0 + \frac{R_b}{s} \right) \frac{l_b}{l_s} = 105 + 17.48 \times 10^{-2} \times l_b [\Omega/\text{km}]$$

$$L = \left( L_0 + \frac{l_b}{s} \right) \times 10^{-3} = (0.7 + 1.093 \times l_b) \times 10^{-3} [\text{H}/\text{km}]$$

$$G = G_0, \quad C = C_0$$

Aussi

$$\omega L = 2\pi \left( L_0 + \frac{l_b}{s} \right) [\Omega/\text{km}]$$

$$\omega C = \omega C_0 = 2\pi \times 10^3 \times C_0 [\text{S}/\text{km}]$$

Ensuite

$$\sqrt{G_0^2 + \omega^2 C_0^2} = 2.419 \times 10^{-4} [\text{S}/\text{km}]$$

$$\tan^{-1} \frac{\omega C_0}{G_0} = \tan^{-1} 186.077 = 89^\circ 41' 30''$$

En remplaçant les valeurs ci-dessus par la formule (9) et (10),

$$\begin{aligned} \alpha &= 8.686 \sqrt{\left\{ (105 + 0.178 l_b)^2 + 39.479 (0.7 + 1.0928 l_b)^2 \right\}} \\ &\times 2.419 \times 10^{-4} \times \cos \left\{ \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{4.398 + 6.866 l_b}{105 + 0.1748 l_b} \right. \\ &\left. + 89^\circ 41' 30'' \right\} \quad (11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\alpha'}{\alpha} &= \frac{24.289 + 23.539 l_b}{(105 + 0.1748 l_b)^2 + 39.479 (0.7 + 1.0928 l_b)^2} \\ &- \frac{360.13}{(105 + 0.1748 l_b)^2 + 39.479 (0.7 + 1.0928 l_b)^2} \\ &\times \tan^{-1} \left\{ \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{4.3982 + 6.8663 l_b}{105 + 0.1748 l_b} \right) + 89^\circ 41' 30'' \right\} \quad (12) \end{aligned}$$

Les résultats se présentent dans les Figures(1), (2)et(3).

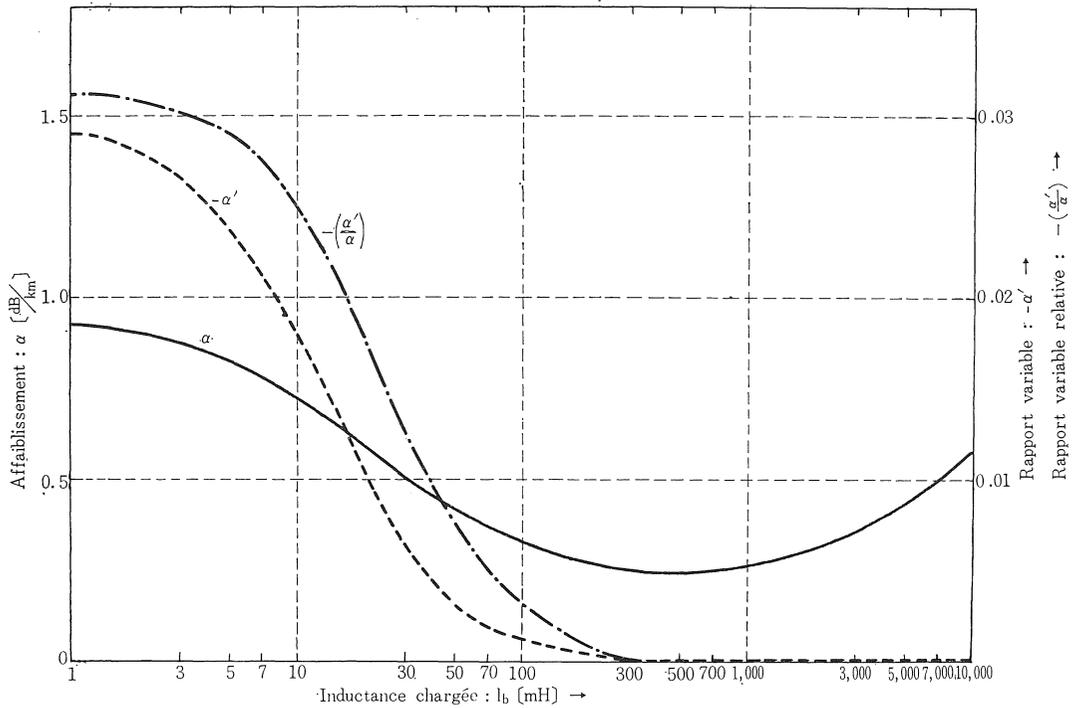


Fig. 1 La variation de l'affaiblissement et les rapports variables,

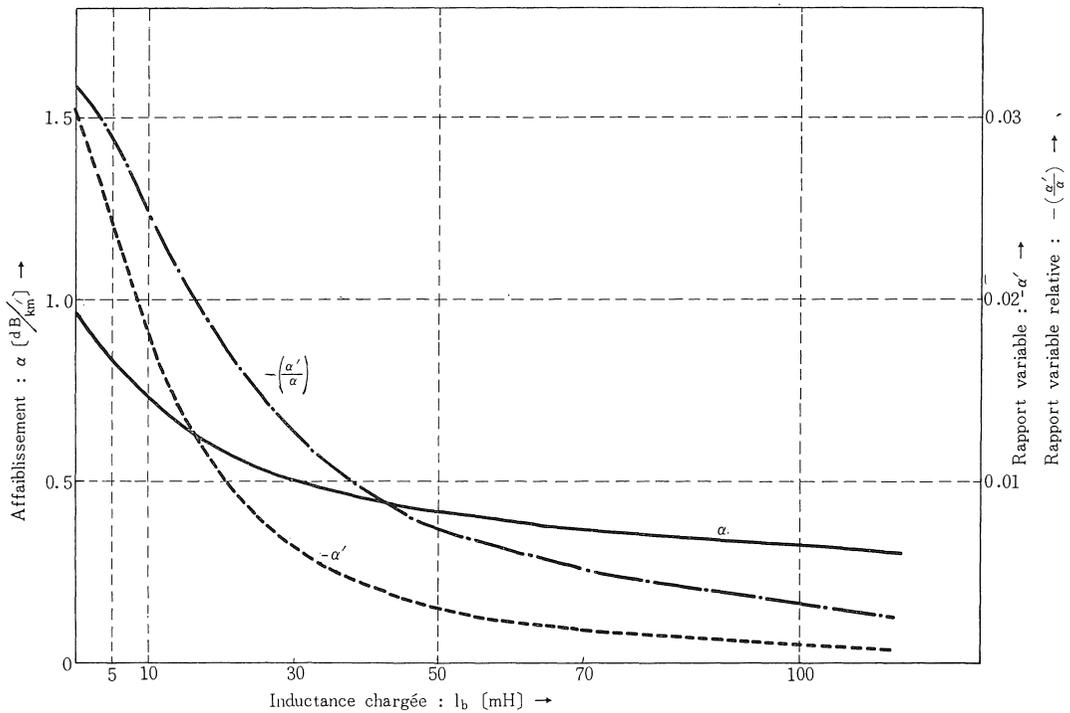


Fig. 2 Les courbes avec l'échelle uniforme de la fréquence dans la Fig. 1.

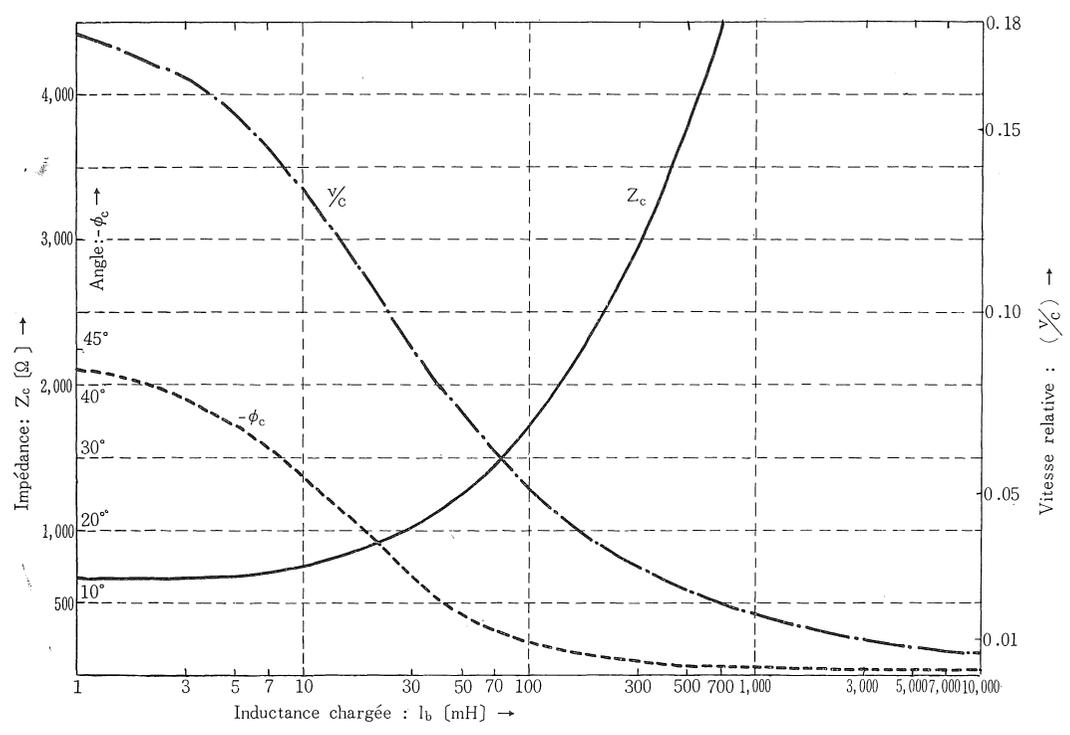


Fig. 3 Les variations de  $Z_c \angle \phi$  et  $V_c/C$ .

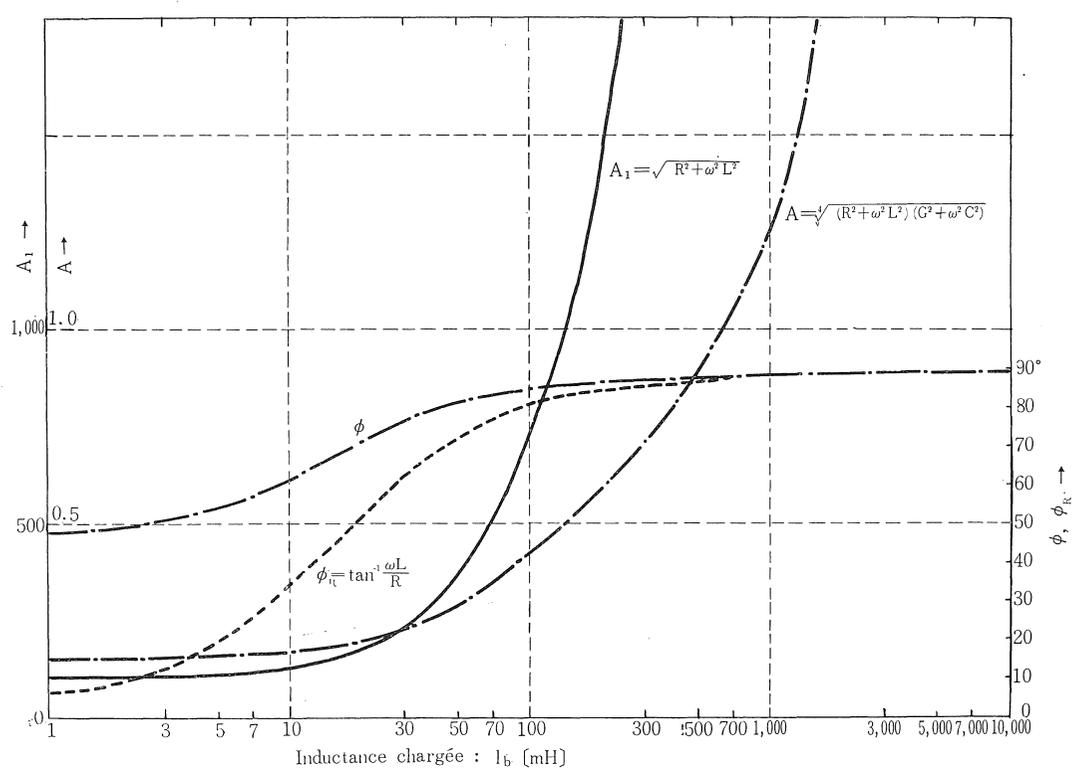


Fig. 4

**Consideration**

(i) La variation de baisse sur l'affaiblissement par l'augmentation de l'inductance est beaucoup entre des valeurs de  $l_b=0\sim 100$  [mH]. L'échelle d'abscisse dans la Fig. 1 est en logarithme, et les courbes en échelle uniforme se présentent dans la Fig. 2 pour spécifier le rapport variable. Nous y comprenons que l'inductance du système type B (système japonais :  $l_b=100$  [mH],  $s=915$  [m]) est correspondant au limit supérieure dans le domaine effectif. La valeur minium est à  $l_b=500$  [mH] environ, mais elle est à  $l_b=3,000$  [mH] environ pourvu qu'à négliger la résistance de la bobine chargée et on obtient  $\alpha(\text{minimum})=0.12$  [dB/km].

(ii) Interprétation du mécanisme de la diminution d'affaiblissement: L'affaiblissement étant à la partie réelle de l'exposant de propagation...  $\Gamma$ ..., il y a deux manière pour la baisse d'atténuation,

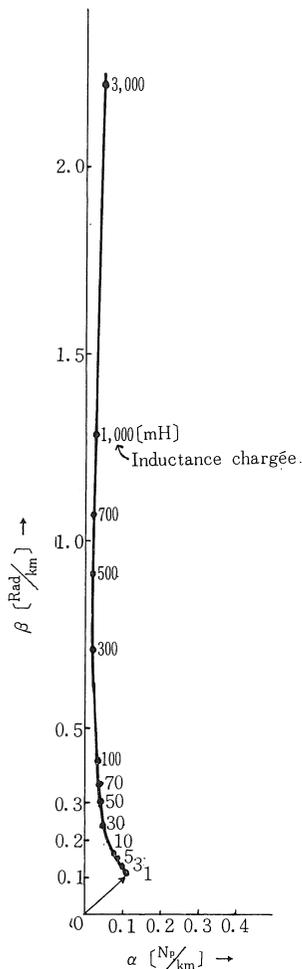
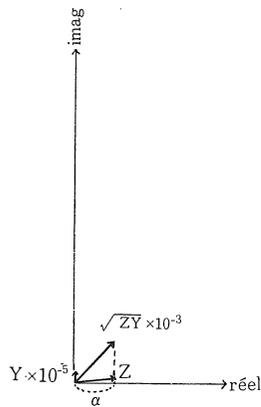
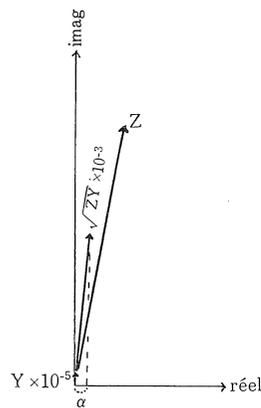


Fig. 5



(a) sans bobine



(b) avec bobine 100 [mH]

Fig 6

c'est-à-dire la valeur  $|\Gamma|$ ... même se diminue ou l'angle de phase de  $\Gamma$ ...  $\angle \Gamma$ ... s'augmente. En mettant  $|\Gamma|=A$  et  $\angle \Gamma=\phi$ , les variations s'indiquent dans la Fig. 4. Par référence les courbes

$$\text{de } A_1 = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \text{ et de l'angle } \phi_R = \tan^{-1} \frac{R}{\omega L}$$

s'indiquent en même temps.

Par la Fig. 4 nous comprenons que l'augmentation de l'inductance  $l_b$  est correspondant à l'incrément de  $A$  mais la croissance de l'angle  $\phi$  est plus que celle de  $A$ . La courbe de  $\Gamma$  se présente dans la Fig. 5 sous la forme de l'expression en coordonnées polaire. Nous y remarquons l'étendue de la diminution de l'affaiblissement ( $\alpha=A \cos \phi$ ) en dépit de l'augmentation de  $A$ , à savoir ce domaine est correspondant à la partie effective par la pupinisation. En mettant l'impédance en série à  $Z$  et l'admittance en parallèle à  $Y$ , nous indiquons les expressions vectorielles dans la Fig. 6.

(B) Paire dans une quatre-étoile interurbaine du conducteur 0,9mm  $\phi$ .

Les valeurs se donnent comme suivant:

$$\begin{aligned} s &= 1 \text{ [km]}, & l_b &= \text{variable [mH]}, \\ l_s &= 130 \text{ [mH]}, & R_0 &= 18 \text{ [\Omega]}, \\ R_0 &= 55 \text{ [\Omega/km]}, & L_0 &= 0.7 \text{ [mH/km]}, \\ G_0 &= 1.3 \text{ [\mu S/km]}, & C_0 &= 38.5 \text{ [nF/km]} \end{aligned}$$

Les courbes d'affaiblissement se présentent dans Fig. 7. et Fig. 8.

**Conclusion**

Les manières de variation des caractéristiques des câbles surtout d'affaiblissement par l'augmentation d'inductance s'obtiennent concrètement dans les courbes et le mécanisme de l'effet de la diminution d'affaiblissement s'explique simplement. Nous avons employé l'ordinateur au notre Institute pour la calculation numérique.

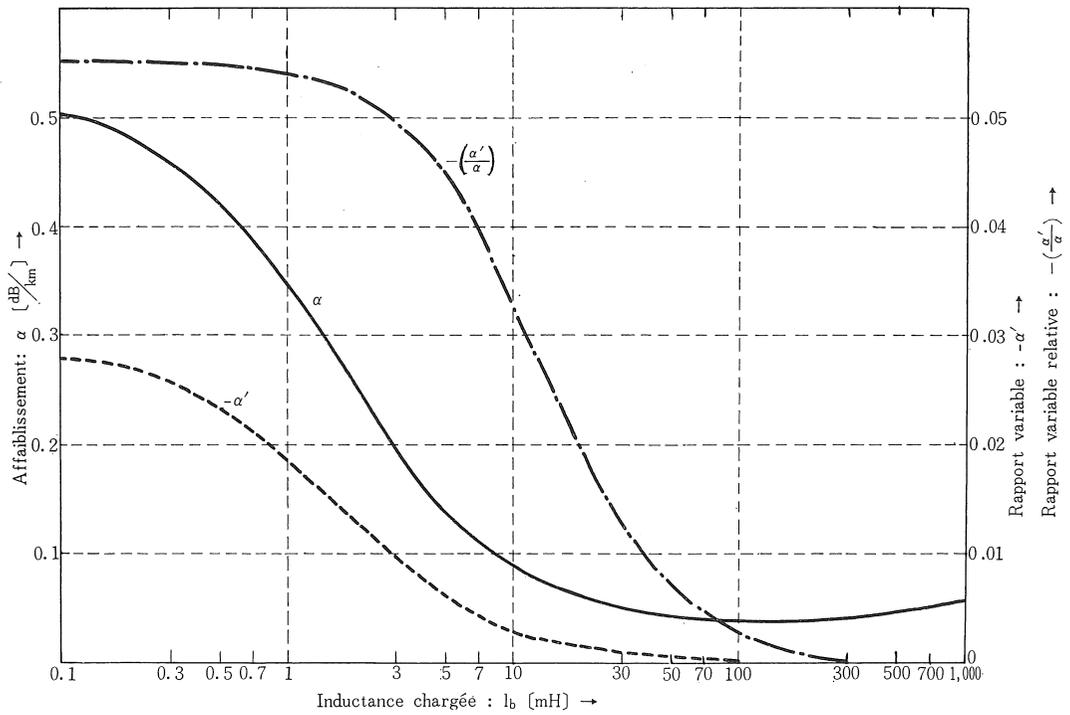


Fig. 7 La variation de l'affaiblissement et les rapports variables.

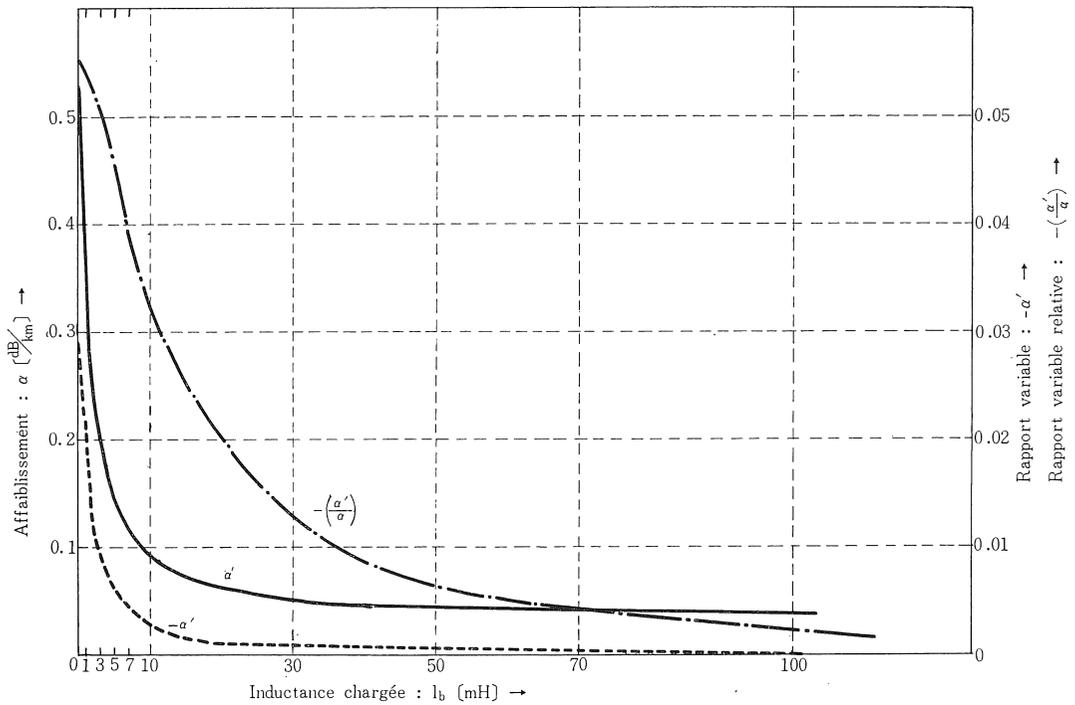


Fig. 8 Les courbes avec l'échelle uniforme de la fréquence dans la Fig. 7.