

TP 2. Circuits réactifs

Par Dimitri GALAYKO
Unité d'enseignement Élec-info
pour master ACSI à l'UPMC

Octobre-décembre 2005

Lors de ce TP nous étudierons en pratique les phénomènes transitoires dans les circuits réactifs et le régime harmonique des circuits RLC.

1 Introduction. Prise en main des instruments de mesure.

1.1 Générateur de tension

Pour générer des tensions variables dans le temps, nous utiliserons le générateur de signaux présent sur chaque poste. Il peut générer une tension sinusoïdale, triangulaire ou rectangulaire, avec l'amplitude et la fréquence variables, et éventuellement, avec une tension de décalage (*DC voltage*).

1.2 Oscilloscope

L'oscilloscope est un appareil qui sert à mesurer et à visualiser les tensions variables dans le temps. Il est muni d'un écran (tube cathodique) sur lequel sont visualisées les informations. Il utilise un balayage synchrone avec la répétition temporelle du signal que l'on souhaite visualiser (le même principe est utilisé pour la télévision) afin d'afficher la forme d'onde du signal pendant certain intervalle de temps.

Généralement, un oscilloscope possède deux canaux de mesure, *i.e.* il est possible de visualiser la forme d'onde de deux tensions en même temps.

Dans un premier temps il est nécessaire d'apprendre à effectuer les mesures élémentaires.

1. Visualisez la tension induite par les émissions électromagnétiques environnantes sur le corps humain (tout simplement, touchez une entrée de l'oscilloscope avec la main).
2. À l'aide du générateur, générez une tension sinusoïdale et visualisez-la sur l'oscilloscope. Mesurez l'amplitude et la fréquence de cette tension. Vérifier avec la valeur de la fréquence donnée par le générateur.

L'utilisation d'un oscilloscope impose deux restrictions sur la mesure.

Premièrement, une des électrodes de chaque canal de mesure de l'oscilloscope est toujours reliée à la terre. Ainsi, si un des nœuds du circuit est relié à la terre, l'oscilloscope peut uniquement mesurer les tensions nodales. Ce sera précisément la difficulté à laquelle on devra faire face, car la sortie du générateur que nous utilisons est référencée par rapport à la terre.

Deuxièmement, un oscilloscope ne mesure que les tensions ; ainsi, pour mesurer un courant, il faut le convertir en une tension en utilisant une résistance de faible valeur (de sorte à ce qu'elle influe peu sur le circuit). De plus, cette tension doit être référencée par rapport à la masse (terre), ainsi, on peut uniquement mesurer les courants entrant ou sortant de la masse.

2 Régime transitoire

2.1 Méthode de mesure

Le régime transitoire d'un circuit réactif se déroule, généralement, en un espace de temps très petit. Il est bien sûr possible de le visualiser en utilisant un mode d'acquisition dite « monocoup », où la loi d'évolution d'un signal pendant un espace de temps très court est mémorisée après quoi le contenu de la mémoire est affiché sur l'écran.

Cependant, cela demande d'utiliser des instruments de mesure évolués. Bien qu'ils soient à notre disposition, nous préférons d'utiliser les fonctionnalités de base d'un oscilloscope. Un oscilloscope, à l'origine, est conçu pour visualiser des signaux périodiques. Plus tard, on lui a rajouté des fonctionnalités plus complexes, notamment grâce au traitement numérique du signal. Les oscilloscopes modernes sont de véritables ordinateurs avec un système opérationnel, une multitude de fonction, une mémoire, une possibilité de programmation, de mise en réseau etc.

Ainsi, pour pouvoir visualiser un processus transitoire avec un oscilloscope de base, il faut faire répéter ce processus périodiquement dans le temps. Pour cela il existe la technique suivante.

Soit une tension $e(t)$ passe de 0 à E_0 à $t = 0$. À partir de $t = 0$ dans le circuit commence un processus transitoire, qui se termine vers un temps

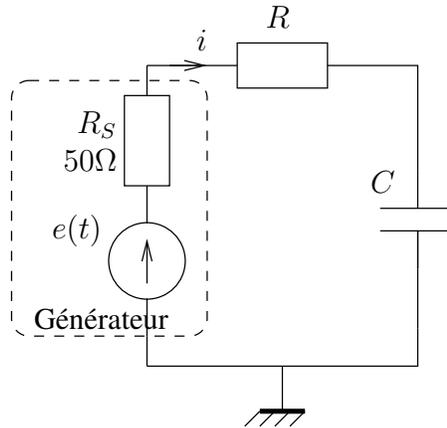


FIG. 1 – Circuit RC série

$t = t_1$. Nous disons qu'un processus transitoire se termine dans le sens où sa composante devient tellement petite qu'il est impossible de la distinguer du bruit de mesure. À partir de $t = t_1$ nous faisons repasser la tension $e(t)$ de E_0 à 0. Un nouveau processus transitoire se déclenche, qui se termine vers le temps $t = 2t_1$ (puisque le circuit est le même, les constantes de temps donc la durée du processus transitoire sont les mêmes). Ainsi, à $t = 2t_1$, le circuit retrouve le même état qu'à $t = 0$. En répétant la même évolution de la tension $e(t)$ entre $2t_1$ et $4t_1$, entre $4t_1$ et $6t_1$ etc., nous obtenons un processus transitoire qui se reproduit périodiquement tous les $2t_1$ secondes.

2.2 Circuit RC

2.2.1 Étude théorique

Donnez l'expression symbolique et numérique de la tension sur le condensateur et sur la résistance R pour le circuit RC donnée figure 1 avec $R=33$ kOhms, $C=47$ nF.

2.2.2 Étude expérimentale

Appliquez au circuit RC série ($R=33$ kOhms, $C=47$ nF) un signal rectangulaire d'une période suffisante pour observer en entier le processus transitoire. Visualiser la tension sur le condensateur puis sur la résistance (il faudra modifier le circuit car l'oscilloscope ne mesure que les tensions référencées par rapport à la masse).

À partir des courbes observées, déduisez la constante de temps du circuit et comparez la avec celle obtenue théoriquement. Mesurez la durée du

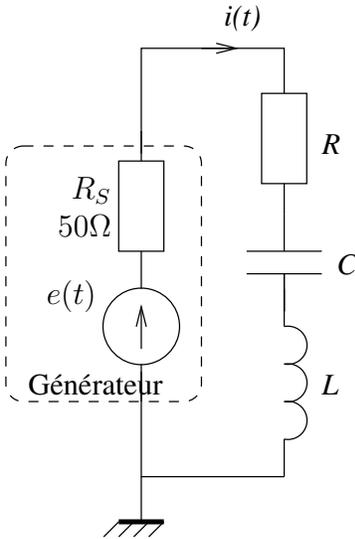


FIG. 2 – Circuit RLC série

processus transitoire (*i.e.* la durée de 90 % de l'évolution totale).

Modifiez la valeur de la résistance, par exemple, diminuez la par un facteur de deux. Comment évolue la durée du processus transitoire ?

2.3 Circuit RLC

2.3.1 Étude théorique

En reprenant le cas du circuit RLC étudié en cours 5, trouvez la forme générale de l'expression de la tension sur l'inductance et sur le condensateur pour le cas $\mathcal{D} < 0$. Utilisez l'expression trouvée pour $q(t)$.

2.3.2 Étude expérimentale

Monter le circuit présenté figure 2, sans inclure la résistance R (*i.e.* en la remplaçant par un court-circuit). Prenez une capacité $C=4.7$ nF et une bobine $L=100$ mH. Appliquez au circuit un signal rectangulaire d'une période suffisante pour observer en entier le processus transitoire. Mesurez la tensions sur l'inductance puis, en modifiant le circuit, mesurez la tension sur le condensateur (il faudra modifier le circuit car l'oscilloscope ne peut mesurer que les tensions référencées par rapport à la masse).

Nous n'avons pas inclure de résistor dans ce circuit. Pourquoi les oscillations libres s'éteignent ?

En mesurant le rapport entre les amplitudes de deux oscillations voisines,

estimez le facteur d'atténuation γ (*cf.* le cours 5). Connaissant la valeur de l'inductance L , trouvez, à partir de cette mesure, la résistance série présente dans le circuit (comment on fait?). Sachant que la résistance interne de la source est de 50 Ohms, vérifiez que cette valeur obtenue correspond à la résistance *réellement* présente dans le circuit.

Mesurez la fréquence des oscillations libres. Connaissant la valeur de la résistance, calculez la fréquence et comparez avec la valeur mesurée. Est-il nécessaire de connaître la valeur exacte de la résistance pour calculer cette fréquence ?

Refaites la même étude pour le même circuit avec les condensateurs de capacités 47 nF, 470 nF.

Revenez au montage avec le condensateur 47 nF et branchez en série une résistance de 200 Ohms. Comment évolue la vitesse d'atténuation de la composante transitoire ?

3 Étude du régime harmonique

3.1 Tensions et courants dans les éléments réactifs dans le régime harmonique

Prenez un condensateur de capacité 47 nF et montez le en série avec une résistance de 10 Ohms (celle-la est utilisée pour la mesure du courant).

Appliquez à ce dipôle une tension sinusoïdale de 4 V de fréquence 10 kHz.

Prouvez qu'à cette fréquence le module de l'impédance du condensateur est largement supérieur à la résistance du résistor (donc celle-là influe peu sur les grandeurs du circuit).

Visualisez en même temps la forme d'onde de la tension et du courant sur le condensateur (*i.e.* la tension sur la résistance). Strictement dit, ceci n'est pas possible car seulement une de ces tensions est référencée par rapport à la masse. Néanmoins, sachant que le module de l'impédance du condensateur est largement supérieure à la la valeur de la résistance, on peut négliger la tension sur la résistance en considérant que toute la tension de la source est appliquée au condensateur (le circuit est un pont diviseur). Or, la tension générée par la source est référencée par rapport à la masse, ainsi, elle peut être visualisée en même temps que la tension sur la résistance.

Calculez la fréquence à laquelle la résistance du résistor est égale au module de l'impédance du condensateur. Si le circuit est attaqué par une tension sinusoïdale de cette fréquence, quel est le rapport entre les amplitudes des tensions sur ces éléments ?

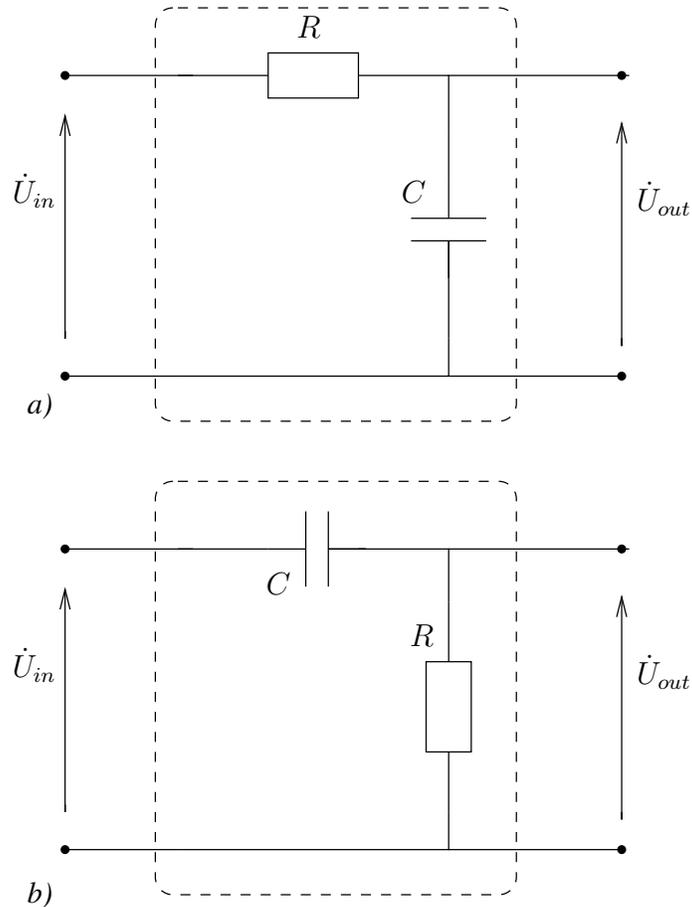


FIG. 3 – Filtres RCs élémentaires

3.2 Circuit RL

Faites la même manipulation avec une inductance de 100 mH et une résistance de 10 Ohms. Pour effectuer la mesure de déphasage entre le courant et la tension, attaquez le circuit avec une tension de fréquence 5 kHz.

3.3 Filtre RC

3.3.1 Étude théorique

Pour chacun des quadripôles présentés figure 3 calculez l'expression pour la fonction de transfert pour les amplitudes complexes. Expliquez comment le circuit réagit aux signaux harmoniques de fréquences différentes et montrez qu'il s'agit des filtres passe-bas et passe-haut. En déduisez la fréquence de coupure.

3.3.2 Étude expérimentale

Montez les deux circuits et vérifiez que la fréquence de coupure, correspondant à la baisse du module de gain par 3 dB, est proche de celle calculée.

3.4 Filtre RLC

On reprend le circuit de la figure 2 avec $R=0$, $C=47$ nF, $L=100$ mH auquel on connecte une source de tension sinusoïdale.

3.4.1 Étude théorique

Calculez la fréquence de résonance et le facteur de qualité du circuit. Pour la résistance du circuit on utilisera la valeur réelle mesurée dans la partie 2.3.2.

Calculez l'expression pour l'amplitude complexe de la tension sur l'inductance et sur le condensateur. Étudiez l'expression si $\omega = 1/\sqrt{LC}$.

3.4.2 Étude expérimentale

Montez le circuit en ajoutant en série une résistance de 10 Ohms pour la mesure du courant. Réglez la fréquence du générateur à une valeur proche de la fréquence de résonance calculée. Mesurez la fréquence de résonance (en détectant la fréquence du courant maximal) et estimez expérimentalement la valeur du facteur de qualité.

Mesurez la tension sur le condensateur à la fréquence de résonance (pour cela supprimez la résistance de mesure et montez le circuit de sorte à ce que la tension sur le condensateur soit référencée par rapport à la masse). Comparez l'amplitude de cette tension avec l'amplitude de la tension générée par la source. Commentez.