Service de
Théorie des Circuits
et de Traitement du Signal

LABORATOIRES DE THEORIE DES CIRCUITS

3ème ELEC + IG

LISTE DES PROBLEMES A ETUDIER

	BUT	MOYENS
1	Apprendre à utiliser MATLAB et à programmer des scripts et fonctions simples	• Exposé introductif à MATLAB • Initiation progressive à l'environnement MATLAB (voir pp. 3-14 de Labs for Signals and Systems using Matlab, Stonick et Bradley, The PWS bookware companion Series)
2	Vérifier la courbe de bode de circuits linéaires simples	• Calcul de la réponse en fréquence d'un système linéaire. • Affichage dans un diagramme de Bode.
3	Systématiser le calcul des courbes asymptotiques; vérifier sur des circuits simples	• Affichage des courbes asymptotiques de Bode d'un système linéaire
4	Vérifier le comportement des circuits résonants	• Etude des réponses de Bode complètes (réelles et asymptotiques) des circuits résonants
5	Calculer les réponses indicielles et impulsionnelles de circuits linéaires simples	• Décomposition d'une fraction rationnelle en fractions simples • Calcul et affichage de l'original d'une fraction rationnelle quelconque ne comprenant pas de pôles multiples
6	Manipuler les représentations matricielles de quadripôles	• Calcul symbolique de la fonction de transfert à vide d'un circuit en échelle
7	**Vérifier l'acquisition de ses connaissances, par résolution d'un exercice mettant en oeuvre les fonctions développées au laboratoire**	**Epreuve pratique**

DETAILS PRATIQUES

- Les scéances de laboratoire **commencent à 13h30** et **se terminent à 17h30**. Le temps imparti pour la résolution de l'épreuve pratique finale étant limité, il est important que les étudiants s'astreignent à résoudre les problèmes posés dans les temps.

- A chaque scéance, il vous sera demandé :

1. D'écrire un ou plusieurs ***script(s)*** mettant en oeuvre les fonctions de MATLAB pour résoudre certains problèmes de théorie des circuits.
2. De décrire les problèmes examinés, les opérations effectuées par MATLAB, et les résultats obtenus dans un ***rapport écrit***.

Les fichiers *scripts* constitueront la partie informatique de votre rapport de laboratoire. Ils doivent prouver que vous avez bien compris les problemes proposes.

Le rapport écrit contiendra l'analyse des problèmes, le cheminiement utilisé pour les résoudre, le détail des calculs de prédétermination des solutions des problèmes posés, et les graphiques obtenus par Matlab, commentés de façon à montrer si les résultats obtenus correspondent oui ou non aux prédéterminations. **La seule lecture du rapport doit permettre de compris les problèmes posés et utilisé correctement MATLAB pour les résoudre.**

- Les rapports écrits seront réunis **dans une farde qui sera conservée au laboratoire**.

- Chaque groupe sera responsable de la sauvegarde de ses fichiers, sur **une disquette** (une pour l'ensemble des laboratoires) **qui sera annexée aux rapports**.

POLY TECH. MONS

Service de Théorie des Circuits
et de Traitement du Signal

LABORATOIRES DE THEORIE DES CIRCUITS

3ème ELEC + IG

SCEANCE DE LABORATOIRE N°2

CALCUL DE LA REPONSE EN FREQUENCE D'UN SYSTEME LINEAIRE ET AFFICHAGE DANS UN DIAGRAMME DE BODE.

Rappel: Il a été vu au cours que la réponse en fréquence d'un circuit linéaire de fonction de transfert H(p)=B(p)/A(p) à la pulsation ω (en rad/s) peut être obtenue en calculant la transmittance isochrone du circuit, c-à-d en remplaçant *p* par *j*ω dans H(p).

Matlab permet de calculer très facilement la valeur d'un polynôme en des valeurs réelles ou complexes, en utilisant la fonction `polyval.` Il suffit dès lors pour calculer H(jω) de calculer le rapport entre les valeurs renvoyées par `polyval(B,j*ω) et polyval(A,j*ω).`

C'est ce que fait la fonction H=`freqs(B,A,w)`, où *B* et *A* sont des polynômes (représentés dans MATLAB par leurs coefficients) et *w* est une pulsation (en rad/s). Si *w* est un vecteur de pulsations, `freqs` renvoie un vecteur de réponses.

Si on ne spécifie pas de vecteur de sortie, la fonction affiche la réponse en fréquence dans un diagramme de Bode (gradué en valeurs réelles, et non en dB).

Taper >`help freqs` pour en vérifier la syntaxe.

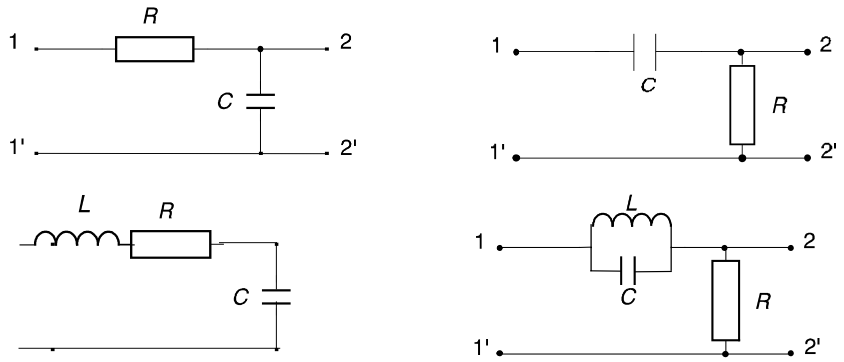
Il est dès lors possible de visuliser rapidement la réponse en fréquence d'un filtre de fonction de transfert H(p)=(p+1)/(p+2):

```
echo on;
% Groupe X
% Noms et prénoms
%
% Affichage de la fonction de tranfert du filtre de
% fonction de tranfert h(p)=(p+1)/(p+2)
%
% Les fréquences de coupure sont 1 et 2 rad/s
% On vérifie bien que la reponse tend vers 1 en HF et
% vers -6dB en BF
w=logspace(-2,2,200);
freqs([1 1],[1 2],w);
```

Remarque: Si l'on veut mesurer avec précision la bande passante (ou toute autre valeur caractéristique de la reponse en fréquence), il est préférable de zoomer sur la zone intéressante (fontion **`zoom`**) et d'utiliser la fonction **`ginput`**, qui retourne les coordonnées de la souris

On demande d'écrire un script `labo2a.m` qui permette de:

1. Visualiser les courbes de Bode de transmittances simples du premier et du second ordre ci-dessous en choisissant la plage de fréquences de façon à faire apparaître la ou les fréquences de coupure. (R=1kΩ, C=1uF, L=1mH). Pour chaque circuit, vérifier explicitement l'adéquation entre l'affichage et les valeurs faciles à déterminer (valeurs aux limites, aux fréquences de cassure, bande passante à 3dB(en Hz)).



2. Vérifier l'écart entre la courbe de Bode asymptotique et la courbe réelle dans le cas d'un second ordre en $H(p) = 1/ (p^2+2\,\sigma\, p + \rho^2)$, lorsque $\sigma = \rho/20$.

ESTIMATION DE LA REPONSE EN FREQUENCE D'UN CIRCUIT LINEAIRE AU VU DE SES POLES ET ZEROS.

Rappel: La réponse en fréquence d'un circuit linéaire est liée à la position de ses zéros et pôles dans le plan complexe.

On peut en effet toujours mettre H(p) sous la forme:

$$H(p) = \frac{\pm k(p-z1)(p-z2)...(p-zM)}{(p-p1)(p-p2)...(p-pN)}$$

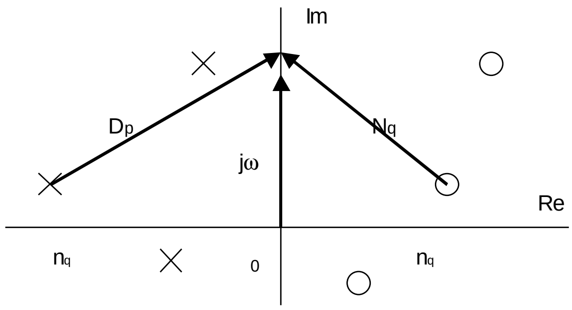
ce qui conduit à:

$$H(j\omega) = \frac{\pm k(j\omega-z1)(j\omega-z2)...(j\omega-zM)}{(j\omega-p1)(j\omega-p2)...(j\omega-pN)}$$

Il s'ensuit que:

$$|H(j\omega)| = \frac{k\ N_1\ N_2\ ...\ N_M}{D_1\ D_2\ ...\ D_N}$$

où *Nq* et *Dp* sont les modules des vecteurs qui ont leur origine sur le $q^{ème}$ zéro ou le $p^{ème}$ pôle et leur extrémité en jω sur le plan complexe:



Dans MATLAB, le calcul des racines d'un polynôme se fait avec la fonction `roots.` Il est dès lors facile de visualiser les racines de H(p)= (p+1)/(p+2):

```
zeros=roots([1 1]);     %calcul des zeros
poles=roots([1 2]);     %calcul des poles
plot(real(zeros),imag(zeros),'o', real(poles),imag(poles),'x');
axis('equal');          %axe x = axe y
```

MATLAB fournit même en pratique une fonction prédéfinie pour ce type d'affichage : **`zplane.`**

On demande de réaliser un script `labo2b.m` qui permette de:

3. a. Pour les fonctions de tranfert des filtres suivants, afficher un diagramme des pôles et zéros dans le plan complexe (utiliser la fonction **`zplane`**), et en déduire graphiquement l'allure de la réponse en fréquence (module seulement).
   1. H(p)=p+1/p+5   2. H(p)=p-1/p+5   3. H(p)=10p/(p^2+2p+100)
   4. H(p)=(p^2+100)/(p^2+2p+100)
   5.H(p)=9792.6299/(1000*(0.001p^5+0.0203328p^4+0.206711p^3+1.29880p^2+5.0435590p+ 9.7926299))
   6.H(p)=(0.00000150802p^4+0.0055586p^2+4.119852)/(0.001p^5+0.01094045p^4+ 0.109461p^3+0.59656908p^2+2.26158275p+4.119852)

   b. Vérifier les résultats précédents en utilisant `freqs.`

   c. Quelles sont les caractéristiques (type, fréquences de coupure (en Hz), largeur de bande passante à 3dB (en Hz)) des filtres 3, 4, 5, 6 ?

   d. Le filtre 6 est-il meilleur que le 5 ? Comment y est-on parvenu ?

POLY TECH. MONS
Service de Théorie des Circuits
et de Traitement du Signal

LABORATOIRES DE THEORIE DES CIRCUITS

3ème ELEC + IG

SCEANCE DE LABORATOIRE N°3

CALCUL DU DIAGRAMME ASYMPTOTIQUE DE BODE D'UN SYSTEME LINEAIRE

- **On demande de déterminer l'organigramme** d'une fonction qui réponde à l'appel suivant:

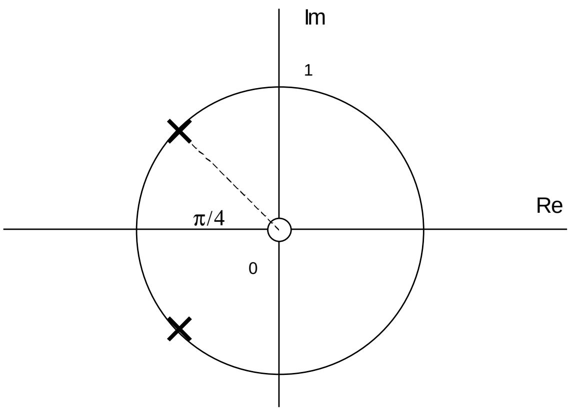
```
function bode(N,D,w)
% bode(N,D) computes and shows the bode
% asymptotic diagram of a Linear Time Iinvariant system
% whose transfer function is
% given by :
%    H(p) = N(p)/D(p)
% It also plots the frequency response of H(p)
% w is the vector of frequencies on which the
% frequencyresponse is computed
```

Lorsque cet organigramme aura été vérifié par le personnel de laboratoire, vous recevrez le fichier .m correspondant.

Expliquer plus : trouver en un w donne qcque, et tracer deux premiers ordres superposes; on doit voir que as. Oblique est la meme.

- **On demande de réaliser un script `labo3.m` qui permette de:**

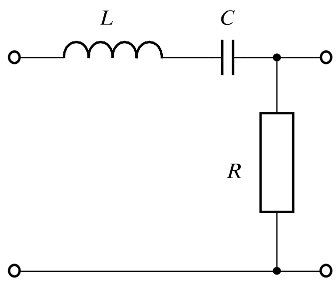
1. Visualiser les diagrammes de bode d'un circuit linéaire de fonction de transfert H(p) ayant un zéro double en ω=0 et deux pôles complexes conjugués tels que spécifiés ci-dessous :



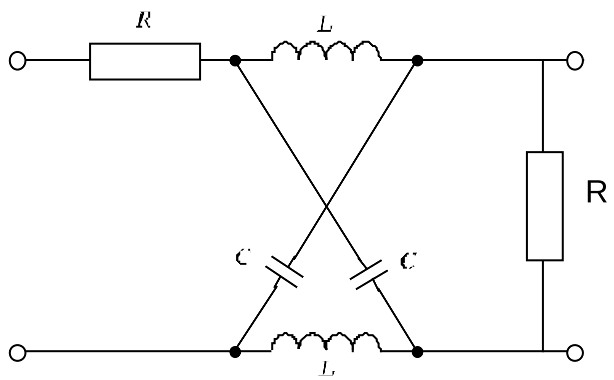
On demande également de visualiser la réponse en fréquence du circuit obtenu en faisant multipliant par 10 le facteur de qualité de la résonnance du circuit précédent **sans rien changer au diagramme asymptotique**.

On demande enfin de visualiser la réponse en fréquence du circuit obtenu en faisant multipliant par 10 le facteur de qualité de la résonnance du circuit précédent **en conservant la partie imaginaire des pôles**.

2. Visualiser la transmittance du circuit de la figure ci-dessous (L=10 mH, C= 1nF, R=10kOhms). Est-ce bien ce à quoi ou pouvait s'attendre ?



3. Sans aucun calcul, à laquelle des fonctions de transfert suivantes correspond le circuit ci-dessous?



a) H(p)= - R/2 (p^2LC+1) / (p^2 RLC + p (L+R^2C) + R)

b) H(p)= R/2 (p^2LC-1) / (p^2 RLC + p (L+R^2C) + R)

c) H(p)= - R/2 (p^2LC-1) / (p^2 RLC + p (L+R^2C) + R)

d) H(p)= - R/2 (p^2LC-1) / (p^2 RLC + p (L+2R^2C) + R)

Visualiser sa réponse en fréquence et montrer graphiquement que lorsque R^2 se rapproche de L/C, l'ordre du circuit se réduit à 1 (prendre L=10mH, C=10e-6F).

Expliquer que on ne peut pas le voir sur bode, mais bien sur poles/zeros.

Service de Théorie des Circuits
et de Traitement du Signal

LABORATOIRES DE THEORIE DES CIRCUITS

3ème ELEC + IG

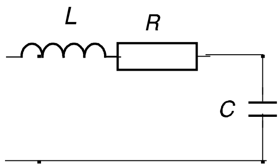
SCEANCE DE LABORATOIRE N°4

ETUDE DES CIRCUITS RESONANTS

Mise au point théorique sur les circuits resonants série, parallèle, et couplés : voir tableau au labo (prendre notes !).

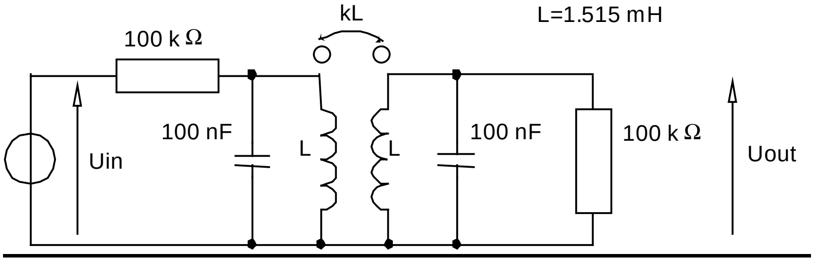
- **On demande de réaliser un script `labo4.m` qui permette de:**

1. Visualiser la fonction de transfert du circuit résonant série ci-dessous dans un diagramme de bode, et de déduire du graphique, par trois méthodes différentes, la valeur du facteur de qualité du circuit. (R=0.1 ohm, C=100e-6F, L=1e-3H). Comparer cette valeur estimée graphiquement à la valeur théorique. Refaire les estimations pour R=1 ohm. Les estimations graphiques collent-elles toujours avec la valeur théorique ?



NB: Pour mesurer la bande passante du circuit avec précision, il est conseille de zoomer (utiliser `zoom on`), puis de demander à Matlab de mesurer les coordonnées des deux points limites (utiliser **[x y]=ginput(2)**)

2. Calculer la fonction de transfert du circuit résonant couplé ci-dessous et en afficher la réponse en fréquence dans un diagramme de bode, pour différentes valeurs de *k*, depuis une valeur en dessous du couplage critique à une valeur au dessus du couplage à maximum de bande passante (en passant par le couplage critique et le couplage à maximum de bande passante). Pour le couplage à maximum de bande passante, mesurer graphiquement le facteur de qualité du circuit.



POLY TECH. MONS

Service de Théorie des Circuits
et de Traitement du Signal

LABORATOIRES DE THEORIE DES CIRCUITS

3ème ELEC + IG

SCEANCE DE LABORATOIRE N°5

Decomposition d'une fraction rationnelle en fractions simples

Pour calculer l'original en transformée de Laplace d'une fraction rationnelle, il faut commener par la décomposer en fractions simples. Matlab fournit pour ce faire la fonction **`residue`.**

- **On demande de réaliser un script `labo5.m` qui permette de:**

1. Décomposer la fraction rationnelle suivante en fractions simples, et verifier avec Matlab la somme des fractions simples obtenues redonne bien la fraction rationnelle de départ :

$$H(p) = \frac{p^4 + 2p^3 + 3p^2 + 2p + 1}{p^4 + 4p^3 + 7p^2 + 6p + 2}$$

   NB: La recombinaison des fractions simples en fraction rationnelle mettra en oeuvre la fonction Matlab **`conv`**, pour la multiplication de polynômes (ne pas utiliser **`residue`**)

Calcul et affichage des réponses impulsionnelle et indicielle d'un circuit linéaire ne présentant pas de poles multiples

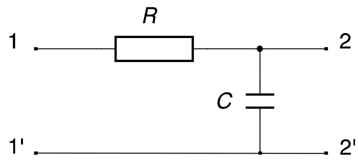
- **On demande de créer une fonction `response.m` qui réponde à l'appel suivant:**

```
function response(B,A,t)
% response(N,D,t) plots in figure 1 the impulse response
% of the linear circuit defined by:
%        H(p) = B(p)/A(p)
% computed at the times given in vector t
% It also plots the step response in figure 2
```

Cette fonction ne comportera pas de boucle! Elle révèlera par sa compacité la puissance d'écriture de Matlab....

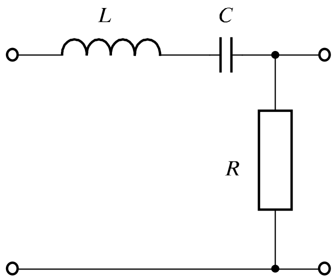
- **On demande de compléter `labo5.m` pour:**

2. Visualiser les réponses impulsionnelle et indicielle du biporte consitué du circuit de la figure ci-dessous (C= 1e-6F, R=10kOhms). Mesurer sur le graphique la constante de temps du circuit. Retrouve-t-on ce qu'on pouvait prévoir ?



3. Visualiser les réponses impulsionnelle et indicielle du biporte constitué du circuit résonant de la figure ci-dessous (L=1H, C= 1e-7F, R=1kOhms). Mesurer sur le graphique la *constante de temps* et la *fréquence d'oscillation,* et la *phase initiale* de la reponse impulsionnelle et mettre ces valeurs en correspondance avec :

   - les coefficients de la fonction de tranfert.
   - les valeurs des pôles et résidus.



SCEANCE DE LABORATOIRE N°6

CALCUL SYMBOLIQUE DE LA FONCTION DE TRANSFERT A VIDE D'UN CIRCUIT PASSIF EN ECHELLE.

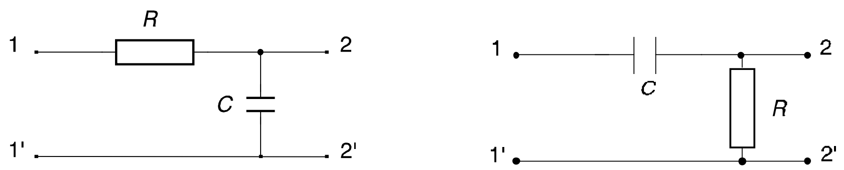
On demande de créer une fonction **echelle.m** qui réponde à l'appel suivant:

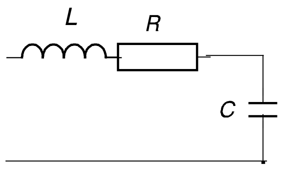
```
function [N,D]=echelle(VN,VD,VType)
%function [N,D]=echelle(VN,VD,VType) returns the transfer
%function of a LTI system composed of elementary
%quadripoles
%containing serial (VType(i) = 0) or parallel (" = 1)
%impedances defined as
%                       polynomial VN(i,:)
%                  Z(i)=-----------------
%                       polynomial VD(i,:)
```

Indication : utiliser les matrices de chaîne des quadripôles série et parallèles élémentaires (les couplages sont exclus).

On demande de créer un script labo6.m qui permette de vérifier l'exactitude de la fonction sur les exemples suivants :

- Obtenez-vous des résultats cohérents avec **echelle.m** pour les circuits des figures ci-dessous ?





- A quel type de filtre correspond une fonction de transfert à vide en

$\omega_b\ p$

$$H(p) = \frac{\qquad}{p^2 + \omega_b\ p + \omega_p^2}$$

Trouver la signification physique de ω_p et ω_b.

Montrer que le circuit de la figure ci-dessous synthétise un filtre de ce type, et déterminer les valeurs à imposer à L et C (pour R fixé) de façon à obtenir une valeur déterminée de ω_p et ω_b. Vérifier graphiquement sur un exemple.