Novembre 2000

TP d'électronique P1 n°3 :

Simulation de circuits électroniques

- Utilisation de Pspice -

Objectif du TP

En cycle ingénieur et plus généralement dans l'industrie, l'électronique comporte maintenant une grande part de simulation.

Le but de ce projet est d'avoir une première approche de la simulation de circuits électroniques. Le simulateur utilisé est Pspice 6.0 pour Windows.

Deux modes de définition des circuits sont étudiés : le *mode texte* et le *mode graphique*. Dans les deux cas l'affichage des résultats de la simulation est graphique.

Remarques

- Le "Guide des Travaux Pratiques et des projets d'électronique de l'EFREI" comporte en annexe un guide d'utilisation de Pspice.
- Lors de la séance, utiliser un répertoire local temporaire pour les fichiers de travail, et pensez à faire une sauvegarde de votre travail dès la fin de la séance ; merci d'effacer vos fichiers à la fin de la séance.
- Ce sujet comporte :
    - Des questions théoriques (qu'il est conseillé de préparer à l'avance)
    - Des questions de simulation
    - Une question d'expérimentation réelle

Programme abordé

- Analyse de Fourier
- Synthèse additive
- Diagrammes de Bode
- Comparaison mode texte/mode graphique
- Comparaison simulation/expérimentation

Travail à effectuer

1. Décomposition d'un signal périodique en série de Fourier

Objectif : *comprendre les séries de Fourier et ce qu'elles représentent physiquement.*

On rappelle que tout signal périodique peut se décomposer en une somme de signaux sinusoïdaux et cosinusoïdaux, et d'une composante continue éventuelle (notée a_0 ci-dessous), définie par :

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\omega t)$$

Les termes en sinus et cosinus sont appelées composantes harmoniques (ou plus simplement "harmoniques") de rang n. L'harmonique de rang 1 est appelé "fondamental".

Exemples

- cas d'un signal en ***dents de scie***, on a :

$$a_n=0 \; \forall n, \; b_n = \frac{-2A}{n\pi}$$

ce qui donne :

$$f(t) = -\frac{2A}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\sin(n\omega t)}{n}$$

- cas d'un signal ***carré*** (symétrique par rapport à l'axe du temps) :

$$a_n=0 \; \forall n, \; b_n = \frac{4A}{n\pi} \text{ pour } n \text{ impair et } b_n=0 \text{ pour } n \text{ pair}$$

(qu'on peut également écrire sous la forme $b_n = \frac{2A}{\pi n}(1-\cos n\pi)$, ce qui donne :

$$\mathrm{f(t)} = \frac{4\mathrm{A}}{\pi}\sum_{\mathrm{n}=1}^{\infty}\frac{\sin(\mathrm{n}\omega t)}{\mathrm{n}} \quad \text{avec } n \text{ impair}$$

Q1(pratique). Générer un signal carré en utilisant le générateur VPULSE. Pour que la simulation puisse se produire, il est nécessaire d'utiliser une résistance (dite "de charge") de valeur quelconque. Choisir une fréquence qui soit égale à votre numéro de paillasse ×100 Hertz, et une amplitude égale à ce même numéro ×100 mV. Décomposer ce signal en série de Fourier et reproduire le résultat obtenu sur une feuille de papier millimétré.

Q2(p). Décrire le lien existant entre l'affichage obtenu et la série de Fourier ? Que se passe-t-il quand on prend un nombre plus ou moins grand de périodes dans l'analyse (ce qu'on obtient en augmentant la durée du signal simulé, dans les paramètres de l'étude transitoire) ? Prendre comme exemples 2, 15 puis 100 périodes.

Q3(p). Comme dans la question précédente, générer, décomposer en série de Fourier un signal en dents de scie à flancs négatifs (toujours généré avec VPULSE) de mêmes amplitude et fréquence, et le reproduire sur papier (analyse sur 100 périodes). Comparer le résultat avec celui du signal carré et décrire le lien avec la série de Fourier.

2. Synthèse additive

Objectif : *comprendre les séries de Fourier, en utilisant une autre approche.*

On cherche maintenant à synthétiser un signal carré en utilisant un nombre plus ou moins important d'harmoniques. Cette opération est l'opération inverse de la décomposition en série de Fourier. On peut connaître les amplitudes de ces harmoniques grâce à la décomposition en série de Fourier des questions précédentes (par calcul ou par le résultat de la simulation).

Comme lorsque l'on utilise une oscilloscope, on s'arrangera pour n'afficher à l'écran qu'une seule période du signal synthétisé.

Pour les amplitude et fréquence du fondamental (harmonique de rang 1), reprendre les valeurs des 2 premières questions.

Q4(p). Pour réaliser cette *synthèse additive*, simuler 5 sources sinusoïdales placées en série (la dernière par rapport à la masse étant connectée à une résistance de charge). La première source par rapport à la masse fournit l'harmonique de rang 1 (fondamental), la deuxième l'harmonique de rang 2, etc. Visualiser la tension existant aux bornes de l'ensemble (pour avoir l'addition des tensions fournies par chacun des générateurs, c'est à dire l'addition des harmoniques), aux bornes de la $1^{ère}$ puis aux bornes des 3 premières. Reproduire ces différentes courbes sur une même feuille de papier quadrillé (on ne cherchera pas à respecter point par point la courbe affichée). Représenter également le signal carré que l'on obtiendrait en additionnant une infinité d'harmoniques.

Q5(p). Même question que la précédente pour un signal en dents de scie à flancs négatifs.

3. Circuit RLC série

Objectif : *mettre en évidence les intérêts de la simulation par rapport à l'expérimentation réelle.*

On étudie le schéma de la figure 1, avec L=560µH, C=150nF.

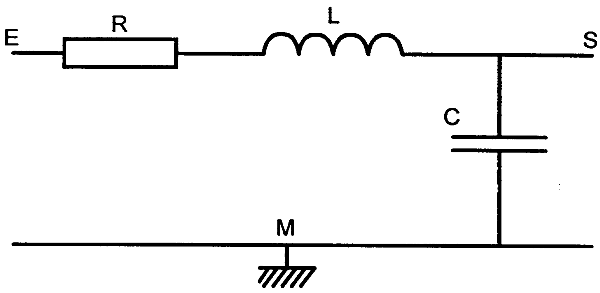

Figure 1

Analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle (ou harmonique) est l'étude de la réponse d'un circuit à une entrée sinusoïdale, d'amplitude constante mais de fréquence variable.

Q6(th). En considérant que R et L forment une seule impédance et C une autre impédance, et en utilisant la règle du pont-diviseur de tension, exprimer la fonction de transfert v_{SM}/v_{EM} de ce circuit. La mettre sous la forme :

$$\frac{v_{SM}}{v_{EM}} = \frac{1}{1 + 2mj\dfrac{\omega}{\omega_0} + \left(j\dfrac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \qquad \text{avec } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ et } m = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}$$

ω_0 est appelée fréquence de résonance et *m* facteur d'amortissement.

Q7(th). Pour la valeur particulière de la pulsation ($\omega_0\sqrt{1-2m^2}$), et selon les valeurs de R, il se produit un phénomène de dépassement : l'amplitude de v_{SM} devient supérieure à celle de v_{EM}. Calculer cette pulsation pour le circuit de la figure 1.

Q8(th). En étudiant le comportement de cette fonction de transfert aux limites de la fréquence, déterminer les limites de v_{SM}. En déduire la fonction réalisée par ce circuit (filtre passe-bas, passe-bande, passe-haut,…). Justifier la réponse.

Q9(p). Réaliser l'expérimentation réelle et relever les courbes de gain et de phase en fonction de la fréquence, pour R=120Ω.

Q10(p). En utilisant le module *Probe* de *Pspice*, afficher la courbe de gain en décibels du rapport v_{SM}/v_{EM} du même montage (c'est à dire $20\times\log|v_{SM}/v_{EM}|$) obtenue par la simulation**,** pour R=12Ω et R=120Ω (fréquence de la tension d'entrée variant de 100Hz à 1MHz, et valeur efficace de v_{EM} =2V). Reproduire sur papier semi-logarithmique la courbe obtenue, en n'oubliant pas d'indiquer les échelles.

Q11(p). Pour R=12Ω le phénomène de dépassement se produit. En observant le résultat de la simulation précédente, indiquer à quelle fréquence ce dépassement est maximal. Comparer cette fréquence avec sa valeur théorique (déjà calculée).

Q12(p). Toujours à l'aide de *Probe*, afficher la courbe de phase de v_{SM}/v_{EM} et la reproduire sur papier, pour R=12Ω.

Analyse transitoire

L'analyse transitoire d'un circuit consiste à étudier la réponse d'un circuit à un échelon de tension (passage brutal d'une valeur à une autre). Cette analyse est une *analyse temporelle*, c'est à dire que l'axe des abscisses va maintenant représenter le temps et non plus des fréquences. Pour visualiser cette réponse sur un écran d'oscilloscope, on utilise en général un signal d'entrée carré, de manière à ce que cette réponse soit périodique.

Q13(p). Réaliser une analyse transitoire du circuit de la figure 1 en prenant comme tension d'entrée un signal carré de fréquence 1kHz, de valeur 0 et 1V. Prendre une durée d'analyse égale à une période du signal d'entrée. Effectuer l'analyse pour R=12Ω et R=120Ω. Visualiser les résultats obtenus avec *probe* et les reproduire sur papier en indiquant bien les échelles.

Q14(p). Décrire le lien existant entre l'aspect temporel et l'aspect fréquentiel de v_{SM} selon les différentes valeurs de R étudiées.