

le coaxial

Par F5HVI

Parlons aujourd'hui du coaxial soit pour se remémorer certains oublis ce qui n'est pas inintéressant soit pour apprendre ce qui est notre but.

Un coax (abréviation de coaxial) est constitué de 4 parties nécessaires à son fonctionnement ou à sa protection.

- 1) un conducteur intérieur ou central
- 2) une enveloppe isolante ou diélectrique
- 3) un conducteur extérieur concentrique
- 4) une gaine de protection extérieure

A) Le conducteur intérieur peut être de plusieurs formes ou natures

- 1- massif
- 2- câblé en toron
- 3- tube

A1- Sous forme massive il est soit en cuivre nu, cuivre étamé ou argenté soit en acier cuivré.

Une explication vient à l'esprit concernant le fait qu'il soit en 2 couches .C'est pour la soudure ce qui est vrai mais aussi nous savons que plus la fréquence augmente plus les électrons se promènent (ils sont lents pris individuellement) sur la périphérie du conducteur. La formule de l'effet de peau est

$$S = 0.066 \frac{1}{\sqrt{F}} \quad S \text{ en mètres} \quad F \text{ en Hz}$$

Nous avons donc la réponse pour le cas des coax comprenant une âme centrale en forme de tube.

Nota: Comme la section apparente devient plus faible la résistance augmente.

A2-A3- Les âmes câblées sont présentes surtout pour la souplesse du câble. D'ailleurs les coaxiaux à conducteur tube sont aussi annelés (ondulés), souplesse toujours. Essayez d'imaginer un coax type CATV (publicité mise à part) non annelés. La présence d'un tube permet d'alléger le câble. Veuillez noter que le prix est proportionnel à la technologie employée mais aussi d'une matière première qui est le cuivre, celui-ci n'est pas gratuit. Le cuivre représente en gros la moitié du poids du câble dans un KX 4 ou RG 213.

B Le diélectrique.

C'est la partie importante du coax .Sa nature et son dimensionnel donneront avec l'âme centrale les caractéristiques de votre câble. Il peut être massif ou aéré ou encore une combinaison des deux.

B1- Massif

La nature du matériau employé est significative de la température de fonctionnement mais aussi de son affaiblissement, de la vitesse de propagation....etc

Si c'est du Polyéthylène sa température de fonctionnement sera d'environ 70 à 80°C maxi et accessoirement 100°C en pointe. C'est le cas des coax les plus courants (KX 4 RG 213 KX 3B....). Par contre il peut être en téflon (PTFE) et dans ce cas sa température de fonctionnement est d'environ 250°C avec en pointe 320°C

La constante diélectrique (ϵ) est aussi différente et dépend du matériau: environ 2,28 pour le Polyéthylène mais pas n'importe lequel et 2 pour le téflon

Il s'ensuit qu'en haute fréquence la vitesse de propagation (V) dans un coax est fonction directement de cette constante diélectrique .En fonction de la vitesse de la lumière (C) proche de 300 000 KM/s nous pouvons calculer celle-ci avec la formule suivante:

$$\frac{V}{C} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon}}$$

Diélectrique	permittivité	V/C	Câble
Pe massif	2.28	0.66	KX 4 – RG 213
PTFE	2	0.71	Hyper
Pe cellulaire	1.32	0.87	Télédistribution

NOTA: Il faut dire que la vitesse de phase ou vitesse de propagation dépend dans une certaine mesure de la fréquence du train d'onde, c'est à dire des fréquences différentes se propagent également à des vitesses différentes. Pour ceux que les maths passionnent.

$$V = \frac{C}{\sqrt{\epsilon}} \times \frac{1}{1 + \frac{\rho}{2Le\sqrt{\omega}}}$$

avec $\rho = D/d$ rapport des diamètres et $Le = 2 \ln D/d \times 10^{-4}$ H/Km.

A mon avis pas besoin de coax à diélectrique téflon pour une utilisation courante
exemple: Prix au Kilo du polyéthylène, environ 9Frs alors que celui du téflon est d'environ 250Frs. Il faut tenir compte des densités 0,92 pour le Pe et 2,1 pour le PTFE soit pour un même diamètre 2 fois plus de téflon.

B2- Le cellulaire ou aéré

Puisque la vitesse de propagation dans l'air est de 1 par convention il semble plus judicieux de se rapprocher de cette condition d'où, un diélectrique contenant une partie faite d'air est plus intéressant. Si vous avez besoin de téflon pour une question de température il existe aussi en téflon cellulaire. Dans ces 2 cas le coax est moins lourd.

Là on peut se rapprocher jusqu'à 90% de la vitesse de la lumière avec pour résultat moins d'atténuation ou affaiblissement (α). Comme l'affaiblissement dépend de 2 facteurs qui sont les pertes dans les conducteurs et dans le diélectrique et que le 1^{er} semble difficile à diminuer de façon très importante (il faut toujours tenir compte des prix) il vaut mieux modifier le 2nd paramètre

Pour les matheux la formule est la suivante

$$\alpha = 91 \times 10^{-3} \sqrt{\epsilon} \times \text{tg} \delta \times F + 26 \times 10^{-4} \sqrt{\epsilon \times F} \times \frac{\frac{1}{d} + \frac{1}{D}}{\log \frac{D}{d}}$$

avec $\text{tg} \delta$ l'angle de perte des matériaux diélectriques qui est d'environ 3.10^{-4} pour un bon Pe. F en MHz et D-d en mm

Nous voyons que le 1^{er} terme dépend du matériaux et le 2nd. du dimensionnel du câble. Or l'impédance d'un coax résultant de son dimensionnel et de la nature du diélectrique, le 2nd terme peut être considéré comme une quasi constante du coax. Le 1^{er} terme prouve que si votre diélectrique est mauvais l'affaiblissement ne pourra pas être bon. Donc attention pas d'eau dans le câble

Un petit rappel pour le calcul de l'impédance caractéristique.

$$Z_c = \frac{60}{\sqrt{\epsilon}} \left(\ln \frac{D}{d} \right) = \frac{138}{\sqrt{\epsilon}} \left(\log \frac{D}{d} \right) = \frac{1}{V \times C} 10^9$$

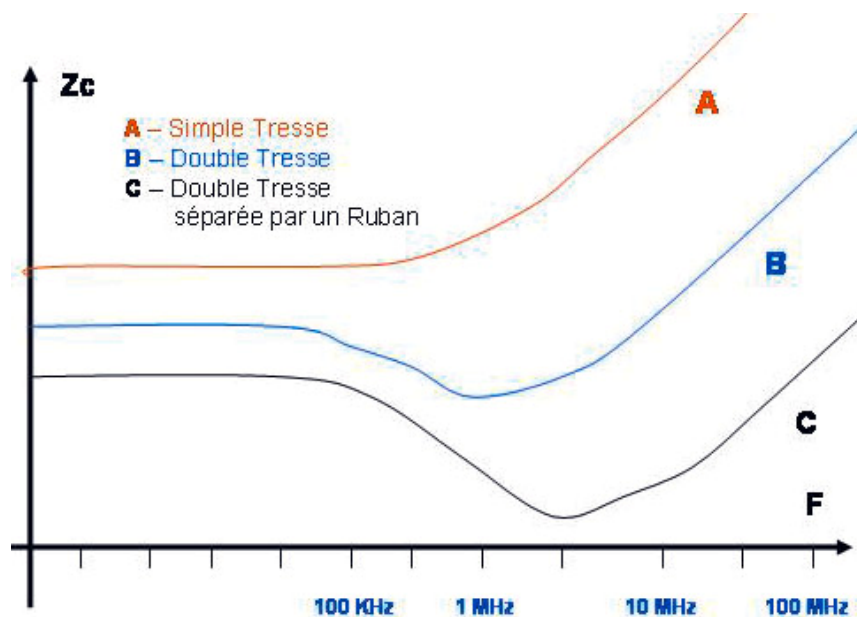
avec d = diamètre de l'âme
 D =diamètre sur diélectrique
 V = vitesse de propagation dans le câble (Km/s)
 C = capacité linéique (pF/m)

C) Le conducteur extérieur

Il peut être soit sous forme de tresse (une ou plusieurs), un ruban ou une combinaison des deux. Il peut être fabriqué en cuivre nu, argenté, étamé, aluminium, etc...

Sa construction caractérise l'impédance de transfert qui est en fait l'efficacité de l'écran du câble. Plus l'impédance de transfert est faible plus grande est l'efficacité du blindage. Nous pouvons dire qu'aux basses fréquences l'impédance de transfert correspond à la résistance en courant continu de l'écran donc aux matériaux utilisés alors qu'en hautes fréquences ($F > 20$ Mhz environ) l'impédance est proportionnelle à la fréquence. L'écran perd donc de son efficacité plus la fréquence augmente.

Voici une courbe (a) d'un câble avec une tresse simple et (b) d'un câble ayant une combinaison ruban + tresse



L'impédance de transfert sert dans le cas où le câble est parasité ou parasitant (moins de perturbations reçues ou émises). Cette notion d'impédance de transfert est apparue depuis que l'on parle d'effet EPM (explosion atomique en haute altitude ou orage...). Elle existait avant bien sûr mais depuis que l'électronique prend pied partout il ne faut pas oublier que celle-ci est sensible à son environnement (compte tenu des faibles énergies mises en jeu par rapport à un orage par exemple). Personne n'écoute sa télévision avec un orage au dessus de la tête

D) La gaine extérieure

Elle ne sert que de protection mécanique. Celle-ci est en matériau compatible avec la température de fonctionnement . PVC ou Pe pour câble avec diélectrique Pe et téflon pour ceux à diélectrique téflon

Si votre câble est fait d'une gaine en PVC il faut le vérifier de temps en temps (action des U.V.,frottement,...etc), ne pas hésiter à changer le coax s'il y a un semblant de problème, votre materiel n'en sera que plus performant.

Passons à quelques formules

Caractéristiques et paramètres des câbles coaxiaux

La définition des câbles se fait par différents paramètres que nous pouvons classer en constantes primaires et secondaires

Les constantes primaires sont déterminées par la nature et la géométrie. Elles correspondent à la résistance électrique (et mécanique par construction) la capacité, l'inductance et la conductance.

Les constantes secondaires découlent des constantes primaires et interviennent de façon déterminante dans la transmission en hautes fréquences. Elles correspondent à l'impédance caractéristique, l'affaiblissement, la vitesse de propagation, le taux d'onde stationnaire et

l'impédance de transfert. Les formules qui vont suivre ne sont valables que pour des fréquences élevées

Passons aux paramètres primaires :

La résistance peut se résumer à cette formule

$$R = 0.083 \times \frac{1}{D} \times \left(1 + \frac{D}{d} \times \sqrt{F} \right) = 0.083 \times \left(\frac{1}{D} + \frac{1}{d} \right) \times \sqrt{F} \quad \text{en } \Omega/\text{Km}$$

Nous remarquons que la résistance effective ne dépend pas de l'épaisseur du conducteur extérieur mais uniquement du diamètre de l'âme centrale d et de celui du conducteur extérieur D .

L'Inductance

Elle se compose de 2 inductances, l'inductance externe et l'inductance interne
 --- L'Inductance linéique externe

$$L_e = \frac{\mu_0}{2\pi} \times \left(Ln \frac{D}{d} \right) \quad \text{en H/Km}$$

---L'Inductance interne

$$L_i = \frac{0.0132}{d \times \sqrt{\epsilon}} \quad \text{en H/Km}$$

Or plus la fréquence augmente plus l'inductance interne devient négligeable, on peut donc assimiler l'inductance d'un coax à cette formule

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \times \left(Ln \frac{D}{d} \right) = \left(2Ln \frac{D}{d} \right) \times 10^{-4} \text{ H/Km}$$

encore un rapport de diamètre.

La Capacité

$$C = \frac{\epsilon}{18Ln \frac{D}{d}} \times 10^{-6} \quad \text{F/Km}$$

Ici l'on s'aperçoit que nous avons intérêt à avoir un facteur de permittivité le plus faible, aussi voisin de 1 (celui de l'air sec) que possible, d'où l'intérêt des diélectriques aérés.

Nota: C'est toujours une relation entre diamètres .

La Perdite

La perdite est la partie réelle de l'admittance, c'est donc l'inverse d'une résistance. Elle se mesure en MHO (inverse de OHM) et se désigne par la lettre G. La perdite est donnée par la formule :

$$tg \delta = \frac{G}{C\omega} \quad \text{donc } G = C\omega \, tg \delta$$

Nous savons que les matériaux utilisés dans les coaxiaux ont un angle de perte relativement faible (10^{-4}) sinon pourquoi faire un coax , il s'avère donc que la perdite G devient négligeable devant $C\omega$ dans l'admittance totale.

Si vous faites le calcul ce qui est normal nous en arrivons à :

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \Rightarrow Z_c = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon}} \left(\ln \frac{D}{d} \right)$$

Cette valeur est l'impédance caractéristique nominale de la paire coaxiale. On peut donc en conclure que l'impédance est purement réelle (donc s'écrit en OHM) et ne dépend que des dimensionnels des âmes centrales et extérieure ainsi que du diélectrique, ceci en hautes fréquences bien sûr

Maintenant que vous savez une partie importante des calculs pour les âmes coaxiales je vais vous donner quelques caractéristiques des câbles coaxiaux courants.

Nota: Si l'on vous propose du KX 4 ou RG 213 prenez le moins cher , ils sont identiques (voir tableau) le 1^{er}. correspond à une norme française la NFC 93550 , le 2nd; à une norme américaine la MIL C 17 (norme pour câble militaire)

Alain / F5HV1