Compléments

- 1. Distorsions d'un signal
- 2. Réponse d'une ligne bifilaire
- 3. Antennes

Distorsions d'un signal

- **Réponse Linéaire**

Classe de filtres n'induisant aucune distorsion :

$$\boxed{\overline{G}(j\omega) = ae^{-j\omega\tau}}$$

En effet,

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \overline{G}(j\omega)\hat{e}(j\omega)e^{j\omega t}d\omega \quad \text{avec} \quad \hat{e}(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e(t)e^{-j\omega t}d\omega$$

Soit encore, $s(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} ae^{-j\omega\tau}\hat{e}(j\omega)e^{j\omega t}d\omega$

Et donc, $s(t) = a\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{e}(j\omega)e^{j\omega(t-\tau)}d\omega$

$$\boxed{s(t) = a.e(t-\tau)}$$

Distorsions d'un signal

- **Réponse Linéaire**

Filtres induisant des distorsions :

On peut espérer compenser les déformations en filtrant à nouveau le signal reçu par

$$\overline{H}(j\omega) = \frac{1}{\overline{G}(j\omega)}$$

Conditions minimales à respecter :

- **Connaître exactement le filtre** de la ligne :

ce filtre dépend en général de la longueur de ligne, du chemin pris par le signal au travers des routeurs…

=> Existe en transmission numérique : astuce = envoi de signaux connus et évaluation des paramètres d'un filtre numérique

- **Apport d'énergie** : en général il faut amplifier le signal

Exemple du filtre précédent : $\left|\overline{H}(j\omega)\right| = \left|\frac{1}{ae^{-j\omega\tau}}\right| = \frac{1}{a}$

Distorsions d'un signal

- **Respecter la loi de causalité :**

Illustration avec le filtre précédent :

$$\overline{H}(j\omega) = \frac{1}{ae^{-j\omega\tau}} \Rightarrow s'(t) = \frac{1}{a}s'(t+\tau)$$

Un Filtre qui permettrait de remonter le temps (connaître le signal avant qu'il ne soit émis) ne peut exister.

Autrement dit, au mieux on ne peut compenser que par un filtre du type :

$$\boxed{\overline{H}(j\omega) = \frac{1}{\overline{G}(j\omega)}e^{-j\omega\tau}}$$

Où τ prend en compte le délai minimum de réponse de la ligne

Distorsions d'un signal

- **Réponse non linéaire**

Par définition, la relation

$\overline{V}_s(j\omega) = \overline{G}(j\omega).\overline{V}_e(j\omega)$ …n'est plus correcte dans ce domaine

Exemple simple : $\boxed{s(t) = g.e(t) + h.[e(t)]^2}$

Si

$$e(t) = a_1\cos(\omega_1 t + \varphi_1) + a_2\cos(\omega_2 t + \varphi_2)$$

Alors

$$\begin{aligned} s(t) = {} & g.a_1\cos(\omega_1 t + \varphi_1) + h.[a_1\cos(\omega_1 t + \varphi_1)]^2 \\ & + g.a_2\cos(\omega_2 t + \varphi_2) + h.[a_2\cos(\omega_2 t + \varphi_2)]^2 \\ & + h.[2a_1a_2\cos(\omega_1 t + \varphi_1)\cos(\omega_2 t + \varphi_2)] \end{aligned}$$

$$s(t) = \boxed{\frac{h}{2}} + g.a_1\cos(\omega_1 t + \varphi_1) + h.\frac{\boxed{[a_1]^2}}{2}\cos(2\omega_1 t + 2\varphi_1) + \text{idem en } \omega_2$$

$$+ \frac{h}{2}\boxed{a_1a_2}(\cos[(\omega_1 - \omega_2)t + (\varphi_1 - \varphi_2)] + \cos[(\omega_1 + \omega_2)t + (\varphi_1 + \varphi_2)])$$

Distorsions d'un signal

Inconvénients

Les effets sont multiples et complexes, tels que l'apparition de

- nouvelles fréquences (ex: **harmoniques**)
- Interférences entre des signaux normalement de fréquences différentes
- bruits externes

et difficiles à compenser

Applications

- Multiplication analogique de signaux a_1a_2
- Somme et différence de fréquences
- Démodulations

Réponse d'une ligne bifilaire

Exemple réaliste (cf. TD)

- R' = 1,7 Ω/m (note : R'< 1 Ohm/10m pour Catégorie 5e)
- Zc = 50 Ω
- n = 1,5 avec c = c0 / n
- G' = C' * 10^{-4}

=>

- C' = 1,00E-10 F/m
- L' =2,50E-07 H/m

=>

La pulsation minimale pour ne pas avoir de déformations est :

ω_d = R' / L' = 6,8 E+6 rad/s (4.0 E+5 rad/s)

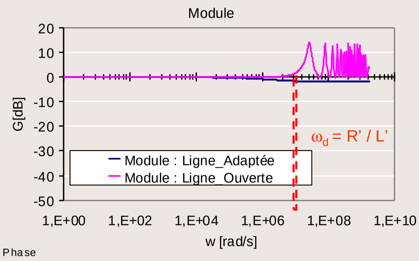
La longueur d'atténuation du signal est de l'ordre de :

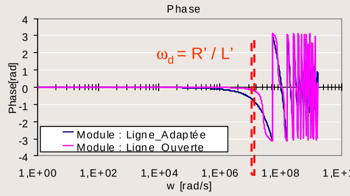
L_A = 2.Zc/R

⇒ L_A = 59 m (1000 m)

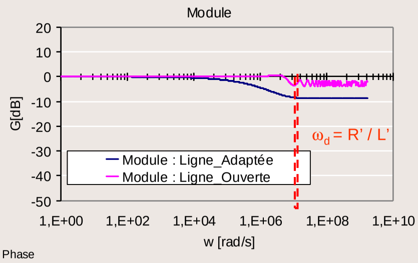
On pose : **Ratio = Longueur de la ligne / L_A**

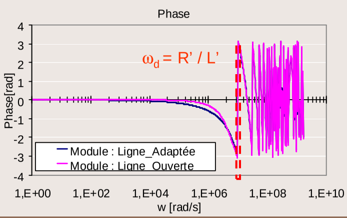
Ratio =1/5



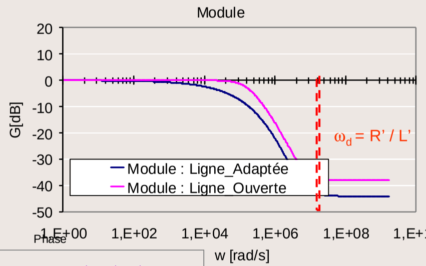


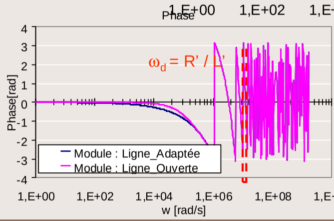
Ratio= 1





Ratio = 5





Réponse d'une ligne bifilaire

Conclusions

- Forme générale
  - Module
    - Peu d'atténuation à très basses fréquences
    - Chute du Gain à la pulsation de coupure

      ω_c ~1 / (R'C'. longueur²)
    - Retour à un gain constant à hautes fréquences

…En réalité, l'atténuation continue à augmenter à cause de l'effet Hall

  - Phase
    - Phase constante à basses fréquences
    - Proportionnelle à ω à hautes fréquences $\boxed{\overline{G}(j\omega) = ae^{-j\omega\tau}}$

    ⇒ Faibles distorsions dans ces 2 gammes de fréquences

    ω~0 ou ω>>R'/L'

    ⇒ Distorsions importantes dans le régime intermédiaire

Réponse d'une ligne bifilaire

Conclusions

- Faible longueur de ligne
  - Pulsation de coupure à hautes fréquences
  - Faibles atténuations même à hautes fréquences
  - Différences entre ligne ouverte et ligne adaptée en impédance

  Réflexions => Pics de résonances avec gain supérieur à 1

  ω_n ~ π*(n+1/2)*c / longueur

  cad période T_d=4*longueur /((2n+1)*c) (=>2 A/R)

  ⇒ Bon comportement pour le haut débit

- Grande longueur de ligne
  - Diminution de la pulsation de coupure
  - Fortes atténuations
  - Différences moins marquées entre ligne ouverte et ligne adaptée en impédance

Réponse d'une ligne bifilaire

A retenir

- Equivalence d'une ligne
  - Par petit élément de longueur morceau : montage simple de résistances, inductances, capacités
  - Globalement: pas d'équivalence simple
- Impédance
  - On peut définir une impédance aux deux bornes d'une extrémité de la ligne

  - Dépend en générale de la longueur de la ligne

Réponse d'une ligne bifilaire

A retenir

- Impédance (suite)
  - Cas particulier « **adaptation d'impédance** »
    - Dans ce cas, elle vaut : $\bar{Z}_c = \sqrt{\dfrac{R'+jL'\omega}{G'+jC'\omega}}$
    - A haute fréquence, cette valeur est purement résistive.

$$\boxed{\bar{Z}_c \approx \sqrt{\frac{L'}{C'}}}$$

=> C'est la valeur données par les catalogues

- L'adaptation d'impédance s'obtient en ajoutant à l'autre extrémité, une impédance de valeur Z_c (bouchon, carte réseau)

Réponse d'une ligne bifilaire

A retenir

- Phénomène d'écho
  - Apparait en conditions de désadaptation d'impédance
  - Seulement aux hautes fréquences
  - Diminue avec la longueur de ligne
  - Se traduit par des pic de résonance à certaines harmoniques
- Propagation
  - Ne peut jamais dépasser la vitesse de la lumière
  - Est réduite par les effets capacitifs et inductifs
  - Expression : $\boxed{v = \dfrac{1}{\sqrt{L'C'}}}$

Réponse d'une ligne bifilaire

A retenir

- Déformations:
  - Faibles :
    - En basses fréquences (G=1, déphasage =0)
    - En hautes fréquences ω >> R'/L'
      - $G = e^{(-L/L_A)}$ soit en G(dB) =-8.7.L/L_A
        => atténuation augmente avec la longueur de ligne
      - Déphasage ~ ω
  - Fortes:
    - Dans le régime intermédiaire
      - Domaine qui s'élargit quand la longueur de câble augmente
    - A très hautes fréquences (ex: effets de peau)

Pupinisation

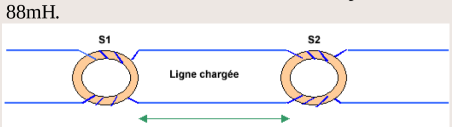
Lorsque l'inductance L augmente : $\frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}$

- le coefficient α décroît
- ω_d diminue (ω_d = R' / L')

Principe

Ajout d'inductances artificielles (pupinisation)

=> on place des tores sur lesquels sont enroulés les conducteurs. L'inductance ainsi réalisée a pour valeur Lo = 88mH.



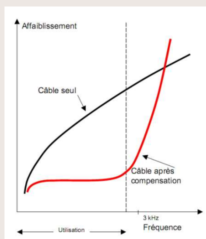
Pas de pupinisation =1830 m,

Source http://www.cyber.uhp-nancy.fr

=>La bande passante des lignes pupinisées varie de 4 à 7kHz suivant le diamètre du conducteur.

Pupinisation

- Les imperfections, notamment la dépendance en ω de R, se traduit par une forte atténuation à haute fréquences



- Intérêts pour la téléphonie bas débit
  - Filtre hautes fréquences
- Inconvénients pour le haut débit

=> suppression de ces bobines

Antennes

- Une antenne d'émission transforme le signal électrique en signal hertzien
- Peu d'effet Joule => puissance consommée ~ Puissance d'émission

Or la puissance consommée = P_{active}

=> Rendement maximum si déphasage nul entre tension et courant.

Une antenne optimale = résistance pure d'un point de vue électrique

Antennes

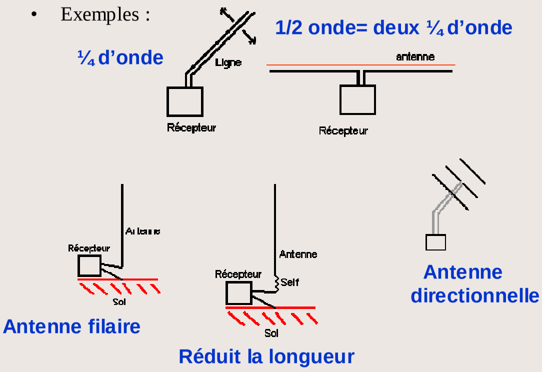
- Branchement (feeder) :
  - Il faut éviter les échos pour optimiser la puissance de transmission
  - ***Une antenne doit être alimentée par une ligne de même impédance***

Difficultés :L'impédance de l'antenne dépend :

- des caractéristiques et de la géométrie de l'antenne
- de la situation (hauteur)
- de l'environnement (impédance du sol…)

Antennes

- Exemples :



Antennes

- Dimensions
  - La plus grande possible
  - Multiple de ¼ de la longueur d'onde
    - Longueur d'onde dans le matériau
    - Avec un coefficient correcteur (pour prendre en compte certains effets)
    - Ligne bifilaire : $L = \lambda /4 + k\, \lambda/2$

Ex:

f = 100 Mhz ; $c = 2/3.c_0$

=> λ=2 m et $\lambda/4$ =50 cm