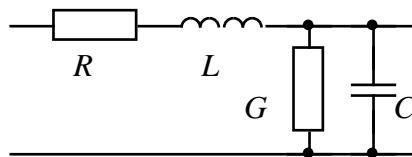


B31+B32 - Lignes

But : on veut transmettre des données numériques sous forme d'impulsions binaires dans une ligne, en veillant à minimiser les perturbations d'origine électrique ou magnétique qui conduiraient à des aléas logiques. Le but de cette manipulation est d'étudier les phénomènes transitoires qui peuvent affecter la transmission d'impulsions par ligne bifilaire ou câble coaxial.

Dans toute la manipulation, on travaille en HF (\geq qq 100 kHz), en régime d'impulsions TTL d'amplitude 0-5V. On utilise des câbles de différents types : câble torsadé blindé pour réseau informatique (ex. : RS485), ou câble coaxial (type KX6).

Rappel de cours : toute liaison par câble peut être modélisée par le circuit RLC suivant :



Ces grandeurs dépendent de la longueur l de la ligne : ce sont des grandeurs dites "réparties".

La résistance R et la conductance G correspondent à des pertes Joule réparties tout au long de la ligne. Lorsqu'elles sont faibles, on dit que la ligne est "à faibles pertes". On montre que la condition pour qu'il en soit ainsi est : $R.C = G.L$. Mais en général, $LG \ll RC$. Il faut donc augmenter L artificiellement, ce qui se fait de deux façons : par "pupinisation" (!!... on ajoute une self en série régulièrement sur la ligne) ; ou par "krarupisation" (!!!... on entoure la ligne d'un ruban de permalloy qui est un alliage de nickel et de fer à perméabilité magnétique élevée).

De l'inductance L et de la capacité C dépend la vitesse de propagation des signaux électriques, toujours inférieure à la vitesse des ondes électromagnétiques dans le vide ($c = 300.000$ km/s). On calcule (formules données sans démonstration !) :

- la capacité par mètre $\gamma = \frac{C}{l}$ (en F/m)

- l'inductance par mètre $\lambda = \frac{L}{l}$ (en H/m)

- la vitesse de propagation du signal dans la ligne (en m/s ou en km/s) : $v = \frac{1}{\sqrt{\lambda \cdot \gamma}}$

- le temps de propagation : $t_p = \frac{l}{v}$

- l'impédance caractéristique (réelle) : $Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{\lambda}{\gamma}}$

1ère partie : mesure de Z_c

Au cours de cette manipulation seront effectuées plusieurs mesures de Z_c , pour lesquelles une évaluation de l'incertitude sera effectuée selon différentes méthodes.

Deux remarques à ce propos :

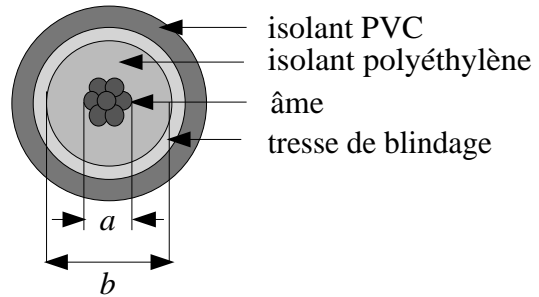
- une incertitude est donnée avec deux chiffres significatifs au plus (recommandation du BIPM - Bureau International des Poids et Mesures) et n'est jamais écrite avec une précision plus grande que le résultat.

- un résultat ne peut être plus précis que la moins précise des mesures qui a permis son calcul.

I- Mesures directes de R, L, C et G du câble coaxial

On utilise un câble coaxial KX6A de longueur $l = 100$ m, composé, d'après les données constructeur, de :

- une âme multibrin de $7 \times \varnothing 0,20$ mm en cuivre
- un diélectrique en polyéthylène plein
- une tresse en cuivre
- une gaine en PVC.



a) A l'aide d'un ohmètre, mesurer la résistance et la conductance de la ligne.

La résistance est la résistance totale des deux conducteurs mis en série (âme et tresse), donc mesurée à une extrémité de la ligne, l'autre extrémité étant en court-circuit.

La conductance est calculée d'après la résistance mesurée entre les deux conducteurs, extrémité en circuit ouvert. Commenter le résultat obtenu.

b) A l'aide d'un pont automatique, mesurer les paramètres L et C . Remarque : pour la mesure de L , l'extrémité de la ligne doit être en court-circuit ; pour la mesure de C , elle doit être en circuit ouvert. En déduire γ , λ , et Z_c .

c) *Estimation de l'erreur sur Z_c par calcul* : calculer la précision des résultats obtenus en se fondant sur la précision de l'appareil de mesure (voir notice constructeur).

Rappel (cf cours § A16) : l'erreur de mesure d'un appareil numérique à affichage digital est fonction de la précision p de l'appareil (exprimée en %) dépendant du calibre employé, et d'un

nombre n fixé de digits : $\varepsilon = \frac{p \cdot x}{100} + n$

Exemple : $p = 0,5\%$; $n = 4$; mesure : $U = 5,2485$ V $\Rightarrow \varepsilon = 5,2485 \times 0,005 + 0,0004 \approx 0,027$ V

En déduire la précision sur Z_c , obtenue par un classique calcul d'erreur :

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \Rightarrow \frac{\Delta Z_c}{Z_c} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta C}{C} \right) \text{ ou, autre notation : } p_{\%} = \frac{\varepsilon_{Z_c}}{Z_c} = \frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon_L}{L} + \frac{\varepsilon_C}{C} \right).$$

En déduire l'erreur absolue ε_Z .

Présenter finalement un encadrement de Z_c par $[Z_c - \varepsilon_Z ; Z_c + \varepsilon_Z] = [Z_{c \min} ; Z_{c \max}]$.

d) Calculer v . En déduire le temps de propagation t_p à travers une longueur de 1 m de câble. Ce temps est-il détectable à l'aide d'un oscilloscope du laboratoire (de bande passante = 60 MHz) ?

II- Calcul direct de L et C du câble coaxial

Dans le cas d'un câble coaxial, il est possible de calculer directement γ et λ par :

$$\lambda = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{b}{a} \quad \text{et} \quad \gamma = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}{\ln \frac{b}{a}} \quad \text{avec : } \varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} \text{ permittivité du vide}$$

$\varepsilon_r = 2,27$ permittivité relative du polyéthylène.

a) Calculer a d'après les données constructeur. On estime que a connu à $\pm 0,02$ mm près

b) Mesurer b (diamètre extérieur de l'isolant central) à l'aide d'un pied à coulisse.

c) En déduire γ , λ et Z_c .

d) *Estimation de l'erreur sur Z_c par encadrement* : à partir de l'estimation de la précision d'une mesure effectuée à l'aide du pied à coulisse, donner un encadrement de b : $[b_{\min} \text{ et } b_{\max}]$.

Connaissant les valeurs a_{\min} et a_{\max} d'autre part, en déduire l'encadrement $[Z_{c \min} , Z_{c \max}]$.

III- Mesures de Z_c : résumé et conclusion

a) Présentation d'un encadrement de la mesure par l'erreur absolue $\epsilon = \frac{Z_{cmax} - Z_{cmin}}{2}$:

Mesure et erreur	Z_{cmin}	Z_c	Z_{cmax}	ϵ
mesure au pont				
mesure par calcul				

b) Présentation d'un encadrement de la mesure par l'incertitude, ou "intervalle de confiance" :

- écart-type : $\sigma = \epsilon / \sqrt{3}$
- incertitude : $\Delta Z_c = 2,57\sigma$ pour un taux de confiance $\approx 99\%$
- intervalle de confiance : $[Z_c - \Delta Z_c, Z_c + \Delta Z_c]$

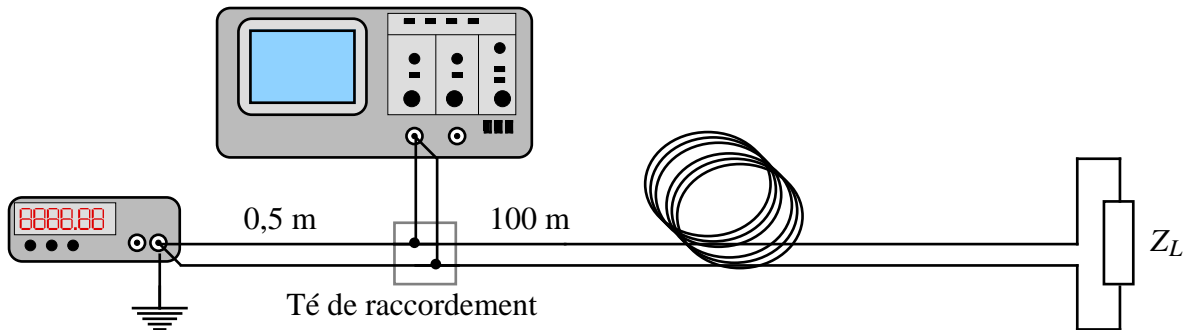
Mesure et incertitude	$Z_c - \Delta Z_c$	Z_c	$Z_c + \Delta Z_c$	ΔZ_c
mesure au pont				
mesure par calcul				

c) Conclusions, sachant que les valeurs normalisées pour un câble KX6A sont : $\lambda = 0,377 \mu\text{H/m}$; $\gamma = 67 \text{ pF/m}$; $Z_c = 75 \Omega$.

2ème partie : application : rôle d'une résistance de terminaison ("bouchon")

I- Influence d'une résistance de terminaison sur la propagation d'impulsions étroites

Dans cette partie, l'oscilloscope, placé en tête de la ligne, permet de détecter la tension $u(t)$ émise par le GBF correspondant à l'onde initiale et sa réflexion éventuelle en bout de ligne.



a) Régler le GBF convenablement (sortie analogique, amplitude des impulsions : 0 / 5V, fréquence \leq MHz, rapport cyclique le plus faible possible).

Relever l'oscillogramme d'une séquence représentant l'impulsion initiale et sa réflexion éventuelle dans les cas suivants : Z_L infinie \Leftrightarrow extrémité du câble ouverte

$Z_L = Z_c \Leftrightarrow$ liaison adaptée

$Z_L = 0 \Omega \Leftrightarrow$ extrémité du câble en court-circuit

b) Dans ces différents cas, préciser le signe de l'impulsion réfléchie par rapport à celui de l'impulsion initiale.

c) Mesurer le temps t_{AR} qui s'écoule entre l'impulsion initiale et l'impulsion réfléchie. Par cette méthode de mesure, dite "reflectométrique", en déduire la longueur l du câble, connaissant v .

d) Calculer le coefficient de réflexion théorique dans les 3 cas précédents, défini par :

$$\rho = \frac{Z_L - Z_c}{Z_L + Z_c} \text{ (exprimé en \%)}$$

e) Calculer le coefficient de réflexion pratique dans les 3 cas précédents, défini par :

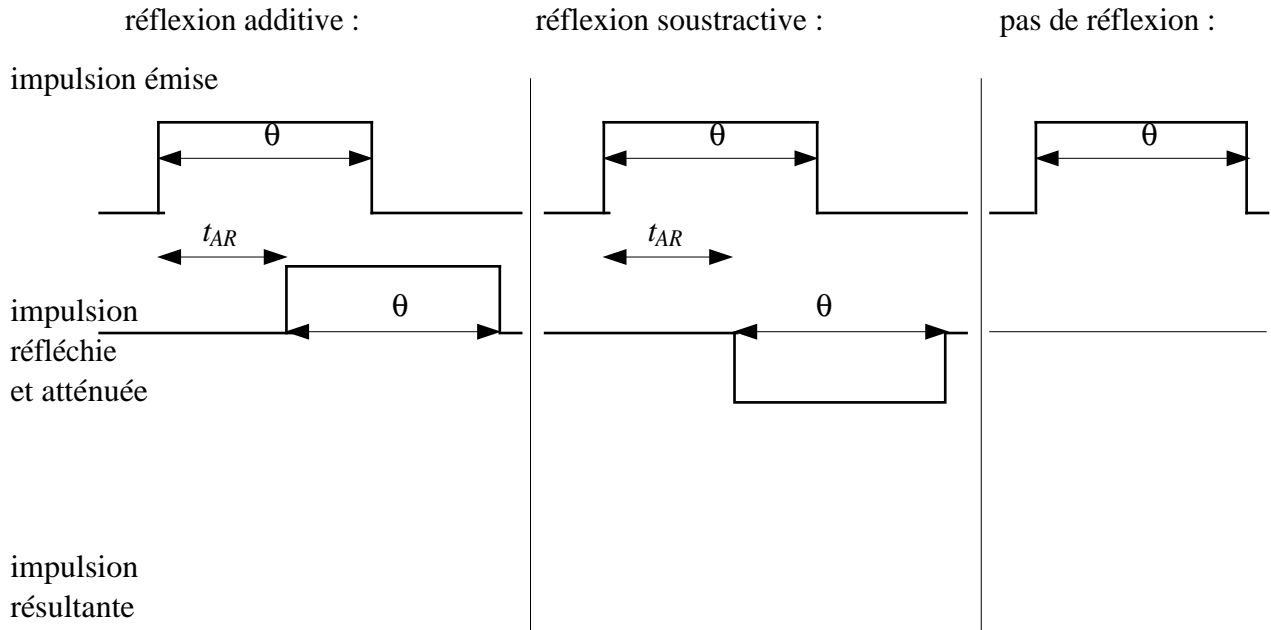
$$\rho = \frac{\text{amplitude algébrique de la réflexion}}{\text{amplitude de l'impulsion initiale}}$$

f) Dans le cas Z_L infinie comparer $\rho_{\text{mesuré}}$ et $\rho_{\text{théorique}}$. Calculer le taux de pertes du câble (en %) = $\rho_{\text{théorique}} - \rho_{\text{mesuré}}$ et l'atténuation en dB = $20 \log (\rho_{\text{th}} - \rho_{\text{mes}})$.

g) *Réflexions multiples*. Une variante de l'expérience précédente consiste à placer en série avec le générateur une résistance de quelques centaines d'ohms (dix fois Z_c par exemple). Dans ce cas, si une impulsion se réfléchit à l'extrémité du câble, elle se réfléchit également sur l'entrée. Mettre au point cette manipulation, et relever un oscillogramme. Combien de réflexions obtient-on lorsque Z_L est infinie (extrémité du câble en circuit ouvert) ?

III- Influence d'une résistance de terminaison sur la propagation d'impulsions larges

a) *Etude théorique*. Compléter le document ci-dessous en traçant le signal résultant, somme de l'impulsion émise et de l'impulsion réfléchie :



b) *Mesures*.

- Régler le signal, carré, entre 0 et 5V, puis régler la fréquence pour observer nettement les phénomènes prédits par les chronogrammes précédents. Relever alors l'oscillogramme dans les trois cas : $Z_L = \infty$, $Z_L = Z_C$, $Z_L = 0$.

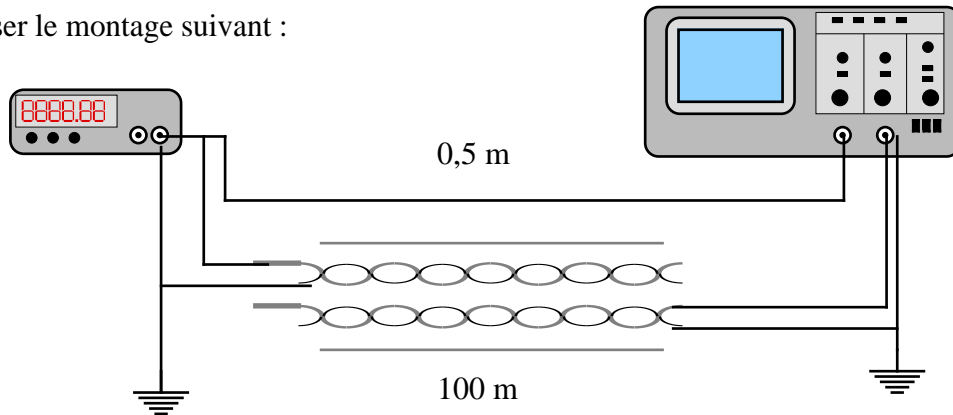
- Pour $Z_L = Z_C$, mesurer le niveau à la réception et vérifier sa valeur par un calcul simple : en régime statique (signal stabilisé au niveau haut ou bas), l'ensemble de la liaison est équivalent au schéma suivant (L et C sans influence en régime statique) :



3ème partie (COMPLEMENTS) : quelques expériences de CEM

I- Mise en évidence du couplage capacitif entre deux voies

Réaliser le montage suivant :

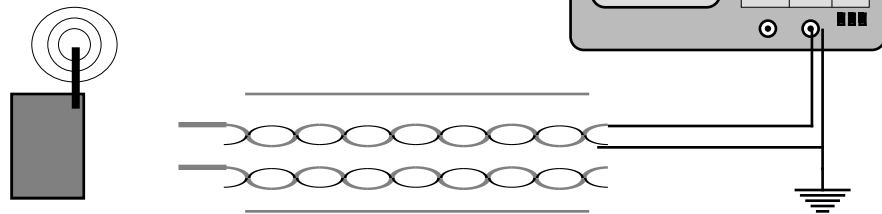


Faire varier la fréquence entre 100kHz et 2MHz. Relever les signaux obtenus lorsque leur amplitude est maximale. Puis fermer la ligne sur son impédance caractéristique. Conclusion.

II- Protection HF : rôle du blindage

Réaliser le montage suivant :

source d'ondes
électromagnétiques



Le blindage n'étant tout d'abord pas relié à la terre, choisir expérimentalement une position de l'émetteur où les signaux observés sont maximums. Sans changer la position relative de l'émetteur par rapport au câble, observer les signaux obtenus dans les trois cas suivants :

- blindage non relié à la terre
- blindage et fils non utilisés reliés à la terre d'un seul côté
- blindage et fils non utilisés reliés à la terre des deux côtés

Conclusion.